

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO - UFMA
CENTRO DE CIÊNCIAS DE SÃO BERNARDO - CCSB
CURSO DE LICENCIATURA EM CIÊNCIAS NATURAIS/QUÍMICA

ANA CAROLINA OLIVEIRA BRAGA SILVA

AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA CACHAÇA
PRODUZIDA NA REGIÃO DE SÃO BERNARDO - MA

SÃO BERNARDO - MA

2026

ANA CAROLINA OLIVEIRA BRAGA SILAVA

**AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA CACHAÇA
PRODUZIDA NA REGIÃO DE 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

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Silva, Ana Carolina Oliveira Braga.

AValiação DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUIÍMICAS DA
CACHAÇA PRODUZIDA NA REGIÃO DE SÃO BERNARDO-MA / Ana
Carolina Oliveira Braga Silva. - 2026.

55 f.

Orientador(a): Maria do Socorro Evangelista Garreto.
Monografia (Graduação) - Curso de Ciências Naturais -
Química, Universidade Federal do Maranhão, Universidade
Feredral do Maranhão, 2026.

1. Produção da Cachaça. 2. Cadeia Produtiva da
Cachaça. 3. Análise Físico-químico. I. Garreto, Maria do
Socorro Evangelista. II. Título.

ANA CAROLINA OLIVEIRA BRAGA SILVA

**AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA CACHAÇA
PRODUZIDA NA REGIÃO DE 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 Dr.^a Maria do Socorro Evangelista Garreto.

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado em: 29/01/2026


BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente

 **MARIA DO SOCORRO EVANGELISTA GARRETO**
Data: 03/02/2026 12:02:53-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


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

Documento assinado digitalmente

 **MARIA ALVES FONTENELE**
Data: 03/02/2026 11:22:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a Dr.^a Maria Alves Fontenele
Universidade Federal do Maranhão – CCNQ CCSB

Documento assinado digitalmente

 **JOSBERG SILVA RODRIGUES**
Data: 03/02/2026 12:54:02-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^o Dr. Josberg Silva Rodrigues
Universidade Federal do Maranhão – CCNQ CCSB

Dedico este trabalho à minha avó Lucinda da Silva Lima, minha tia Erika da Silva Lima, meu tio em memórias Jean da Silva Lima, e a minha orientadora Dr.^a Maria do Socorro Evangelista Garreto, e a todos aqueles que sempre me deram apoio e acreditaram em minhas capacidades.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me conceder forças, sabedoria e perseverança para enfrentar todos os desafios ao longo desta caminhada acadêmica. Palavras são insuficientes para expressar a gratidão que tenho pelo seu amparo em minha vida.

À minha tia e à minha avó, agradeço por todo suporte emocional e financeiro durante esses anos e por me encorajarem diariamente a não desistir, agradeço a minha prima que foi minha companheira nessa jornada compartilhando a mesma experiência e me apoiando nos momentos mais difíceis. Não posso deixar de mencionar meu tio, que tanto me ajudou financeiramente e com seus conselhos sobre a importância dos estudos; infelizmente, ele não poderá estar presente fisicamente, mas sei que, de onde estiver, estará orgulhoso. Sou imensamente grata pelo seu incentivo, que levarei para toda a vida. Agradeço a toda a minha família pelo apoio constante em minha trajetória.

Aos meus amigos, agradeço o apoio incondicional. Embora estivéssemos todos no mesmo barco, nunca deixamos uns aos outros desamparados. Compartilhamos risos, choros, medos e incertezas, não apenas sobre a vida acadêmica, mas sobre os desafios diários de quem está longe de casa. Obrigada, amigos, por serem meu porto seguro. Ao meu companheiro, agradeço por me fortalecer e, com imensa paciência, permanecer ao meu lado em todos os momentos.

À minha orientadora e professora, Dr.^a Maria do Socorro Evangelista Garreto, agradeço a paciência, dedicação e pelas orientações que tanto enriqueceram meu desenvolvimento. Durante esta jornada, a tive como espelho: uma mulher forte, corajosa e inteligente. Muito obrigada por todos os ensinamentos. Aos demais professores do curso, agradeço por compartilharem suas experiências, contribuindo para minha formação acadêmica e profissional.

Ao Junior, meu agradecimento especial por ter sido a ponte entre mim e os produtores. Agradeço também aos produtores e responsáveis pelos engenhos dos povoados de São Bernardo - MA, que gentilmente colaboraram com esta pesquisa, permitindo a coleta de dados e compartilhando vivências fundamentais para a realização deste estudo. A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização deste trabalho, deixo registrados meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

A cachaça é considerada uma bebida oficialmente brasileira, que vem ganhando destaque dentre as cadeias produtivas do setor do Agronegócio. A caracterização da cachaça artesanal tem uma importância significativa por despertar interesse para diversos tipos de investimento e de capacitações nessa modalidade agrícola, contribuindo de forma decisiva para o progresso e o desenvolvimento regional. Nesse contexto, a análise físico-química da cachaça torna-se essencial para avaliar a conformidade com a legislação e orientar melhorias nos processos produtivos, sobretudo em unidades artesanais de pequeno porte. Portanto, este estudo caracteriza-se como qualitativa e quantitativa, de natureza descritiva e aplicada, tendo como objetivo de descrever a forma de produção artesanal da cachaça na região de São Bernardo-MA, bem como avaliar suas características físico-químicas. O estudo envolveu o levantamento de dados qualitativos, obtidos por meio de visitas in loco aos produtores artesanais, permitindo a observação das etapas produtivas, práticas tradicionais e condições de fabricação da bebida. Paralelamente, foram realizadas análises físico-químicas laboratoriais, visando à determinação de parâmetros legais e de qualidade da cachaça, contribuindo para o diagnóstico da qualidade fornecendo subsídios aos produtores locais. Para tanto, foram coletadas cinco amostras provenientes de diferentes engenhos, analisadas quanto à acidez volátil, extrato seco, teor alcoólico e densidade relativa. Esses parâmetros foram selecionados por representarem indicadores diretos da adequação do destilado, além de influenciarem de forma significativa as propriedades sensoriais e a aceitação do produto no mercado consumidor. A análise dos resultados permite inferir que nesta região a produção da cachaça ocorre de maneira muito rústica em pequenos engenhos, em alambiques de cobre e de aço inox. O trabalho permitiu compreender melhor as características físico-químicas da cachaça artesanal. Verificou-se que alguns engenhos produzem a cachaça com valores próximos aos limites legais, indicando que mesmo que os produtores não possuem materiais para realizar as análises ainda sim conseguem produzir uma cachaça de boa qualidade. Apesar disso, os resultados mostram a maioria das amostras está em conformidade com a legislação, o que confirma a qualidade do produto e a eficiência dos métodos tradicionais, o que assegura a valorização do trabalho dos produtores.

Palavras – chave: Produção da Cachaça; Cadeia produtiva da cachaça, Análise físico-químico.

ABSTRACT

Cachaça is considered an officially Brazilian drink, which has been gaining prominence among the production chains of the Agribusiness sector. The characterization of artisanal cachaça is of significant importance for arousing interest for various types of investment and training in this agricultural modality, contributing decisively to regional progress and development. In this context, the physicochemical analysis of cachaça becomes essential to assess compliance with legislation and guide improvements in production processes, especially in small artisanal units. Therefore, this study is characterized as qualitative and quantitative, of descriptive and applied nature, with the objective of analyzing the form of artisanal production of cachaça in the region of São Bernardo-MA, as well as evaluating its physicochemical characteristics. The study involved the collection of qualitative data, obtained through on-site visits to artisanal producers, allowing the observation of the production stages, traditional practices and conditions of manufacture of the drink. At the same time, laboratory physicochemical analyses were carried out, aiming at the determination of legal parameters and quality of cachaça, contributing to the diagnosis of quality by providing subsidies to local producers. For this purpose, five samples were collected from different mills, analyzed for volatile acidity, dry extract, alcohol content and relative density. These parameters were selected because they represent direct indicators of the suitability of the distillate, in addition to significantly influencing the sensory properties and acceptance of the product in the consumer market. The analysis of the results allows us to infer that in this region the production of cachaça occurs in a very rustic way in small mills, in copper and stainless steel stills. It was noted that the hygiene conditions in the production stages are below ideal conditions, which can interfere with the quality of the product. The study made it possible to better understand the physicochemical characteristics of artisanal cachaça. It was observed that some distilleries produce cachaça with values close to legal limits, indicating that even without analytical equipment, producers are still able to obtain a good-quality beverage. Nevertheless, the results show that most samples comply with legislation, which confirms the quality of the product and the efficiency of traditional methods, ensuring the appreciation of the producers' work.

Keywords: Cachaça Production; Cachaça production chain, Physicochemical analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: (a): Banho maria (b) Estufa de secagem.....	22
Figura 2 (a): Vidrarias; (b): Titulação	24
Figura 3 (a): sistema de destilação (b): Titulação com NaOH	25
Figura 4: Medição do teor alcoólico.....	27
Figura 5: Mapa de São Bernardo.....	30
Figura 6: Mapa de localização dos engenhos	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Relação entre Densidade Relativa e Teor Alcoólico (% vol) a 20 °C	29
Tabela 2: Diferentes Alambiques	33
Tabela 2: Determonação do extrato seco (g/100mL)	35
Tabela 3: Acidez Total Desvio padrão	38
Tabela 4: Acidez Volátil Desvio Padrão	40
Tabela 5: Resultados da Acidez Fixa	41
Tabela 6: Teor Alcoólico	43
Tabela 7: Adição de 10 mL de água destilada	45
Tabela 8: Adição de 15 mL de água destilada	45
Tabela 9: Adição de 20 mL de água destilada	45
Tabela 10: Densidade Relativa (ρ_{20}) das Cachaças após Padronização Final (20 mL)	47

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 Fundamentação teórica	13
2.1 A cachaça no contexto histórico e cultural brasileiro.....	13
2.2 Marco legal e normativo da cachaça no Brasil.....	15
2.3 Produção de cachaça artesanal	16
2.4 Ambiente de produção da cachaça artesanal	18
2.5 Qualidade e parâmetros Físico-química da Cachaça.....	20
3 METODOLOGIA.....	22
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	30
4.1 Caracterização da região e dos engenhos	30
4.2 Análises Físico-químicas das Amostras de Cachaça.....	33
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
REFERÊNCIAS.....	53

1 INTRODUÇÃO

A cachaça é uma bebida alcoólica tipicamente brasileira, obtida a partir da fermentação e destilação do caldo da cana-de-açúcar, apresentando teor alcoólico entre 38% e 48% em volume, conforme estabelece a legislação nacional (BRASIL, 2005). Reconhecida como patrimônio cultural do Brasil, a cachaça distingue-se pela diversidade de aromas, sabores e características sensoriais, resultado direto da variedade da matéria-prima, das condições ambientais e das técnicas empregadas ao longo do processo produtivo. Seu consumo ocorre de diferentes formas, seja pura, na composição de coquetéis amplamente difundidos, como a caipirinha, ou ainda como ingrediente culinário, o que reforça sua importância econômica e cultural no cenário nacional.

Ao longo da história, a produção e o consumo da cachaça acompanharam o desenvolvimento social e econômico do país, estando diretamente associados ao período colonial, à expansão da cana-de-açúcar e à formação da identidade brasileira. Com o passar do tempo, o setor passou por processos de modernização tecnológica, especialmente no que se refere ao controle industrial, à padronização e à adequação às exigências legais e mercadológicas. Contudo, paralelamente à produção industrial em larga escala, a produção artesanal permanece fortemente presente em diversas regiões do Brasil, preservando técnicas tradicionais transmitidas entre gerações (CASCUDO, 2011).

Nesse contexto, a produção artesanal de cachaça assume papel de destaque em municípios do interior, especialmente em áreas rurais, onde representa uma importante alternativa econômica para a agricultura familiar. No município de São Bernardo, localizado no estado do Maranhão, a atividade ultrapassa a simples geração de renda, configurando-se como um elemento de identidade sociocultural, vinculado aos saberes tradicionais, às práticas comunitárias e à valorização do território. A fabricação da cachaça nos povoados locais ocorre, majoritariamente, em engenhos de pequeno porte, utilizando métodos artesanais que variam quanto ao tipo de alambique, às condições de fermentação e aos cuidados durante a destilação.

Entretanto, apesar de sua relevância cultural e econômica, a produção desenfreada da cachaça artesanal, muitas vezes realizada sem acompanhamento técnico ou controle rigoroso das etapas produtivas, pode acarretar problemas relacionados à qualidade e à segurança do produto final. Falhas nos processos de fermentação e destilação, uso inadequado de equipamentos ou ausência de padronização podem resultar em variações significativas nos parâmetros físico-químicos da bebida, comprometendo sua estabilidade, aceitação sensorial e conformidade com a legislação vigente. Além disso, tais irregularidades podem representar

riscos à saúde do consumidor, o que reforça a necessidade de estudos voltados à avaliação da qualidade da cachaça artesanal (MENEZES; CARDOSO, 2020).

