

RAYSSA GOMES ALVES

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE ÁLCOOL COMBUSTÍVEL PRODUZIDO
A PARTIR DAS FRAÇÕES DE CABEÇA E CAUDA DE CACHAÇA DE
ALAMBIQUE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Alexandre Fontes Pereira

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2022**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

A474p
2022

Alves, Rayssa Gomes, 1994-
Produção e caracterização de álcool combustível produzido a partir das frações de cabeça e cauda de cachaça de alambique / Rayssa Gomes Alves. – Viçosa, MG, 2022.
1 dissertação eletrônica (87 f.): il. (algumas color.).

Inclui apêndices.

Orientador: Alexandre Fontes Pereira.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Química, 2022.

Referências bibliográficas: f. 76-81.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.014>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Biocombustíveis. 2. Álcool. 3. Destilação - Subprodutos. 4. Estudos de viabilidade. I. Pereira, Alexandre Fontes, 1979-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Química. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. III. Título.

CDD 22. ed. 662.88

RAYSSA GOMES ALVES

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE ÁLCOOL COMBUSTÍVEL PRODUZIDO
A PARTIR DAS FRAÇÕES DE CABEÇA E CAUDA DE CACHAÇA DE
ALAMBIQUE**

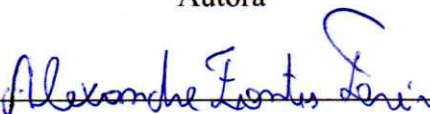
Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 24 de fevereiro de 2022.

Assentimento:



Rayssa Gomes Alves
Autora



Alexandre Fontes Pereira
Orientador

AGRADECIMENTOS

A Deus, por se fazer presente em todos os momentos da minha vida, por me iluminar, abençoar e proteger, me dar forças para lutar e não desistir desse sonho.

Aos meus pais Teodomiro e Marcia pelo amor incondicional, pela educação conferida e pelo incentivo na construção de minha carreira. Ao meu irmão Sebastião Felipe por estar sempre presente.

Ao meu namorado Samuel pelo companheirismo, amor, paciência, cuidado e dedicação. Você tornou tudo mais leve.

Ao meu professor e orientador Alexandre Fontes Pereira, pela oportunidade, confiança, orientação e incentivo que tornaram possível a realização deste trabalho.

Gostaria de agradecer imensamente ao Professor Juarez Silveira por ter me acolhido em seu sítio, fornecido equipamentos e matéria-prima para o desenvolvimento deste projeto.

A família do Gil e da Monica que me receberam de braços abertos no sítio, para realização do meu experimento, tenho um carinho muito grande por vocês.

Aos Professores José Antônio Lafeté e Rita Superbi por aceitarem participar da banca e dispor de valiosas contribuições.

Aos meus familiares, Avós, Tios e Primos que mesmo estando distantes não deixaram de se preocupar comigo e de me apoiar.

Aos novos amigos que conquistei, e aos velhos amigos pela compreensão da minha ausência.

A todos os professores que me compartilharam conhecimento e fizeram com que me tornasse uma pessoa melhor.

Aos técnicos do DEQ/UFV pela ajuda fundamental e disposição para realização do trabalho. Agradecimento especial a equipe do LABBER / UFV, pelo incentivo e companheirismo.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, pelas oportunidades concebidas. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

E, por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão deste trabalho, muito obrigada!

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”. (Marthin Luther King)

RESUMO

ALVES, Rayssa Gomes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2022. **Produção e Caracterização de Álcool Combustível Produzido a Partir das Frações de Cabeça e Cauda de Cachaça de Alambique.** Orientador: Alexandre Fontes Pereira.

A crescente busca por energia limpa faz com que a demanda por combustíveis renováveis aumente nos últimos anos. O álcool é um combustível renovável e possui algumas vantagens em relação aos combustíveis fósseis, como por exemplo, emitir baixos níveis de CO₂ na atmosfera, produzir energia limpa, contribuir para geração de emprego na zona rural acarretando melhoria na economia do país e pode também evitar dependência de países produtores de petróleo, já que o Brasil é um grande produtor da matéria prima utilizada na produção de álcool. O álcool combustível pode ser produzido por meio de diversas fontes que contenham açúcares disponíveis para fermentação, como: cana-de-açúcar, milho, beterraba, trigo, entre outras fontes. Outra forma de produzir o álcool combustível é a partir dos subprodutos da fabricação da cachaça, utilizando a cabeça e a cauda, que correspondem a 20% do destilado. Esse novo produto é denominado como álcool combustível de fazenda. O objetivo deste trabalho foi produzir álcool combustível utilizando como matéria-prima os subprodutos da produção de cachaça. Para isso os subprodutos da fabricação da cachaça foram levados para uma coluna de retificação, esses foram destilados até obtenção de álcool combustível hidratado, controlando temperatura no deflegmador a fim de obter destilado com teor alcoólico elevado. Foram realizadas as análises de controle de qualidade indicadas pela ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) nº 764 / 2018 para assegurar a qualidade dos combustíveis, as análises realizadas foram: aspecto, cor, pH, massa específica, teor alcoólico, índice de acidez total e acidez volátil, resíduo por evaporação, teor de hidrocarbonetos, teor de sódio e a cromatografia gasosa. Realizou-se a caracterização físico-química do produto, e foi comparada ao álcool comercializado em postos de combustíveis e ao álcool produzido em uma cachaçaria. A partir da caracterização do álcool combustível produzido verificou-se que este apresentou as principais características dentro do exigido pela legislação para ser utilizado como álcool combustível. Após realizar a análise econômica, foi verificado que a produção de álcool combustível a partir do subproduto da produção de cachaça é altamente viável, pois possui TIR (taxa interna de retorno) de 49,86%, indicando alta lucratividade do projeto, devido ao fato da matéria-prima utilizada não possuir custo, pois esta seria descartada.

Palavras-chave: Biocombustível. Álcool de fazenda. Subproduto. Viabilidade econômica.

ABSTRACT

ALVES, Rayssa Gomes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2022. **Production and Characterization of Fuel Alcohol Produced from the Head and Tail Fractions of Alemstilled Cachaça.** Adviser: Alexandre Fontes Pereira.

The growing search for clean energy causes demand for renewable fuels to increase in recent years. Alcohol is a renewable fuel and has some advantages over fossil fuels such as, for example, emitting low levels of CO₂ in the atmosphere, producing clean energy, contributing to the generation of jobs in the rural area, leading to the improvement of the country's economy and it can also avoid dependence on oil-producing countries as Brazil is a major producer of the raw material used. Combustible alcohol can be produced through several sources containing sugars available for fermentation, such as: sugarcane, corn, beets, wheat, among other sources. Another way to produce combustible alcohol is from the by-products of cachaça manufacturing, using the head and tail, which correspond to 20% of the distillate. This new product is termed as farm fuel alcohol. The objective of this work was to produce fuel alcohol using as raw material the by-products of cachaça production. For this, the by-products of cachaça manufacturing were taken to the grinding column, these were distilled until obtaining hydrated fuel alcohol, controlling temperature in the deflegmador in order to obtain distillate with high alcohol content. The quality control analyses indicated by the ANP (National Agency of Petroleum, Natural Gas and Biofuels) no. 764 / 2018 were carried out to ensure the quality of fuels, the analyses performed were: aspect, color, pH, specific mass, alcohol content, total acidity index and volatile acidity, residue by evaporation, hydrocarbon content, sodium content and gas chromatography. The physicochemical characterization of the product was performed and was compared to the alcohol sold in gas stations and to the alcohol produced in a cachaçaria. From the characterization of the fuel alcohol produced it was verified that it presented the main characteristics within the required by the legislation to be used as fuel alcohol. After performing the economic analysis, it was verified that the production of combustible alcohol from the by-product of cachaça production is highly feasible, because it has IRR (internal rate of return) of 49.86%, indicating high profitability of the project, due to the fact that the raw material used has no cost, because it would be discarded.

Keywords: Biofuel. Farm alcohol. By-product. Economic viability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Gráfico comparativo da produtividade de cana por região.....	14
Figura 2 - Registro da quantidade de destilaria artesanal nos estados de destaque.....	15
Figura 3- Linha do tempo com as principais fases do álcool combustível.....	16
Figura 4- Fluxograma da produção de cachaça e álcool de fazenda.....	20
Figura 5- Esquema de coluna de destilação.....	24
Figura 6- Processo de fabricação da cachaça.....	27
Figura 7- Moinho elétrico utilizado para extrair o caldo da cana de açúcar.....	28
Figura 8- Dornas de fermentação.....	29
Figura 9- Alambique de inox 300L utilizado na destilação da cachaça.....	30
Figura 10- Coluna de retificação utilizada na produção do álcool combustível.....	33
Figura 11- Painel da Coluna de retificação.....	34
Figura 12- Sistema de esgotamento por bomba de vácuo.....	34
Figura 13- Realização de pH das amostras.....	36
Figura 14- Titulação de Acidez Total.....	38
Figura 15- Banho evaporador para análise de resíduo das amostras.....	39
Figura 16- Espectrômetro de absorção atômica.....	40
Figura 17- Análise de hidrocarbonetos.....	41
Figura 18- Determinador de Acidez Volátil.....	44
Figura 19- Gráfico da Variação do teor de sólidos solúveis no tempo de fermentação na dorna 1.....	49
Figura 20- Gráfico da Variação do teor de sólidos solúveis no tempo de fermentação na dorna 2.....	49
Figura 21 - Teor alcoólico do destilado da Dorna 1.....	50
Figura 22 - Teor alcoólico do destilado da Dorna 2.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Propriedades do Álcool.....	17
Tabela 2 - Parâmetros do álcool hidratado combustível.....	18
Tabela 3- Condições Operacionais da Etapa de Fermentação.....	22
Tabela 4- Teor de hidrocarboneto na amostra.....	42
Tabela 5 - Tempo de retenção dos compostos quantificados nas amostras.....	43
Tabela 6 - Dados da preparação das dornas de fermentação.....	48
Tabela 7 - Rendimento dornas de fermentação.....	51
Tabela 8- Parâmetros analisados durante a 1ª destilação do subproduto.....	52
Tabela 9- Acompanhamento da 1ª destilação do subproduto.....	53
Tabela 10- Parâmetros analisados durante a 2ª destilação do subproduto.....	55
Tabela 11- Parâmetros analisados na 2ª destilação do subproduto.....	56
Tabela 12- Parâmetros analisados durante a 3ª destilação do subproduto.....	58
Tabela 13- Parâmetros analisados na 3ª destilação do subproduto.....	59
Tabela 14- Resultados da análise de Aspecto.....	60
Tabela 15- Resultados da análise de Cor.....	60
Tabela 16- Resultados da análise de pH.....	61
Tabela 17- Resultado Massa Específica álcool combustível.....	62
Tabela 18- Teor alcoólico dos álcoois analisados.....	63
Tabela 19- Índice de Acidez total nas amostras analisadas.....	63
Tabela 20- Teor de resíduo nas amostras quantificadas por evaporação.....	64
Tabela 21- Teor de hidrocarbonetos nas amostras	65
Tabela 22- Teor de Sódio nas amostras.....	65
Tabela 23- Concentrações de compostos quantificados por cromatografia.....	66
Tabela 24- Resultados da análise de acidez volátil.....	67
Tabela 25- Resultados das análises físico-químicas do subproduto.....	68
Tabela 26- Concentração de compostos no subproduto por cromatografia.....	69
Tabela 27- Custos dos equipamentos para produção de álcool combustível.....	70
Tabela 28- Custos Operacionais da planta de álcool combustível.....	71
Tabela 29- Fluxo de Caixa da implementação do sistema de produção de álcool combustível.....	72
Tabela 30- Indicadores Econômicos.....	73

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS.....	14
2.1. Objetivo Geral.....	14
2.2. Objetivos Específicos	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
3.1. Cana-de-açúcar	14
3.2. Produção de Cachaça Industrial e Cachaça de Alambique.....	16
3.3. Álcool combustível	17
3.4. Álcool de fazenda	19
3.5. Produção de cachaça e álcool combustível.....	20
3.5.1. Colheita da Cana-de-açúcar.....	21
3.5.2. Moagem da Cana	21
3.5.3. Diluição do Caldo.....	22
3.5.4. Fermentação.....	22
3.5.5. Destilação em Alambique.....	23
3.5.6. Destilação em Coluna.....	24
3.5.7. Frações cabeça, coração e cauda da cachaça.....	25
4. METODOLOGIA	26
4.1. Etapa 1 - Produção da cachaça de alambique	26
4.1.1. Materiais	26
4.1.2. Preparo das Dornas de Fermentação	27
4.1.3. Processo de Fermentação do Caldo de Cana.....	29
4.1.4. Destilação do Mosto Fermentado	30
4.2. Etapa 2 - Produção do álcool combustível de laboratório	32
4.2.1. Materiais	32
4.2.2. Processo Produtivo	32
4.3. Etapa 3 – Análises do Álcool Combustível	36
4.3.1. Aspecto	36
4.3.2. Cor	36
4.3.3. pH	36
4.3.4. Massa Específica	37
4.3.5. Teor alcóolico	38
4.3.6. Teor de acidez total.....	38
4.3.7. Resíduo por evaporação.....	40

4.3.8.	Teor de Sódio	41
4.3.9.	Teor de hidrocarbonetos	42
4.3.10	Cromatografia Gasosa	43
4.3.11.	Teor de Acidez Volátil	45
4.4.	Etapa 4 – Análises do Subproduto utilizado para fabricação do Álcool	46
4.5.	Viabilidade econômica do processo	46
4.5.1.	Valor presente líquido (VPL)	47
4.5.2.	Taxa interna de retorno (TIR).....	47
4.5.3.	Relação benefício custo (RBC)	48
4.5.4.	Tempo de retorno do capital (TRC)	48
4.6.	Análise estatística	48
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
5.1.	Etapa 1 - Produção da cachaça de alambique	49
5.2.	Etapa 2 - Produção do álcool combustível de laboratório	53
5.2.1.	Primeira Destilação.....	53
5.2.2.	Segunda Destilação.....	56
5.2.3.	Terceira Destilação	58
5.3.	Etapa 3 – Análises do Álcool Combustível	61
5.3.1.	Aspecto	61
5.3.2.	Cor	61
5.3.3.	pH	62
5.3.4.	Massa Específica	62
5.3.5.	Teor alcólico	63
5.3.6.	Teor de acidez total.....	64
5.3.7.	Resíduo por evaporação.....	64
5.3.8.	Teor de Hidrocarbonetos	65
5.3.9.	Teor de Sódio	65
5.3.10	Cromatografia Gasosa	66
5.3.11.	Teor de Acidez Volátil	67
5.4.	Etapa 4 – Análises do Subproduto utilizado para fabricação do Álcool	68
5.5.	Viabilidade econômica	70
6.	CONCLUSÃO	75
7.	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	76
8.	APÊNDICE	82

1. INTRODUÇÃO

Uma parte significativa de toda a energia consumida no mundo é derivada do petróleo, do carvão e do gás natural, entretanto essas fontes são insuficientes e com previsão de escassez num futuro próximo, por volta de 2070. Dessa forma, o poder público busca alternativas para a produção e o consumo de combustíveis renováveis. Nesta situação, os biocombustíveis, como o álcool combustível, é uma excelente escolha para suprir essa necessidade (SALOMÃO et al., 2019).

A utilização de álcool como combustível alternativo para motores tem aumentado nos últimos anos. A produção e o uso de álcool tendem a minimizar a dependência de petróleo estrangeiro, reduzir déficits comerciais, gerar empregos nas áreas rurais, diminuir a poluição do ar e conter a mudança climática global provocada pelo acúmulo de dióxido de carbono na camada de ozônio. O álcool é um combustível oxigenado que contém 35% de oxigênio, o que reduz o número de partículas emitidas na combustão. Diferentemente dos combustíveis fósseis, o álcool é uma fonte de energia renovável produzida por meio da fermentação de açúcares obtido de diversas fontes como cana, milho, trigo, beterraba, mandioca, entre outros (BAJPAI, 2013).

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, e também o maior produtor de álcool a partir da cana. O estado de São Paulo é o maior produtor de cana com uma produção de 287.438,7 mil toneladas, seguido por Goiás (71.726,5 mil t), Minas Gerais (64.825,1 mil t), Mato Grosso do Sul (45.419,5 mil t) e Paraná com 31.930,5 mil t. Juntos, esses estados são responsáveis por 88% da produção, de acordo com o terceiro levantamento para a safra de cana-de-açúcar (CONAB, 2021). O Brasil apresenta algumas vantagens quando comparado a outros países, para produzir o álcool, como por exemplo, agricultura favorável, domínio do processo produtivo de etanol, abundância de terra e mão-de-obra (CARVALHO et al., 2013).

A produção conjunta de álcool combustível e aguardente de cana-de-açúcar é uma alternativa promissora para garantir o abastecimento e ao mesmo tempo atuar na geração de energia, emprego e renda no campo. Esta alternativa não compete com a produção das grandes usinas, pelo contrário, representa uma opção complementar de suprimento energético regional ou local, propiciando as grandes unidades atender aos grandes centros consumidores e ao mercado externo, que vem apresentando demanda crescente por açúcar e álcool combustível (SILVA, 2011).

A produção brasileira de cachaça de alambique é de aproximadamente 420 milhões de litros/ano, essa parcela corresponde a 30 % da produção total de cachaça produzido (CBRB,

2019). No processo de fabricação de cachaça em alambique é de fundamental importância que ocorra a separação das frações do destilado em cabeça, coração (cachaça) e cauda, a fim de proporcionar harmonia ao produto e segurança ao consumidor, no que se refere a toxicidade (CARDOSO, 2006).

As frações da cabeça e da cauda totalizam cerca de 20% do destilado, que são alguns dos subprodutos da produção de cachaça. Uma alternativa para as pequenas e médias destilarias seria a utilização desses subprodutos na fabricação de álcool combustível em quantidade suficiente para suprir a demanda da sua propriedade e vender o excesso produzido, sem causar danos ao meio ambiente como acontece nas grandes usinas produtoras de álcool (SILVA, 2011).

O Brasil foi o primeiro país do mundo a usar o álcool como combustível e também como aditivo na gasolina para aumentar a sua octanagem. O etanol é utilizado pois é suficiente para o atendimento da demanda no período de entre safra da produção de cana-de-açúcar e por elevar o uso do combustível renovável. O percentual obrigatório de etanol anidro combustível na gasolina comum é de 27%, enquanto a gasolina premium deve-se adicionar 25%, conforme disposto na Resolução do Conselho Interministerial do Açúcar e do Álcool (CIMA) nº 1/2015, sendo aceitável uma margem de erro de mais ou menos 1%, conforme disposto na Lei 10.203/2001 (LUIZ; AMPARADO; BORGES, 2016).

Na Safra de 2020/2021 a produção total de etanol atingiu cerca de 29,74 bilhões de litros. A estimativa da produção brasileira para o etanol total, no terceiro levantamento da safra 2021/22, é de 24,8 bilhões de litros, houve uma redução de 16,6% em relação à safra passada. Essa redução na produção de etanol está relacionada à expectativa de maior destinação de Açúcar Total Recuperável (ATR) para a produção de açúcar, devido ao maior valor agregado do açúcar para a próxima safra, o que acarretou na diminuição da fabricação de etanol e ainda a uma menor produção da matéria-prima base nesse ano (CONAB, 2021).

O trabalho visa a produção de combustível renovável, utilizando subprodutos que seriam descartados da fabricação de cachaça. Como está sendo avaliado um projeto de Lei a fim de legalizar a venda de etanol combustível por pequenos produtores, a produção e avaliação desse combustível é necessária para verificar se o mesmo atende os requisitos para ser comercializado.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Produzir álcool combustível utilizando como matéria-prima os subprodutos da produção de cachaça e realizar a caracterização físico-química do produto obtido.

2.2. Objetivos Específicos

- Produzir álcool combustível a partir dos subprodutos da fabricação de cachaça;
- Determinar a composição físico-química do álcool combustível produzido por meio das análises aspecto, cor, pH, massa específica, teor alcoólico, teor de acidez, resíduo por evaporação, teor de sódio, teor de hidrocarbonetos e acidez volátil em conformidade com a ANP;
- Realizar a análise cromatográfica das amostras para quantificar os compostos presentes;
- Comparar os parâmetros aspecto, cor, pH, massa específica, teor alcoólico, índice de acidez total e acidez volátil, resíduo por evaporação, teor de hidrocarbonetos, teor de sódio e a cromatografia gasosa o álcool produzido no laboratório com o álcool comercial e com o álcool produzido na cachaçaria;
- Realizar a caracterização do subproduto utilizado na produção do álcool combustível verificando os parâmetros aspecto, cor, pH, massa específica, teor alcoólico, índice de acidez total e acidez volátil, resíduo por evaporação, teor de hidrocarbonetos, teor de sódio e a cromatografia gasosa.
- Determinar a viabilidade econômica para produção do álcool combustível experimental com os resíduos da fabricação da cachaça;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Cana-de-açúcar

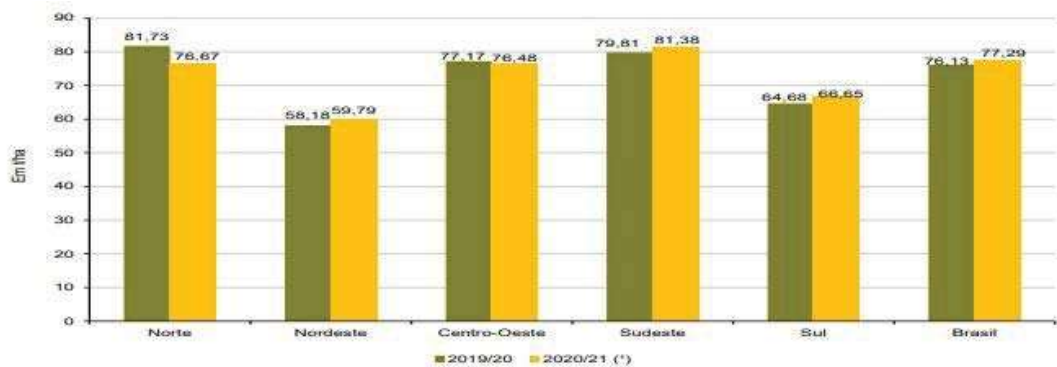
A cana-de-açúcar é uma planta que pertence à classe das monocotiledôneas, família Poaceae, gênero *Saccharum* e espécie *Saccharum spp.* Há diversas variedades de cana sendo cultivadas no mundo, sendo empregadas na área alimentícia como açúcar, melado, rapadura e

cachaça, na alimentação animal como forragem, e na produção de combustível como álcool (ANDRADE, 2013).