Diante desse cenário, torna-se fundamental a realização de pesquisas que permitam compreender de forma sistemática a produção artesanal da cachaça em nível local, associando a observação das práticas produtivas à análise técnico-científica do produto. A caracterização físico-química da cachaça constitui uma ferramenta essencial para a avaliação da qualidade da bebida, uma vez que parâmetros como teor alcoólico, acidez, densidade relativa e extrato seco fornecem informações relevantes sobre o controle do processo produtivo e a adequação aos padrões legais estabelecidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Adicionalmente, destaca-se que os alambiques utilizados na produção artesanal podem variar quanto ao material empregado, como cobre ou aço inoxidável, fator que influencia diretamente a composição química e o perfil sensorial da cachaça. Estudos indicam que essas variações podem impactar a formação de compostos desejáveis e indesejáveis na bebida, reforçando a importância de avaliações comparativas e diagnósticos locais. Assim, a análise das cachaças produzidas nos povoados de São Raimundo, São Pedro (Catucar) e Santo Antônio permite compreender as particularidades da produção regional e identificar possíveis pontos críticos no processo.

Nesse sentido, a justificativa desta pesquisa fundamenta-se na necessidade de gerar dados científicos que contribuam para a valorização da cachaça artesanal produzida em São Bernardo-MA, promovendo a integração entre o conhecimento tradicional dos produtores e o rigor técnico-científico. A partir dessa abordagem, espera-se fornecer subsídios que auxiliem na melhoria do controle de qualidade, na padronização dos processos produtivos e no fortalecimento da economia regional, respeitando as características culturais e produtivas locais.

Diante disso, este trabalho tem como objetivo geral avaliar as características físico-químicas da cachaça produzida na região de São Bernardo-MA, visando verificar sua conformidade com os padrões de identidade e qualidade estabelecidos pela legislação brasileira e contribuir para a valorização da produção artesanal local. Como objetivos específicos, buscou-se: (i) mapear e descrever as etapas do processo de produção artesanal da cachaça; (ii) identificar os diferentes tipos de alambiques empregados na produção da cachaça na região de São Bernardo-MA; (iii) Avaliar os parâmetros físico-químicos da cachaça produzida em alambiques de cobre e aço inox em termos de teor alcoólico, acidez volátil, densidade relativa e extrato seco; (iv) verificar se as amostras atendem os padrões estabelecidos pela legislação brasileira (MAPA).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

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

2.1 A cachaça no contexto histórico e cultural brasileiro

Conforme aponta CASCUDO (2006), a história da cachaça no Brasil remonta ao século XVI, quando foi introduzida pelos portugueses durante o período colonial. Desde então, sua produção se expandiu rapidamente, tornando-se um produto de exportação significativo no século XVIII. No século XIX, a cachaça conquistou popularidade entre as classes populares, tornando-se um símbolo da cultura brasileira. Já no século XX, a bebida passou por um processo de reconhecimento e valorização, com a implementação de legislações que regulamentam sua produção e qualidade.

Diante da história a cachaça está intimamente ligada à colonização portuguesa e à atividade açucareira, uma vez que ambas têm a cana-de-açúcar como matéria-prima central. A cachaça, portanto, não é apenas uma bebida; é um elemento representativo da identidade brasileira. Antes que a produção de cachaça fosse um produto importante para a economia brasileira, a produção de açúcar tornou-se o principal produto econômico do país devido à alta exportação. Portanto, o açúcar foi o primeiro produto a mover a economia brasileira. Como mencionado, o açúcar tinha um grande valor comercial durante a colonização e a migração da cana-de-açúcar nos anos XV e XVI. (CASCUDO, LUÍS DA CÂMARA)

Como resultado, as plantações de cana-de-açúcar no Brasil se adaptaram melhor aos solos litorais das regiões nordeste e sudeste do país. A organização das plantações de cana-de-açúcar e a fabricação do açúcar despertaram grande interesse na comunidade local, que possuía características culturais únicas, como festividades comemoradas durante as etapas de plantio e colheita. Diante disso, o governo português incentivou a construção de engenhos e o cultivo da cana por todo o litoral do Brasil. A rápida adaptação da cana-de-açúcar ao clima e solo nordestinos tornaram-na extremamente vantajosa, devido à sua proximidade com a Europa, o que facilitava o transporte do produto. O alto valor do açúcar no mercado europeu fez com que

se tornasse a principal fonte de renda da economia brasileira, contribuindo para o desenvolvimento dos povoados ao redor dos engenhos.

Segundo o historiador Luiz da Câmara Cascudo no seu livro prelúdio da cachaça, a primeira cachaça no Brasil foi destilada por volta de 1532 em São Vicente no Estado de São Paulo. Outros historiadores apontam que sua suposta origem foi em Pernambuco as feitorias de Itamaracá, Igarassu e Santa Cruz em 1516 a registros de importação de açúcar pernambucano para Lisboa o que fortalece essa versão, e em Porto Seguro da Bahia em 1520 onde há indícios da existência de engenhos de açúcar (ELISEU TISATO, site: Cataiadopier).

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, a segunda teoria acostumados com a bagaceira 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 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 nos 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 iniciativas 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).

2.2 Marco legal e normativo da cachaça no Brasil

Diante das diretrizes legais existem leis, decreto, portarias, normas e técnicas específicas que definem, regulam, padronizam, e fiscalizam a produção da cachaça para que o produto possa ter uma qualidade adequada para comercialização no Brasil. O marco legal ele estabelece parâmetros físico-químicos específicos que diferem a cachaça de outras bebidas alcoólicas, já que a cachaça é obtida através da destilação do mosto fermentado do caldo da cana de açúcar.

Conforme a base legal da regulamentação das bebidas brasileiras estabelecidas pela lei nº 8.918 de 14 de junho de 1994 fala sobre a padronização, classificação, registro, inspeção e fiscalização da produção e do comércio de bebidas. Essa lei é responsável ao estado e a responsabilidade de definir padrões de identidade e qualidade, bem como de fiscalizar o cumprimento das normas sanitárias e técnicas aplicáveis às bebidas alcoólicas, incluindo a cachaça (BRASIL, 1994).

O Decreto nº 6.871, de 4 de junho de 2009, regulamenta a referida lei e estabelece definições mais detalhadas sobre as categorias de bebidas alcoólicas. Nesse decreto, a cachaça é definida como a bebida obtida exclusivamente pela destilação do mosto fermentado do caldo de cana-de-açúcar, produzida no Brasil, com teor alcoólico entre 38% e 48% em volume, a 20 °C. O decreto também diferencia a cachaça da aguardente de cana, reforçando sua identidade própria e seu reconhecimento como produto tipicamente brasileiro (BRASIL, 2009).

Além da definição legal, o marco normativo da cachaça contempla os padrões de identidade e qualidade, atualmente consolidados pela Portaria MAPA nº 539, de 26 de dezembro de 2022. Essa norma estabelece parâmetros técnicos relacionados à composição, processos produtivos permitidos, limites para contaminantes e classificação da bebida quanto ao envelhecimento. A portaria também define limites máximos para substâncias potencialmente nocivas, como metanol e cobre, evidenciando a preocupação com a segurança do consumidor e com a qualidade do produto (BRASIL, 2022).

Outro aspecto fundamental do marco legal refere-se ao registro e à fiscalização da produção, atribuídos ao Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA). Todo estabelecimento produtor de cachaça deve estar devidamente registrado junto ao órgão, assim como cada produto comercializado, o que garante a rastreabilidade, a conformidade legal e o controle sanitário da bebida. Esse processo é realizado por meio do Sistema Integrado de Produtos e Estabelecimentos Agropecuários (SIPEAGRO), conforme estabelecido em normas específicas do MAPA.

Adicionalmente, o marco legal brasileiro assegura a proteção da denominação “cachaça” como indicação geográfica vinculada ao território nacional, conforme disposto no Decreto nº 4.062, de 21 de dezembro de 2001, que reconhece o termo como exclusivo para produtos fabricados no Brasil. Essa medida reforça o valor cultural e econômico da bebida, além de protegê-la contra usos indevidos no mercado internacional.

Dessa forma, o marco legal e normativo da cachaça no Brasil não se limita à definição conceitual da bebida, mas a um conjunto de regras que orientam todo o seu ciclo produtivo, desde a forma de obtenção da matéria-prima até a comercialização. No contexto da produção artesanal, essas normas assumem papel ainda mais relevante, uma vez que o atendimento aos padrões legais é essencial para garantir a qualidade, a segurança e a legitimidade do produto. Assim, a compreensão desse arcabouço normativo é fundamental para a análise do ambiente de produção e para a interpretação dos resultados das análises físico-químicas realizadas no presente trabalho.

2.3 Produção de cachaça artesanal

A produção de cachaça artesanal no Brasil está profundamente associada a práticas tradicionais que se consolidaram ao longo de séculos, repassada entre gerações e adaptadas às condições locais de cada região que a produz. Diferentemente da produção industrial, a cachaça artesanal caracteriza-se pelo uso de processos em pequena escala, nos quais o controle manual e o conhecimento popular adquirido pela experiência do produtor desempenham papel central na definição das características sensoriais e da qualidade do produto final (LIMA, 2010; BRASIL, 2009).

De acordo com a literatura, a produção artesanal da cachaça se inicia com a seleção da cana-de-açúcar, que deve ser colhida na época adequada de maturação para garantir maior concentração de açúcares fermentativos. Após a moagem, o caldo extraído é levado ao processo de fermentação, que, em produções artesanais, ocorre com frequência por meio de fermentos naturais ou leveduras selecionadas, respeitando condições ambientais específicas de cada localidade. A etapa seguinte consiste na destilação em alambiques, tradicionalmente de cobre

ou inox, realizada em lote, o que permite maior controle sobre a separação das frações da destilação e contribui para a qualidade sensorial da bebida (CARDOSO, 2013).

No contexto do estado do Maranhão, a produção artesanal de cachaça assume um papel central, pois está fortemente ligada às dinâmicas rurais e à economia local de diversos municípios. A atividade é desenvolvida, em sua maioria, por pequenos produtores, que utilizam estruturas simples, mas baseadas em conhecimentos técnicos acumulados ao longo do tempo. Segundo dados e levantamentos institucionais, grande parte desses produtores atua em regime familiar, sendo a produção da cachaça a principal fonte de renda e, em alguns casos, a única para o sustento de suas famílias (SEBRAE, 2022).

Além do aspecto econômico, a cachaça artesanal possui um valor cultural no Maranhão, integrando práticas sociais, festividades regionais e a identidade das comunidades produtoras. A manutenção dos métodos tradicionais de produção representa não apenas uma atividade produtiva, mas também um patrimônio imaterial, que preserva saberes locais e modos de vida associados ao meio rural. Nesse sentido, a literatura aponta que a valorização da cachaça artesanal contribui para o fortalecimento da cultura regional e para a permanência das famílias no campo, reduzindo processos de êxodo rural (MAPA, 2023).

Entretanto, apesar de sua importância cultural e socioeconômica, muitos produtores artesanais ainda enfrentam desafios relacionados à formalização da produção, adequação às normas sanitárias e acesso a mercados mais amplos. Ainda assim, observa-se um movimento crescente de valorização da cachaça artesanal, impulsionado tanto por políticas públicas quanto pelo aumento do interesse do consumidor por produtos regionais e de origem controlada.

Ainda que a literatura e documentos institucionais apontem para um movimento de valorização da cachaça artesanal em determinados mercados, observamos que essa realidade não se manifesta de forma equilibrada em todas as regiões produtoras do país. No contexto dos povoados analisados neste estudo, a percepção dos produtores revela um cenário diferente, marcado pela desvalorização econômica do produto, refletida principalmente nos baixos preços praticados na comercialização da cachaça artesanal.

Durante as visitas de campo e conversas realizadas, os produtores relataram que a atividade, tradicionalmente transmitida de geração em geração, vem enfrentando dificuldades crescentes para se manter como meio de subsistência. A redução da rentabilidade e a ausência de políticas públicas efetivas voltadas ao fortalecimento da produção artesanal têm contribuído para o desestímulo das novas gerações, que, em muitos casos, não demonstram interesse em dar continuidade aos engenhos familiares. Esse cenário tem resultado na diminuição

progressiva do número de engenhos ativos, especialmente em comunidades rurais mais afastadas das cidades.

Apesar desse cenário desfavorável, a permanência de engenhos em funcionamento e o envolvimento de famílias inteiras no processo produtivo indicam que a produção de cachaça artesanal ainda possui demanda significativa no mercado local e regional. No entanto, essa demanda não tem sido acompanhada por ações estruturadas de valorização, capacitação ou incentivo governamental, o que limita o reconhecimento do produto e a melhoria das condições de vida dos produtores. Assim, embora a cachaça artesanal represente um importante patrimônio cultural e econômico para essas comunidades, sua sustentabilidade permanece fragilizada pela falta de apoio institucional e pela desvalorização comercial, aspectos que reforçam a necessidade de maior atenção por parte das políticas públicas

Esse cenário reforça a necessidade de estudos que analisem o ambiente de produção artesanal, bem como a qualidade físico-química da cachaça produzida, de modo a contribuir para o aprimoramento técnico do setor e para a valorização do produtor local.

Dessa forma, compreender a produção da cachaça artesanal, especialmente em regiões como o Maranhão, que traz o reconhecimento não apenas aos aspectos técnicos do processo produtivo, mas também sua função social, econômica e cultural. A produção artesanal de cachaça apresenta-se, como uma atividade estratégica para o desenvolvimento local, desempenhando papel fundamental na geração de renda, na preservação de tradições e na identidade cultural das comunidades produtoras.

2.4 Ambiente de produção da cachaça artesanal

O ambiente de produção da cachaça artesanal é resultado de uma construção histórica que articula conhecimentos tradicionais, práticas produtivas herdadas do período colonial e normativas legais estabelecidas ao longo do tempo. Desde o surgimento dos primeiros engenhos no Brasil, ainda no período colonial, a produção da cachaça desenvolveu-se como uma atividade vinculada ao meio rural, baseada no manejo da cana-de-açúcar, na fermentação natural do caldo e na destilação em alambiques, práticas que se consolidaram como saberes transmitidos de geração em geração (LIMA, 2010; CARDOSO, 2013).

Do ponto de vista legal, a legislação brasileira estabelece que o ambiente de produção de bebidas alcoólicas, incluindo a cachaça, deve atender a condições mínimas de higiene, organização e controle do processo produtivo, conforme disposto na Lei nº 8.918/1994 e regulamentado pelo Decreto nº 6.871/2009. Essas normas visam garantir a segurança do consumidor e a qualidade do produto, independentemente da escala de produção. Assim,

mesmo os engenhos artesanais devem observar princípios básicos de boas práticas de fabricação, como a limpeza das instalações, o controle das etapas produtivas e o adequado acondicionamento da bebida (BRASIL, 2009).

Entretanto, a literatura aponta que a aplicação dessas exigências ocorre de forma desigual entre os diferentes modelos produtivos. Enquanto a produção industrial de cachaça está submetida a processos de fiscalização mais frequentes e rigorosos, em razão de sua maior escala e visibilidade comercial, a produção artesanal, especialmente em regiões rurais e povoados de pequeno porte, tende a apresentar menor acompanhamento técnico e institucional por parte dos órgãos fiscalizadores (MAPA, 2023; SEBRAE, 2022). Esse cenário não implica ausência de qualidade ou de conhecimento técnico por parte dos produtores artesanais, mas revela uma lacuna na implementação de políticas públicas voltadas à orientação, adequação e valorização desses ambientes produtivos.

Nos engenhos artesanais observou-se que o ambiente de produção reflete essa realidade histórica e social. As instalações, muitas simples, são resultado de adaptações sucessivas realizadas pelas próprias famílias produtoras, que utilizam conhecimentos tradicionais acumulados ao longo das gerações para conduzir o processo produtivo. Esses espaços não devem ser compreendidos como ambientes inadequados, mas como expressões de um modo de produção tradicional que resiste às transformações do tempo, mantendo viva a identidade cultural associada à cachaça artesanal.

A ausência de investimentos estruturais e de programas específicos de apoio à melhoria das condições de trabalho nesses engenhos, contudo, evidencia a necessidade de maior atenção por parte das políticas públicas. A literatura reconhece que a cachaça é um produto de expressiva importância cultural e econômica para o Brasil, sendo responsável pela geração de renda e pela manutenção de inúmeras famílias no meio rural (MAPA, 2023). Ainda assim, os produtores artesanais, sobretudo aqueles situados em regiões periféricas, enfrentam dificuldades para adequar seus ambientes de produção às exigências legais, não por falta de interesse ou comprometimento, mas pela limitação de recursos financeiros e de assistência técnica.

Nesse contexto, compreender o ambiente de produção da cachaça artesanal requer uma abordagem que vá além da simples verificação de conformidade normativa. É necessário reconhecer que esses espaços produtivos são também locais de memória, trabalho familiar e construção cultural. A valorização da cachaça artesanal, portanto, passa necessariamente pelo fortalecimento dos ambientes de produção, por meio de políticas públicas que promovam

melhorias estruturais, capacitação técnica e reconhecimento do produtor como agente fundamental na preservação desse patrimônio nacional.

Dessa forma, ao analisar o ambiente de produção da cachaça artesanal em povoados maranhenses, este estudo busca contribuir para uma compreensão mais ampla e sensível da realidade produtiva, articulando os preceitos legais e científicos com as condições concretas vivenciadas pelos produtores. Tal abordagem reforça a importância de iniciativas que não apenas fiscalizem, mas também orientem, valorizem e apoiem os engenhos artesanais, assegurando a continuidade dessa atividade que desempenha papel central na identidade cultural e no desenvolvimento econômico local.

2.5 Qualidade e parâmetros Físico-química da Cachaça

A qualidade da cachaça está diretamente associada ao controle de seus parâmetros físico-químicos, os quais permitem avaliar tanto a conformidade do produto com a legislação vigente quanto as condições tecnológicas do processo produtivo. Esses parâmetros são fundamentais para assegurar a identidade, a segurança e a padronização da bebida, além de fornecerem subsídios para a valorização da cachaça enquanto produto cultural e econômico brasileiro, especialmente no contexto da produção artesanal (BRASIL, 2009; BRASIL, 2022).

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).

Nesse sentido, destacam-se os seguintes parâmetros avaliados no presente estudo:

- **Teor alcoólico (amostra pura e padronizada):** Definido como a porcentagem em volume de etanol presente na bebida a 20 °C. De acordo com o Decreto nº 6.871/2009 e a Portaria MAPA nº 539/2022, a cachaça deve apresentar teor alcoólico entre 38% e 48% (v/v). Neste estudo, a análise foi realizada tanto na cachaça pura (conforme sai do alambique) quanto na cachaça padronizada, que é o produto após a adição controlada de água destilada. Essa dupla avaliação é fundamental para verificar se a prática de padronização artesanal consegue levar o produto aos limites legais sem comprometer sua identidade (CARDOSO, 2013).
- **Densidade relativa (amostra pura e padronizada):** É a relação entre a massa específica da cachaça e a da água a 20 °C. Por estar diretamente ligada à concentração de etanol, a densidade foi determinada após a padronização. Embora a legislação não fixe um valor numérico para este parâmetro, ele serve para validar o teor alcoólico encontrado e monitorar

as variações físicas da bebida após a correção com água destilada, garantindo a uniformidade do lote (BRASIL, 2009).

- **Acidez volátil:** Representa a fração de ácidos destiláveis, sendo o limite máximo estabelecido pela legislação de 150 mg de ácido acético por 100 mL de álcool anidro (BRASIL, 2022). Valores elevados podem indicar falhas no processo fermentativo ou contaminação microbiológica, comprometendo a qualidade sensorial.
- **Acidez fixa e Total:** A acidez fixa refere-se aos ácidos que não se volatilizam, enquanto a acidez total é a soma das frações fixa e volátil. Embora não possuam limites numéricos rígidos na lei, servem como indicadores da estabilidade química, da condução do processo produtivo e da qualidade da matéria-prima (LIMA, 2010).
- **Extrato seco:** Corresponde à fração de substâncias não voláteis (compostos orgânicos e minerais). É um parâmetro de identidade que garante que os valores observados sejam compatíveis com a natureza da cachaça, fornecendo informações sobre o processo de destilação e armazenamento (BRASIL, 2022).

Dessa forma, a avaliação da qualidade da cachaça artesanal, por meio da determinação do teor alcoólico, densidade relativa, acidez e extrato seco, permite não apenas verificar a conformidade do produto com a legislação vigente, mas também compreender os efeitos das práticas adotadas pelos produtores locais. A realização das análises físico-químicas em amostras puras e após a padronização, conforme adotado neste estudo, possibilita uma interpretação mais abrangente dos resultados, respeitando as características originais do destilado artesanal e, ao mesmo tempo, assegurando a adequação do produto final aos padrões legais exigidos para a comercialização da cachaça no Brasil.

Considerando o embasamento teórico apresentado, fica evidente que a qualidade da cachaça artesanal depende de um controle rigoroso de variáveis que vão desde a escolha dos materiais dos alambiques até a padronização final do produto. Para compreender como essas teorias se aplicam à realidade dos produtores de São Bernardo e verificar a conformidade técnica da bebida produzida na região, o capítulo a seguir detalha os procedimentos metodológicos, os materiais utilizados e as técnicas laboratoriais empregadas na execução desta pesquisa.

3 METODOLOGIA

A pesquisa caracteriza-se como qualitativa e quantitativa, de natureza descritiva e aplicada, envolvendo o levantamento de dados sobre a produção artesanal da cachaça na região de São Bernardo–MA. As informações qualitativas foram obtidas por meio de visitas in loco, com observação das etapas produtivas e práticas tradicionais. Complementarmente, realizaram-se análises físico-químicas laboratoriais para a avaliação dos parâmetros de qualidade da bebida.

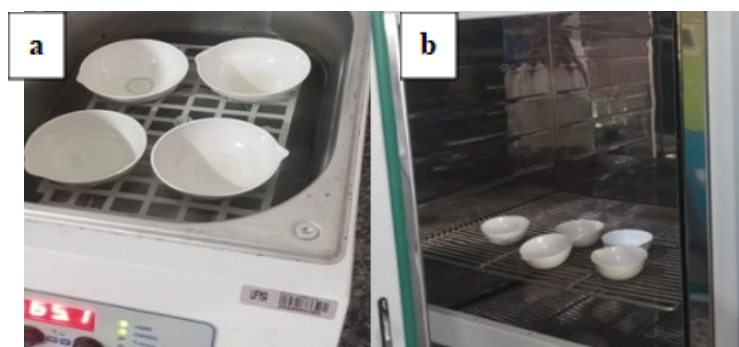
Os parâmetros analisados foram: Teor alcoólico, Densidade relativa, Extrato seco, Acidez volátil, Acidez fixa, Acidez total.

Para tanto foram coletadas amostras de 5 engenhos denominados Engenho 1, 2, 3, 4, 5 (E1, E2, E3, E4 e E5), levando em consideração a diversidade nos métodos de produção e nos tipos de alambiques utilizados (cobre e aço inox) onde E1 e o E4 são de cobre e os, E2, E3, E5 são de aço inox. Em cada alambique foram coletadas amostras da cachaça as quais foram submetidas a análises físico-químicas no laboratório de química do Centro de Ciências de São Bernardo – UFMA.

i. Determinação do extrato seco

A análise do extrato seco foi conduzida seguindo as diretrizes estabelecidas pelo método oficial da Instrução Normativa nº 13, de 29 de junho de 2005, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Este parâmetro fundamenta-se na técnica de gravimetria por dessecação, que consiste na eliminação de todos os componentes voláteis da amostra (água e álcool) para a quantificação das substâncias não voláteis remanescentes, esse ensaio foi realizado em triplicata para que os resultados obtivessem maior confiabilidade Figura 1: etapas da análise do extrato seco.

Figura 1 etapas da análise do extrato seco: (a): Banho-maria (b) Estufa de secagem



Fonte: Autoria Própria, 2026

Para a execução deste ensaio, utilizou-se o volume de 100 mL de cada amostra de cachaça pura, transferidos para cápsulas de porcelana previamente taradas. A escolha deste volume específico permitiu a utilização de uma equação simplificada para o cálculo do extrato seco, uma vez que a unidade de medida exigida pela legislação brasileira é expressa em gramas por cem mililitros (g/100 mL). Assim, a diferença entre a massa final do conjunto (após secagem em estufa a 105 °C até massa constante) e a massa inicial do recipiente vazio fornece diretamente o valor do parâmetro, sem a necessidade de fatores de correção volumétrica. Dessa forma, o cálculo foi realizado mediante a aplicação da Equação de determinação gravimétrica (Equação 1a) que apresenta a fórmula universal de determinação gravimétrica, necessária para cálculos onde o volume da amostra (v) é variável.

Equação 1a

Equação de Determinação Gravimétrica

$$ES\left(\frac{g}{100ml}\right) = \frac{(m_1 - m_2) \times 100}{v}$$

Onde:

ES = Representa o Extrato Seco final, que é a quantificação das substâncias não voláteis da cachaça, expressa na unidade de medida exigida pela legislação brasileira: gramas por cem mililitros (g/100mL).

m_1 = É a massa inicial da cápsula de porcelana vazia e previamente tarada antes da adição da amostra.

m_2 = É a massa inicial da cápsula de porcelana vazia e previamente tarada antes da adição da amostra.

Todavia, para o processamento dos dados deste trabalho, aplicou-se a Equação Simplificada (Equação 1b), uma vez que o rigoroso controle experimental utilizou o volume fixo de 100/mL para todas as análises.