A cana-de-açúcar é considerada uma alternativa para o setor de biocombustíveis devido ao alto potencial na produção de álcool e seus respectivos subprodutos. O segmento industrial brasileiro produz o álcool ecologicamente correto, sem afetar a camada de ozônio sendo obtido a partir de fonte renovável (CONAB, 2021).

Vários fatores podem influenciar na produtividade da cana-de-açúcar, entre eles as condições climáticas. Essas foram consideradas oscilantes durante o ciclo, mas, de modo geral, estiveram favoráveis na maioria das regiões produtoras, especialmente no início do período de desenvolvimento, que apresentou bons índices de precipitações. Além disso, os investimentos em tecnificação e as melhorias de manejo também colaboram para maior alcance dos potenciais produtivos da cultura. Dessa forma, o rendimento médio alcançado foi de 75.965 kg/há em 2020/21, apenas 0,2% inferior ao obtido em 2019/20. (CONAB, 2021). Na Figura 1 foi feito um comparativo da produtividade de cana-de-açúcar nas regiões brasileiras entre o período das safras de 2019/2020 e 2020/2021.

Figura 1 - Gráfico comparativo da produtividade de cana por região



Fonte: CONAB (2021)

Há no mercado diversas variedades de cana-de-açúcar, a escolha da variedade é fundamental para aumentar a produtividade industrial. As variedades de cana se adaptam melhor dependendo da região, do clima e diversos outros fatores. As canas são denominadas por códigos e as mais indicadas para o estado de Minas Gerais são RB 72-454, SP 79-1011, RB 76-5418. Essa matéria-prima pode ser classificada de acordo com seu tipo de maturação sendo: precoce, média e tardia. É importante o plantio desses três tipos de cana, pois o alambique funciona geralmente de maio a novembro, com isso terá cana madura para trabalhar durante toda a safra (CARDOSO, 2006).

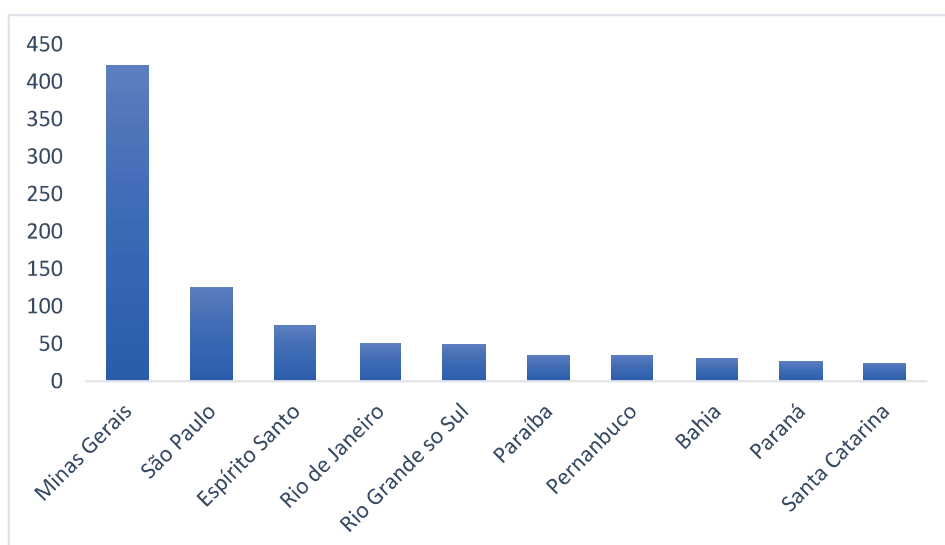
3.2. Produção de Cachaça Industrial e Cachaça de Alambique

A cachaça pode ser obtida por destilação simples ou contínua. A destilação simples é feita em alambiques produzindo cachaça de alambique. A destilação contínua é utilizada pelos grandes produtores de cachaça, sendo as cachaças industriais, utilizando-se de colunas de destilação contínua (SILVA; REZENDE; SILVA, 2018).

A indústria trabalha com grandes volumes de caldo de cana, são fermentados e posteriormente destilado, resultando em milhares de litros de cachaça por dia, tudo de maneira automatizada, dessa forma resulta a aguardente padronizada, de baixo custo. Os grandes volumes fermentados são totalmente destilados não sofrendo separação de partes como acontece na cachaça artesanal. Na destilação do processo artesanal, o líquido deve ser separado em: cabeça, primeiro destilado, cauda, final do destilado e coração, parte que é destinada ao consumo (CÂMARA, 2018).

De acordo com o Centro Brasileiro de Referência da Cachaça – CBRB (2019) cerca de 1,4 bilhão de cachaça é produzida anualmente no Brasil, sendo 70% da produção de cachaça industrial e 30% de cachaça de alambique de cobre. De acordo com a Figura 2 o maior produtor de cachaça de alambique é o estado de Minas Gerais, com cerca de 60% da produção de Cachaça de Alambique do Brasil.

Figura 2 - Registro da quantidade de destilaria artesanal nos estados de destaque

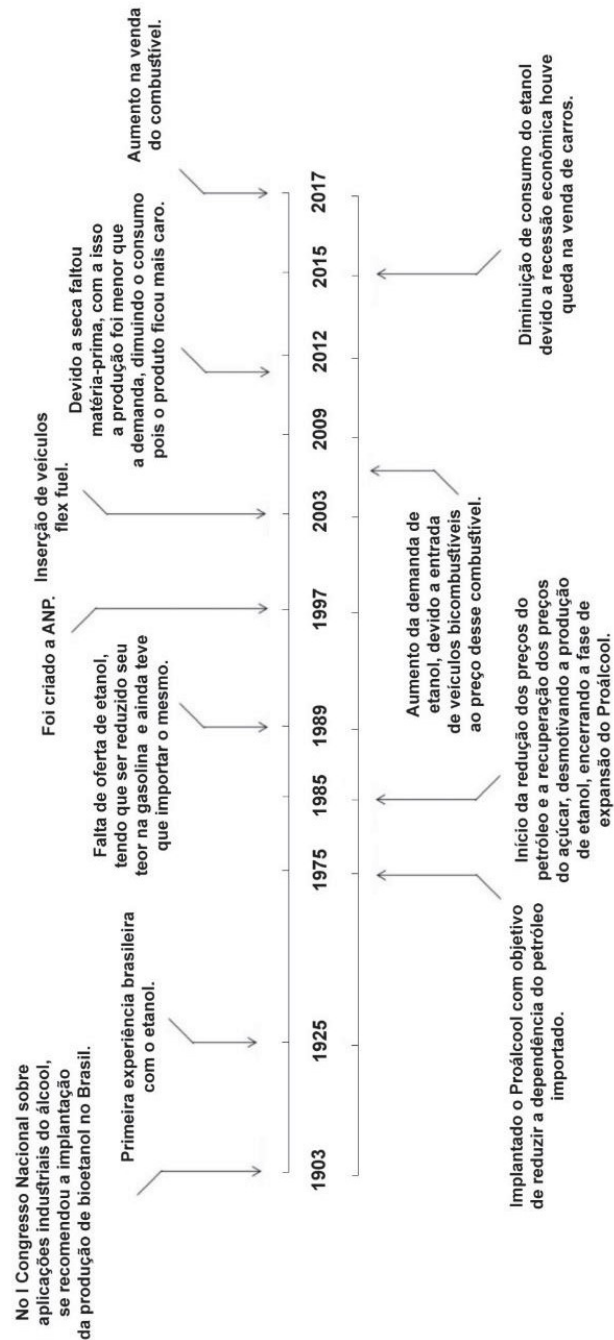


Fonte: Adaptado de BRASIL (2019)

3.3. Álcool combustível

Há registros do álcool combustível na data de 1903. Esse combustível percorreu diversas fases, passando por altos e baixos até chegar nos dias hoje. Os principais marcos que aconteceram com o álcool no Brasil estão descritos na Figura 3, que mostra uma linha do tempo do combustível.

Figura 3- Linha do tempo com as principais fases do álcool combustível



Fonte: Autoria própria

O etanol, ou álcool etílico, é um composto com fórmula molecular C_2H_6O , que pode ser utilizado como combustível em motores de combustão interna com ignição por centelha (ciclo Otto) de duas formas diferentes, sendo essas, em misturas de gasolina e álcool anidro ou como álcool puro hidratado. A Tabela 1 indica as principais características do álcool combustível (BNDES, 2008).

Tabela 1- Propriedades do Álcool

Parâmetro	Álcool
Poder Calorífico Inferior (kJ/litro)	22.350
Octanagem RON (Research Octane Number)	102 – 130
Octanagem MON (Motor Octane Number)	89 – 96
Calor Latente de Vaporização (kJ/kg)	842 – 930
Relação ar/combustível estequiométrico	9,0
Pressão de vapor (kPa)	15 – 17
Temperatura de ignição (°C)	420
Solubilidade em água (%volume)	100

Fonte: Adaptado de BNDES (2008)

O álcool combustível pode ser produzido a partir de qualquer fonte de biomassa que contenha quantidade satisfatória de açúcares. Esse combustível libera grande quantidade de calor ao se queimar. No entanto, o álcool aponta algumas diferenças importantes em relação aos combustíveis derivados de petróleo. A principal delas é o alto teor de oxigênio, que compõe cerca de 35% em massa do álcool. As características do álcool combustível promovem a combustão mais limpa e o melhor desempenho dos motores, o que favorece a redução de emissão de gases poluidores (BNDES, 2008).

A Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), por meio da Resolução nº 19 de 15 de abril de 2015 (ANP, 2015), determina os parâmetros que álcool combustível precisa ter para poder ser comercializado no país, os parâmetros estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros do álcool hidratado combustível

Parâmetros	Álcool Hidratado
Aspecto	Límpido
Cor	Incolor
Potencial hidrogeniônico (pH)	6,0 a 8,0
Massa específica a 20°C (kg/m³)	805,2 a 811,2
Teor alcoólico (% massa)	92,5 a 94,6
Condutividade Elétrica (µS/m)	300 máx.
Índice de acidez (mg/L)	30 máx.
Teor de aldeído (mg/L)	60 máx.
Teor álcoois superiores (mg/L)	500 máx.
Teor de ésteres (mg/L)	100 máx.
Resíduo por evaporação (mg/100mL)	5,0 máx.
Teor de Sulfato (mg/kg)	4,0 máx.
Teor de sódio (mg/kg)	2,0 máx.
Teor de hidrocarbonetos (% volume)	Não detectado
Teor de Metanol (% volume)	0,5 máx.
Teor de etanol (% volume)	94,5
Teor de Água (% massa)	7,5 máx.

Fonte: Adaptada de ANP (2018)

3.4. Álcool de fazenda

O álcool de fazenda pode ser produzido utilizando como matéria prima os subprodutos da produção da cachaça, sendo a cabeça e a cauda. Segundo Maroun e La Rovere (2014), a produção de álcool combustível é uma atividade viável economicamente, quando integrada à produção de alimentos, fornecendo forragem para alimentação animal, sendo ambientalmente favorável pois é, uma maneira de aproveitar os resíduos para geração de renda.

Foi instaurado o Projeto de Lei 9625/2018 pelo Deputado Padre João, a fim de legalizar a produção de etanol em microdestilarias e em cooperativas de pequenos produtores, que tem como objetivo contribuir para o desenvolvimento socioeconômico regional integrado e sustentável, e para geração de emprego e renda no país. O projeto foi analisado e aprovado pela

Comissão de Agricultura, Pecuária, Abastecimento e Desenvolvimento Rural (CAPADR) e pela Comissão de Minas e Energia (CME), faltando ser analisado por mais dois órgãos competentes sendo, a Comissão de Finanças e Tributação (CFT) e Comissão de Constituição e Justiça e de Cidadania (CCJC).

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, e também o maior produtor de álcool a partir da cana. O país apresenta algumas vantagens quando comparado a outros países para a produção de álcool. Um dos diferenciais é a disponibilidade de terras cultiváveis e condições climáticas favoráveis ao plantio da cana-de-açúcar (CONAB, 2019/2020).

A produção de álcool em pequena escala pode trazer benefícios que as usinas de grande porte não são capazes de proporcionar: abastecer mercados locais e regionais gerando renda e emprego para comunidades carentes e desenvolvimento regional. Nas grandes usinas a mão de obra é temporária e assalariada. Na agricultura de pequeno e médio porte é permanente e familiar, com retorno e investimento no próprio negócio. Com a participação do pequeno e médio agricultor, a oferta do álcool poderia ser mais bem distribuída do que nas grandes usinas, que geralmente opta pela produção de açúcar por apresentar maior lucratividade (FILHO, 2013).

3.5. Produção de cachaça e álcool combustível

A cachaça é uma bebida brasileira que surgiu no período colonial entre os escravos. Ela é produzida tanto de forma artesanal em pequenos alambiques, quanto em grandes indústrias espalhadas pelo país. O Brasil possui capacidade de produção de Cachaça de aproximadamente 1,4 bilhão de litros. Atualmente, com mais de 40 mil produtores, este setor é responsável pela geração de mais de 600 mil empregos diretos e indiretos. Os estados brasileiros que mais se destacam na produção da cachaça são: São Paulo, Pernambuco, Ceará, Minas Gerais e Paraíba (RAMOS, 2018).

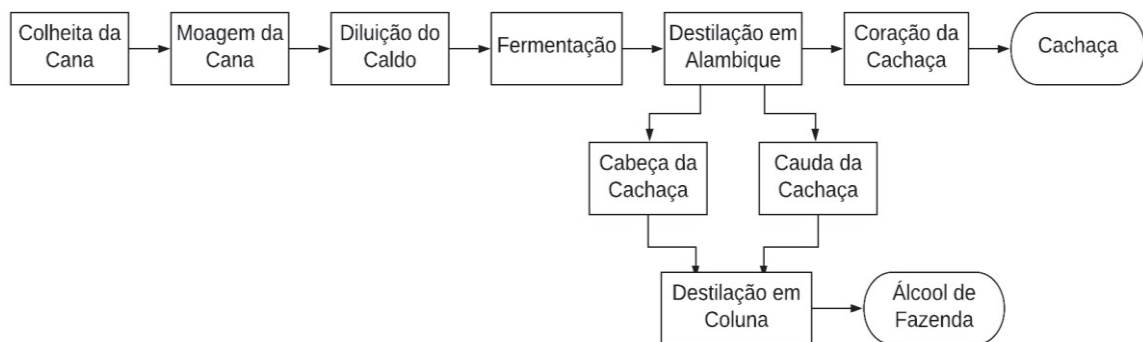
A produção de cachaça é muito parecida com a produção de álcool fabricado a partir da fermentação do caldo de cana. As etapas são semelhantes, o que permite aproveitar quase todos os equipamentos utilizados na moagem da cana-de-açúcar, no preparo do fermento ou pé-de-cuba, na decantação e diluição do caldo, na fermentação e destilação do vinho.

A principal diferença está no fato de que a destilação da cachaça é feita em alambiques tradicionais, enquanto a produção de álcool é realizada em colunas de destilação denominadas colunas de retificação. O produtor de cachaça já realiza grande parte do processo da produção

de álcool, sendo necessária apenas a adicionar uma coluna de retificação para obtenção do produto de interesse (BONATO FILHO, 2013).

A Figura 4 indica as etapas envolvidas na produção de cachaça e álcool de fazenda a partir dos resíduos cabeça e cauda, que compreendem a colheita da cana, a moagem da cana, a diluição do caldo para obtenção do teor de açúcar ideal, a fermentação e a destilação.

Figura 4- Fluxograma da produção de cachaça e álcool de fazenda



Fonte: Adaptada de BNDES (2008)

3.5.1. Colheita da Cana-de-açúcar

A primeira etapa do processo consiste na colheita da cana, durante um período de 120 dias que vai de maio a outubro. A cana ao ser colhida deve estar madura e não deve ter sido queimada, pois, caso contrário, propiciaria a inversão da sacarose, além do acúmulo de cinzas nas dornas de fermentação e o gosto de queimado deixado na cachaça devido ao aumento da formação de furfurais e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos. A quantidade de cana cortada deve ser calculada previamente para que não fique mais do que 24 horas sem ser iniciado a moagem, pois isso faz com que se inicie o processo de fermentação. Além disso, acredita-se que a presença de oxigênio favorece o crescimento bacteriano e, conseqüentemente, inicia-se uma fermentação láctica indesejável (CANUTO *et al.*, 2015).

3.5.2. Moagem da Cana

A moagem consiste na extração do caldo de cana através de rolos de moendas. Geralmente, em fábricas artesanais, a alimentação dos ternos de rolos é feita manualmente ou por meio de esteiras de alimentação. De forma geral, a nível de fazenda, não é comum lavagem da cana, por não se realizar a queima antes da colheita (MAIA; CAMPELO, 2006).

3.5.3. Diluição do Caldo

O teor de sólidos solúveis (Brix) ideal do caldo obtido para fermentação é entre 14° e 16°, sendo realizado o ajuste do teor de açúcar, por meio da diluição com água potável, sem germes patogênicos e dentro dos padrões de potabilidade. O caldo muito rico em açúcar, acima de 16%, está sujeito a uma fermentação com atraso ou incompleta (GONÇALVES; ROSA; TROVATTI, 2009). Após a diluição o caldo passa a ser chamado de mosto, sendo despejado nas dornas para fermentação. As dornas devem conter o fermento iniciador consistindo de cerca de 20% do volume da dorna denominado pé de cuba.

3.5.4. Fermentação

A fermentação é o processo de transformação de açúcar em álcool e CO₂, um processo anaeróbico realizado por leveduras. Na produção de cachaça, a *Sacchomyces cerevisiae* é a levedura mais utilizada, sendo responsável pela maior parte da fermentação. Além disso, metabólitos secundários são produzidos, como glicerol, ácidos orgânicos, acetoína, álcoois superiores, acetaldeído, butilenoglicol, entre outros. O aroma e o sabor característicos da bebida devem-se a presença desses compostos e de alguns outros encontrados nessa mistura complexa (MENDONÇA et al., 2016).

O mosto é fermentado, quando o açúcar é quase todo convertido em álcoois e, em menor quantidade, em outros compostos orgânicos nas dornas. O período de uma fermentação completa depende de alguns fatores, como por exemplo: temperatura e levedura, mas geralmente ocorre durante um período aproximado de 24 horas transformando-se, assim, o mosto em vinho (CANUTO et al., 2015). As condições operacionais dessa etapa do processo estão descritas na Tabela 3.

Tabela 3- Condições Operacionais da Etapa de Fermentação

Especificação	Condição
Teor de sólidos solúveis inicial	14 – 16 °Brix
Temperatura	28 – 32°C
Período	24 horas
Material da dorna	Tipo de aço inox
Fermento preparado	20% do volume
Teor de álcool do vinho	5 a 8 °GL

Fonte: MUTTON; MUTTON (2010)

3.5.5. Destilação em Alambique

Na destilação ocorre a concentração de álcool presente no mosto e outros componentes presentes no vinho como álcoois, água, congêneres, ésteres, compostos carbonilados, fenóis, hidrocarbonetos, compostos nitrogenados, compostos sulfurados e açúcar que apresentam diferentes graus de volatilidade. Com isso, é possível realizar a separação por destilação, concentrando esses compostos, o que caracteriza a bebida. Os compostos mais voláteis são destilados na primeira fração da destilação, denominada “cabeça”, posteriormente tem-se a fração “coração”, e por último tem-se a fração dos componentes menos voláteis denominada “cauda” (MENDONÇA et al., 2016).

Os alambiques são construídos geralmente com cobre. Esse metal é muito utilizado pois apresenta diversas vantagens, como, é um bom condutor de calor, resiste bem a corrosão provocada pelo fogo e pelo vinho, melhora sensorialmente o destilado, catalisa reações favoráveis entre os componentes do vinho, melhora o aroma da bebida, entre outras. Esse metal proporciona diminuição significativa de compostos sulfurados responsáveis pelo odor de ovo podre ao produto, como o dimetilsufeto. A presença do cobre no alambique é favorável, uma vez que o íon cúprico catalisa a oxidação do gás sulfídrico e dos tióis a sulfetos de cobre e dissulfetos, compostos de baixa solubilidade reduzindo a concentração de compostos sulfurados no destilado (CARDOSO, 2006).

3.5.6. Destilação em Coluna

A separação dos componentes presentes nas diferentes misturas é de grande importância na indústria química, sendo a destilação que o processo de separação mais utilizado atualmente, esse método se baseia na diferença de volatilidade dos componentes de uma mistura líquida (SOARES; PESSOA; MENDES, 2015).