Equação 1b

Fórmula simplificada

$$ES = m_1 - m_0$$

Em que:

m_1 : massa da cápsula com resíduo seco

m_0 : massa da cápsula vazia

Matematicamente, ao adotar $v = 100$ na fórmula original, o fator de correção volumétrica $100/v$ torna-se unitário, permitindo que o resultado em g/100 mL seja obtido diretamente pela diferença de massa entre o resíduo seco e a cápsula vazia. Esta simplificação

mantém total conformidade com as diretrizes da Instrução Normativa nº 13 do MAPA, otimizando o cálculo sem prejuízo à precisão analítica.

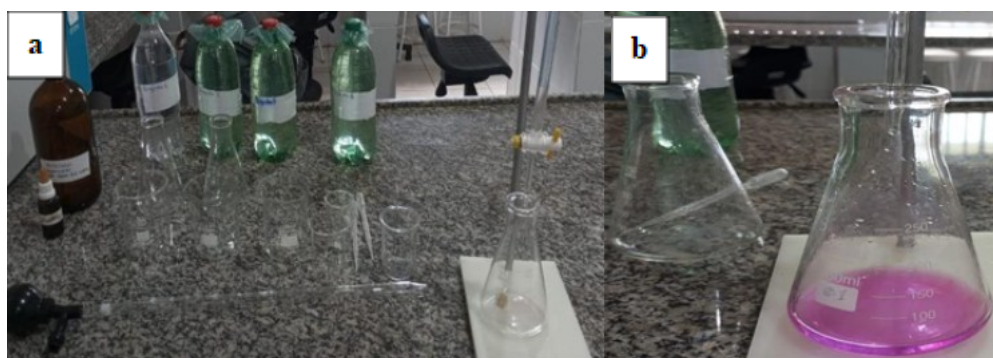
ii. Determinação da Acidez da Cachaça

a) Acidez total:

Para determinar a acidez total das amostras, utilizou-se a técnica de titulometria a qual foi realizada em triplicata. Esse procedimento seguiu as metodologias oficiais recomendadas para o controle de qualidade de bebidas alcoólicas, conforme as normas do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2005) e do INSTITUTO ADOLFO LUTZ (2008).

A acidez total é a soma da acidez volátil com a acidez fixa, sendo expressa em equivalentes de ácido acético. Na prática, o ensaio foi realizado da seguinte forma: transferiu-se uma alíquota de 25 mL da amostra de cachaça para um frasco erlenmeyer e adicionei de 2 a 3 gotas de fenolftaleína, que serviu como indicador. Em seguida, fez-se a titulação com uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 mol/L, adicionando-a gota a gota até que a amostra apresentasse uma coloração rósea persistente conforme imagens da Figura 2.

Figura 2 (a): Montagem do sistema para acidez total **(b):** Ponto de viragem da titulação



Fonte: Autoria Própria,2026

Esse ponto de mudança na cor indica que a acidez foi neutralizada, permitindo calcular o valor final da acidez total.

O volume de titulante gasto (v) foi registrado para o cálculo da acidez total, utilizando-se a equação de Cálculo da Acidez Titulável. Nesta fórmula, o valor 0,0060 representa a massa de ácido acético neutralizada por cada mililitro de hidróxido de sódio utilizado, permitindo converter o volume gasto em massa de ácido. O cálculo final é expresso em gramas de ácido acético por 100 mL de amostra, conforme a Equação 2.

Equação de Cálculo Estequiométrico para Titulação

Equação 2

$$Acidez\ Total\left(g\ \acute{a}cido\ \frac{ac\acute{e}tico}{100ml}\right) = \frac{v \times 0,0060 \times 100}{volume\ da\ amostra\ em\ ml}$$

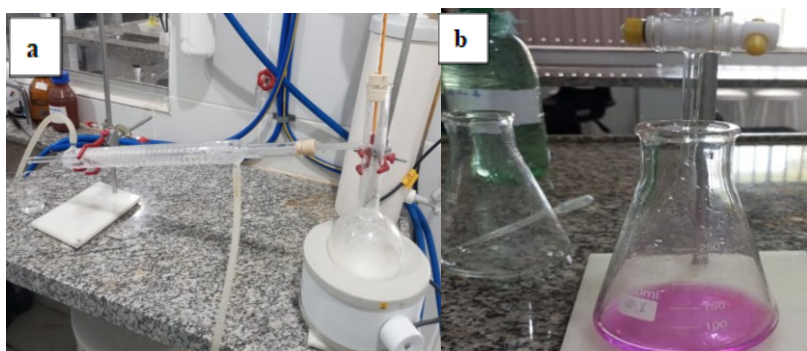
Onde:

- **Acidez Total (g ácido acético/100 mL):** É o resultado final, indicando a quantidade de gramas de ácido em 100 mL de cachaça.
- **v:** É o volume (em mL) de hidróxido de sódio gasto na bureta até a amostra mudar de cor.
- **0,0060:** É o fator fixo que converte o volume gasto em massa de ácido acético.
- **100:** É o fator que ajusta o resultado para a medida padrão de 100 mL exigida pela lei.
- **Volume da amostra:** É a quantidade de cachaça usada no teste (25 mL).

b) Acidez volátil

A acidez volátil está relacionada principalmente à presença de ácido acético e outros ácidos orgânicos de baixa massa molar, sendo um parâmetro importante na caracterização da qualidade da bebida (CARVALHO et al., 2017). Para esta determinação que foi realizada em triplicata, fez-se a redestilação de 250 mL da amostra de cachaça, coletando-se aproximadamente 200 ml da cachaça redestilada. Deste quantitativo foram retiradas alíquotas de 50mL, transferidas para um erlenmayer de 250mL e titulada com solução de hidróxido de sódio $0,1\ mol \cdot L^{-1}$, empregando a fenolftaleína como indicador, até o surgimento da coloração rósea persistente (Figura 3 Determinação da acidez volátil). O volume gasto de titulante (v) foi registrado. O cálculo da acidez volátil segue conforme descrito acima no item descrito na secção ii.a)

Figura 3: Determinação da acidez volátil: (a): sistema de destilação (b): Titulação com NaOH



Fonte: Autoria Própria, 2026

c) Acidez fixa

Esse parâmetro é de grande relevância, pois a presença de ácidos fixos influencia diretamente o sabor, a estabilidade e a qualidade sensorial da bebida. Além disso, valores muito elevados de acidez fixa podem estar associados a falhas no processo fermentativo ou à contaminação microbiana durante a produção (CARVALHO et al., 2017; MAPA, 2005).

O procedimento para determinação da acidez fixa não envolve uma titulação direta, mas sim um cálculo baseado nos valores previamente obtidos de acidez total e acidez volátil utilizando a Equação 3. Primeiramente, determina-se a acidez total da amostra de cachaça por titulação com solução de hidróxido de sódio $0,1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ (procedimento **ii.a**). Em seguida, procede-se à determinação da acidez volátil (procedimento **ii.b**). A acidez fixa é determinada usando o cálculo por diferença analítica.

Equação 3

Equação por Diferença Analítica.

$$Acidez\ Fixa_{(g\ \acute{a}cido\ \frac{ac\acute{e}tico}{100ml})} = Acidez\ total - Acidez\ Vol\acute{a}til$$

iii. Determinação do Teor Alcoólico

A determinação do teor alcoólico da cachaça foi realizada por medição direta, utilizando-se um alcoômetro, instrumento amplamente empregado na análise de bebidas destiladas, que fornece de forma rápida e confiável a graduação alcoólica expressa em percentual de etanol em volume (v/v) (NASCIMENTO et al., 2018). As análises foram realizadas com a amostra sem redestilação prévia com as amostras puras, cada análise foi realizada em triplicata.

Inicialmente, com leitura simultaneamente da temperatura que estavam a 20°C temperatura padrão segundo a legislação, 200 mL da amostra foram transferidos para uma proveta de vidro limpa e seca. O alcoômetro foi cuidadosamente introduzido na amostra, garantindo a imersão adequada e evitando a formação de bolhas que pudessem interferir na leitura. Após o tempo de estabilização (5min), a graduação alcoólica indicada pelo instrumento foi registrada. (Figura 4)

Figura 4: Medição do teor alcoólico

Fonte: Autoria Própria, 202

iv. **Padronização da cachaça: teste para determinação da quantidade de água necessária para adequação do teor alcoólico das amostras**

Visando ajustar a graduação alcoólica aos limites legais de 38% a 48% v/v (MAPA, 1997), realizou-se a etapa de padronização das amostras após a determinação inicial do teor alcoólico. Este processo consistiu na adição de água destilada, em volumes fundamentados no cálculo de diluição por meio da Equação de Conservação das Massas (Equação 4), conforme metodologia proposta por CARDOSO (2001). A equação baseia-se no princípio de que a quantidade de matéria, ou seja, a massa de etanol puro permanece constante durante a diluição, permitindo o ajuste preciso do volume necessário para atingir o teor alcoólico final desejado

Equação 4

Equação de Conservação das Massas

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2$$

Onde:

- **C₁:** Concentração inicial (teor alcoólico da cachaça pura, ex: 50%).
- **V₁:** Volume inicial da amostra (os 200 mL utilizados).
- **C₂:** Concentração final (o teor alcoólico após adicionar água).
- **V₂:** Volume final da mistura (Volume inicial + Volume de água = 210 ml).

Devido à variação térmica observada após a mistura (estabilizada entre 17 °C e 18 °C), utilizou-se a técnica de alcoometria direta através de um termo-alcoômetro de Gay-Lussac calibrado a 20 °C. Nos casos em que a temperatura da amostra divergiu do padrão (registrando-se entre 17 °C e 18 °C), realizou-se a correção do teor alcoólico aparente para o teor real a 20 °C, utilizando a equação de correção termométrica (Equação 5). Procedeu-se a uma nova determinação do teor alcoólico de acordo com MAPA (BRASIL, 2005).

Equação 5

O Cálculo de Correção

$$Tc = Ta + (20 - t) \times f$$

Onde:

- **Tc:** Teor Alcoólico Corrigido (o valor real a 20 °C).
- **Ta:** Teor Alcoólico Aparente (o valor lido no alcoômetro).
- **t:** Temperatura da amostra no momento da leitura (17 °C ou 18 °C).
- **f:** Fator de correção (para cachaças nessa faixa de graduação, o fator médio é **0,4**)

Simultaneamente, determinou-se a densidade relativa das amostras padronizadas, seguindo os procedimentos de forma indireta utilizando as tabelas alcoométricas oficiais a fim de confirmar a total conformidade da cachaça e sua estabilização física após o ajuste hídrico.

v. Densidade Relativa a 20° C

- Densidade relativa da cachaça padronizada

Para garantir a representatividade dos resultados, as análises foram conduzidas com as amostras em sua forma padronizada (após a diluição com água destilada). Essa etapa é fundamental, visto que a adição de água altera significativamente a densidade do produto e, conseqüentemente, o seu teor alcoólico final, conforme a metodologia descrita por Nóbrega (2003).

A densidade relativa (prel) a 20 °C foi determinada de forma indireta, relacionando o teor alcoólico real corrigido aos valores correspondentes nas tabelas de conversão de soluções hidroalcoólicas (Tabela 1), conforme sugerido por CARDOSO (2006). Esta relação baseia-se na propriedade física de que a densidade de uma mistura hidroalcoólica varia de forma inversamente proporcional ao seu conteúdo de etanol, seguindo a Equação de Correção e a correlação com a massa específica (Equação 6).

Equação 6 **Equação de Correção e a correlação com a massa específica**

$$\rho_{20} = f(GL_{\text{corrigido}})$$

Onde:

- ρ_{20} :Representa a densidade relativa da cachaça a 20 °C.
- $GL_{\text{corrigido}}$: É o teor alcoólico real obtido após a correção da temperatura.
- **f**: Representa a função de conversão estabelecida pelas Tabelas Alcoométricas Oficiais

Tabela 1: Relação entre Densidade Relativa e Teor Alcoólico (% vol.) a 20 °C

Densidade Relativa (prel)	Teor Alcoólico (% vol. ou °GL)
0,9519	38%
0,9500	40%
0,9480	42%
0,9459	44%
0,9437	46%
0,9415	48%

Fonte: BRASIL (2005).

Os dados apresentados na Tabela 1 demonstram que, ao atingir o enquadramento do teor alcoólico dentro dos limites de 38% a 48% v/v, a densidade relativa das amostras estabilizou-se entre 0,9519 e 0,9415. Essa convergência de valores, obtida por meio da correlação oficial do MAPA (BRASIL, 2005), confirma que a padronização hídrica foi eficaz não apenas na correção do álcool, mas também na estabilização física da bebida, garantindo um produto final homogêneo e em total conformidade técnica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização da região e dos engenhos

São Bernardo é uma cidade situada na região nordeste do Maranhão. Com uma população de 28.020 habitantes, segundo estimativa do IBGE em 2022, ela se destaca por sua cultura simples e tradicional, que reflete a vida rural característica da área. A economia da cidade é predominantemente agrícola, com ênfase no cultivo de arroz, milho e feijão. Além disso, São Bernardo também desenvolve atividades na pecuária. A cidade valoriza e preserva suas tradições, incluindo as festividades religiosas que são parte importante da sua identidade local. Os engenhos se localizam na região de São Bernardo. (Figura 5)

Figura 5: Mapa de São Bernardo



Fonte: IBGE <https://geoftp.ibge.gov.br> > A0_2110609_MM

Na região estudada, foram identificados 12 engenhos; entretanto, apenas cinco autorizaram a realização das análises físico-químicas de seus produtos. Para fins de organização e sigilo, os engenhos participantes da pesquisa foram denominados de forma padronizada engenhos 1, 2, 3, 4, 5 (E1, E2, E3, E4 e E5). Na Figura 6 apresenta-se o mapa com a localização dos engenhos. Os povoados possuem características únicas relacionadas à cultura da produção da cachaça artesanal.

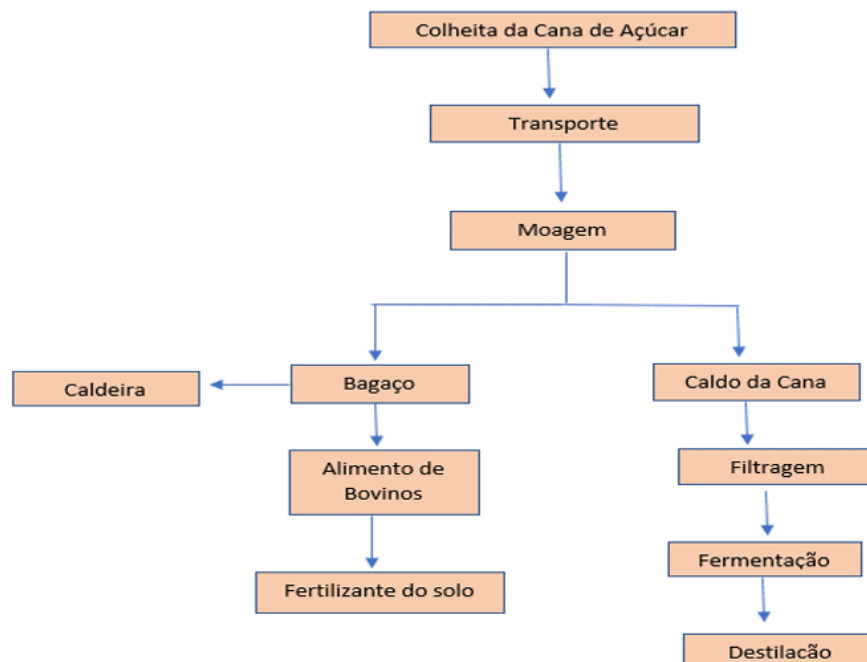
Figura 6: Mapa de localização dos engenhos



Fonte: IBGE <https://geoftp.ibge.gov.br> > A0_2110609_MM

A produção da cachaça ocorre de forma artesanal seguindo, em todos os casos, a mesma cadeia produtiva, conforme Fluxograma da Figura 7, diferenciando-se apenas pelo tipo de alambique empregado em cada engenho.

Figura 7: Fluxograma das etapas de produção da cachaça



Fonte: Autoria Própria

1ª Etapa: Colheita Para determinar se a cana está pronta para a colheita. Os produtores observam a maturidade das folhas da cana, que geralmente ocorre entre doze e dezesseis meses depois do plantio, mas pode variar de acordo com a época que foi plantada e a composição da terra. Também observam sua textura e rigidez, que deve ser espesso e firme.

2ª Etapa: Moagem da cana após a colheita que é feita de forma manual, realizam a raspagem para retirada das folhas, a cana é transportada com auxílio de animais bovinos, para moenda para extrair o caldo da cana, a moenda é um equipamento usado em usinas de etanol e açúcar para esmagar a cana e fazer a extração do caldo. Após esse processo, o bagaço e o caldo são separados e o produto é filtrado para ser levado para fermentação, o bagaço é separado pra ser reutilizado servindo como alimento de animais ou para fertilização do solo.

3ª Etapa: O caldo é colocado nos tanques de fermentação, onde permanece por 6 meses, até atingir o ponto exato para ser levado à destilação. Na produção de cachaça artesanal, os produtores utilizam fubá ou a própria massa resultante do caldo da cana para auxiliar na fermentação

4º Etapa: Destilação durante essa etapa, os produtores utilizam alambiques de diferentes tamanhos, formatos, materiais para destilar o caldo da cana. O aquecimento do alambique é feito com madeira ou até mesmo com o próprio bagaço da cana-de-açúcar. Na destilação artesanal, o alambique de cobre é o mais utilizado, mas alguns dos engenhos mencionados no trabalho possuem alambiques de inox para produção da cachaça.

Observou-se que os cinco engenhos seguem o mesmo conjunto de etapas no processo produtivo da cachaça artesanal e adotam formas semelhantes de avaliação da sua qualidade. A Figura 8 ilustra o método tradicional utilizado pelos produtores para avaliar a qualidade da cachaça artesanal, baseado na observação das bolhas formadas na superfície do líquido após a agitação da bebida, essa prática é conhecida localmente como visualização do ‘caroço’. Segundo relatos dos produtores, à medida que é feita a agitação do líquido no recipiente a formação do caroço indica que a cachaça está própria para consumo. A não observância do caroço indica que a cachaça não está com a qualidade adequada.

Figura 8: Presença do caroço



Fonte: Autoria própria, 2026

A destilação da cachaça artesanal nesses engenhos emprega diferentes tipos de alambiques, com destaque para os fabricados em cobre e em aço inoxidável. O material utilizado exerce influência sobre as características físico-químicas e sensoriais do destilado, uma vez que o contato da bebida com a superfície metálica durante a destilação pode provocar modificações em sua composição final (CARDELLO; FARIA, 2000).

Para a realização das análises, foram coletadas amostras de cachaça nos cinco engenhos cujos alambiques são constituídos de cobre e aço inox conforme Tabela 2.

Tabela 2: Diferentes Alambiques

Engenho 1	Alambique de cobre
Engenho 2	Alambique de inox
Engenho 3	Alambique de inox
Engenho 4	Alambique de cobre
Engenho 5	Alambique de aço inox

Fonte: Aatoria Própria

4.2 Análises Físico-químicas das Amostras de Cachaça

A caracterização físico-química de bebidas destiladas constitui uma etapa fundamental para a avaliação da qualidade, identidade e conformidade com os padrões legais estabelecidos. Nesse contexto, este capítulo apresenta os resultados das análises físico-químicas das cachaças artesanais.

De acordo com a literatura, parâmetros como teor alcoólico e densidade relativa não apresentam variações significativas em função do material do alambique, estando mais relacionados às condições de fermentação e à etapa de padronização por adição de água destilada (CARDOSO, 2006). Ainda assim, a maior eficiência de troca térmica do cobre pode contribuir para uma separação mais eficiente das frações da destilação, resultando em pequenas diferenças entre os destilados.

No que se refere à acidez, observa-se que cachaças produzidas em alambiques de cobre tendem a apresentar menores valores de acidez total quando comparadas às obtidas em aço inoxidável. Esse comportamento está associado à ação catalítica do cobre, que favorece a degradação de compostos ácidos durante o processo de destilação (NÓBREGA; OLIVEIRA, 2006).

A acidez volátil, composta principalmente pelo ácido acético, também costuma ser mais bem controlada em alambiques de cobre, em razão da maior remoção de substâncias indesejáveis. Em contrapartida, a acidez fixa pode apresentar valores mais elevados em destilados produzidos em alambiques de aço inox, indicando maior permanência de ácidos não voláteis, como os ácidos láctico e succínico (CARVALHO ET AL., 2017).

Quanto ao extrato seco, valores inferiores são geralmente observados em cachaças destiladas em cobre, o que sugere maior eficiência na eliminação de compostos residuais. Já o uso de alambiques de aço inox, por não apresentar efeito catalítico, pode resultar em maior concentração de resíduos fixos, refletindo diretamente na qualidade química e sensorial da bebida (LIMA ET AL., 2009).

Diante disso, as análises realizadas contemplaram os parâmetros de extrato seco, acidez total, acidez volátil, acidez fixa, teor alcoólico e densidade relativa, os quais são amplamente reconhecidos como indicadores essenciais da qualidade da cachaça. Esses parâmetros influenciam diretamente as características sensoriais, a estabilidade do produto e sua adequação aos limites estabelecidos pela legislação brasileira vigente. De acordo com 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.

A avaliação desses parâmetros contribui para o diagnóstico do nível de padronização e controle do processo produtivo local. Assim, os resultados apresentados a seguir fornecem subsídios importantes para a compreensão da qualidade das cachaças produzidas em São Bernardo-MA, bem como para o fortalecimento da produção regional.

4.2.1 Determinação Extrato seco da cachaça

O extrato seco é um parâmetro físico-químico importante na avaliação da qualidade da cachaça, pois representa um conjunto de substâncias não voláteis dissolvidas na bebida, como sais minerais, açúcares residuais e compostos orgânicos provenientes da matéria-prima e do processo produtivo. Sua determinação auxilia na identificação de possíveis adições indevidas e na verificação da autenticidade do produto. Valores elevados de extrato seco podem indicar alterações no processo de fermentação, destilação ou armazenamento da bebida. Assim, a análise desse parâmetro contribui para o controle de qualidade e para a conformidade com os padrões estabelecidos pela legislação brasileira (BRASIL, 2005; VENTURINI FILHO, 2010).

Embora alguns trabalhos técnico-científicos mencionem valores de referência para o teor de extrato seco, como 0,6 g/100 mL (equivalente a 6,0 g/L), a legislação brasileira vigente, expressa no Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade da Aguardente de Cana e da Cachaça, não estabelece limite máximo ou mínimo obrigatório para esse parâmetro na cachaça. Dessa forma, o extrato seco é empregado como indicador complementar da composição não volátil da bebida, contribuindo para a caracterização físico-química do produto, sem caráter eliminatório do ponto de vista legal.

Nesse contexto, os valores de extrato seco obtidos neste estudo situam-se muito abaixo do valor de referência de 0,6 g/100 mL citado por alguns autores, não indicando adição indevida de substâncias, nem falhas significativas no processo produtivo. Assim, os resultados refletem características inerentes aos diferentes engenhos artesanais avaliados, associadas à matéria-prima, à condução da fermentação e à etapa de destilação, estando em consonância com as recomendações técnicas e com os princípios analíticos preconizados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

Assim, os valores de extrato seco obtidos nas amostras analisadas foram comparados com o padrão legal vigente, permitindo avaliar a conformidade das cachaças produzidas na região de São Bernardo–MA quanto a esse parâmetro físico-químico (BRASIL, 2005). As análises foram realizadas em triplicata conforme metodologia descrita na seção i., Foram realizados cálculos da média, desvio padrão e intervalo de confiança com o objetivo de assegurar maior confiabilidade aos resultados. Foram coletadas cinco amostras nos diferentes engenhos para essa análise. Os resultados são mostrados na Tabela 3.

Tabela3: Determinação do extrato seco (g/100mL)

Engenho	Tipo	Valor 1 (g)	Valor 2 (g)	Valor 3 (g)	Média (g)	s (g)	s ² (g ²)	u = s/√n (g)	IC95% (g)
Engenho 1	Cápsulas	70.4548	59.2300	58.3793	62.6880	6.4915	42.1415	3.7475	46.5345 — 78.8415
Engenho 1	Extrato seco	71.4150	60.2068	59.2131	63.6116	6.4452	41.5411	3.7203	47.6014 — 79.6219
Es ₁ = m ₁ - m ₀		0,9602	0,9786	0,9236	0,9541	0,0280	0,0008	0,0162	0,8844 — 1,0238

Engenho 2	Cápsulas	54.4551	60.1526	57.9323	57.5133	2.8718	8.2470	1.6580	50.3795 — 64.6472
Engenho 2	Extrato seco	55.4002	61.1361	58.1121	58.2161	2.8694	8.2333	1.6566	51.0882 — 65.3440
Es₂ = m₁ - m₀		0,9451	0,9835	0,1798	0,7028	0,2119	0,0449	0,1223	0,3159 —1,3691
Engenho 3	Cápsulas	71.3837	66.8670	63.6745	67.3084	3.8735	15.0040	2.2364	57.6861 — 76.9307
Engenho 3	Extrato seco	72.6311	67.8771	64.9126	68.4736	3.8937	15.1607	2.2480	58.8012 — 78.1460
Es₃ = m₁ - m₀		1,2474	1,0101	1,2381	1,3691	0,1344	0,0181	0,0776	0,8315 —1,4989
Engenho 4	Cápsulas	58.3463	57.9209	59.1952	58.4875	0.6488	0.4209	0.3746	56.8758 — 60.0991
Engenho 4	Extrato seco	59.2161	58.9123	60.0124	59.7136	1.1350	1.2882	0.6553	56.8941 — 62.5331
Es₄ = m₁ - m₀		0,8698	0,9914	0,8172	0,8928	0,0893	0,0080	0,0516	0,6706 — 1,1150
Engenho 5	Cápsulas	54.2808	60.1493	70.4559	61.6287	8.1884	67.0499	4.7276	41.2876 — 81.9698
Engenho 5	Extrato seco	55.5101	61.1491	71.0211	60.5601	7.8512	61.6410	4.5329	43.0567 — 82.0635
Es₅ = m₁ - m₀		1,2293	0,9998	0,5652	0,9314	0,3373	0,1138	0,1947	0,0937— 1,7691

Fonte: Autoria própria, 2026

Os resultados obtidos evidenciaram variações entre os engenhos analisados, comportamento esperado em sistemas de produção artesanal, nos quais fatores como matéria-prima, condução da fermentação, tipo de destilador e controle operacional influenciam diretamente a composição química da bebida. O Engenho 1 apresentou valores médios de extrato seco com baixa dispersão entre as triplicatas, indicando boa repetibilidade analítica e maior uniformidade do processo produtivo, o que sugere estabilidade na composição dos compostos não voláteis.