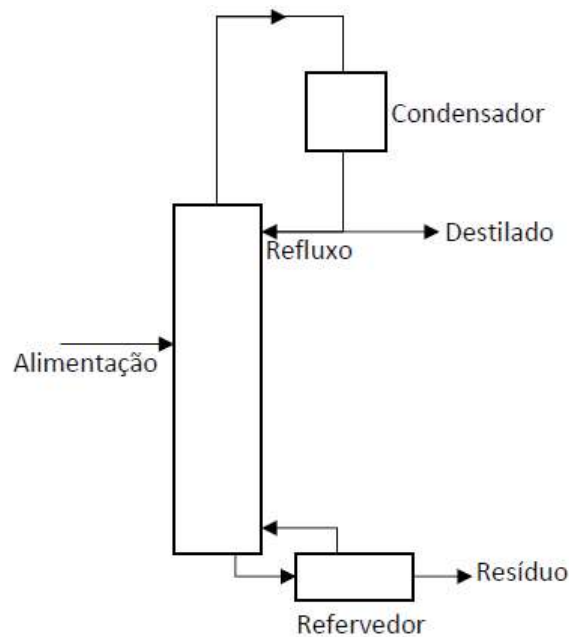
Algumas misturas apresentam características que dificultam a separação ou impedem a separação total dos componentes. Essas misturas são denominadas misturas azeotrópicas como a mistura água-etanol. Nessas misturas, a separação total dos componentes precisa a adição de uma terceira substância, que altera o vapor líquido de equilíbrio, na coluna de destilação. Normalmente, a substância adicionada é um solvente para realizar a separação dos componentes da mistura (SOARES; PESSOA; MENDES, 2015).

Para que a operação ocorra de uma forma eficiente, é necessário que os equipamentos sejam controlados de forma que as temperaturas das diversas fases do processo, bem como as vazões de alimentação da água de refrigeração e dos trocadores de calor apresentem a temperatura ideal necessária em tais processos. Para a destilação do álcool é adicionado um equipamento ao processo de fabricação de cachaça denominados coluna de retificação, onde serão inseridos as frações de cabeça e cauda para realizar a destilação (SILVA, 2007).

O funcionamento da coluna de destilação se dá basicamente quando o vapor evapora do líquido inserido no destilador. Na base da coluna contém grande quantidade do componente menos volátil, que deve ser removida numa quantidade desejada antes que a corrente de vapor ascendente escape para a parte de condensação do aparelho. Essa remoção é feita por retificação, realizada por uma corrente de líquido conhecida com refluxo, que desce da parte superior da coluna. As correntes de vapor e líquido são mais ricas no componente mais volátil na parte superior da coluna, na parte inferior da coluna se concentra os componentes menos voláteis (BLACKADDER; NEDDERMAN, 2004).

A Figura 5 representa o esquema básico de uma coluna de destilação. O método mais comum de ingestão de calor é por meio de uma câmara separada chamada refeedor. O líquido é alimentado normalmente no ponto intermediário da coluna, a parte superior da coluna acima do ponto de alimentação é conhecida como seção de retificação, enquanto a parte abaixo dele incluindo-o é conhecido como seção de esgotamento (BLACKADDER; NEDDERMAN, 2004).

Figura 5- Esquema de coluna de destilação



Fonte: Adaptada de BLACKADDER; NEDDERMAN (2004)

3.5.7. Frações cabeça, coração e cauda da cachaça

Para obtenção de uma bebida de maior qualidade, os produtos da destilação de aguardente são divididos em três frações: destilado cabeça, coração e cauda. O destilado de cabeça, obtido na fase inicial da destilação possui graduação alcoólica de 65 a 70% V/V. É recomendado a separação de 5 a 10% do volume total a ser destilado, essa fração é rica em ésteres, metanol, aldeídos, acetaldeídos acetato de etila e outros compostos voláteis. O destilado do coração corresponde a 80% do total destilado, essa constitui a melhor fração do destilado correspondendo a cachaça de qualidade, possui menor quantidade de compostos indesejáveis contendo além de álcoois superiores, ácidos voláteis compostos secundários formados na fermentação ou no próprio alambique. A fração denominada cauda corresponde a 10% do volume destilado, possui graduação alcoólica de 10 a 38% V/V é composta por substâncias indesejáveis menos voláteis que o etanol como, furfural, ácido acético, álcoois superiores entre outros (MUTTON; MUTTON, 2010).

A separação das frações cabeça, coração e cauda no processo de destilação é de suma importância na fabricação da cachaça de alambiques, pois ocorre a retirada de compostos indesejáveis que diminuem a qualidade da bebida, essa medida assegura a eliminação de substâncias químicas que podem causar problemas a saúde do consumidor, evitando assim a

ingestão de compostos tóxicos presentes nos destilados de cabeça e cauda (GONÇALVES et al., 2012).

As frações cabeça e cauda resultantes da destilação da cachaça devem ser armazenadas em local seco, seguro e isolado até a obtenção de certo volume que possibilite uma nova destilação da mistura das duas frações, visando concentrar o teor de álcool da mistura obtida, tendo como finalidade o uso como combustível (GONÇALVES et al., 2012).

4. METODOLOGIA

A experimentação do trabalho foi realizada em etapas. Onde foi produzida primeiramente a cachaça de alambique, separando os subprodutos cabeça e cauda. Posteriormente foi realizada a destilação produzindo o álcool combustível e as análises no álcool produzido a partir dos subprodutos da cachaça, no álcool produzido na cachaçaria e no álcool comercializado em posto de gasolina, em seguida foi realizado a análise do subproduto utilizado e por fim foi realizado a viabilidade econômica do projeto e análises estatísticas.

4.1. Etapa 1 – Produção da Cachaça de Alambique

A cachaça foi produzida no Sítio Santa Luzia, no distrito de Monte Celeste, em São Geraldo (MG), onde são desenvolvidos projetos de extensão da Universidade Federal de Viçosa.

4.1.1. Materiais

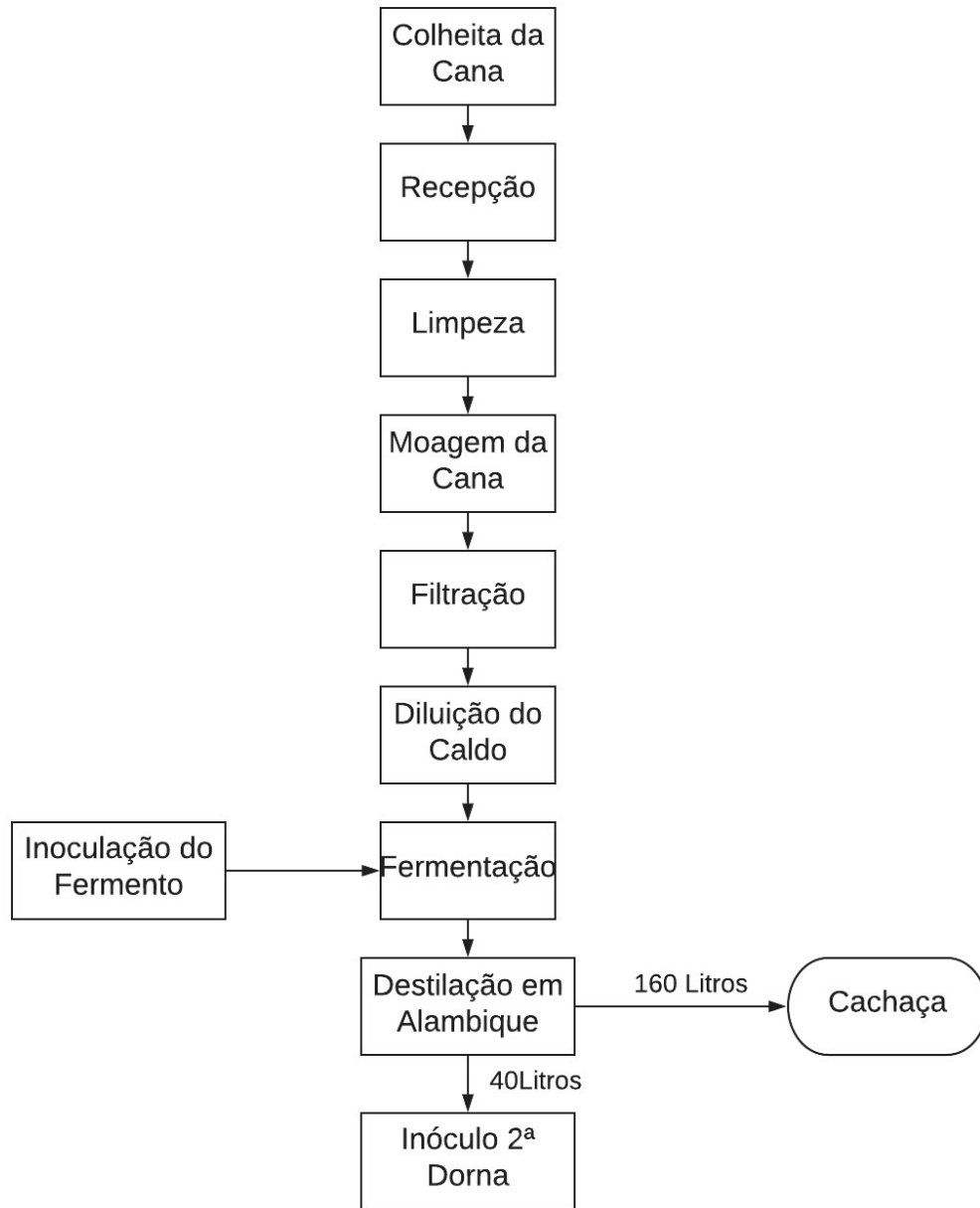
- Coluna de destilação adaptada com alambique de inox de 300 L;
- Cana-de-Açúcar;
- Fermento biológico fresco Fleishman;
- Termômetro digital;
- Balança de precisão;
- Provetas de 1L e 250 mL;
- Bastão de Vidro;
- Béqueres 1L;
- Moinho elétrico;
- Dornas de 200L;

- Motor elétrico $\frac{1}{4}$ de cavalo;
- Refratômetro de brix;
- Refratômetro de álcool;
- Peneira;
- Água potável;
- Balde graduado;
- Galões;
- Garrafas PET;

4.1.2. Preparo das Dornas de Fermentação

Durante o experimento foram preparadas 2 dornas de fermentação, sendo a primeira inoculada com 1 Kg de fermento fresco previamente ativado com 20L de água a 28°C e a segunda utilizando-se a técnica de batelada alimentada, onde foi reservado 40L restante da dorna onde foi adicionado caldo de cana diluído em água até obter o teor de sólidos solúveis de 14°Brix e volume de 200L.

O processo de fabricação da cachaça seguiu as etapas descritas na Figura 6.

Figura 6- Processo de fabricação da cachaça

Fonte: Autoria própria

Para produzir a cachaça de alambique foi utilizada a cana-de-açúcar proveniente do plantio de cana do Sítio Santa Luzia, a variedade utilizada foi RB92579. Foi realizada a colheita da matéria-prima, sendo posteriormente lavada e higienizada. Após esse processo, realizou-se a extração do caldo da cana-de-açúcar utilizando moinho elétrico conforme mostrado na Figura 7.

Figura 7- Moinho elétrico utilizado para extrair o caldo da cana de açúcar



Fonte: Autoria Própria

O caldo seguiu para a etapa de filtração para a retirada de impurezas como bagacilhos, entre outros. O caldo de cana foi diluído com água potável proveniente de poço artesiano da propriedade, até atingir cerca de 14° Brix, sendo o teor sólidos solúveis ideal para seguir para a etapa de fermentação.

4.1.3. Processo de Fermentação do Caldo de Cana

A fermentação foi realizada em dornas de plástico com capacidade de 200 litros como indicado na Figura 8, essa ocorreu com duração de média de 5 dias. O fermento utilizado na produção da cachaça foi o fermento biológico fresco da marca Fleishman contendo a variedade de levedura *Saccharomyces Cerevisiae*.

Figura 8- Dornas de fermentação

Fonte: Autoria Própria

O processo fermentativo foi monitorado pela de medição do teor de sólidos solúveis por meio de refratômetro. As medições foram realizadas de 12 em 12 horas às 6 e às 18 horas de cada dia. A etapa de fermentação foi encerrada quando o mosto atingiu 5° Brix ou quando o teor de sólidos se estabilizou por mais de 12 horas.

Após a fermentação o mosto fermentado seguiu para a etapa de destilação que ocorreu em alambique de inox com capacidade de 300 litros. Foram produzidas duas bateladas de mosto fermentado de cachaça utilizando 200 litros de caldo de cana em cada processo, sendo 160L destilado e 40L (20%) inoculado na próxima destilação. A cachaça produzida teve um teor alcoólico de 40° GL.

4.1.4. Destilação do Mosto Fermentado

Ao finalizar a etapa de fermentação utilizou-se uma calculadora online que utiliza o teor de sólidos solúveis inicial e final do vinho para estimar o teor alcoólico do fermentado e assim calcular o volume total de cachaça a ser destilada pela Equação 1:

$$C_v * V_v = C_c * V_c \quad (1)$$

Em que, C_v é a concentração de álcool no vinho, V_v o volume de vinho, C_c a concentração de álcool desejada na cachaça, que no caso é 40% v/v e V_c o volume total de cachaça a ser destilada. Encontrando o volume total de cachaça é possível identificar as partes de cabeça, coração e cauda que correspondem, respectivamente, a 10%, 80% e 10% do volume de cachaça.

Após isso, o vinho foi transferido para o alambique dando o início ao processo. A trasfega foi realizada utilizando uma bomba com potência de um quarto de cavalo e vazão máxima de 4,8 m³/h.

Para a produção da cachaça, foi utilizado uma coluna de destilação de alumínio com capacidade de 300 litros. A fonte de calor utilizada foi obtida a partir da queima de lenha, e o sistema de refrigeração do vapor é feito pela circulação de água, em temperatura ambiente. Além disso, o sistema possui uma coluna de destilação, a qual foi desabilitada para a realização do experimento. A Figura 9 apresenta o sistema de destilação utilizado para a produção da cachaça.

Figura 9- Alambique de inox 300L utilizado na destilação da cachaça



Fonte: Autoria Própria

O destilado foi retirado em porções de um litro, medindo-se o teor alcoólico de cada porção com o uso de um refratômetro de álcool, o tempo de destilação, bem como com a temperatura do destilado.

4.2. Etapa 2 - Produção do álcool combustível de laboratório

A produção do álcool combustível foi realizada no anexo do Laboratório de Bebidas Fermentadas e Destiladas da Universidade Federal de Viçosa, na Vila Gianetti, Casa nº 23 em parceria com o Sítio Santa Luzia onde foi coletado o subproduto da produção de cachaça a fim de produzir álcool combustível.

4.2.1. Materiais

- Subproduto da produção de cachaça
- Proveta
- Bomba de vácuo
- Coluna de retificação de aço inox 304 de capacidade de 30L

4.2.2. Processo Produtivo

A produção de álcool combustível foi realizada com os subprodutos da fabricação de cachaça. Para isso foi coletado 120L de subproduto no Sítio Santa Luzia, a fim de realizar o experimento em três bateladas.

Os subprodutos da fabricação da cachaça foram inseridos na coluna de retificação de aço inox 304, com volume de 30L, da marca Heis Industrial operando no modo manual. A coluna está indicada na Figura 10, a mesma encontra-se identificada com as principais partes do equipamento, essas são:

- 1- Panela, local onde fica armazenado o mosto a ser destilado.
- 2- Seção de esgotamento, registro que ao ser acionado ocorre o esgotamento do líquido de massa específica maior que não foi destilado.
- 3- Seção de alimentação, local por onde a panela é abastecida com o mosto a ser destilado.

- 4- Capitel, A função do capitel é canalizar os vapores formados na caldeira, permitindo uma recondensação parcial dos mesmos, melhorando, assim, a separação dos constituintes do vinho, serve ainda como estágio inicial da coluna de destilação.
- 5- Coluna de destilação, constituída de pratos onde ocorre a separação dos compostos mais voláteis e menos voláteis, durante a destilação.
- 6- Deflegmador, tem o objetivo de produzir um refluxo interno que irá enriquecer a graduação alcoólica da fase vapor que ascende pela coluna.
- 7- Cesto de botânicos, local para adicionar especiarias, utilizado na produção de gim.
- 8- Condensador, tem como finalidade condensar vapores gerados pelo aquecimento de líquidos em processos de destilação simples. Sendo dividido em duas partes, uma onde passa o vapor que se tem interesse em condensar e outra onde passa água resfriando para abaixar a temperatura interna, e assim condensar os vapores do sistema.
- 9- Saida do destilado, local onde o liquido destilado na coluna é coletado.

Nesse equipamento foram realizadas três destilações consecutivas até obtenção de álcool combustível hidratado com teor alcoólico de 92,5 INPM ou 94,5°GL. O teor alcoólico pode ser medido em duas unidades diferentes sendo °GL (Gay Lussac), onde o °GL significa a concentração de álcool e água em porcentagem de volume (% v/v). Já a unidade INPM relaciona etanol e água em porcentagem de massa (% m/m) (CARPINTIERI, 2014).

Figura 10- Coluna de retificação utilizada na produção do álcool combustível



Fonte: Autoria Própria

O processo manual da coluna de retificação permite o controle do processo ajustando a temperatura desejada ligando/desligando a resistência e a bomba para que ocorra circulação do líquido em seu interior. O controle de temperatura foi realizado automaticamente através do controle PID-PWM que pretende alcançar a temperatura alvo (setpoint), que foi ajustada utilizando os botões UP/DOWN. O display informa a temperatura atual e a temperatura alvo (setpoint, com símbolo "SP" ao lado) que foi ajustada. Para a destilação pretendida o setpoint foi 100° a fim de evaporar o álcool constituinte da mistura, sendo também acionado o uso da bomba de circulação durante a destilação.

O painel do equipamento utilizado no processo está ilustrado na Figura 11.

Figura 11- Painel da Coluna de retificação



Fonte: Autoria Própria

O esgotamento da coluna após cada destilação foi realizado utilizando bomba de vácuo, pois o esgotamento não é no fundo da coluna e sempre restava resíduo da destilação anterior, para solucionar esse problema foi montado o sistema mostrado na Figura 12, para retirar o resíduo por completo.

Figura 12- Sistema de esgotamento por bomba de vácuo



Fonte: Autoria Própria

Com o intuito de purificar o álcool produzido para que esse possa ser utilizado para a finalidade proposta inicialmente que seria álcool combustível, o mesmo passou pelo processo de retificação três vezes para retirada de água.

4.3. Etapa 3 - Análises no álcool combustível

O álcool combustível produzido a partir dos subprodutos da fabricação de cachaça, o álcool adquirido no posto de combustível Petrobras da cidade de Viçosa/MG e o produzido na cachaçaria situada no município Guaraciaba na zona da mata mineira, foram submetidos às análises de controle de qualidade indicadas pela ANP para assegurar a qualidade dos combustíveis, a fim de verificar se o produto pode ser comercializado.

Foram realizadas diversas análises como aspecto visual, cor, pH, massa específica, teor alcoólico, teor de acidez, resíduo por evaporação, teor de sódio, teor de hidrocarbonetos, teor de acidez volátil e cromatografia gasosa utilizada para quantificar compostos em menores concentrações. Os resultados obtidos foram comparados com os parâmetros indicados pela Resolução ANP nº 764 / 2018 descritos a seguir.

4.3.1. Aspecto

O aspecto do álcool combustível foi analisado de forma visual como indicado na Resolução ANP nº 764 / 2018, sendo aceitável o álcool combustível límpido e isento de impurezas (ANP, 2018)

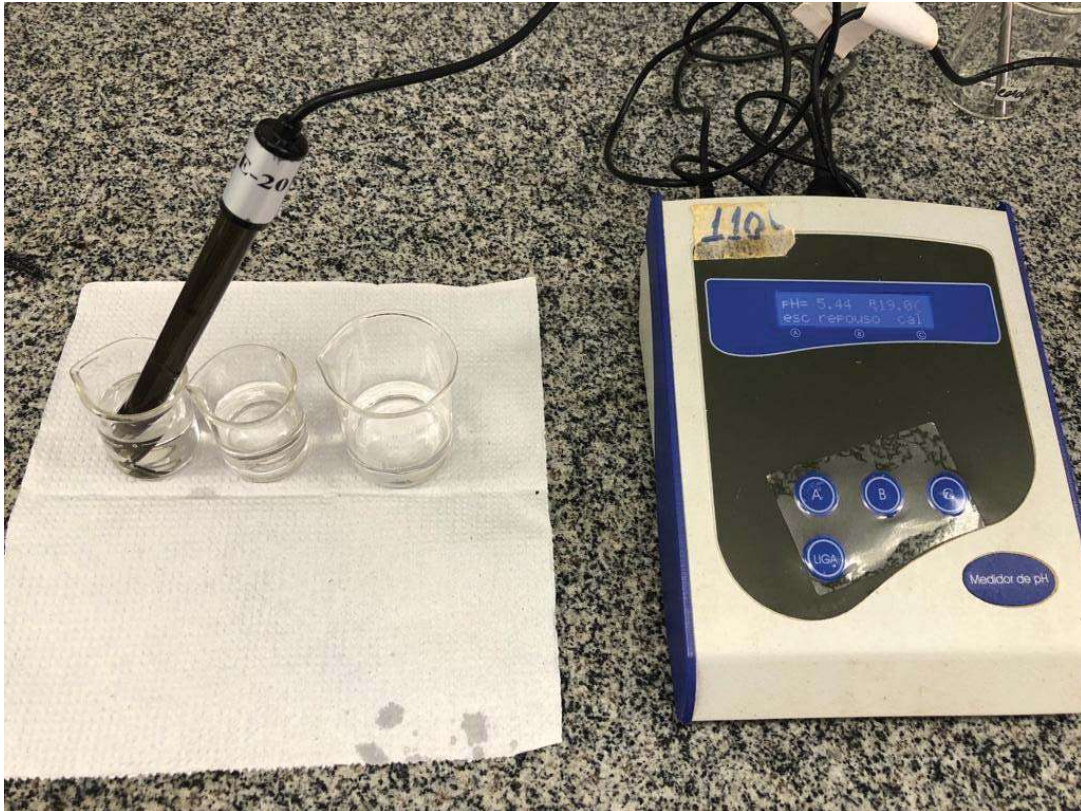
4.3.2. Cor

A cor do álcool combustível foi analisada de forma visual como indicado na Resolução ANP nº 764 / 2018, sendo aceitável o álcool combustível incolor (ANP, 2018).

4.3.3. pH

O pH foi determinado a 20°C utilizando o pHmetro digital previamente calibrado com as soluções tampões de pH 4 e 7, conforme indicado na Figura 13.

Figura 13- Realização de pH das amostras



Fonte: Autoria Própria

Para medir o pH foi transferido para o béquer 50mL da amostra em um béquer de 100mL. O eletrodo foi mergulhado diretamente na amostra, aguardando 2 minutos para fazer a leitura do pH (ANP, 2018).

4.3.4. Massa Específica

A massa específica foi analisada pelo método da picnometria, que consiste em uma técnica laboratorial utilizada para a determinação da massa específica de soluções. Para isso o picnômetro foi previamente lavado com água e depois com álcool, posteriormente colocado em uma estufa e pesado vazio. Depois preenchido com água e pesado a 20°C. Foi repetido o procedimento de lavagem e secagem em estufa e posteriormente o picnômetro foi preenchido com a amostra até o seu transbordamento e pesado a 20°C, como mostra a Equação 2 (A.O.A.C., 1995).

$$\rho = \frac{m_{amostra} - m_p}{m_{H_2O} - m_p} \quad (2)$$

Onde m_p é a massa do picnômetro vazio, m_{H_2O} é a massa do picnômetro com água e $m_{amostra}$ é a massa do picnômetro com a amostra.

Com isso foi possível determinar a massa específica das amostras de subproduto, álcool combustível e resíduo.

4.3.5. Teor alcóolico

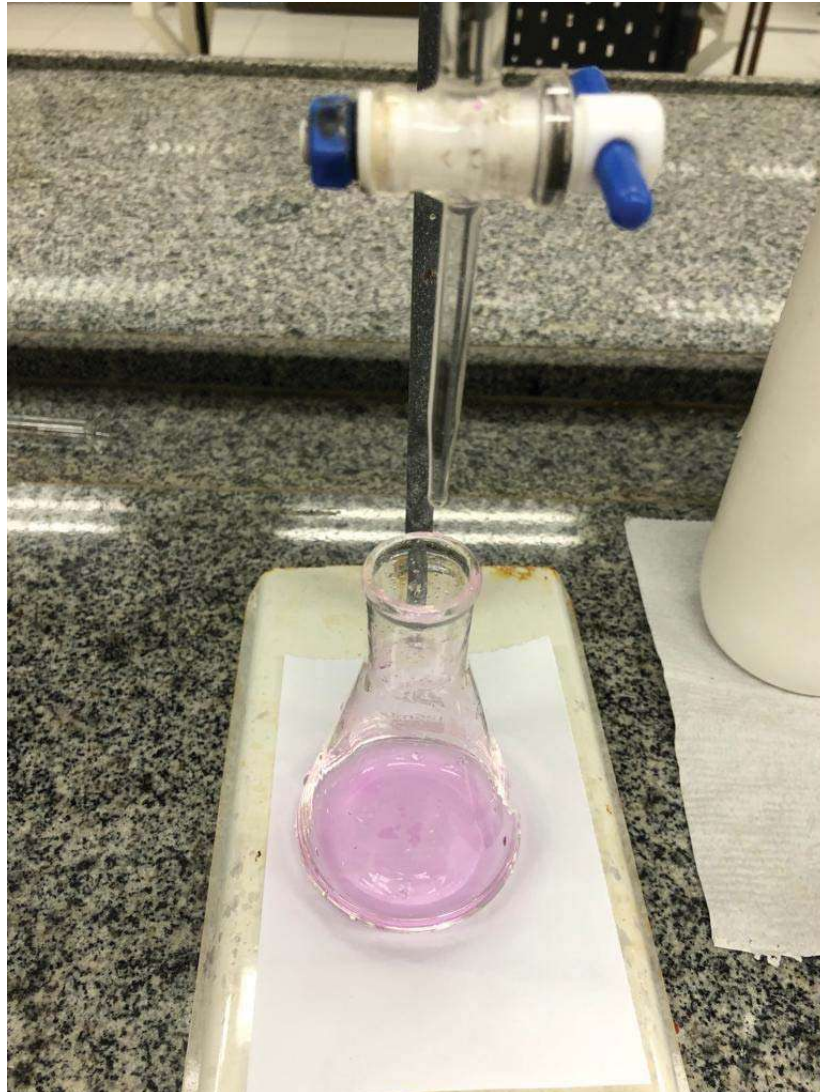
O teor alcóolico foi mensurado utilizando a massa específica das amostras, determinado por picnometria, com auxílio de uma tabela de correspondência de densidade do destilado e concentração de álcool em volume (GL^o), que está anexada no Apêndice A (A.O.A.C., 1995). Em algumas situações, foi necessário realizar a interpolação linear dos dados utilizando a Equação 3.

$$\frac{y_a - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x_a - x_1}{x_2 - x_1} \quad (3)$$

Onde y_a é a densidade calculada da amostra, y_1 é a densidade tabelada inferior a y_a , y_2 é a densidade tabelada maior que y_a , x_a é o grau alcoólico da amostra a ser calculado, x_1 é o grau alcoólico correspondente à y_1 e x_2 é o grau alcoólico correspondente a y_2 .

4.3.6. Teor de acidez total

O índice de acidez total será realizado pelo método de titulação, como ilustrado na figura 14. Para isso transferiu-se 20 mL da amostra, para um frasco Erlenmeyer de 500 mL. Adicionou-se 3 gotas do indicador fenolftaleína. Titulou-se com solução de hidróxido de sódio 0,01 mol/L até coloração rósea, o fator de correção da solução foi 1,037.

Figura 14- Titulação de Acidez Total

Fonte: Autoria Própria

A acidez total do álcool combustível foi calculada por meio da Equação 4.

$$AT = \frac{C \times 60,05 \times 1000}{V_1} \times V_2 \quad (4)$$

Em que, AT é a acidez total expressa em miligramas de ácido acético por litro de álcool combustível (mg/L); 60,05 é a massa molecular do ácido acético (g/mol); C é a concentração molar real da solução de hidróxido de sódio 0,02 mol/L (mol/L); V_1 é o volume de álcool combustível utilizado (mL); V_2 é o volume de hidróxido de sódio utilizado na titulação (mL) (ANP, 2018).

4.3.7. Resíduo por evaporação

O teor de resíduo presente na amostra foi quantificado por evaporação de acordo com a NBR 8644 conforme ilustrado na figura 15.

Figura 15- Banho evaporador para análise de resíduo das amostras



Fonte: Autoria Própria

Para realização do método foram pesados dois béqueres vazios, o do ensaio e o branco. Filtrou-se a amostra em funil de vidro sinterizado, após a filtração adicionou-se 50 mL no béquer, em seguida foi colocado no banho evaporador até completa evaporação da amostra. No final os béqueres foram removidos do evaporador e colocados no dessecador, onde permaneceram para esfriar por 2 horas, em seguida foram pesados. O teor de resíduo foi calculado por meio da Equação 5.

$$N = 2000 \times (B - D + X - Y) \quad (5)$$

Em que, N é o teor do resíduo (mg/100 mL); B é a massa do béquer de ensaio após a evaporação (g); D é a massa do béquer de ensaio vazio antes da evaporação (g); X é a massa do béquer do branco antes da evaporação (g); Y é a massa do béquer do branco após a evaporação (g) (ANP, 2018).

4.3.8. Teor de Sódio

O teor de sódio presente no álcool combustível foi quantificado através do método da fotometria de chama de acordo com a NBR 10422, o equipamento está indicado na Figura 16.

Figura 16- Espectrômetro de absorção atômica



Fonte: Autoria Própria

Para realizar a análise de absorção atômica a amostra de 50 mL de álcool combustível foi homogeneizada, aspirada e atomizada em uma chama Ar/GLP. Os átomos de sódio ao receberem a energia da chama passam do estado fundamental para o estado excitado, ao retornarem ao estado fundamental emitem energia em um comprimento de onda específico. Esta energia é proporcional à concentração do elemento que foi captada por um sistema óptico

e processada por um sistema eletrônico. A intensidade da cor produzida na chama foi convertida em unidades de emissão e a concentração de sódio foi quantificada (ANP, 2018).

4.3.9. Teor de hidrocarbonetos

A determinação do teor de hidrocarboneto presente no álcool combustível foi realizada pelo método volumétrico de acordo com a NBR 13993, indicada na Figura 17.

Figura 17- Análise de hidrocarbonetos



Fonte: Autoria Própria

Para isto 50 mL da amostra de álcool combustível foi transferida para a proveta graduada de 100 mL com tampa sendo adicionado à solução de cloreto de sódio a 100 g/L até a graduação indicada na proveta. Em seguida tampou-se a proveta para realização de 10 inversões sucessivas sem agitação vigorosa a fim de promover a separação da solução aquosa da camada de hidrocarbonetos. A solução repousou por 5 minutos onde anotou-se o volume da camada oleosa (V) para calcular o teor de hidrocarboneto (T) conforme a Tabela 4.

Tabela 4- Teor de hidrocarboneto na amostra

V (mL)	T (% v/v)
Não detectado ^a	Não detectado
< 0,5	< 2
>= 0,5	(A x 2) + 1

^a Reportar como não detectado se não identificada visualmente a presença de hidrocarbonetos

Fonte: ANP (2018)

4.3.10. Cromatografia Gasosa

A análise de cromatografia gasosa foi realizada no Laboratório de Análise de Alimentos do Departamento de Tecnologia de Alimentos na Universidade Federal de Viçosa.

Foram realizadas análises de cromatografia gasosa do álcool de posto, álcool de cachaçaria, álcool produzido no laboratório e do subproduto, o qual foi utilizado para produção do mesmo. Foram analisados os principais voláteis, entre eles: aldeído, metanol, acetato de etila, propanol, álcool isobutílico e álcool isoamílico.

Esse cromatógrafo foi utilizado para determinar as concentrações dos compostos nas amostras analisadas, por cromatografia em fase gasosa.

Foram utilizados os seguintes equipamentos: balança analítica, cromatógrafo gasoso GC-17, modelo Shimadzu QP5050, com detector de ionização de chama (FID), coluna capilar de sílica fundida PAG, de caráter muito polar, com as seguintes dimensões: (30 m de comprimento x 0.25 mm de espessura de filme x 0.25 µm de diâmetro interno). O hélio foi utilizado como gás de arraste, o ar sintético foi utilizado como gás de ignição e manutenção da chama e o gás hidrogênio foi responsável pela chama do detector, todos com alto grau de pureza (99, 999 %). Microseringa de 10 µL graduada em 0,1 µL, pipetas graduadas em 1 mL e 10 mL, balões volumétricos de 10 mL e 100 mL, proveta de 100 mL e funil. Para análise foram utilizados padrões com grau cromatográfico da empresa Merck.

As condições cromatográficas foram as seguintes: temperatura inicial de 35 °C por 5 minutos, subiu a uma taxa de 10 °C por minuto até 120 °C, permanecendo nesta temperatura por 10 minutos.

Temperatura do injetor: 180 °C

Temperatura do detector: 200 °C

Vazão do gás de arraste (He): 1 mL/min.

Vazão da chama (H₂): 20 mL/min.

Vazão do ar sintético: 175 mL/min.

Razão de divisão: split 1:2

(ANP, 2018)

Injetou-se 1 µL das amostras para realizar a análise. A identificação dos compostos, foram realizados por comparação dos respectivos tempos de retenção nos picos do cromatograma da amostra com o padrão analisado. A área do pico foi integrada para calcular o teor de cada composto presente na amostra utilizando a Equação 6. As concentrações desses compostos foram indicadas em percentual em volume (% v/v) (ANP, 2018).

$$C = \frac{c \times h \times I}{H \times i} \quad (6)$$

Em que C é a concentração do composto (mg/L); c é a concentração padrão considerado 1 mg/L; h é o padrão interno na solução padrão; I é concentração da substância no padrão; H é padrão interno na amostra; i é a concentração da substância na amostra.

Os compostos foram identificados de acordo com o tempo de retenção de cada componente, esses tempos estão descritos na Tabela 5.

Tabela 5. Tempo de Retenção dos compostos quantificados nas amostras

Compostos	Tempo de Retenção
Acetaldeído	2,9
Acetato de Etila	4,5
Metanol	4,9
1-Propanol	8,5
Álcool Isobutílico	9,8
Padrão Interno (4-metil-2-pentanol)	11,4
Álcool Isoamílico	12,1

4.3.11. Teor de Acidez Volátil

O método utilizado para determinação da acidez volátil foi o método titulométrico (Cazenave-Ferré), que utiliza o equipamento ilustrado na Figura 18. Esse procedimento baseia-se na separação dos ácidos voláteis, efetuada através de arraste do vapor d'água e retificação dos vapores. Na titulação do destilado com solução de hidróxido de sódio, o indicador empregado é fenolftaleína.

Figura 18- Determinador de Acidez Volátil



Fonte: Autoria Própria

Para isso colocou-se 10 mL da amostra no borbulhador, adicionando em seguida 250 mL de água destilada no gerador de vapor do aparelho de destilação que foi conectado ao condensador. Levou-se a água à ebulição, com a torneira de vapor aberta, a fim de eliminar o ar do aparelho e, eventualmente, o gás carbônico da água destilada. Em seguida, fechou-se a torneira para que o vapor de água borbulhe na amostra, arrastando os ácidos voláteis. Recolheu-se 100 mL do destilado. Realizou a titulação para quantificar o teor de ácido acético expresso em acidez volátil, do destilado com hidróxido de sódio 0,1 N, em presença de fenolftaleína.

A acidez volátil do álcool combustível foi calculada por meio da Equação 7.

$$AV = \frac{C \times 60,05 \times 1000}{V1} \times V2 \quad (7)$$

Em que, AV é a acidez volátil expressa em miligramas de ácido acético por litro de álcool combustível (mg/L); 60,05 é a massa molecular do ácido acético (g/mol); C é a concentração molar real da solução de hidróxido de sódio 0,02 mol/L (mol/L); $V1$ é o volume de álcool combustível utilizado (mL); $V2$ é o volume de hidróxido de sódio utilizado na titulação (mL) (BRASIL,1986).

4.4. Etapa 4 – Análises no Subproduto utilizado para fabricação do Álcool

O subproduto utilizado para a fabricação do álcool combustível no laboratório, foi analisado da mesma forma que o etanol produzido a partir do mesmo.

As análises realizadas foram aspecto visual, cor, pH, massa específica, teor alcoólico, teor de acidez, resíduo por evaporação, teor de sódio, teor de hidrocarbonetos, teor de acidez volátil e análise cromatográfica.

4.5. Viabilidade econômica do processo

Para o cálculo dos indicadores financeiros foi utilizado um programa de auxílio e suporte para tomada de decisões, sendo esse o Excel para análise de viabilidade econômica. Sendo analisados indicadores financeiros tais como: fluxo de caixa, taxa interna de retorno, valor presente líquido, relação benefício custo e tempo de retorno do capital. A simulação foi realizada abrangendo toda a gama de matéria-prima utilizada, sendo realizado o projeto da produção de álcool combustível por meio dos subprodutos da produção de uma cachaçaria

Para a análise econômica foi realizado um fluxo de caixa computando todas as despesas e receitas anuais do empreendimento, supondo que todo o etanol produzido seja vendido conforme a Equação 8 (BONATO FILHO, 2013).

$$S_t = R_t - D_t \quad (8)$$

Em que, S_t é o fluxo de caixa no período t (R\$); R_t é a receita no período t (R\$); D_t é a despesa no período t (R\$) e t é o período de tempo dentro da vida útil do investimento (ano). Ao finalizar

o fluxo de caixa, realizou-se uma avaliação econômica do empreendimento, com as medidas de rentabilidade e liquidez apresentadas a seguir.

4.5.1. Valor Presente Líquido (VPL)

O valor presente líquido consiste no somatório do valor das parcelas periódicas do fluxo de caixa gerado ao longo da vida útil do empreendimento. Este foi calculado utilizando a Equação 9 (BONATO FILHO, 2013).

$$VPL(r) = \sum_0^T \frac{S_t}{(1+r)^t} \quad (9)$$

Em que, $VPL(r)$ é o valor presente líquido para a taxa de juros r (R\$); S_t é o fluxo de caixa no período t (R\$); T é o tempo de vida útil do investimento (ano); r é a taxa de juros do mercado (adimensional); t é o período de tempo dentro da vida útil do investimento (ano).

4.5.2. Taxa Interna de Retorno (TIR)

A Taxa Interna de Retorno refere-se à máxima taxa de juros de mercado suportada pelo investimento sem se tornar economicamente inviável. É a taxa de juros que torna o VPL igual a zero. A TIR foi calculada utilizando a Equação 10 (BONATO FILHO, 2013).

$$\sum_0^T \frac{S_t}{(1+r)^t} = 0 \quad (10)$$

Em que, S_t é o fluxo de caixa no período t (R\$); T é o tempo de vida útil do investimento (ano); r é a taxa de juros do mercado (adimensional); t é o período de tempo dentro da vida útil do investimento (ano).

Para um investimento ser economicamente atrativo, a TIR deve ser maior que a taxa mínima de atratividade do capital, ou seja, maior do que o custo de oportunidade da taxa de juros do mercado.

4.5.3. Relação Benefício Custo (RBC)

A Relação Benefício Custo é a razão entre o somatório do fluxo de caixa descontado de entrada e o somatório do fluxo descontado de saída. Trata-se de um índice que mostra o retorno total do capital e dos custos de operação ao longo da vida útil do investimento, conforme a Equação 11 (BONATO FILHO, 2013).

$$RBC = \frac{\sum_{t=0}^T \left[\frac{R_t}{(1+r)^t} \right]}{\sum_{t=0}^T \left[\frac{D_t}{(1+r)^t} \right]} \quad (11)$$

Em que, RBC é a Relação Benefício/Custo (adimensional); R_t é a receita no período t (R\$); D_t é a despesa no período t , (R\$). Para que um investimento seja economicamente viável, sua Relação Benefício/Custo deve ser maior que 1.

4.5.4. Tempo de Retorno do Capital (TRC)

O Tempo de Retorno do Capital corresponde ao período de tempo necessário para que o capital investido seja integralmente recuperado. Matematicamente, é o período de tempo que torna o somatório do fluxo de caixa descontado do investimento igual à zero (BONATO FILHO, 2013).

4.6. Análise estatística

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, onde foram analisados o álcool produzido na cachaçaria, na usina e no laboratório, com três tratamentos (amostras de álcool) e três repetições. Os dados foram submetidos a ANOVA, as médias dos tratamentos e dos seus respectivos desdobramentos foram comparados pelo teste de tukey a 5% de probabilidade. Os procedimentos estatísticos foram realizados através do programa estatístico Minitab.

Os parâmetros avaliados foram: acidez total, massa específica, teor alcoólico, pH, teor de aldeídos, teor de álcoois superiores, teor de ésteres, teor de etanol, resíduo por evaporação, teor de sódio e acidez volátil.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Etapa 1 – Produção da Cachaça de Alambique

A produção da cachaça foi realizada em duas bateladas, para isso preparou-se duas dornas de fermentação, os dados para preparo das dornas estão apresentados na Tabela 6. Sendo quantificado o teor de sólidos solúveis após a diluição, o volume total de água gasto utilizado e o volume de caldo de cana necessário no preparo das dornas.

Tabela 6 - Dados da preparação das dornas de fermentação

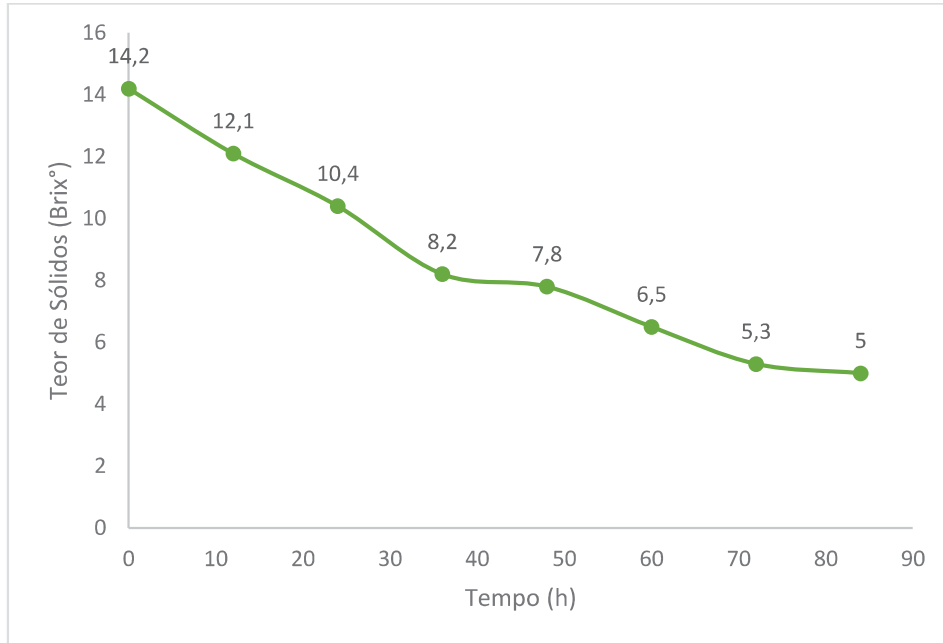
Dorna	Teor de Sólidos Solúveis (°Brix)	Volume de água (L)	Volume de Caldo de cana (L)
Dorna 1	14,2	74,3	125,7
Dorna 2	14,1	57,9	102,1

Nota-se grande diferença no volume de água utilizado para diluição do caldo, tal fato pode ser explicado pela utilização da técnica de batelada alimentada na segunda dorna de fermentação, em que foi utilizado um volume de 40 litros da fermentação precedente para ativar a fermentação seguinte.