O Engenho 2 apresentou maior variabilidade entre os resultados, com valores médios inferiores em relação aos demais engenhos. Essa dispersão pode estar relacionada a oscilações no processo fermentativo ou à maior perda de compostos fixos durante a destilação, fenômeno já descrito na literatura para produções com menor padronização tecnológica (NÓBREGA,

2003). Ainda assim, os valores obtidos encontram-se dentro da faixa normalmente observada para cachaças artesanais, não caracterizando qualquer inadequação do ponto de vista legal.

O Engenho 3 apresentou resultados mais homogêneos, com médias intermediárias e menor dispersão entre as repetições, sugerindo maior estabilidade da fração não volátil e melhor controle do processo produtivo. Em contraste, o Engenho 4 apresentou os maiores valores médios de extrato seco, o que pode estar associado à maior concentração de compostos fixos, como sais minerais e substâncias oriundas do metabolismo fermentativo, conforme descrito por CARDOSO (2001). Esse comportamento indica um perfil químico mais concentrado, comum em determinadas cachaças artesanais, não sendo interpretado como indicativo de não conformidade.

O Engenho 5 apresentou valores médios intermediários, porém com maior dispersão entre as triplicatas, sugerindo possível instabilidade no processo produtivo. Apesar disso, os resultados permanecem compatíveis com aqueles descritos na literatura especializada, reforçando que a variabilidade observada reflete características intrínsecas da produção artesanal (LIMA et al., 2006).

De modo geral, os valores de extrato seco obtidos para todos os engenhos analisados estão em consonância com a legislação do MAPA, uma vez que não existe limite regulamentado para esse parâmetro e os resultados são coerentes com dados reportados em estudos técnico-científicos sobre cachaça artesanal (BRASIL, 2005; BRASIL, 2009). As diferenças observadas reforçam a influência do processo produtivo sobre a composição não volátil da bebida e evidenciam a importância do controle analítico como ferramenta de caracterização e garantia da qualidade.

Quanto à metodologia empregada, a técnica utilizada mostrou-se adequada, coerente e confiável para a determinação do extrato seco, apresentando boa repetibilidade na maioria das amostras e intervalos de confiança compatíveis com a precisão esperada para análises físico-químicas. Dessa forma, pode-se afirmar que o método analítico adotado é apropriado para a avaliação do extrato seco em cachaças artesanais, atendendo às recomendações técnicas e aos princípios analíticos preconizados pelo MAPA.

4.2.2 Determinação da Acidez Total, Volátil e Fixa

i. Acidez total

A acidez total é um dos parâmetros físico-químicos mais importante para a caracterização da cachaça, pois reflete diretamente as condições de higiene e o controle do

processo fermentativo. Conforme a metodologia descrita na seção **ii**, a determinação foi realizada por meio da titulação de neutralização, utilizando uma solução padronizada de Hidróxido de Sódio (NaOH), o que permitiu quantificar o teor de ácidos orgânicos presentes nas amostras dos diferentes engenhos.

De acordo com a legislação brasileira vigente, não há um limite máximo ou mínimo estabelecido para a acidez total da cachaça. A Instrução Normativa nº 13, de 29 de junho de 2005, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), que dispõe sobre o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade da Cachaça e da Aguardente de Cana, estabelece parâmetros físico-químicos obrigatórios para o produto, incluindo teor alcoólico, acidez volátil, ésteres, aldeídos, furfural, entre outros compostos. No entanto, a acidez total não é contemplada como parâmetro legal de conformidade, sendo utilizada apenas como um indicador complementar da qualidade e das condições do processo fermentativo (BRASIL, 2005).

Dessa forma, a determinação da acidez total não tem finalidade de enquadramento legal, mas permite avaliar aspectos relacionados ao controle do processo produtivo, à estabilidade do produto e às possíveis variações entre diferentes métodos de produção artesanal. Os resultados foram obtidos nas análises em triplicata para cada engenho, bem como o tratamento estatístico dos dados, estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Acidez Total Desvio padrão

(Engenho)	Acidez Total Média (mg/100 mL)	Desvio Padrão	Variância	Erro Padrão	IC (95%)
Engenho 1	96,8	2,77	7,68	1,60	3,13
Engenho 2	114,4	1,38	1,92	0,80	1,57
Engenho 3	248,8	2,77	7,68	1,60	3,13
Engenho 4	96,8	1,38	1,92	0,80	1,57
Engenho 5	88,0	4,94	24,96	2,85	5,59

Fonte: Autoria própria, 2026

Os resultados apresentados indicam variação nos valores médios de acidez total entre os engenhos analisados. Observa-se que o Engenho 3 apresentou a maior acidez total média (248,8 mg/100 mL), destacando-se de forma significativa em relação aos demais, o que pode estar associado a diferenças no processo de fermentação, tempo de estocagem ou condições higiênico-sanitárias durante a produção.

Os Engenhos 1 e 4 apresentaram valores médios idênticos de acidez total (96,8 mg/100 mL), com baixos desvios padrão e variâncias reduzidas, indicando boa repetibilidade e maior controle do processo produtivo. De forma semelhante, o Engenho 2 apresentou acidez total média intermediária (114,4 mg/100 mL), associada a baixa dispersão dos dados, o que reforça a estabilidade do processo.

Já o Engenho 5 apresentou o menor valor médio de acidez total (88,0 mg/100 mL), porém com o maior desvio padrão, variância e erro padrão, indicando maior variabilidade entre as amostras analisadas, o que pode sugerir oscilações no processo fermentativo ou falta de padronização durante a produção.

Os intervalos de confiança (IC 95%) relativamente estreitos para a maioria dos engenhos indicam boa precisão analítica, reforçando a confiabilidade dos resultados obtidos.

De modo geral, embora não exista um parâmetro legal para acidez total, os resultados permitem inferir que há diferenças significativas entre os engenhos, refletindo particularidades nos métodos de produção. A análise estatística contribui para a compreensão da qualidade e consistência do produto, sendo um importante indicador do controle do processo produtivo nos engenhos artesanais avaliados.

ii. Acidez volátil

A determinação da acidez volátil é considerada uma das análises mais importantes para o controle de qualidade da cachaça, pois atua como um termômetro da higiene no engenho. Enquanto a acidez total engloba todos os compostos ácidos da bebida, a fração volátil é composta majoritariamente pelo ácido acético, produto de fermentações secundárias indesejáveis. Segundo CARDOSO (2001), níveis elevados de acidez volátil conferem à bebida um odor e sabor agressivos, característicos de vinagre, o que deprecia o valor comercial do produto.

O método empregado nesta pesquisa seguiu o rigor das normas do Instituto ADOLFO LUTZ (2008), exigindo a redistilação prévia da amostra por arrasto de vapor. Este procedimento é essencial para separar os ácidos voláteis da matriz complexa da cachaça, evitando que outros componentes interfiram na titulação final com NaOH. Como destaca CARVALHO et al. (2017), a precisão nesta etapa de destilação é o que garante que o resultado reflita fielmente o estado de conservação da bebida.

É importante ressaltar que a Instrução Normativa nº 13/2005 do MAPA estabelece o padrão legal de identidade e qualidade, fixando o limite máximo de 150 mg de ácido acético por 100 mL para a acidez volátil. Este parâmetro é rigorosamente fiscalizado, pois valores acima do permitido indicam falhas graves no manejo da matéria-prima ou contaminação bacteriana durante a etapa de fermentação.

Os dados obtidos através das triplicatas e o tratamento estatístico detalhado encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5: Acidez Volátil Desvio Padrão

(Engenho)	Acidez Volátil Média (mg/100 mL)	Desvio Padrão	Variância (s²)	Erro Padrão (u)	IC (95%)	Situação (Limite 150)
Engenho 1	23,6	0,69	0,48	0,40	0,78	Conforme
Engenho 2	14,0	1,83	3,36	1,06	2,07	Conforme
Engenho 3	71,2	1,83	3,36	1,06	2,07	Conforme
Engenho 4	24,0	1,20	1,44	0,69	1,36	Conforme
Engenho 5	25,6	1,39	1,92	0,80	1,57	Conforme

Fonte: Autoria própria, 2026

A análise da acidez volátil é um dos indicadores mais sensíveis para avaliar a qualidade sanitária de uma cachaça, pois níveis elevados indicam a oxidação do etanol em ácido acético por bactérias acéticas. Conforme os resultados detalhados na Tabela 5, todas as amostras analisadas (100% dos engenhos) encontram-se em conformidade com o limite máximo de 150 mg/100 mL de álcool anidro estabelecido pela Instrução Normativa nº 13/2005 do MAPA.

Diferente do observado na acidez total, onde o Engenho 3 apresentou acidez volátil de 71,2 mg/100 mL. Esta discrepância revela que o excesso de acidez naquela amostra não é proveniente de compostos voláteis (como o vinagre), mas sim de ácidos fixos que permanecem no alambique durante a destilação, o que pode estar relacionado à composição mineral da cana ou ao uso de fermentos específicos.

Os Engenhos 1, 2, 4 e 5 apresentaram resultados variando entre 14,0 e 25,6 mg/100 mL, valores considerados baixos e que indicam um excelente controle do processo fermentativo e higiene no manejo do mosto. O Engenho 2, especificamente, obteve o menor índice (14,0 mg/100 mL), sugerindo que a redestilação descrita na seção **iii** removeu eficientemente os interferentes, permitindo uma leitura precisa da qualidade da bebida.

Do ponto de vista estatístico, o baixo desvio padrão observado nas triplicatas reforça a confiabilidade da metodologia oficial do Instituto ADOLFO LUTZ (2008) adotada nesta pesquisa. A variância ligeiramente maior no Engenho 2 (3,36), apesar de ainda muito pequena, reflete as variações inerentes ao processo de produção artesanal, sem comprometer a segurança ou o padrão de identidade do produto final.

iii. Acidez fixa

A acidez fixa é composta pelo conjunto de ácidos orgânicos não voláteis presentes na cachaça, como os ácidos tartárico, málico, cítrico e succínico. Diferente da acidez volátil, que é formada majoritariamente durante a fermentação por vias secundárias ou contaminações, a acidez fixa provém essencialmente da própria matéria-prima (cana-de-açúcar) e não é arrastada pelo vapor de água durante o processo de destilação no alambique.

Segundo CARDOSO (2001), embora não existam limites legais isolados para este parâmetro, a acidez fixa exerce um papel fundamental no equilíbrio sensorial da bebida, contribuindo para a sua estrutura e persistência no paladar. Metodologicamente, este índice é obtido por meio da diferença matemática entre a acidez total e a acidez volátil, refletindo a proporção de ácidos estáveis que permanecem na amostra após a redestilação descrita na seção **iv.**

A quantificação da fração fixa é essencial para interpretar resultados de acidez total que extrapolam os limites da legislação. Como aponta NÓBREGA et al. (2016), uma cachaça com alta acidez total, mas baixa acidez volátil, indica que o produto possui uma carga elevada de ácidos naturais da cana ou do solo, e não necessariamente um defeito de fabricação decorrente de falta de higiene.

Os resultados da acidez fixa calculados para os cinco engenhos são apresentados de forma comparativa na Tabela 6.

Tabela6: Resultados da Acidez Fixa

(Engenho)	Acidez Total (A)	Acidez Volátil (B)	Acidez Fixa (A - B)	de Acidez Fixa %
Engenho 1	96,8	23,6	73,2	75,6%
Engenho 2	114,4	14,0	100,4	87,7%
Engenho 3	248,8	71,2	177,6	71,4%
Engenho 4	96,8	24,0	72,8	75,2%
Engenho 5	88,0	25,6	62,4	70,9%

Fonte: Autoria própria, 2026

A análise da acidez fixa revela a complexidade da matriz ácida das amostras, demonstrando que a maior parte da acidez total das cachaças analisadas não provém de processos de deterioração, mas sim da composição intrínseca da matéria-prima. Conforme observado na Tabela 6, a acidez fixa representa entre 70,9% e 87,7% da acidez total em todos os engenhos, o que é um indicativo de que os produtores estão conseguindo preservar os ácidos orgânicos naturais da cana durante a destilação.