Durante o experimento foram realizadas medições do teor de sólidos solúveis de 12 em 12 horas ao longo do tempo de fermentação das dornas. A variação do teor de sólidos solúveis dos mostos com o tempo de fermentação pode ser observada nas Figuras 19 e 20.

Figura 19- Gráfico da Variação do teor de sólidos solúveis no tempo de fermentação na dorna

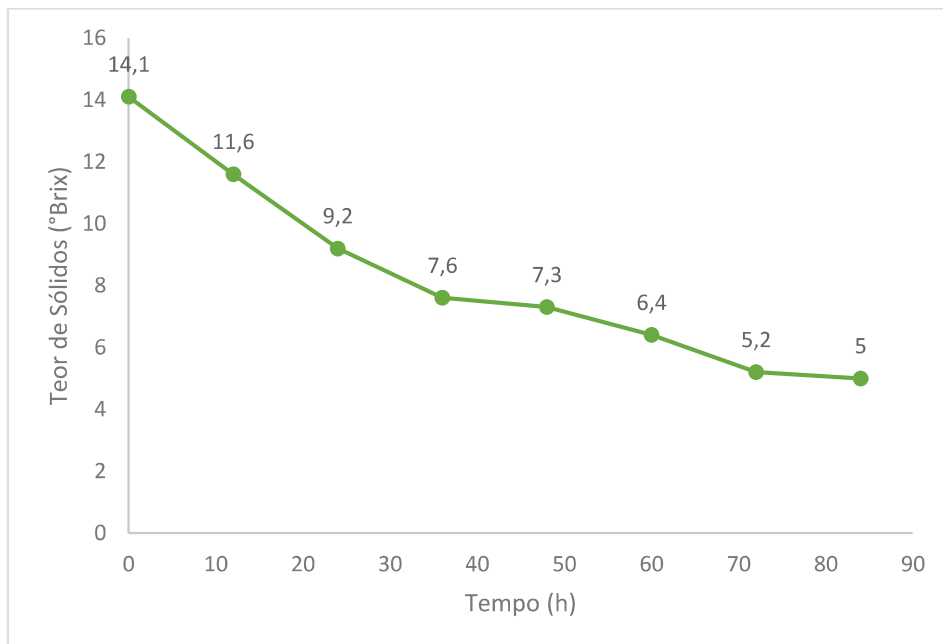
1



Fonte: Autoria Própria

Figura 20- Gráfico da Variação do teor de sólidos solúveis no tempo de fermentação na dorna

2



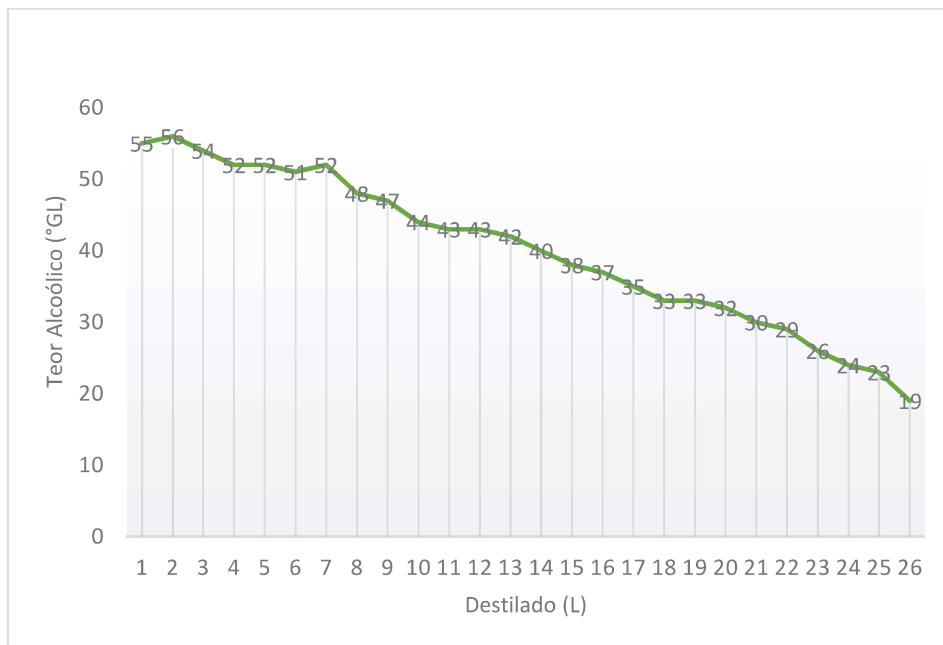
Fonte: Autoria Própria

A fermentação foi finalizada quando o teor de sólidos solúveis atingiu 5° Brix, quando ocorre a estabilização do mesmo. O mosto fermentado seguiu para a etapa de destilação afim

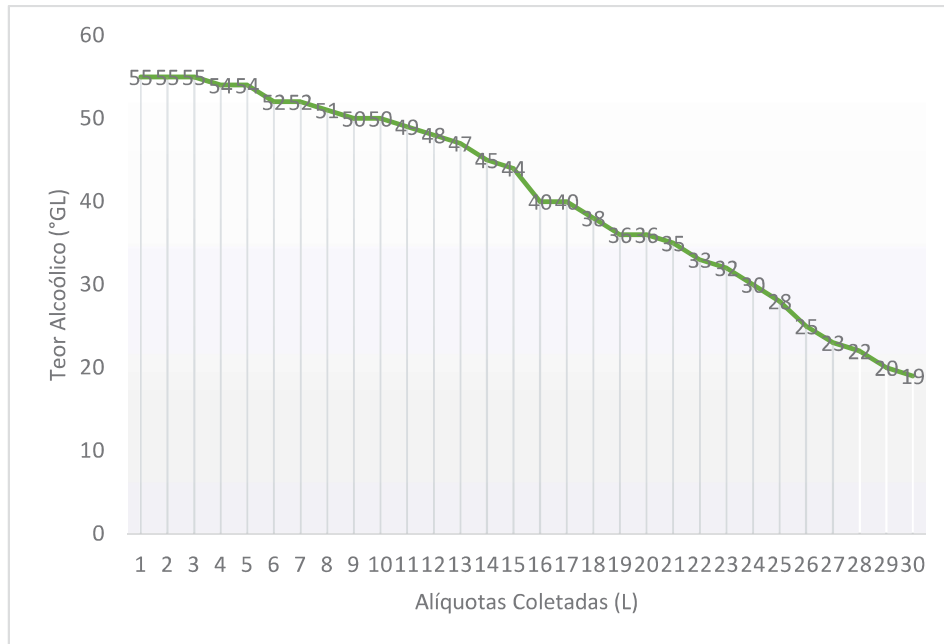
de obter a cachaça. O teor alcóolico do vinho foi calculado pela calculadora online da Cervejaria Faller, que compara o teor de sólidos solúveis antes e após a fermentação. O teor alcóolico encontrado no mosto fermentado da Dorna 1 foi de 7,74 e na Dorna 2 foi 7,61.

A partir do teor alcóolico calculado dos mostos foi possível, pela equação 1, estimar o volume de coleta das partes de cabeça, coração e calda. Sendo estimado um volume de 3 litros para as partes de cabeça e cauda e de 24 litros para o coração. As Figuras 21 e 22 apresentam, graficamente, a variação do teor alcóolico na saída do alambique com as alíquotas de destilado coletado:

Figura 11 - Teor alcóolico do destilado da Dorna 1



Fonte: Autoria Própria

Figura 22 - Teor alcoólico do destilado da Dorna 2

Fonte: Autoria Própria

É perceptível verificar através do gráfico a queda do teor alcoólico do destilado ao longo da destilação. Além disso, na destilação do mosto da dorna 1, obteve-se um volume menor de coração, o fato se deve à um brusco decaimento do teor alcoólico de saída, levando a decisão de interromper a coleta de coração e iniciar a de cauda.

Com os volumes de cabeça e cauda coletados no experimento, encontra-se o rendimento do processo de produção de cachaça. Para isso, basta dividir o volume total de mosto fermentado usado na destilação pelo volume de cada parte encontrada. A Tabela 7 lista o rendimento médio de cada parte da cachaça.

Tabela 7 - Rendimento dornas de fermentação.

Parte	Rendimento
Cabeça	1,87 ± 0,00 %
Coração	13,75 ± 1,77 %
Cauda	1,87 ± 0,00 %

Tendo como objetivo principal do experimento a reutilização da cabeça e cauda produzida na fabricação da cachaça para a produção de álcool combustível, constata-se que 3,74% do volume total de mosto fermentado de cana-de-açúcar representa o montante a ser utilizado na produção de álcool combustível.

5.2. Etapa 2 - Produção do Álcool Combustível

A produção do álcool combustível foi realizada no anexo do Laboratório de Bebidas Fermentadas e Destiladas, na Vila Gianetti, Casa nº 23 da Universidade Federal de Viçosa, em parceria com o Sítio Santa Luzia onde foi coletado o subproduto da produção de cachaça a fim de produzir álcool combustível.

Coletou-se 120 L de subproduto para realização do experimento em triplicata. Para produzir o álcool foi utilizada uma coluna de retificação.

5.2.1. Primeira Destilação

Inicialmente levou-se para a coluna de retificação 30 L de subproduto para o processo de destilação, durante a primeira destilação acompanhou-se os parâmetros temperaturas inicial e final da panela, temperatura de início da destilação, temperaturas inicial e final do capitel, temperaturas inicial e final do deflegmador e tempo de destilação. Os dados foram coletados e estão descritos na Tabela 8.

Tabela 8- Parâmetros analisados durante a 1ª destilação do subproduto

Temp. inicial panela (C°)	Temp. final panela (C°)	Temp. início destilação (C°)	Temp. inicial capitel (C°)	Temp. final capitel (C°)	Temp. inicial deflegmador (C°)	Temp. final deflegmador (C°)	Tempo de destilação (h)
22,42 ± 4,02	84,42 ± 1,28	76,5 ± 0,25	25 ± 6,93	79,5 ± 2	25 ± 6,08	73,33 ± 1,53	03:25 ± 0,02

A destilação ocorreu no equipamento no modo manual, a temperatura inicial da panela estava em 22,42 e desvio padrão de 4,02, essa variação se deve a variação de temperatura do subproduto inserido na coluna e ao clima no dia da destilação já que essa foi realizada em dias e temperaturas diferentes.

O setpoint foi programado para atingir 100°C, porém isso influenciou somente para o aquecimento da panela já que no final da destilação a panela atingiu 84,42°C isso se deve ao fato da quantidade de etanol presente na mistura etanol e água. À medida que ocorreu a destilação, a temperatura aumentou, já que a quantidade de água no interior da panela também aumentou e essa possui temperatura de ebulição maior que a do etanol.

O início da destilação ocorreu na temperatura de 76,5°C, com isso podemos verificar que os compostos mais voláteis foram destilados no início da destilação.

A temperatura inicial do capitel foi 25°C, houve variação considerável da mesma, isso se deve ao fato do clima no momento da destilação. O capitel corresponde à parte do destilador colocada sobre a caldeira, podendo ter a forma de "pêra", que continua com a tubulação designada "pescoço de cisne" ou em forma de "cabeça de mouro", que continua com um braço reto e levemente inclinado. O formato "cabeça de mouro" favorece a extração de aromas. Em ambos os casos, é interessante que o capitel fique um pouco elevado, em relação à superfície do líquido a destilar, pois favorece a obtenção de destilado de melhor qualidade, na coluna de destilação em questão o capitel tem a função de ser o primeiro estágio da coluna, ajudando a obter destilados com maior concentração alcoólica (RIZZON, 2006). A temperatura final do capitel foi 79,5°C sendo possível extrair os compostos mais voláteis da mistura etanol e água.

A temperatura inicial do deflegmador foi 25°C, nesse momento ainda não ocorreu nenhuma destilação e esse se encontrou a temperatura em que o ambiente estava.

A temperatura final do deflegmador foi 73,33°C. O deflegmador tem como função produzir um refluxo interno, responsável por enriquecer a graduação alcoólica do produto de topo. Quando os perfis de temperatura do deflegmador se mantêm em uma temperatura menor do que a do ponto de bolha da mistura, este consegue reter o vapor que chega até ele, produzindo um refluxo interno e conduzindo os vapores ao condensador com uma alta graduação alcoólica. Com isso podemos verificar que o destilado possui alto teor alcoólico, o que foi possível devido a taxa de refluxo.

A primeira destilação ocorreu em 3:25 horas, nessa coletou-se 20L de destilado, sendo acompanhado o volume do destilado, tempo de destilação, temperatura da panela, temperatura do destilado e temperatura do deflegmador. Na primeira destilação do subproduto obtivemos os resultados representados na Tabela 9.

Tabela 9- Acompanhamento da 1ª destilação do subproduto

Volume (L)	Tempo (minutos)	Temp. Panela (°C)	Temp. Destilado (°C)	Temp. Deflegmador (°C)
0,5	5:53 ± 0,11	76,67 ± 0,29	23,67 ± 1,15	68,67 ± 0,58
1	5:28 ± 0,08	76,75 ± 0,25	24,33 ± 1,53	69,00 ± 1,00
1,5	5:38 ± 0,08	76,75 ± 0,25	24,67 ± 1,15	69,00 ± 1,00
2	5:26 ± 0,06	76,92 ± 0,29	24,67 ± 1,15	69,00 ± 1,00
2,5	5:33 ± 0,07	76,92 ± 0,29	24,67 ± 1,15	69,00 ± 1,00
3	5:27 ± 0,07	77,00 ± 0,25	24,67 ± 1,15	69,00 ± 1,00

3,5	5:53 ± 0,09	77,00 ± 0,25	24,67 ± 1,15	69,00 ± 1,00
4	6:06 ± 0,10	77,17 ± 0,29	24,67 ± 1,15	69,00 ± 1,00
4,5	6:13 ± 0,11	77,25 ± 0,25	24,67 ± 1,15	69,00 ± 1,00
5	6:07 ± 0,10	77,25 ± 0,25	24,67 ± 1,15	69,00 ± 1,00
5,5	5:38 ± 0,07	77,25 ± 0,25	25,00 ± 1,00	69,33 ± 0,58
6	5:10 ± 0,04	77,42 ± 0,38	25,00 ± 1,00	69,33 ± 0,58
6,5	5:07 ± 0,04	77,50 ± 0,25	25,00 ± 1,00	69,33 ± 0,58
7	4:37 ± 0,03	77,50 ± 0,25	25,00 ± 1,00	69,33 ± 0,58
7,5	5:09 ± 0,06	77,58 ± 0,38	25,00 ± 1,00	69,67 ± 0,58
8	4:23 ± 0,01	77,67 ± 0,38	25,33 ± 1,53	70,00 ± 0,00
8,5	4:30 ± 0,01	77,75 ± 0,25	25,33 ± 1,53	70,00 ± 0,00
9	4:27 ± 0,01	77,83 ± 0,38	25,33 ± 1,53	70,00 ± 0,00
9,5	4:35 ± 0,01	77,92 ± 0,38	25,33 ± 1,53	70,00 ± 0,00
10	4:30 ± 0,01	78,00 ± 0,25	25,33 ± 1,53	70,00 ± 0,00
10,5	4:26 ± 0,01	78,17 ± 0,38	25,33 ± 1,53	70,00 ± 0,00
11	4:25 ± 0,01	78,17 ± 0,38	25,33 ± 1,53	70,00 ± 0,00
11,5	4:33 ± 0,01	78,33 ± 0,38	25,33 ± 1,53	70,00 ± 0,00
12	4:29 ± 0,00	78,42 ± 0,38	25,33 ± 1,53	70,00 ± 0,00
12,5	4:36 ± 0,00	78,58 ± 0,38	25,33 ± 1,53	70,00 ± 0,00
13	4:34 ± 0,01	78,67 ± 0,38	25,33 ± 1,53	70,33 ± 0,58
13,5	4:42 ± 0,00	78,92 ± 0,38	25,33 ± 1,53	70,33 ± 0,58
14	4:31 ± 0,00	79,00 ± 0,50	25,33 ± 1,53	70,33 ± 0,58
14,5	4:39 ± 0,00	79,25 ± 0,50	25,33 ± 1,53	70,33 ± 0,58
15	4:37 ± 0,01	79,42 ± 0,63	25,33 ± 1,53	70,67 ± 0,58
15,5	4:42 ± 0,01	79,67 ± 0,63	25,33 ± 1,53	71,00 ± 0,00
16	4:43 ± 0,01	79,92 ± 0,63	25,33 ± 1,53	71,00 ± 0,00
16,5	4:47 ± 0,01	80,33 ± 0,76	25,33 ± 1,53	71,00 ± 0,00
17	4:44 ± 0,01	80,67 ± 0,88	25,33 ± 1,53	71,00 ± 0,00
17,5	4:52 ± 0,01	81,08 ± 1,01	25,67 ± 1,15	71,00 ± 0,00
18	4:52 ± 0,01	81,58 ± 1,01	25,67 ± 1,15	71,33 ± 0,58
18,5	5:04 ± 0,01	82,17 ± 1,04	25,67 ± 1,15	71,33 ± 0,58
19	5:04 ± 0,01	82,75 ± 1,15	25,67 ± 1,15	71,67 ± 1,15
19,5	5:22 ± 0,01	83,58 ± 1,26	25,67 ± 1,15	72,33 ± 0,58

20	5:32 ± 0,01	84,42 ± 1,28	25,67 ± 1,15	73,33 ± 1,53
----	-------------	--------------	--------------	--------------

O destilado foi coletado a cada 0,5L, onde foram sendo misturados à medida que a destilação foi ocorrendo, o tempo de cada coleta variou entre 4 a 6 minutos. A temperatura da panela foi aumentando gradativamente à medida que foi diminuindo o teor alcoólico do subproduto.

A temperatura do destilado e do deflegmador seguiram a mesma proporção, ao passo que a destilação foi ocorrendo, a temperatura foi aumentando uma vez que o teor alcoólico foi diminuindo, após a destilação foi realizado a análise para verificar o teor alcoólico do destilado obtido, esse foi de 86,4 INPM após a primeira destilação.

5.2.2. Segunda Destilação

Foi realizado a segunda destilação com o destilado coletado da coluna de retificação, antes de adicionar a solução a ser destilação, realizou-se o esgotamento da coluna, utilizando o sistema de bomba de vácuo. Foi inserido 20L da solução na panela, a fim de realizar a segunda destilação do subproduto já destilado anteriormente.

Acompanhou-se os parâmetros temperaturas inicial e final da panela, temperatura de início da destilação, temperaturas inicial e final do capitel, temperaturas inicial e final do deflegmador e tempo de destilação. As informações foram coletadas e estão descritas na Tabela 10.

Tabela 10- Parâmetros analisados durante a 2ª destilação do subproduto

Temp. inicial panela (C°)	Temp. final panela (C°)	Temp. início destilação (C°)	Temp. inicial capitel (C°)	Temp. final capitel (C°)	Temp. inicial deflegmador (C°)	Temp. final deflegmador (C°)	Tempo de destilação (h)
21,83±1,04	76,75±1,25	73,83±0,29	22,67±0,58	78,33±0,58	23±1,00	69±0,00	05:37±0,01

A destilação ocorreu no equipamento no modo manual, a temperatura inicial da panela foi de 21,83, houve variação da temperatura do subproduto inserido na coluna e do clima no dia da destilação já que as repetições foram realizadas em dias diferentes.

No final da destilação a panela atingiu 76,75°C isso se deve ao fato da quantidade de etanol presente na mistura etanol e água. Ao passo que a destilação foi ocorrendo, a temperatura aumentou, já que a quantidade de água no interior da panela também aumentou e essa possui

temperatura de ebulição maior que a do etanol, essa temperatura foi menor que a atingida na primeira destilação, isso se deve ao fato da mistura possuir maior teor de álcool.

O início da destilação ocorreu na temperatura de 73,83°C, com isso podemos verificar que os compostos mais voláteis foram destilados no início da destilação.

A temperatura inicial do capitel foi 22,67°C e a final foi 78,33°C sendo possível extrair os compostos mais voláteis da mistura etanol e água.

A temperatura inicial do deflegmador foi 23°C, estando a temperatura em que o ambiente estava.

A temperatura final do deflegmador foi 69°C, a taxa de refluxo empregada foi maior que a utilizada na primeira destilação, assim a temperatura foi menor, com isso o destilado foi mais puro, o que pode ser confirmado ainda pelo tempo da destilação que foi de 5:37horas, sendo maior que o tempo da primeira destilação.

No final da segunda destilação coletou-se 15L de destilado, sendo acompanhado o volume do destilado, tempo de destilação, temperatura da panela, temperatura do destilado e temperatura do deflegmador. As informações estão descritas na Tabela 11.

Tabela 11- Parâmetros analisados na 2ª destilação do subproduto

Volume (L)	Tempo (minutos)	Temp. Panela (°C)	Temp. Destilado (°C)	Temp. Deflegmador (°C)
0,5	09:18 ± 0,01	74,33 ± 0,38	24,33 ± 1,53	68,00 ± 0,00
1	11:53 ± 0,02	74,42 ± 0,38	24,00 ± 1,00	68,00 ± 0,00
1,5	12:06 ± 0,01	74,50 ± 0,50	24,00 ± 1,00	68,00 ± 0,00
2	10:24 ± 0,10	74,50 ± 0,50	24,33 ± 0,58	68,33 ± 0,58
2,5	11:20 ± 0,04	74,58 ± 0,38	24,33 ± 0,58	68,33 ± 0,58
3	11:47 ± 0,05	74,58 ± 0,38	24,33 ± 0,58	68,00 ± 0,00
3,5	11:55 ± 0,05	74,67 ± 0,38	24,33 ± 0,58	68,00 ± 0,00
4	12:00 ± 0,07	74,67 ± 0,38	24,33 ± 0,58	68,00 ± 0,00
4,5	12:02 ± 0,08	74,75 ± 0,50	24,33 ± 0,58	68,00 ± 0,00
5	11:59 ± 0,09	74,75 ± 0,50	24,33 ± 0,58	68,00 ± 0,00
5,5	11,33 ± 0,05	74,75 ± 0,50	24,33 ± 0,58	68,33 ± 0,58
6	11:40 ± 0,07	74,83 ± 0,63	24,33 ± 0,58	68,33 ± 0,58
6,5	12:17 ± 0,08	74,92 ± 0,63	24,67 ± 0,58	68,00 ± 0,00
7	12:04 ± 0,07	74,92 ± 0,63	25,00 ± 0,00	68,67 ± 0,58

7,5	11:21 ± 0,02	74,92 ± 0,63	25,00 ± 0,00	68,33 ± 0,58
8	10:50 ± 0,04	75,00 ± 0,50	25,33 ± 0,58	68,67 ± 0,58
8,5	11:24 ± 0,02	75,00 ± 0,50	25,33 ± 0,58	68,67 ± 0,58
9	11:16 ± 0,03	75,08 ± 0,63	25,33 ± 0,58	68,33 ± 0,58
9,5	11:05 ± 0,03	75,17 ± 0,63	25,33 ± 0,58	68,67 ± 0,58
10	10:33 ± 0,03	75,25 ± 0,75	25,33 ± 0,58	68,67 ± 0,58
10,5	10:54 ± 0,02	75,33 ± 0,63	25,33 ± 0,58	68,67 ± 0,58
11	10:33 ± 0,03	75,50 ± 0,75	25,33 ± 0,58	69,00 ± 0,00
11,5	11:12 ± 0,02	75,50 ± 0,75	25,00 ± 0,00	69,00 ± 0,00
12	10:34 ± 0,01	75,75 ± 0,75	25,33 ± 0,58	69,00 ± 0,00
12,5	10:58 ± 0,02	75,83 ± 0,88	25,33 ± 0,58	69,00 ± 0,00
13	10:42 ± 0,03	76,00 ± 1,00	25,67 ± 0,58	69,00 ± 0,00
13,5	10:55 ± 0,03	76,17 ± 1,01	25,67 ± 0,58	69,00 ± 0,00
14	10:52 ± 0,03	76,33 ± 1,13	25,67 ± 0,58	68,67 ± 0,58
14,5	11:30 ± 0,02	76,58 ± 1,13	25,67 ± 0,58	69,00 ± 0,00
15	11:11 ± 0,03	76,75 ± 1,25	25,67 ± 0,58	69,00 ± 0,00

O destilado da segunda destilação também foi coletado a cada 0,5L, sendo misturado à medida que a destilação foi ocorrendo, o tempo de cada coleta variou entre 9 e 12 minutos. A temperatura da panela foi aumentando gradativamente à medida que foi diminuindo o teor alcoólico da solução a ser destilada.

A temperatura do destilado e do deflegmador seguiram a mesma proporção, conforme a destilação foi ocorrendo, a temperatura foi aumentando uma vez que o teor alcoólico foi diminuindo, após a destilação foi realizado a análise para verificar o teor alcoólico do destilado obtido, esse foi de 89,8 INPM após a segunda destilação.

5.2.3. Terceira Destilação

O destilado retirado da segunda destilação, foi inserido novamente na coluna de retificação a fim de aumentar o teor alcoólico do produto e atingir o mínimo exigido pela legislação de 94,5 INPM para que possa ser utilizado como álcool combustível. Na Tabela 12 estão descritos os parâmetros analisados na terceira destilação realizada.

Tabela 12- Parâmetros analisados durante a 3ª destilação do subproduto

Temp. inicial panela (C°)	Temp. final panela (C°)	Temp. início destilação (C°)	Temp. inicial capitel (C°)	Temp. final capitel (C°)	Temp. inicial deflegmado r (C°)	Temp. final deflegmado r (C°)	Tempo de destilação (h)
19±1,15	73,25±0,00	72,42±0,14	19,60±2,23	77,67±1,15	19,6±2,09	67±0,00	06:49±0,01

A coluna de retificação operou no modo manual, a temperatura inicial da panela foi de 19°C, houve variação da temperatura do subproduto inserido na coluna e do clima no dia da destilação já que as repetições foram realizadas em dias diferentes.

No final da destilação a panela atingiu 73,25°C isso se deve ao fato da quantidade de etanol presente na mistura etanol e água. Ao passo que a destilação foi ocorrendo, a temperatura aumentou, já que a quantidade de água no interior da panela também aumentou e essa possui temperatura de ebulição maior que a do etanol, essa temperatura foi menor que a atingida nas duas destilações anteriores, devido ao fato da mistura possuir maior teor de álcool.

O início da destilação ocorreu na temperatura de 72,42°C, com isso podemos verificar que os compostos mais voláteis foram destilados.

A temperatura inicial do capitel foi 19,6°C e a final foi 77,67°C sendo possível extrair os compostos mais voláteis da mistura etanol e água.

A temperatura inicial do deflegmador foi 19,6°C, e a temperatura final foi 67°C, a taxa de refluxo empregada foi maior que a utilizada nas destilações anteriores, pois a temperatura foi menor, com isso o destilado possui maior teor de álcool, estando mais puro, o que pode ser confirmado ainda pelo tempo da destilação, que foi maior, sendo 6:49 horas. De acordo com Hoffmann, Terra e Michel Junior (2010) para determinação da melhor temperatura de trabalho do deflegmador objetivando atingir a maior graduação alcoólica, a melhor temperatura de operação do deflegmador é 67°C sendo o mesmo resultado encontrado pelo presente estudo.

Na terceira destilação coletou-se 10L de destilado, com isso o rendimento final da produção foi de 33,33% de álcool combustível. Acompanhou-se o volume do destilado, tempo de destilação, temperatura da panela, temperatura do destilado e temperatura do deflegmador. Os elementos coletados estão descritos na Tabela 13.

Tabela 13- Parâmetros analisados na 3ª destilação do subproduto

Volume (L)	Tempo (minutos)	Temp. Panela (°C)	Temp. Destilado (°C)	Temp. Deflegmador (°C)
0,5	19:29 ± 0,10	73,08 ± 0,14	19,83 ± 1,02	66,33 ± 0,58
1	21:02 ± 0,04	73,25 ± 0,00	20,07 ± 0,83	66,33 ± 0,58
1,5	22:22 ± 0,11	73,25 ± 0,00	20,23 ± 0,68	66,33 ± 0,58
2	21:07 ± 0,13	73,25 ± 0,00	20,30 ± 0,61	66,33 ± 0,58
2,5	19:26 ± 0,01	73,25 ± 0,00	21,00 ± 1,00	66,33 ± 0,58
3	19:30 ± 0,04	73,25 ± 0,00	21,00 ± 1,00	66,33 ± 0,58
3,5	19:37 ± 0,07	73,25 ± 0,00	21,33 ± 0,58	66,33 ± 0,58
4	19,25 ± 0,07	73,25 ± 0,00	21,33 ± 0,58	66,67 ± 0,58
4,5	19:53 ± 0,10	73,25 ± 0,00	22,00 ± 1,00	66,67 ± 0,58
5	18:20 ± 0,03	73,25 ± 0,00	22,00 ± 1,00	66,67 ± 0,58
5,5	19:39 ± 0,04	73,42 ± 0,14	22,00 ± 1,00	67,00 ± 0,00
6	18:00 ± 0,07	73,42 ± 0,14	22,33 ± 0,58	66,67 ± 0,58
6,5	18:11 ± 0,07	73,50 ± 0,00	22,67 ± 0,58	67,00 ± 0,00
7	18:06 ± 0,06	73,50 ± 0,00	22,67 ± 0,58	67,00 ± 0,00
7,5	20:42 ± 0,13	73,42 ± 0,14	23,00 ± 0,00	67,00 ± 0,00
8	21:54 ± 0,14	73,42 ± 0,14	23,00 ± 0,00	67,00 ± 0,00
8,5	22:19 ± 0,18	73,33 ± 0,14	23,00 ± 0,00	67,00 ± 0,00
9	25:10 ± 0,05	73,25 ± 0,00	23,33 ± 0,58	67,00 ± 0,00
9,5	22:56 ± 0,03	73,25 ± 0,00	23,33 ± 0,58	67,00 ± 0,00
10	22:24 ± 0,09	73,25 ± 0,00	23,33 ± 0,58	67,00 ± 0,00

Na terceira destilação o destilado também foi coletado a cada 0,5L, sendo misturado à medida que a destilação foi ocorrendo, o tempo de cada coleta variou entre 18 e 25 minutos. Com isso pode-se confirmar que a taxa de refluxo foi bem maior que das duas destilações anteriores, pois o tempo de destilação foi superior. A temperatura da panela foi aumentando gradativamente à medida que foi diminuindo o teor alcoólico da solução a ser destilada.

A temperatura do destilado e do deflegmador seguiram a mesma proporção, conforme a destilação foi ocorrendo, a temperatura foi aumentando conseqüentemente o teor alcoólico foi diminuindo, pois, a mistura ficou com teor alcoólico cada vez menor, uma vez que o destilado possui maior concentração de álcool.

5.3. Etapa 3 - Análises do Álcool Combustível

5.3.1. Aspecto

O aspecto do álcool combustível foi analisado de forma visual como indicado na Resolução ANP nº 764 / 2018 (ANP, 2018), na Tabela 14 tem-se os resultados obtidos.

Tabela 14- Resultados da análise de Aspecto

	Álcool Laboratório	Álcool Cachaçaria	Álcool Comercial
Aspecto	Límpido e isento de impurezas	Límpido e isento de impurezas	Límpido e isento de impurezas

De acordo com a análise de aspecto realizada no álcool produzido no laboratório, no álcool produzido em uma cachaçaria, no álcool comercializado em posto de combustível, pode-se verificar que os mesmos se encontram dentro do parâmetro exigido pela ANP, estando límpido e isento de impurezas.

5.3.2. Cor

A cor do álcool combustível foi analisada de forma visual como indicado na Resolução ANP nº 764 / 2018 (ANP, 2018). Os resultados obtidos estão descritos na Tabela 15.

Tabela 15- Resultados da análise de Cor

	Álcool Laboratório	Álcool Cachaçaria	Álcool Comercial
Cor	Incolor	Incolor	Incolor

De acordo com a Tabela 14 podemos verificar que os álcoois analisados estão de acordo com a legislação na análise de cor, os mesmos apresentaram coloração incolor, sendo esse o padrão exigido pela ANP.

5.3.3. pH

Antes da realização da análise o pHmetro foi previamente calibrado com solução tampão 4 e 7. Os resultados da análise de pH das amostras estão indicados na tabela 16.

Tabela 16- Resultados da análise de pH

	Álcool Laboratório	Álcool Cachaçaria	Álcool Comercial
pH	5,37 ^a ± 0,09	6,30 ^b ± 0,08	7,34 ^c ± 0,09

De acordo com a Resolução 7 da ANP, o pH do álcool combustível varia entre 6 e 8, o que significa que a solução é praticamente neutra, ou seja, nem muito básica e nem muita ácida. O pH é um índice que varia entre 1 e 14 e mede o grau de acidez ou basicidade de uma substância, cujo caráter aumenta de acordo com a distância do índice do número 7, que representa neutralidade.

Analisando a Tabela 12 é possível verificar que as três amostras diferem significativamente ao nível de 5% pelo Teste de Tukey. O álcool da cachaçaria e do posto de combustível estão de acordo com o exigido pela legislação com resultados de pH 6,30 e 7,34 respectivamente. Já o álcool produzido no laboratório está abaixo do mínimo permitido pela ANP, tal fato pode ter ocorrido durante o processo produtivo, quando destilou a amostra três vezes no equipamento, quanto transporte e armazenamento do produto.

Etanol combustível com pH ácido fora da especificação pode causar corrosão de peças de metal que entram em contato com o combustível, incluindo motor, tanque do carro assim como tanques e sistemas de bombeamento nos postos (BOSSLE, 2020).

5.3.4. Massa Específica

A massa específica do etanol foi quantificada pelo método da picnometria, o resultado das análises está descrito na Tabela 17.

Tabela 17- Resultado Massa Específica álcool combustível

	Álcool Laboratório	Álcool Cachaçaria	Álcool Comercial
Massa Específica (kg/m³)	813,24 ^a ± 0,0005	833,10 ^b ± 0,0001	811,42 ^c ± 0,0002

De acordo com a Tabela 17 as amostras analisadas se diferem significativamente. Os três álcoois analisados obtiveram a massa específica acima do limite estabelecido pela ANP de 805,2 a 811,2. O álcool comercial obteve massa específica bem próxima ao exigido sendo 811,42 kg/m³, já o álcool produzido em escala laboratorial obteve massa específica de 813,24 kg/m³, estando também próxima ao limite. O álcool produzido na cachaçaria diferiu consideravelmente do limite estabelecido pela ANP.

A elevação do ponto de ebulição pode estar relacionada com a massa molar e interações intermoleculares. Uma vez que compostos com maior massa molar também elevam a massa específica.

Por possuir poucos elementos químicos em sua formação, e cadeia com apenas dois átomos de carbono, o álcool combustível é um composto orgânico muito leve, sendo o mais leve dos combustíveis, esse fato está relacionado a massa específica do mesmo. Isso faz com que ele seja mais fácil de ser obtido e que teoricamente polua menos, fato que depende também da tecnologia empregada no motor dos veículos. A leveza do etanol também contribui para seu estado natural ser líquido e por possuir um baixo ponto de ebulição (78,4°C) (BOSSLE, 2020)..

O álcool combustível possui massa específica por volta de 811 kg/m³ a 20°C. Isso significa que a cada metro cúbico o etanol pesa apenas 811 quilogramas. Os valores mudam dependendo da mistura e da temperatura em que ele está submetido.

A massa específica dos compostos muda conforme a temperatura, pois essa variação influi em seu volume. Ou seja, a mesma quantidade de material pode ocupar menos ou mais espaço em função da quantidade de calor.

5.3.5. Teor alcoólico

O teor alcoólico das amostras foi analisado pelo método de picnometria, os resultados obtidos seguem na Tabela 18.

Tabela 18- Teor alcoólico dos álcoois analisados

	Álcool Laboratório	Álcool Cachaçaria	Álcool Comercial
Teor Alcoólico (% massa)	92,9 ^a ± 0,69	86,5 ± 0,00 ^b	93,7 ^a ± 0,00

O álcool para ser considerado combustível deve possuir teor alcoólico entre 92,5% e 94,6% em massa. De acordo com a Tabela 18 verifica-se que o álcool de laboratório e o álcool

comercial são significativamente iguais e diferem do álcool de cachaçaria ao nível de 5% de significância. Com isso, o álcool produzido no laboratório pode ser considerado álcool combustível pois após passar pelo processo de retificação o mesmo atingiu 92,9% em massa, bem como o álcool comercial que possui teor alcoólico de 93,7% em massa. Já o álcool produzido na cachaçaria possui teor alcoólico abaixo do especificado na ANP para ser considerado álcool combustível.

5.3.6. Teor de Acidez Total

O teor de acidez total foi calculado por meio de titulação das amostras analisadas, os resultados seguem na Tabela 19. A acidez total do etanol é expressa como a quantidade de ácido acético (mg), por quantidade de amostra (L).

Tabela 19- Índice de Acidez total nas amostras analisadas

	Álcool Laboratório	Álcool Cachaçaria	Álcool Comercial
Acidez Total (mg/L)	25,94 ^a ± 2,75	29,06 ^a ± 1,80	29,06 ^a ± 1,80

Ao analisar as amostras de álcool na Tabela 18 pode-se verificar que essas não diferem significativamente ao nível de 5% e se encontram dentro do especificado pela legislação, sendo limite máximo de 30 mg/L de ácido acético. O álcool com menor índice de acidez foi o produzido no laboratório, esse fato pode ser evidenciado pela retificação tripla do álcool combustível.

Dentre os parâmetros que são controlados, destaca-se a acidez total, devido a sua importância como indicador do grau de corrosão em que o motor automotivo está exposto. O potencial corrosivo é uma das principais adversidades do álcool usado como combustível, o que diminui consideravelmente a vida útil dos componentes automotores. Por isso é muito importante a realização do controle de qualidade dos combustíveis (SOBRAL *et al.*, 2009).

5.3.7. Resíduo por Evaporação

Para realização da análise, as amostras foram colocadas em banho evaporador até evaporação completa, a fim de quantificar o resíduo por evaporação, os resultados estão descritos na Tabela 20.

Tabela 20- Teor de resíduo nas amostras quantificadas por evaporação

	Álcool Laboratório	Álcool Cachaçaria	Álcool Comercial
Resíduo (mg/100mL)	2,73 ^a ± 0,25	9,87 ^b ± 1,36	5,00 ^c ± 0,72

De acordo com a Tabela 20 o teor de resíduos nas amostras difere significativamente ao nível de 5% pelo Teste de Tukey. A quantidade máxima permitida para o etanol no parâmetro de resíduo por evaporação é até 5 miligramas a cada 100 mililitros, esses são os resíduos que permanecem após a ebulição do combustível.

O álcool produzido no laboratório e o álcool comercial estão dentro do especificado pela ANP pois esses possuem 2,73 mg/100mL e 5,00 mg/100mL respectivamente de resíduo por evaporação. Já o álcool produzido na cachaçaria possui quantidade de resíduo por evaporação acima do permitido pela legislação.

5.3.8. Teor de hidrocarbonetos

Hidrocarbonetos são moléculas que contêm apenas carbono (C) e hidrogênio (H) em sua composição. São constituídos de carbono no qual os átomos de hidrogênio se ligam.

A análise para quantificar o teor de hidrocarbonetos nas amostras de álcool combustível foi realizada de acordo com a ANP, os resultados obtidos estão demonstrados na Tabela 21.

Tabela 21- Teor de hidrocarbonetos nas amostras

	Álcool Laboratório	Álcool Cachaçaria	Álcool Comercial
Teor de Hidrocarbonetos (% volume)	Não detectado	Não detectado	Não detectado

Nos combustíveis analisados o teor de hidrocarbonetos foi 0, ou seja, não foi detectado hidrocarbonetos nas amostras. Essas encontram-se dentro do limite estabelecido pela legislação, no qual o teor de hidrocarbonetos no álcool combustível deve ser não detectado.

5.3.9. Teor de Sódio

O teor de sódio foi quantificado por absorção atômica, essa análise foi realizada para o álcool combustível produzido no laboratório, álcool de cachaçaria e álcool comercial, os resultados estão descritos na Tabela 22.

Tabela 22- Teor de sódio nas amostras

	Álcool Laboratório	Álcool Cachaçaria	Álcool Comercial
Teor de Sódio(mg/kg)	0,00	0,00	0,00

Nos combustíveis analisados foi quantificado a concentração de 0 mg/kg de sódio nas amostras. Esse resultado está de acordo com o exigido pela ANP que determina o limite máximo de 2 mg/ kg de sódio no álcool combustível.

5.3.10. Cromatografia Gasosa

Foi realizada a análise micro analítica dos compostos presentes nas amostras por meio da cromatografia gasosa. Cada composto foi quantificado de acordo com a área do pico, que foi identificado de acordo com o tempo de retenção.

Os cromatogramas obtidos por meio da cromatografia gasosa nos álcoois produzido no laboratório, na cachaçaria e o álcool comercial estão inseridos no Apêndice.

Analisando os cromatogramas temos as concentrações dos compostos encontrados nos mesmos. Essas estão apresentadas na Tabela 23.

Tabela 23. Concentrações de compostos quantificados por cromatografia

	Álcool Laboratório	Álcool Cachaçaria	Álcool Comercial
Acetaldeído (mg/L)	3,750 ^a	2,691 ^b	5,054 ^c
Acetato de Etila(mg/L)	2,310 ^a	2,813 ^b	2,421 ^c
Metanol (mg/L)	0,000 ^a	4,490 ^b	0,000 ^a
1-Propanol (mg/L)	1,216 ^a	1,094 ^b	1,223 ^a
Álcool Isobutílico(mg/L)	0,000 ^a	0,000 ^a	0,000 ^a
Álcool Isoamílico (mg/L)	0,000 ^a	0,000 ^a	0,000 ^a

A cromatografia permitiu a determinação do teor de aldeído, expresso como acetaldeído em amostras de álcool combustível, esse possui tempo de retenção de 2,9 minutos. As amostras diferem significativamente ao nível de 5%, sendo que o álcool comercial possui o maior teor desse composto. De acordo com a ANP o máximo permitido desse contaminante seria 60mg/L, sendo assim os três álcoois analisados possuem teor de aldeído dentro do limite permitido.

Ao quantificar o composto acetato de etila, verificou-se que esse difere significativamente ao nível de 5% para as amostras de álcool de laboratório, de cachaçaria e

comercial. O tempo de retenção para o acetato de etila é de 4,5 minutos, verificando o pico desse composto tem-se as concentrações de 2,310 mg/L, 2,813 mg/L e 2,421 mg/L respectivamente. De acordo com Caetano (2011) encontrou-se a concentração de 48,52mg/L de acetato de etila na amostra de álcool analisada, sendo superior ao encontrado no presente estudo onde a concentração máxima obtida foi de 2,310 mg/L.

O composto metanol possui tempo de retenção de 4,9 minutos, esse foi quantificado pela área do pico dos cromatogramas, os álcoois produzidos no laboratório e o comercial não possuíram concentração de metanol, somente o álcool produzido na cachaçaria possui teor de 4,49 mg/L de metanol, podendo estar relacionada a forma que subproduto foi destilado. As amostras analisadas estão dentro da legislação proposta pela ANP onde o teor máximo de metanol para o álcool combustível é de 0,5% volume ou de 5 mg/L.

A determinação do composto 1-propanol nas amostras analisadas foi possível analisando o cromatograma. O tempo de retenção desse componente é de 8,5 minutos, o mesmo foi encontrado em concentrações significativamente iguais ao nível de 5% nos álcoois produzido no laboratório e no comercial, as concentrações variaram de 1,094 a 1,223 mg/L de álcool, a concentração desse componente foi baixa e esta não está indicada na legislação um parâmetro a ser seguido.