No caso específico do Engenho 3, que apresentou a maior acidez fixa (177,6 mg/100 mL), o resultado explica o valor encontrado na acidez total. Segundo CARDOSO (2001), a presença elevada de ácidos fixos pode ser atribuída ao uso de cana-de-açúcar com alto grau de maturação ou a um processo de destilação que permite o arraste excessivo de componentes do fundo do alambique. Embora esses valores elevados da acidez total ele não caracteriza uma falha sanitária, uma vez que a acidez volátil (vinagre) da mesma amostra permaneceu dentro dos padrões legais.

Por outro lado, o Engenho 2 destacou-se com o maior percentual de acidez fixa (87,7%), o que, de acordo com NÓBREGA et al. (2016), sugere uma bebida com perfil sensorial mais equilibrado e menor percepção de "queimação" alcoólica, visto que os ácidos fixos tendem a suavizar o impacto do etanol no paladar. Para os Engenhos 1, 4 e 5, os valores de acidez fixa (entre 62,4 e 73,2 mg/100 mL) demonstram uma padronização satisfatória para produções artesanais, mantendo a bebida dentro de uma faixa de pH adequada para a conservação e estabilidade química.

Em suma, a predominância da fração fixa sobre a volátil em todas as unidades produtoras confirma a viabilidade técnica do manejo regional. A utilização da metodologia de diferença entre as acidez, conforme recomendado pelo Instituto ADOLFO LUTZ (2008), permitiu distinguir claramente que o excesso de acidez no Engenho 3 é uma característica estrutural e não um subproduto de contaminações acéticas indesejadas.

4.2.3 Determinação do Teor Alcoólico

O teor alcoólico é um dos principais parâmetros de identidade da cachaça, refletindo diretamente o controle do processo de destilação e a eficiência da separação das frações. De acordo com a legislação brasileira, a cachaça deve apresentar uma graduação alcoólica entre

38% e 48% (v/v) a 20 °C. Valores fora dessa faixa caracterizam desconformidade com o padrão legal, o que compromete a qualidade sensorial e inviabiliza a comercialização formal do produto.

É importante destacar que as amostras analisadas neste estudo consistem em cachaças puras, coletadas diretamente do alambique sem a etapa prévia de diluição ou padronização. Assim, os resultados obtidos (Tabela 7) foram comparados com os limites estabelecidos pelo MAPA (BRASIL, 2005) para verificar a adequação das cachaças produzidas em São Bernardo–MA como descrito na metodologia seção **iii** e determinar a necessidade de intervenções técnicas posteriores, como a adição de água destilada para o ajuste do teor alcoólico final.

Tabela7: Teor Alcoólico

Engenho	Teor Alcoólico Médio (% v/v)	Desvio Padrão	Erro Padrão	IC 95%	Situação (Limite 38-48%)
Engenho 1	51,33%	0,58	0,33	[49,90; 52,77]	Fora do Padrão
Engenho 2	48,33%	0,58	0,33	[46,90; 49,77]	Próximo ao Limite
Engenho 3	52,67%	0,58	0,33	[51,23; 54,10]	Fora do Padrão
Engenho 4	49,33%	0,58	0,33	[47,90; 50,77]	Fora do Padrão
Engenho 5	49,33%	0,58	0,33	[47,90; 50,77]	Fora do Padrão

Fonte: Autoria própria, 2026

Ao comparar esses resultados com a Instrução Normativa nº 13/2005 do MAPA, que estabelece o intervalo permitido entre 38% e 48% (v/v) a 20 °C, verifica-se que 80% das unidades produtoras analisadas (Engenhos 1, 3, 4 e 5) estão operando acima do limite legal. O Engenho 3 apresentou o maior desvio, com 52,67% (v/v), enquanto o Engenho 2 foi a unidade que mais se aproximou da conformidade, apresentando 48,33% (v/v).

Esta elevação generalizada no teor alcoólico pode ser explicada pelo fato de se tratar de cachaças artesanais obtidas diretamente do alambique, mantendo-se em sua forma pura, sem a adição de água ou qualquer tipo de diluente após a destilação. Como ressaltam CARDOSO (2001) e VENTURINI FILHO (2015), a cachaça artesanal tende a apresentar maior graduação alcoólica justamente pela ausência de processos de padronização imediatos, refletindo as condições reais de fermentação e o ponto de corte das frações.

Diante do diagnóstico de desconformidade legal, ressalta-se a importância da etapa de padronização, que consiste na adição calculada de água destilada ou desmineralizada para ajustar a bebida aos limites exigidos pela legislação. Esse procedimento, a ser realizado

futuramente nas amostras analisadas, é essencial não apenas para o enquadramento jurídico do produto perante o MAPA, mas também para garantir a estabilidade sensorial e a segurança do consumidor, adequando o produto para a comercialização formal.

Estatisticamente, a consistência dos dados é confirmada pelos baixos valores de Desvio Padrão (0,577) em todas as amostras, indicando que a medição direta com o alcoômetro conforme (Nascimento et al., 2018) forneceu resultados precisos sobre a realidade produtiva desses engenhos.

4.2.4 Padronização da cachaça: Resultado dos testes para Determinação da quantidade de água necessária para adequação do teor alcoólico das amostras.

Após a constatação de que a maioria das amostras de cachaça pura apresentava graduação alcoólica acima do limite máximo de 48% v/v (Tabela 7), tornou-se imperativo realizar a etapa de padronização. Este processo é uma prática técnica fundamental na produção de aguardentes e cachaças de alambique, visando o ajuste do destilado bruto aos Padrões de Identidade e Qualidade (PIQ) exigidos pela Instrução Normativa nº 13/2005 do MAPA.

A metodologia empregada baseou-se em testes experimentais de diluição progressiva, utilizando a adição de água destilada fundamentada na Equação de Conservação das Massas ($C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2$). Segundo CARDOSO (2001), a diluição é o método mais eficaz e seguro para a correção do teor alcoólico, devendo ser realizada de forma controlada para não comprometer as características sensoriais da bebida.

A realização de três testes distintos (com adição de 10 mL, 15 mL e 20 mL de água destilada para cada 200 mL de amostra) teve como objetivo identificar o volume crítico necessário para a regularização legal de todas as unidades produtoras. Como aponta CARDOSO (2001) e VENTURINI FILHO (2015), a ausência de padronização imediata é comum em engenhos artesanais, e a determinação exata da água de diluição permite que o produtor ofereça um produto seguro e em conformidade com a legislação vigente, que estabelece o intervalo de 38% a 48% v/v de etanol a 20 °C.

Teste 1: Adição de 10 mL de água destilada ($V_2 = 210$ mL)

Este teste inicial demonstrou que um volume reduzido de água não é suficiente para a maioria dos engenhos artesanais da região (Tabela 8)

Tabela 8: Adição de 10 mL de água destilada

Engenho	Teor Inicial (C ₁)	Vol. Final (V ₂)	Teor Final (C ₂)	Situação (Limite 38-48%)
Engenho 1	51,33%	210 mL	48,88%	Fora do Limite
Engenho 2	48,33%	210 mL	46,03%	Conforme
Engenho 3	52,67%	210 mL	50,16%	Fora do Limite
Engenho 4	49,33%	210 mL	46,98%	Conforme
Engenho 5	49,33%	210 mL	46,98%	Conforme

Fonte: Autoria própria, 2026

Teste 2: Adição de 15 mL de água destilada (V₂ = 215 mL)

Nesta etapa, observa-se uma melhora significativa, com 80% das amostras atingindo o limite legal, restando apenas o Engenho 3 fora do padrão. (Tabela 9)

Tabela 9: Adição de 15 mL de água destilada

Engenho	Teor Inicial (C ₁)	Vol. Final (V ₂)	Teor Final (C ₂)	Situação (Limite 38-48%)
Engenho 1	51,33%	215 mL	47,75%	Conforme
Engenho 2	48,33%	215 mL	44,96%	Conforme
Engenho 3	52,67%	215 mL	49,00%	Fora do Limite
Engenho 4	49,33%	215 mL	45,89%	Conforme
Engenho 5	49,33%	215 mL	45,89%	Conforme

Fonte: Autoria própria, 2026

Teste 3: Adição de 20 mL de água destilada (V₂ = 220 mL)

Este cenário representa a padronização ideal, onde todas as unidades produtoras foram enquadradas no limite de 38% a 48% v/v. (Tabela 10)

Tabela 10: Adição de 20 mL de água destilada

Engenho	Teor Inicial – C ₁ (% v/v, 20 °C)	Vol. Final (V ₂)	C ₂ lido (% v/v)	Temp. (°C)	C ₂ corrigido (% v/v, 20 °C)	Situação (38–48%)
Engenho 1	51,33	220 mL	46,66	17 ° C	45,76	Conforme
Engenho 2	48,33	220 mL	43,94	18 ° C	43,34	Conforme
Engenho 3	52,67	220 mL	47,88	17 ° C	46,98	Conforme
Engenho 4	49,33	220 mL	44,85	17 ° C	43,95	Conforme
Engenho 5	49,33	220 mL	44,85	18 ° C	44,25	Conforme

Fonte: Autoria própria, 2026

Os dados apresentados demonstram o efeito da adição controlada de água destilada sobre o teor alcoólico das amostras de cachaça provenientes dos diferentes engenhos analisados. Inicialmente, todas as amostras encontravam-se padronizadas à temperatura de 20 °C, condição de referência para a leitura do teor alcoólico. Após a adição de água, observou-se uma redução da temperatura das amostras, variando entre 17 e 18 °C, fenômeno esperado devido ao equilíbrio térmico entre os líquidos e ao próprio manuseio durante o ensaio.

A diminuição da temperatura influenciou diretamente a leitura do teor alcoólico (C2 lido), uma vez que a densidade da solução hidroalcoólica é dependente da temperatura. Por esse motivo, foi necessária a correção do teor alcoólico para 20 °C (C2 corrigido), garantindo maior exatidão e comparabilidade dos resultados.

Após a correção, verificou-se que todas as amostras apresentaram teor alcoólico final entre 43,34 e 46,98 % (v/v), enquadrando-se plenamente no intervalo estabelecido pela legislação brasileira para cachaça, que é de 38 a 48 % (v/v) a 20 °C. Os Engenhos 1 e 3, que apresentavam teores alcoólicos iniciais mais elevados, permaneceram próximos ao limite superior após a diluição, enquanto os Engenhos 2, 4 e 5 apresentaram valores intermediários, demonstrando eficiência no ajuste do teor alcoólico.

A uniformidade do volume final (220 mL) e a conformidade de todas as amostras indicam que o processo de diluição foi realizado de maneira controlada e reprodutível, evidenciando a eficácia do método adotado.

Conforme destacam CARDOSO (2001) e VENTURINI FILHO (2015), o ajuste final por diluição é o que diferencia o destilado bruto da cachaça comercial, sendo essencial para garantir que o consumidor receba um produto com a força alcoólica prometida e segura. O sucesso do teste de 20 mL confirma que a aplicação da Equação de Conservação das Massas é a ferramenta técnica mais eficaz para corrigir a ausência de padronização imediata típica de engenhos de pequeno porte.

Além disso, esse volume final de água preservou a identidade da bebida sem causar uma diluição excessiva que pudesse comprometer os compostos aromáticos (ésteres e aldeídos) presentes na cachaça pura. Portanto, os resultados do Teste 3 (Tabela 10) representam a

configuração ideal para a regularização dos engenhos de São Bernardo–MA, transformando a desconformidade inicial em um produto apto para o mercado formal

4.2.4 Determinação da densidade relativa

Após a etapa de padronização, procedeu-se à determinação da densidade relativa das amostras para verificar o impacto da adição de água nas propriedades físicas da bebida. Para esta análise, foram utilizados exclusivamente os resultados obtidos na Tabela 10 (Teste 3 de padronização com 20 mL), visto que este foi o único cenário que garantiu o enquadramento de 100% das amostras nos limites legais de graduação alcoólica.

A opção por realizar a determinação da densidade relativa (ρ_{20}) por meio de um método indireto baseia-se na propriedade física fundamental de que a massa específica de uma mistura hidroalcoólica varia de forma inversamente proporcional ao seu conteúdo de etanol. Devido à ausência de um densímetro digital ou picnômetro no laboratório, utilizou-se a técnica de conversão fundamentada nas Tabelas Alcoométricas Oficiais (BRASIL, 2005), relacionando o teor alcoólico real corrigido ($^{\circ}\text{GL}$ a 20°C) aos valores correspondentes de densidade.

Esta metodologia, de acordo com NÓBREGA (2003) e CARDOSO (2006), assegura a precisão dos resultados ao eliminar erros de pesagem manual, permitindo que os valores de densidade reflitam com exatidão a nova composição da cachaça após a diluição final. Os dados correlacionados para cada engenho, após a padronização ideal, estão detalhados na Tabela 11.

Tabela 11: Densidade Relativa (ρ_{20}) das Cachaças após Padronização Final (20 mL)

Engenho	Teor Alcoólico Padronizado (20 mL)	Densidade Relativa (ρ_{20})
Engenho 1	45,76%	0,9403
Engenho 2	43,34%	0,9446
Engenho 3	46,98%	0,9382
Engenho 4	43,95%	0,9435
Engenho 5	44,25%	0,9430

Fonte: Autoria própria (2026). Valores obtidos por conversão indireta conforme BRASIL (2005).