O teor de álcool isobutílico e álcool isoamílico foram analisados nos cromatogramas, esses possuem tempo de retenção de 9,8 e 12,1 minutos respectivamente, porém não houve concentração dos contaminantes em questão em nenhuma das amostras analisadas.

5.3.11. Teor de Acidez Volátil

O teor de acidez volátil foi quantificado em mg/L de ácido acético contido na amostra, os resultados obtidos nas análises no álcool produzido no laboratório, álcool da cachaçaria e álcool do posto estão descritos na tabela 24.

Tabela 24- Resultados da análise de acidez volátil

	Álcool Laboratório	Álcool Cachaçaria	Álcool Comercial
Acidez Volátil (mg/L)	11,18 ^a ± 0,20	11,76 ^a ± 1,20	11,07 ^a ± 0,60

Analisando os resultados de acidez obtidos nas três amostras analisadas, percebe-se que as amostras foram significativamente iguais ao nível de 5% pelo teste de Tukey. Os valores encontrados para acidez total nos álcoois foram maiores que os encontrados para acidez volátil nos mesmos, devido ao fato das amostras possuírem também acidez não volátil, que não foi

quantificada, pois, ao destilar as amostras para verificar o teor de acidez volátil os ácidos não voláteis permaneceram no produto de fundo, dessa forma não foram quantificados (FRANÇA, 2010).

5.4. Etapa 4 - Análises no Subproduto utilizado para fabricação do Álcool

O subproduto utilizado para realização do experimento provindo do Sítio Santa Luiza, passou por análises para caracterizar a matéria-prima utilizada. Os resultados das análises realizadas estão descritos na Tabela 25.

Tabela 25- Resultados das análises físico-químicas do subproduto

Parâmetros	Subproduto da cachaça
Aspecto	Límpido e isento de impurezas
Cor	Levemente amarelado
Ph	5,20 ± 0,11
Massa Específica a 20°C (kg/m³)	0,90415 ± 0,00025
Teor Alcoólico (% massa)	56,63 ± 0,58
Índice de Acidez (mg/L)	101,71 ± 1,80
Resíduo por Evaporação (mg/100mL)	7,80 ± 1,25
Teor de Hidrocarbonetos (% volume)	Não Detectado
Teor de Sódio (mg/kg)	0,05 ± 0,02
Acidez Volátil (mg/L)	19,03 ± 2,16

As análises realizadas no subproduto foram analisadas em triplicata, sendo indicada a média e o desvio padrão de cada análise. Não existe parâmetros na legislação para subproduto da fabricação da cachaça, porém foi de extrema importância realizar as análises na amostra para conhecer a matéria-prima utilizada.

De acordo com a Tabela 25 o subproduto possui aspecto límpido e isento de impurezas, coloração levemente amarelada, devido ao fato de ser proveniente da produção da cachaça.

O pH da matéria-prima utilizada na produção do álcool foi de 5,2, condizendo com o valor de pH do álcool produzido que foi de 5,37. Segundo Nogueira (2008), a matéria-prima proveniente da fermentação para fabricação de cachaça possui pH médio de 4,0 a 5,0, sabendo-se que na destilação em batelada a correção desse parâmetro é difícil de ser realizada, a

adequação vai depender de outros processos, como por exemplo a utilização de neutralizantes de álcool.

A massa específica e o teor alcoólico estão correlacionados, já que a mesma varia de acordo com o teor alcoólico da solução analisada, ou seja, quanto maior a concentração de álcool na solução menor a massa específica da mesma. A massa específica e o teor alcoólico do subproduto foram respectivamente, $0,90415 \text{ kg/m}^3$ e 56,63 % massa.

O índice de acidez total verificado no subproduto foi 101,71 mg/L, teor alto se comparado ao máximo permitido para o álcool combustível que seria de 30 mg/L. Porém ao analisar o álcool produzido percebe-se que com as sucessivas destilações o índice de acidez diminuiu estando dentro do limite exigido pela legislação.

O parâmetro resíduo por evaporação analisado apresentou resultado de 7,80 mg/100mL no subproduto, como a matéria-prima utilizada é proveniente da produção da cachaça é comum que esse subproduto tenha maior quantidade de resíduo, porém ao realizar as destilações para a fabricação do produto de interesse, o teor de resíduo por evaporação diminui, não interferindo na qualidade do produto final.

O teor de hidrocarbonetos foi analisado no subproduto, esse não foi quantificado, bem como, no álcool produzido a partir do mesmo, estando de acordo com as normas da ANP.

A análise do teor de sódio foi realizada por absorção atômica, a concentração de sódio encontrada no subproduto foi de 0,05 mg/kg, quando foi realizada as destilações para obtenção do combustível, o sal ficou retido no produto de fundo, pois o álcool destilado apresentou concentração zero de sódio.

O teor de acidez volátil na amostra foi de 19,03 mg/L, sendo superior ao obtido no produto obtido, já que as consequentes destilações fazem com que as contaminações por ácido acético diminuam na amostra analisada.

Foi realizada a cromatografia gasosa do subproduto utilizado para produção do álcool combustível do laboratório. Os compostos presentes no subproduto foram identificados no cromatograma inserido no Apêndice e estão descritos na Tabela 26.

Tabela 26. Concentração de compostos no subproduto por cromatografia

Subprodutos da Cachaça	
Acetaldeído (mg/L)	2,971
Acetato de Etila(mg/L)	0,000
Metanol (mg/L)	4,815
1-Propanol (mg/L)	4,600
Álcool Isobutílico(mg/L)	3,827
Álcool Isoamílico (mg/L)	1,384

O teor de aldeído na amostra foi de 2,971 mg/L estando dentro de limite estabelecido para o álcool combustível. Não houve presença de acetato de etila na amostra analisada. A concentração de metanol ficou abaixo estabelecido pela legislação de 5 mg/L. Os compostos 1-propanol, álcool isobutílico e álcool isoamílico não possuem parâmetros descritos na legislação, mas esses obtiveram baixas concentrações desses contaminantes.

5.5. Viabilidade Econômica

Para a análise econômica do sistema determinou-se um horizonte de investimento de 10 anos, que é o tempo previsto de vida útil dos equipamentos.

Os investimentos realizados para instalação do processo produtivo de álcool combustível junto a uma destilaria de cachaça pré-existente, foram descritos na Tabela 27, nessa consta os equipamentos para a produção de álcool combustível, sendo inserido um adicional de 10% para a aquisição de outros equipamentos como tubulações, bombas centrifugas, instalação elétrica, entre outros.

Tabela 27- Custos dos equipamentos para produção de álcool combustível

Descrição	Quant.	Valor unit. (R\$)	Valor Total (R\$)
Obra Civil	1	10.000,00	10.000,00
Coluna de retificação de 100L	1	50.000,00	50.000,00
Bombona 500L	2	1.300,00	2.600,00
Densímetro c/ proveta	2	200,00	400,00
Densímetro digital	1	500,00	500,00
	Subtotal		63.500,00
Outras 10%			6.350,00
	Total		69.850,00

Os custos operacionais da planta incluem mão-de-obra e energia elétrica, pois a coluna de retificação é movida a eletricidade. Esses gastos estão descritos na Tabela 28, houve a necessidade de contratar um funcionário para operar a planta do álcool combustível já que a mesma irá funcionar durante toda a safra da cachaçaria, tendo duração de 8 meses, 12 horas por dia em anexo a cachaçaria. Já a energia elétrica foi calculada de acordo com a potência da coluna de retificação sendo consumido 9,6 kW/h, foi considerado o valor de R\$0,87 por kW/h na zona rural em fevereiro de 2022 (CEMIG), a água utilizada no processo provém de poço artesiano da propriedade, ou seja, não gera custos adicionais.

Tabela 28- Custos Operacionais da planta de álcool combustível

Descrição	Quantidade	Tempo	Valor unit. (R\$)	Valor Total (R\$)
Mão-de-obra	1 funcionário	8 meses	1.212,00	9.696,00
Tributos trabalhistas (34%)	1 funcionário	8 meses	412,08	3.296,64
	Subtotal			12.992,64
Energia elétrica	23.040 kW/h /safra	Safra	0,87	20.044,80
	Total			33.037,44

Para a análise econômica da produção de álcool combustível foi criado um fluxo de caixa, esse encontra-se detalhado na Tabela 29. Para o levantamento destes custos, não foi considerado o valor de produção da cabeça e cauda da cachaça, uma vez que estes subprodutos deveriam ser descartados. Considerou-se ainda uma venda no valor de R\$ 4,00 por litro, valor

este bem abaixo do valor de mercado que é de R\$ 4,40, valor esse comercializado para os postos de combustíveis.

Os investimentos iniciais foram compostos pelos custos fixos, descritos na Tabela 27 e pelo capital de giro denominado uma parte do investimento que compõe uma reserva de recursos que poderão ser utilizados para suprir as necessidades financeiras da empresa ao longo do tempo.

A receita operacional é o resultado do valor obtido considerando a venda de todo combustível produzido. Para isso considerou-se que o subproduto tenha teor alcoólico de 50 %m/m, e que uma batelada de 100 L de subproduto produziu 50 L de álcool a 93 %m/m, considerando uma perda no sistema de 5%. Foi realizada três bateladas de destilação diariamente, sendo produzido 150 L de álcool por dia, durante 200 dias por ano.

Os custos da produção estão descritos na tabela 28, em que incluem os gastos de mão-de-obra e gasto energético do sistema. O lucro operacional foi calculado pela subtração da receita operacional pelo custo de operação, sendo também o lucro tributável.

Para este projeto, levou-se em consideração a linha de financiamento pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Sustentável (BNDES), por oferecer as melhores opções de financiamento. Os juros sobre o financiamento realizado para a implantação do sistema foram de 11,86 % sobre os investimentos fixos. Para pagamento do imposto de renda foi realizado o cálculo de 30% sobre o lucro obtido.

O fluxo de caixa bruto foi calculado pela subtração do lucro operacional pelos juros sobre o financiamento e o valor pago pelo imposto de renda. Já o fluxo de caixa líquido foi obtido pela subtração do fluxo de caixa bruto pela depreciação dos equipamentos que foi considerado o valor de 10% sobre os custos fixos.

O fluxo de caixa acumulado é o valor obtido pelo somatório do fluxo de caixa líquido ao longo dos anos.

A viabilidade econômica do projeto foi analisada e seus principais indicadores estão descritos na Tabela 30.

Tabela 30- Indicadores Econômicos

Descrição	Valor Calculado
TIR	49,860%
VPL	R\$ 173.025,30
RBC	3,63115458
TRC	1,97

O valor presente líquido (VPL) ao final do período de 10 anos foi de R\$ 173.025,30 o que corresponde a, aproximadamente, R\$ 17.302,53 por ano, de uma fonte de renda proveniente de um produto que não tinha aproveitamento anterior na propriedade. Com base nos resultados pode-se confirmar que o resultado positivo de VPL indica que a rentabilidade do investimento é superior ao fluxo de caixa, ou seja, evidencia que o investimento é atrativo e, portanto, pode ser aprovado.

A taxa interna de retorno (TIR), é uma taxa de juros implícita numa série de pagamentos (saídas) e recebimentos (entradas). A viabilidade da implantação é comprovada pela taxa interna de retorno. Sabe-se que, para um investimento ser lucrativo a TIR deve ser, no mínimo,

igual à 11,86% ao ano, que seria o valor dos juros praticados no investimento. Neste caso, foi encontrado um valor de 49,86%, demonstrando uma alta lucratividade do projeto.

A Relação Custo-Benefício (RBC), foi calculada por meio dos índices econômicos e verificou-se que a atividade é viável, pois mostrou que para cada R\$1,00 investido, tem-se o retorno de R\$ 3,63.

O Tempo de Retorno de Capital (TRC) é tempo necessário para que o capital investido no negócio seja totalmente recuperado, esse tempo foi de 1,97 anos, indicando que o investimento será compensado em um curto prazo de tempo.

Os indicadores positivos podem ser explicados pela utilização de uma matéria prima sem custo, que muitas vezes seria descartada. Além disso, se trata de uma planta simples e de fácil operação, anexada a outra de maior porte, necessitando do mínimo de mão-de-obra, sendo necessário apenas um novo colaborador para operar a coluna de retificação. Analisando os resultados obtidos a planta de produção de álcool combustível a partir de subprodutos é economicamente viável, já que todas as variáveis analisadas obtiveram indicadores positivos.

6. CONCLUSÃO

A cachaça de alambique foi produzida, a partir dessa obtivemos rendimento de 3,74% subprodutos que seriam destinados a produção de álcool combustível. Ao realizar a produção do álcool combustível foi possível alcançar um rendimento de 33,33% de produto após ser destilado na coluna de retificação três vezes com o intuito de elevar o teor alcoólico do combustível.

Realizou-se o comparativo entre o álcool produzido no laboratório, o produzido na cachaçaria e o comercial. O álcool produzido no laboratório pode ser considerado álcool combustível pois após passar pelo processo de retificação o mesmo atingiu 92,9% em massa, assim como o álcool comercial que possui teor alcoólico de 93,7% em massa, porém o álcool produzido na cachaçaria possui teor alcoólico abaixo do especificado na ANP para ser considerado álcool combustível.

O álcool da cachaçaria e do posto de combustível estão de acordo com o exigido pela legislação com resultados de pH 6,30 e 7,34 respectivamente. Já o álcool produzido no laboratório está abaixo do mínimo permitido pela ANP. As amostras analisadas se encontram dentro do especificado pela legislação para a análise de acidez total, sendo limite máximo de 30 mg/L de ácido acético.

O álcool produzido no laboratório e o álcool comercial estão dentro do especificado pela ANP pois esses possuem 2,73 mg/100mL e 5,00 mg/100mL respectivamente de resíduo por evaporação. Já o álcool produzido na cachaçaria possui quantidade de resíduo por evaporação acima do permitido pela legislação.

Analisando os cromatogramas obtidos das análises realizadas para o álcool combustível é possível identificar os contaminantes encontrados nas amostras, mas essas estão presentes concentrações baixas permanecendo dentro de permitido pela legislação.

O potencial de produção de álcool a partir do resíduo da cabeça e cauda da produção da cachaça é muito interessante para o produtor de cachaça. Os indicadores positivos podem ser explicados pela utilização de uma matéria prima sem custo, que muitas vezes seria descartada. Analisando os resultados obtidos a planta de produção de álcool combustível a partir de subprodutos é economicamente viável, pois a taxa de retorno é de 49,86% e tempo de retorno do investimento é inferior a 2 anos.

No entanto, para que o álcool combustível seja introduzido com êxito no mercado, é necessário um maior rigor na regulamentação quanto aos constituintes e possíveis impurezas, orgânicas ou inorgânicas, presentes neste combustível. Além disso, tais impurezas, mesmo em baixas concentrações, podem influenciar negativamente o desempenho do motor, intensificar as propriedades corrosivas do etanol ou aumentar os níveis de emissão de poluentes. Assim, é de extrema importância a identificação e quantificação destas impurezas, as quais podem ser incorporadas ao etanol durante as etapas de produção e/ou armazenamento do mesmo.

7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ANDRADE, L. A. B. Cultura de Cana-de-açúcar. In: CARDOSO, M. G. **Produção de aguardente de cana**. 3. ed. revisada e ampliada. Lavras: Editora UFLA, 2013. p. 26-56.

ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Resolução nº 764/ 2018: Especificações do Etanol Anidro Combustível e do Etanol Hidratado Combustível**. Ministério de Minas e Energia, 2018.

ASSOCIAÇÃO DAS INDÚSTRIAS SUCROENERGÉTICAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS. História – cana de açúcar. Disponível em: <http://www.siamig.com.br/institucional/cana-de-acucar>. Acesso em: 25. out. 2019.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists (method 920.47). Arlington: A.O.A.C., chapter 26 p.6, 1995.

ASTM D240 – 09. Standard test method for heat of combustion of liquid hydrocarbon fuels by bomb calorimeter. 2002.

BAJPAI, P. **Advances in bioethanol**. SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology, DOI: 10.1007/978-81-322-1584-4_7, 2013.

BLACKADDER, D. A.; NEDDERMAN, R. M. Manual de operações unitárias: destilação de sistemas binários, extração de solvente, absorção de gases, sistemas de múltiplos componentes, trocadores de calor, secagem, evaporadores, filtragem. 2. Ed. São Paulo: Hemus, 2004.

BNDES/CGEE. **Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável**. BNDES, 316 p., Rio de Janeiro, 2008. 1ª Ed. Biblioteca Digital.

BONATO FILHO, G. G. **Produção de álcool combustível a partir de subprodutos da fabricação de cachaça para associação de produtores**. 2013. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

BOSSLE, Renata (ed.). **Controle de Qualidade: Especificações do Etanol**. 2020. Disponível em: <https://www.novacana.com/etanol/control-qualidade>. Acesso em: 10 maio 22.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Portaria nº 76 de 26 de novembro de 1986. Dispõe sobre os métodos analíticos de bebidas e vinagre. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 28 nov. 1986. Seção 1, pt. 2.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. A cachaça no Brasil: dados de registro de cachaças e aguardentes / Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília: MAPA/AECE, 2019. 27 p.

CAETANO, Lahys de Giácomo. **Desenvolvimento de Sensores para Determinação de Acetato de Etila em Etanol Combustível**. 2011. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2011. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/97824/caetano_lg_me_araiq.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 11 fev. 2022.

CÂMARA, M. **Cachaça: Prazer Brasileiro**. 2. ed. Rio de Janeiro: Mauad, 2018

CANUTO, M. H.; SIEBALD, H. G. L. ; BEINNER, M. A. ; SILVA, J. B. B. Determination of cadmium, iron and tin in home-made Brazilian sugar cane spirit, cachaça by graphite furnace absorption spectrometry using matrix matching calibration. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, v. 9, p. 55-61, 2015.

CARDOSO, M. G. **Produção de aguardente de cana**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. 445 p.

CARPINTIERI, C. L. T. **Uma aplicação de redes neurais na instrumentação virtual do grau alcoólico no processo industrial de produção de etanol**. 2014. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Escola de Engenharias, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

CARVALHO, L. et al. Cana-de-açúcar e álcool combustível: histórico, sustentabilidade e segurança energética. **Enciclopédia Biosfera: Centro Científico Conhecer**, v. 9, n. 16, p. 530–543, 2013.

CONAB. Conab - Safra Brasileira de Cana-de-açúcar. **Boletim Cana 4 levantamento 18-19**, 2019.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar – Terceiro Levantamento. – v.81 – Safra 2021/2022, nº3 – Brasília, 2021.

FRANÇA, Luiz Felipe Silveira. Representação matemática da correlação entre acidez total no “vinho” e acidez volátil na cachaça. **Revista Agrogeoambiental**, Salinas, v. 2, n. 3, p. 25-34, dez. 2010. Disponível em:

<https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/281/277>. Acesso em: 05 fev. 22.

GONÇALVES, C. M.; ROSA, C. A.; TROVATTI, A. P. **Manual de boas práticas de fabricação de cachaça de alambique**. Ilhéus: Editus, 2009. 80 p.

GONÇALVES, C. M. et al. Biossegurança na produção de cachaça de alambique. In: GONÇALVES, C. M.; UETANABARO, A. P. T. **Higienização, biossegurança e controle de resíduos no processamento da cachaça de alambique**. Ilhéus: Editus, 2012. Cap. 3. p. 37-44.

GONÇALVES, C. M.; COSTA, A. M. da; UETANABARO, A. P. T. Resíduo no processo de produção de cachaça de alambique. In: GONÇALVES, C. M.; UETANABARO, A. P. T. **Higienização, biossegurança e controle de resíduos no processamento da cachaça de alambique**. Ilhéus: Editus, 2012. Cap. 2. p. 29-32.

HOFFMANN, Ronaldo; TERRA, Lisiane de M.; MICHEL JUNIOR, Raul J. S.. VALIDAÇÃO, PELO MÉTODO ESTATÍSTICO, DA PRODUÇÃO E ALCANCE DA GRADUAÇÃO DE ETANOL (ÁLCOOL ETÍLICO HIDRATADO) CARBURANTE, SOB O ENFOQUE DAS MICRODESTILARIAS EM PROCESSO DE BATELADA. **Cobeq**: XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 2571-2577, ago. 2010.

LEITE, R. C. C.; CORTEZ, L. A. B. O Etanol Combustível no Brasil. **Biocombustíveis no Brasil - realidades e perspectivas**. 1ªed., 2007, v. 1, p. 60-75.

LOPES, K.; MARTINS, E. M.; MIRANDA, R. L. de. A Potencialidade Energética da Biomassa no Brasil. **Revista Desenvolvimento Socioeconômico em Debate**, Criciúma, v. 5, n. 1, p.94-106, jan. 2019. Disponível em: <<http://periodicos.unesc.net/RDSD/article/view/4829/4611>>. Acesso em: 03 nov. 2019.

LUIZ, B.; AMPARADO, R.; BORGES, D. G. Determinação do teor de etanol na gasolina dos postos de combustíveis do município de Passos (MG). p. 25–28, 2016.

MAIA, A. B. R. A.; CAMPELO E. A. P. **Tecnologia da cachaça de alambique**- Belo horizonte: SEBRAE/MG; 129P, 2006.

MENDONÇA, J. G. P. ; CARDOSO, M. DAS G.; SANTIAGO, W. D.; RODRIGUES, L. M. A.; NELSON, D. L.; BRANDÃO, R. M; SILVA, B. L. da. Determination of ethyl carbamate in cachaças produced by selected yeast and spontaneous fermentation. *JOURNAL OF THE INSTITUTE OF BREWING JCR*, v. 122, p. 63-68, 2016.

MUTTON, M. J. R.; MUTTON, M. A. Aguardente de cana. In: VENTURINI FILHO, W. G. **Bebidas alcoólicas**. São Paulo: Blucher, 2010. Cap. 12. p. 237-265.