Após a padronização do teor alcoólico das amostras a 20°C , procedeu-se à determinação da densidade relativa ($\rho_{(20)}$), parâmetro físico diretamente relacionado à concentração alcoólica da bebida. Conforme observado na Tabela, os valores de densidade relativa variaram entre 0,9382 e 0,9446, apresentando comportamento coerente com os teores alcoólicos previamente padronizados.

O Engenho 3, que apresentou o maior teor alcoólico padronizado (46,98 % v/v), exibiu o menor valor de densidade relativa (0,9382), resultado esperado, uma vez que o etanol possui densidade inferior à da água. Em contrapartida, o Engenho 2, com o menor teor alcoólico (43,34 % v/v), apresentou a maior densidade relativa (0,9446), confirmando a relação inversamente proporcional entre densidade e teor alcoólico.

Os Engenhos 4 e 5 apresentaram valores intermediários tanto de teor alcoólico quanto de densidade relativa, evidenciando consistência entre os parâmetros analisados. Já o Engenho 1, com teor alcoólico de 45,76 % v/v, apresentou densidade relativa compatível (0,9403), reforçando a confiabilidade da padronização realizada anteriormente.

De modo geral, a proximidade dos valores de densidade relativa entre os engenhos indica homogeneidade das amostras após a padronização, além de demonstrar que o procedimento adotado foi eficiente para o ajuste do teor alcoólico. A concordância entre os valores de densidade e teor alcoólico confirma a exatidão das medições e a adequação do método utilizado.

4.2.5 Influência do Material de Destilação nos Parâmetros Físico-Químicos

A análise dos Engenhos 1 e 4, que utilizam alambiques de cobre (Tabela 1), revela um comportamento químico influenciado pela reatividade deste metal. Nestas unidades, a interação do cobre com o destilado atua na regulação de compostos voláteis, porém, a presença de acidez total, volátil e fixa elevada pode favorecer a lixiviação de íons metálicos para a bebida. Segundo CARDOSO (2001), o monitoramento é indispensável pois essa corrosão eleva o extrato seco, podendo comprometer a pureza química.

Quanto ao teor alcoólico inicial, essas amostras apresentaram valores acima do permitido, o que reflete uma destilação que, embora beneficie-se da catálise do cobre para eliminar odores de enxofre, ainda carece de controle volumétrico para atingir a densidade relativa adequada. Como aponta CARDOSO (2006), a densidade é um reflexo direto da mistura hidroalcoólica e, no caso do cobre, a presença de resíduos metálicos no extrato seco pode gerar variações sutis na massa específica da bebida padronizada.

Em contrapartida, os Engenhos 2, 3 e 5 operam com alambiques de aço inoxidável, material reconhecido por sua inércia e resistência à corrosão. Nestas amostras, o extrato seco tende a apresentar valores mais estáveis e baixos, compostos majoritariamente por substâncias orgânicas, uma vez que o inox não sofre ataques da acidez fixa ou volátil. Todavia, por não possuir a função catalítica do cobre, o controle da acidez total depende exclusivamente de um manejo rigoroso durante o corte das frações de destilação para evitar a passagem de ácidos pesados. O Engenho 3, especificamente, demonstrou o maior teor alcoólico inicial (46,98%), o que resulta em uma densidade relativa mais baixa (0,93,82) após a padronização, confirmando a relação física inversamente proporcional entre álcool e densidade. De acordo com NÓBREGA (2003), o aço inox preserva a pureza da mistura hidroalcoólica, garantindo que os parâmetros físicos e químicos sejam um reflexo fiel da fermentação e destilação, sem interferências externas do equipamento.

Ao comparar os dois materiais (Cobre vs Aço Inox), observa-se que, enquanto o cobre é superior na melhoria do perfil sensorial ao reduzir compostos sulfurados, ele apresenta maior vulnerabilidade diante de cachaças com alta acidez, o que impacta o extrato seco. Já o aço inoxidável oferece uma produção quimicamente mais limpa e estável em relação à corrosão, mas exige que o produtor seja mais preciso no controle do teor alcoólico e das frações ácidas. Independentemente do material, a aplicação da Equação de Conservação das Massas proposta por CARDOSO (2001) e a diluição com 20 mL de água destilada mostraram-se fundamentais para uniformizar a densidade relativa e o teor alcoólico de todos os engenhos, garantindo que o produto final esteja em total conformidade com os padrões de identidade e qualidade estabelecidos pela legislação brasileira.

Em conclusão, a caracterização físico-química demonstrou que as cachaças analisadas apresentavam heterogeneidade e desconformidade legal, principalmente quanto ao elevado teor alcoólico. Verificou-se que, embora o material do alambique influencie a composição química, com o cobre atuando na regulação de voláteis e o inox garantindo maior inércia, o manejo da destilação foi o fator determinante para os desvios observados.

A aplicação da Equação de Conservação das Massas de acordo com (CARDOSO, 2001) para a padronização volumétrica foi a intervenção técnica eficaz, permitindo que todas as amostras atingissem o padrão de 38% a 48% v/v após a adição de 20 mL de água destilada. Conseqüentemente, a determinação indireta da densidade relativa por meio das tabelas do MAPA (BRASIL, 2005) validou a relação inversamente proporcional entre álcool e massa

específica defendida por NÓBREGA (2003) e CARDOSO (2006). Em suma, a padronização laboratorial mostrou-se indispensável para transformar o produto artesanal bruto em uma bebida tecnicamente adequada e segura para o mercado formal.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização desta pesquisa permitiu uma análise profunda e integrada da produção de cachaça artesanal no município de São Bernardo Maranhão, cumprindo integralmente o objetivo de avaliar as características físico-químicas do produto e compreender as etapas de produção da cachaça.

Ao longo do estudo, ficou evidente que a cachaça regional é muito mais do que um item comercial; ela representa um pilar fundamental da identidade cultural e da subsistência socioeconômica de diversas famílias. As visitas *in loco* possibilitaram o mapeamento detalhado de cada etapa do processo produtivo, desde o corte manual da cana-de-açúcar até a destilação final, revelando um saber fazer que, embora ancestral, enfrenta desafios significativos para se adequar às exigências normativas contemporâneas.

No que diz respeito à análise laboratorial, os resultados obtidos foram reveladores e atestam o potencial de qualidade da cachaça da região. A determinação de parâmetros como teor alcoólico, acidez volátil, densidade relativa e extrato seco permitiu confrontar a realidade dos engenhos com os padrões estabelecidos pela legislação brasileira. Observou-se que a maioria das amostras analisadas apresenta uma conformidade satisfatória, especialmente no que tange à acidez volátil e ao extrato seco, o que demonstra um cuidado básico rigoroso durante a produção e a ausência de fraudes ou adições indevidas. A conformidade de 100% nas análises de acidez volátil é um indicador técnico fortíssimo de que o manejo sanitário, apesar de rústico, preserva a integridade da bebida contra processos oxidativos indesejados.

Contudo, a pesquisa também identificou pontos de atenção críticos, como o elevado teor alcoólico inicial encontrado em algumas unidades e os picos isolados de acidez total. Estes dados não devem ser vistos como falhas intransponíveis, mas como oportunidades de melhoria técnica. A aplicação da técnica de padronização volumétrica, com a adição precisa de água destilada conforme demonstrado nos cálculos laboratoriais deste trabalho, provou ser o caminho essencial para que o produto artesanal alcance a estabilidade exigida pelo MAPA. A transição do saber empírico, baseado na observação visual e sensorial, para um controle mais rigoroso é o passo necessário para a qualificação definitiva da cachaça de São Bernardo.

Além do aspecto técnico-químico, o estudo ressaltou o papel da produção artesanal na promoção da sustentabilidade ambiental e no fortalecimento da economia local. O

reaproveitamento dos resíduos da cana-de-açúcar, como o bagaço e o vinhoto, para alimentação animal e fertilização do solo, insere os engenhos em um modelo de economia circular que merece ser valorizado e incentivado. Entretanto, o receio dos produtores quanto à formalização e à própria gestão financeira dos empreendimentos evidencia uma lacuna de assistência técnica e de políticas públicas que considerem as especificidades da agricultura familiar e da produção em pequena escala.

Portanto, esta pesquisa conclui que a cachaça artesanal de São Bernardo possui qualidade físico-química competitiva e relevância social inquestionável. Para que este patrimônio se perpetue, é imperativo que o diálogo entre a academia e o campo continue sendo estimulado. A ciência não deve substituir a tradição, mas fornece as ferramentas necessárias para que o produtor local possa garantir a segurança do consumidor e a valorização de seu produto em mercados mais amplos. Espera-se que este diagnóstico técnico sirva de subsídio para futuras ações de extensão tecnológica, auxiliando na padronização dos processos de fermentação e destilação, e consolidando a região como um polo de excelência na produção de cachaça maranhense.

Como continuidade desta pesquisa, recomenda-se a ampliação do número de amostras e de produtores avaliados, abrangendo outros municípios da região, a fim de obter um panorama mais representativo da produção artesanal de cachaça no estado do Maranhão. Sugere-se, ainda, a realização de análises para a investigação da influência dos materiais dos alambiques (cobre e aço inoxidável) na composição química da cachaça, especialmente quanto à formação de compostos voláteis e contaminantes.

REFERÊNCIAS

- BARROS, W. **Cachaça do Brasil: história, produção e mercado**. São Paulo: s.n., s.d.
- BRASIL. **Lei nº 8.918, de 14 de junho de 1994**. Dispõe sobre a padronização, classificação, registro, inspeção e fiscalização de bebidas. *Diário Oficial da União*: Brasília, DF, 15 jun. 1994.
- BRASIL. **Decreto nº 4.062, de 21 de dezembro de 2001**. Define a denominação “cachaça” como indicação geográfica do Brasil. *Diário Oficial da União*: Brasília, DF, 22 dez. 2001.
- BRASIL. **Instrução Normativa nº 13, de 29 de junho de 2005**. Aprova os métodos analíticos oficiais para controle de bebidas e vinagres. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Diário Oficial da União*: Brasília, DF, 30 jun. 2005.
- BRASIL. **Decreto nº 6.871, de 4 de junho de 2009**. Regulamenta a Lei nº 8.918, de 1994. *Diário Oficial da União*: Brasília, DF, 5 jun. 2009.
- BRASIL. **Portaria MAPA nº 539, de 26 de dezembro de 2022**. Estabelece os padrões de identidade e qualidade da cachaça. *Diário Oficial da União*: Brasília, DF, 27 dez. 2022.
- CARDELLO, H. M. A. B.; FARIA, J. B. Influência do material do alambique na qualidade sensorial da cachaça. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, n. 2, p. 247–252, 2000.
- CARDOSO, M. G. **Produção de aguardente de cana-de-açúcar**. Lavras: UFLA, 2001.
- CARDOSO, M. G. **Cachaça: ciência, tecnologia e arte**. Lavras: Editora UFLA, 2006.
- CARDOSO, M. G. **Produção de cachaça de qualidade**. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, 2013.
- CARDOSO, M. G.; VENTURINI FILHO, W. G. **Tecnologia da produção de bebidas alcoólicas**. São Paulo: Blucher, 2015.
- CARVALHO, A. F. et al. Avaliação dos parâmetros físico-químicos de cachaças artesanais. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, Ponta Grossa, v. 11, n. 2, p. 2234–2246, 2017.
- CASCUDO, L. da C. **Prelúdio da cachaça: etnografia, história e sociologia da aguardente no Brasil**. São Paulo: Global, 2006.
- CASCUDO, L. da C. **História da alimentação no Brasil**. 4. ed. São Paulo: Global, 2011.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo: IAL, 2008.
- LIMA, U. A. et al. **Tecnologia das bebidas**. São Paulo: Edgard Blücher, 2009.
- MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. **Cachaça: panorama e perspectivas do setor produtivo**. Brasília: MAPA, 2023.

MENEZES, R. S.; CARDOSO, M. G. Qualidade e segurança da cachaça artesanal. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 50, n. 4, e20190321, 2020.

NASCIMENTO, R. F. et al. Métodos analíticos aplicados à determinação do teor alcoólico em bebidas destiladas. **Química Nova**, São Paulo, v. 41, n. 6, p. 689–696, 2018.

NÓBREGA, I. C. **Análises físico-químicas de bebidas alcoólicas**. João Pessoa: UFPB, 2003.

NÓBREGA, I. C. et al. Avaliação da acidez e do perfil químico de bebidas destiladas artesanais. **Química Nova**, São Paulo, v. 39, n. 4, p. 455–462, 2016.

RAMOS, J. C. **História da cachaça no Brasil: cultura, economia e identidade**. Rio de Janeiro: Appris, 2021.

SEBRAE. **Cadeia produtiva da cachaça artesanal no Maranhão**. São Luís: SEBRAE/MA, 2022.

VENTURINI FILHO, W. G. **Bebidas alcoólicas: ciência e tecnologia**. São Paulo: Blucher, 2010.