NASCIMENTO, R. F. et al. Comparação dos métodos oficiais de análise e cromatográficos para a determinação dos teores de aldeídos e ácidos em bebidas alcoólicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, [s.l.], v. 18, n. 3, p.350-356, ago. 1998. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-20611998000300018>.

NOGUEIRA, R. M. **Análise da Produção Sustentável de Álcool Combustível, Aguardente e Leite a partir da Cana-de-açúcar**. 2008. 99 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

OLIVEIRA C.R.; GARÍGLIO H.A.A.; RIBEIRO M.M., ALVARENGA M.S.P.; MAIA F.X. **Cachaça de alambique - Manual de boas práticas ambientais e de produção**. Convênio de cooperação técnica- SEAPA/SEMAD/AMPAQ/FEAM/IMA. 72 p. 2005.

PACHECO, T. F. Produção de Etanol: Primeira ou Segunda Geração: A Importância da Produção de Etanol. **Circular Técnica**, Brasília, v. 1, n. 1, p.1-6, abr. 2011.

PEREIRA, A. F.; SILVA, P. H. A. ; PINHEIRO, P.F.; BRAGA, L. M.; PINHEIRO, C. A.. Adição De Fontes De Nitrogênio E De Duas Linhagens De Levedura Na Fermentação Alcoólica Para Produção De Cachaça. *Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, v. REQ2, v. 1, p. 45-59, 2015.

RIZZON, L. A. Embrapa. **Sistema de Produção de Grasca**. 14. ed. Brasília: Embrapa, 2006. Disponível em: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Grasca/SistemaProducaoGrasca/index.htm>. Acesso em: 22 jan. 22.

ROQUE, Regiane Pereira. **Balço de Energia e de Emissões da Produção Integrada de Cachaça de Qualidade e Biocombustível**. 2015. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

SALOMÃO, G. S. B.; AGNEZI, J. C.; PAULINO, L. B.; HENCKER, L. B.; LIRA, T. S. de; TARDIOLI, P. W.; PINOTTI, L. M. Production of cellulases by solid state fermentation using natural and pretreated sugarcane bagasse with different fungi. **BIOCATALYSIS AND AGRICULTURAL BIOTECHNOLOGY**, 2019.

SILVA, J.S. **Produção de álcool combustível na fazenda e em sistema cooperativo** Ed. Viçosa-MG, v. 1,168p, 2007.

SILVA, J. S. **Produção de álcool na fazenda: equipamentos, sistemas de produção e usos**. Viçosa, MG. Ed. Aprenda Fácil. 2011, vol. 1, 390p. ISSB978-85-62032-23-3.

SILVA, D. T.; REZENDE, A. A. de; SILVA, M. dos S. da. A Coopama e a Cadeia de Produção da Cachaça Baiana “Abaíra”. **Rever: Revista de Extensão e Estudos Rurais**, Viçosa, v. 7, n. 2, p.241-265, dez. 2018. Disponível em: <<https://periodicos.ufv.br/rever/article/view/3378/1842>>. Acesso em: 03 nov. 2019.

SOARES, R. B.; PESSOA, F. L. P.; MENDES, M. F. Dehydration of ethanol with different salts in a packed distillation column. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 93, n. October 2013, p. 147–153, 2015.

8. APÊNDICE

Apêndice A – Tabela de correspondência de grau alcóolico real.

ρ	% v.	ρ	% v.	ρ	% v.	ρ	% v.	ρ	% v.
1,00000	0,0	0,98171	14,1	0,96612	28,2	0,94611	42,2	0,91887	56,3
0,99985	0,1	0,98159	14,2	0,96601	28,3	0,94594	42,3	0,91865	56,4
0,99970	0,2	0,98148	14,3	0,96588	28,4	0,94577	42,4	0,91884	56,5
0,99955	0,3	0,98137	14,4	0,96576	28,5	0,94560	42,5	0,91823	56,6
0,99939	0,4	0,98126	14,5	0,96565	28,6	0,94543	42,6	0,91801	56,7
0,99924	0,5	0,98115	14,6	0,96553	28,7	0,94526	42,7	0,91780	56,8
0,99910	0,6	0,98103	14,7	0,96541	28,8	0,94509	42,8	0,91758	56,9
0,99895	0,7	0,98092	14,8	0,96529	28,9	0,94492	42,9	0,91737	57,0
0,99880	0,8	0,98081	14,9	0,96517	29,0	0,94475	43,0	0,91715	57,1
0,99866	0,9	0,98070	15,0	0,96505	29,1	0,94458	43,1	0,91694	57,2
0,99851	1,0	0,98058	15,1	0,96493	29,2	0,94440	43,2	0,91672	57,3
0,99836	1,1	0,98047	15,2	0,96480	29,3	0,94423	43,3	0,91651	57,4
0,99821	1,2	0,98036	15,3	0,96468	29,4	0,94405	43,4	0,91629	57,5
0,99807	1,3	0,98025	15,4	0,96456	29,5	0,94388	43,5	0,91607	57,6
0,99792	1,4	0,98014	15,5	0,96444	29,6	0,94371	43,6	0,91586	57,7
0,99777	1,5	0,98003	15,6	0,96432	29,7	0,94353	43,7	0,91564	57,8
0,99763	1,6	0,97992	15,7	0,96419	29,8	0,94336	43,8	0,91543	57,9
0,99748	1,7	0,97981	15,8	0,96407	29,9	0,94318	43,9	0,91521	58,0
0,99733	1,8	0,97970	15,9	0,96395	30,0	0,94301	44,0	0,91499	58,1
0,99719	1,9	0,97959	16,0	0,96383	30,1	0,94283	44,1	0,91477	58,2
0,99704	2,0	0,97948	16,1	0,96370	30,2	0,94266	44,2	0,91455	58,3
0,99689	2,1	0,97937	16,2	0,96357	30,3	0,94248	44,3	0,91433	58,4
0,99675	2,2	0,97926	16,3	0,96345	30,4	0,94230	44,4	0,91410	58,5
0,99661	2,3	0,97915	16,4	0,96333	30,5	0,94213	44,5	0,91388	58,6
0,99645	2,4	0,97905	16,5	0,96320	30,6	0,94195	44,6	0,91366	58,7
0,99632	2,5	0,97894	16,6	0,96308	30,7	0,94177	44,7	0,91344	58,8
0,99618	2,6	0,97883	16,7	0,96295	30,8	0,94159	44,8	0,91322	58,9

0,99603	2,7	0,97872	16,8	0,96283	30,9	0,94142	44,9	0,91300	59,0
0,99589	2,8	0,97862	16,9	0,96270	31,0	0,94124	45,0	0,91278	59,1
0,99574	2,9	0,97851	17,0	0,96257	31,1	0,94106	45,1	0,91255	59,2
0,99560	3,0	0,97840	17,1	0,96244	31,2	0,94088	45,2	0,91233	59,3
0,99546	3,1	0,97829	17,2	0,96231	31,3	0,94070	45,3	0,91166	59,6
0,99531	3,2	0,97818	17,3	0,96218	31,4	0,94052	45,4	0,91143	59,7
0,99517	3,3	0,97807	17,4	0,96206	31,5	0,94034	45,5	0,91121	59,8
0,99503	3,4	0,97797	17,5	0,96193	31,6	0,94015	45,6	0,91098	59,9
0,99489	3,5	0,97786	17,6	0,96180	31,7	0,93997	45,7	0,91076	60,0
0,99475	3,6	0,97775	17,7	0,96167	31,8	0,93979	45,8	0,91053	60,1
0,99461	3,7	0,97764	17,8	0,96154	31,9	0,93961	45,9	0,91031	60,2
0,99447	3,8	0,97754	17,9	0,96141	32,0	0,93943	46,0	0,91008	60,3
0,99433	3,9	0,97743	18,0	0,96128	32,1	0,93924	46,1	0,90986	60,4
0,99419	4,0	0,97732	18,1	0,96115	32,2	0,93906	46,2	0,90963	60,5
0,99405	4,1	0,97721	18,2	0,96101	32,3	0,93887	46,3	0,90941	60,6
0,99391	4,2	0,97711	18,3	0,96088	32,3	0,93869	46,4	0,90918	60,7
0,99377	4,3	0,97700	18,4	0,96088	32,4	0,93850	46,5	0,90896	60,8
0,99363	4,4	0,97690	18,5	0,96075	32,5	0,93831	46,6	0,90873	60,9
0,99349	4,5	0,97679	18,6	0,96062	32,6	0,93813	46,7	0,90851	61,0
0,99336	4,6	0,97668	18,7	0,96049	32,7	0,93794	46,8	0,90828	61,1
0,99322	4,7	0,97657	18,8	0,96035	32,8	0,93776	46,9	0,90805	61,2
0,99308	4,8	0,97646	18,9	0,96022	32,9	0,93757	47,0	0,90782	61,3
0,99295	4,9	0,97636	19,0	0,96009	33,0	0,93738	47,1	0,90759	61,4
0,99281	5,0	0,97626	19,1	0,95995	33,1	0,93719	47,2	0,90736	61,5
0,99268	5,1	0,97616	19,2	0,95982	33,2	0,93701	47,3	0,90714	61,6

0,99255	5,2	0,97605	19,3	0,95968	33,3	0,93682	47,4	0,90691	61,7
0,99241	5,3	0,97595	19,4	0,95955	33,4	0,93663	47,5	0,90668	61,8
0,99228	5,4	0,97584	19,5	0,95941	33,5	0,93644	47,6	0,90645	61,9
0,99215	5,5	0,97574	19,6	0,95927	33,6	0,93625	47,7	0,90622	62,0
0,99201	5,6	0,97563	19,7	0,95914	33,7	0,93606	47,8	0,90599	62,1
0,99188	5,7	0,97553	19,8	0,95900	33,8	0,93587	47,9	0,90576	62,2
0,99174	5,8	0,97542	19,9	0,95887	33,9	0,93568	48,0	0,90553	62,3
0,99161	5,9	0,97531	20,0	0,95873	34,0	0,93549	48,1	0,90530	62,4
0,99148	6,0	0,97521	20,1	0,95859	34,1	0,93530	48,2	0,9057	62,5
0,99135	6,1	0,97511	20,2	0,95845	34,2	0,93510	48,3	0,90484	62,6
0,99122	6,2	0,97500	20,3	0,95830	34,3	0,93491	48,4	0,90461	62,7
0,99109	6,3	0,97489	20,4	0,95816	34,4	0,93472	48,5	0,90438	62,8
0,99096	6,4	0,97478	20,5	0,95802	34,5	0,93453	48,6	0,90415	62,9
0,99083	6,5	0,97467	20,6	0,95788	34,6	0,93434	48,7	0,90392	63,0
0,99070	6,6	0,97456	20,7	0,95774	34,7	0,93414	48,8	0,90369	63,1

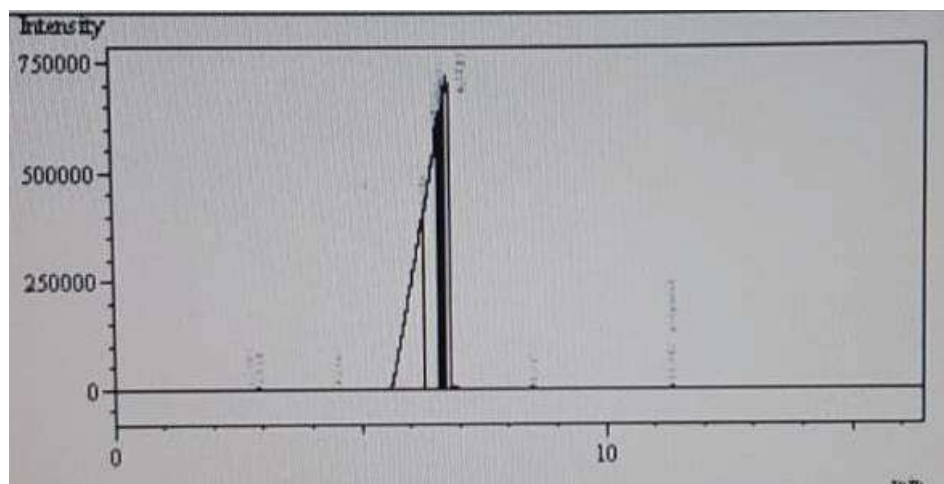
0,99057	6,7	0,97445	20,8	0,95759	34,8	0,93395	48,9	0,90346	63,2
0,99045	6,8	0,97435	20,9	0,95745	34,9	0,93376	49,0	0,90323	63,3
0,99032	6,9	0,97424	21,0	0,95731	35,0	0,93357	49,1	0,90300	63,4
0,99020	7,0	0,97414	21,1	0,95717	35,1	0,93337	49,2	0,90276	63,5
0,99007	7,1	0,97404	21,2	0,95702	35,2	0,93318	49,3	0,90253	63,6
0,98994	7,2	0,97397	21,3	0,95688	35,3	0,93298	49,4	0,90230	63,7
0,98981	7,3	0,97382	21,4	0,95673	35,4	0,93279	49,5	0,90207	63,8
0,98969	7,4	0,97371	21,5	0,95659	35,5	0,93260	49,6	0,90184	63,9
0,98956	7,5	0,97360	21,6	0,95645	35,6	0,93240	49,7	0,90161	64,0
0,98944	7,6	0,97350	21,7	0,95630	35,7	0,93221	49,8	0,90137	64,1
0,98931	7,7	0,97339	21,8	0,95616	35,8	0,93201	49,9	0,90114	64,2
0,98919	7,8	0,97328	21,9	0,95601	35,9	0,93182	50,0	0,90091	64,3
0,98906	7,9	0,97317	22,0	0,95587	36,0	0,93162	50,1	0,90067	64,4
0,98893	8,0	0,97306	22,1	0,95572	36,1	0,93142	50,2	0,90043	64,5
0,98881	8,1	0,97295	22,2	0,95558	36,2	0,93122	50,3	0,90020	64,6
0,98869	8,2	0,97285	22,3	0,95543	36,3	0,93102	50,4	0,89997	64,7
0,98857	8,3	0,97274	22,4	0,95528	36,4	0,93082	50,5	0,89973	64,8
0,98845	8,4	0,97263	22,5	0,95513	36,5	0,93063	50,6	0,89950	64,9

0,98833	8,5	0,97252	22,6	0,95499	36,6	0,93043	50,7	0,89926	65,0
0,98820	8,6	0,97241	22,7	0,95484	36,7	0,93023	50,8	0,89902	65,1
0,98807	8,7	0,97230	22,8	0,95469	36,8	0,93003	50,9	0,89879	65,2
0,98794	8,8	0,97219	22,9	0,95455	36,9	0,92983	51,0	0,89855	65,3
0,98782	8,9	0,97208	23,0	0,95440	37,0	0,92963	51,1	0,89831	65,4
0,98770	9,0	0,97197	23,1	0,95425	37,1	0,92943	51,2	0,89807	65,5
0,98758	9,1	0,97185	23,2	0,95410	37,2	0,92922	51,3	0,89784	65,6
0,98746	9,2	0,97174	23,3	0,95394	37,3	0,92902	51,4	0,89760	65,7
0,98734	9,3	0,97163	23,4	0,95379	37,4	0,92882	51,5	0,89736	65,8
0,98722	9,4	0,97152	23,5	0,95364	37,5	0,92862	51,6	0,89713	65,9
0,98710	9,5	0,97141	23,6	0,95349	37,6	0,92842	51,7	0,89689	66,0
0,98698	9,6	0,97130	23,7	0,95334	37,7	0,92821	51,8	0,89665	66,1
0,98686	9,7	0,97118	23,8	0,95318	37,8	0,92801	51,9	0,89641	66,2
0,98674	9,8	0,97107	23,9	0,95303	37,9	0,92781	52,0	0,89617	66,3
0,98662	9,9	0,97096	24,0	0,95226	38,0	0,92761	52,1	0,89593	64,4
0,98650	10,0	0,97084	24,1	0,95272	38,1	0,92740	52,2	0,89569	64,5
0,98637	10,1	0,97073	24,2	0,95257	38,2	0,92720	52,3	0,89545	64,6
0,98626	10,2	0,97062	24,3	0,95241	38,3	0,92700	52,4	0,89521	66,7
0,98614	10,3	0,97051	24,4	0,95226	38,4	0,92679	52,5	0,89497	66,8
0,98602	10,4	0,97040	24,5	0,95210	38,5	0,92659	52,6	0,89473	66,9
0,98590	10,5	0,97028	24,6	0,95194	38,6	0,92639	52,7	0,89449	67,0
0,98578	10,6	0,97017	24,7	0,95179	38,7	0,92619	52,8	0,89425	67,1
0,98566	10,7	0,97006	24,8	0,95163	38,8	0,92598	52,9	0,89401	67,2
0,98554	10,8	0,96994	24,9	0,95148	38,9	0,92578	53,0	0,89376	67,3
0,98542	10,9	0,96984	25,0	0,95132	39,0	0,92557	53,1	0,89352	67,4
0,98530	11,0	0,96974	25,1	0,95116	39,1	0,92536	53,2	0,89328	67,5
0,98518	11,1	0,96961	25,2	0,95100	39,2	0,92516	53,3	0,89304	67,6
0,98506	11,2	0,96950	25,3	0,95084	39,3	0,92496	53,4	0,89280	67,7
0,98494	11,3	0,96938	25,4	0,95068	39,4	0,92475	53,5	0,89255	67,8
0,98482	11,4	0,96927	25,5	0,95052	39,5	0,92454	53,6	0,89231	67,9
0,98470	11,5	0,96916	25,6	0,95037	39,6	0,92434	53,7	0,89207	68,0
0,98459	11,6	0,96904	25,7	0,95021	39,7	0,92413	53,8	0,89183	68,1
0,98447	11,7	0,96893	25,8	0,95005	39,8	0,92393	53,9	0,89158	68,2

0,98435	11,8	0,96881	25,9	0,94989	39,9	0,92372	54,0	0,89134	68,3
0,98424	11,9	0,96870	26,0	0,94973	40,0	0,92351	54,1	0,89109	68,4
0,98412	12,0	0,96858	26,1	0,94957	40,1	0,92330	54,2	0,89085	68,5
0,98400	12,1	0,96847	26,2	0,94941	40,2	0,92309	54,3	0,89036	68,7
0,98388	12,1	0,96835	26,3	0,94924	40,3	0,92288	54,4	0,89012	68,8
0,98377	12,3	0,96824	26,4	0,94908	40,4	0,92267	54,5	0,88987	68,9
0,98365	12,4	0,96812	26,5	0,94892	40,5	0,92247	54,6	0,88963	69,0
0,98354	12,5	0,96800	26,6	0,94876	40,6	0,92226	54,7	0,88938	69,1
0,98342	12,6	0,96789	26,7	0,94860	40,7	0,92205	54,8	0,88913	69,2
0,98330	12,7	0,96777	26,8	0,94843	40,8	0,92184	54,9	0,88889	69,3
0,98318	12,8	0,96766	26,9	0,94827	40,9	0,92163	55,0	0,88864	69,4
0,98307	12,9	0,96754	27,0	0,94811	41,0	0,92142	55,1	0,88839	69,5
0,98296	13,0	0,96742	27,1	0,94794	41,1	0,92121	55,2	0,88814	69,6
0,98285	13,1	0,96730	27,2	0,94778	41,2	0,92099	55,3	0,88789	69,7
0,98274	13,2	0,96719	27,3	0,94761	41,3	0,92078	55,4	0,88765	69,8
0,98263	13,3	0,96707	27,4	0,94745	41,4	0,92057	55,5	0,88740	69,9
0,98251	13,4	0,96695	27,5	0,94728	41,5	0,92036	55,6	0,88715	70,0
0,98239	13,5	0,96683	27,6	0,94711	41,6	0,92015	55,7	0,88690	70,1
0,98227	13,6	0,96671	27,7	0,94695	41,7	0,91993	55,8	0,88665	70,2
0,98216	13,7	0,96660	27,8	0,94678	41,8	0,91972	55,9	0,88640	70,3
0,98204	13,8	0,96648	27,9	0,94662	41,9	0,91951	56,0	0,88615	70,4
0,98193	13,9	0,96636	28,0	0,94645	42,0	0,91930	56,1	0,88590	70,5
0,98182	14,0	0,96624	28,1	0,94628	42,1	0,91908	56,2	0,88565	70,6

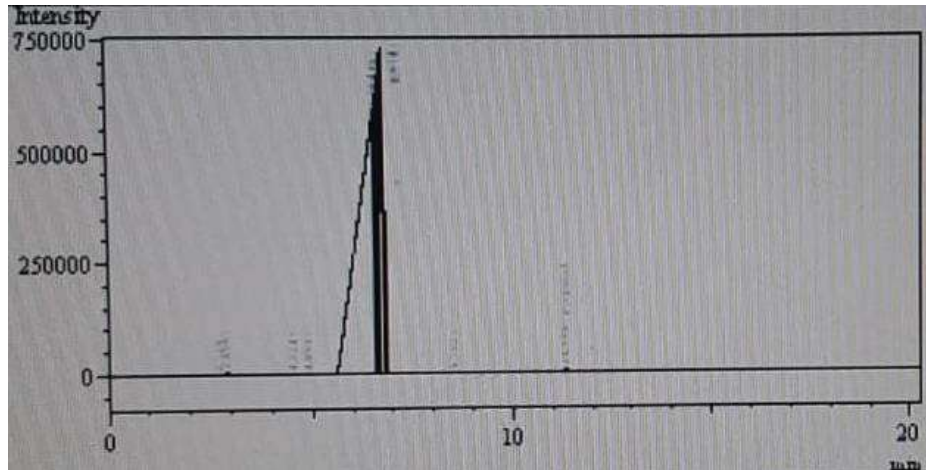
Fonte: BRASIL, 1986.

Apêndice B – Cromatograma do Álcool Combustível produzido no laboratório



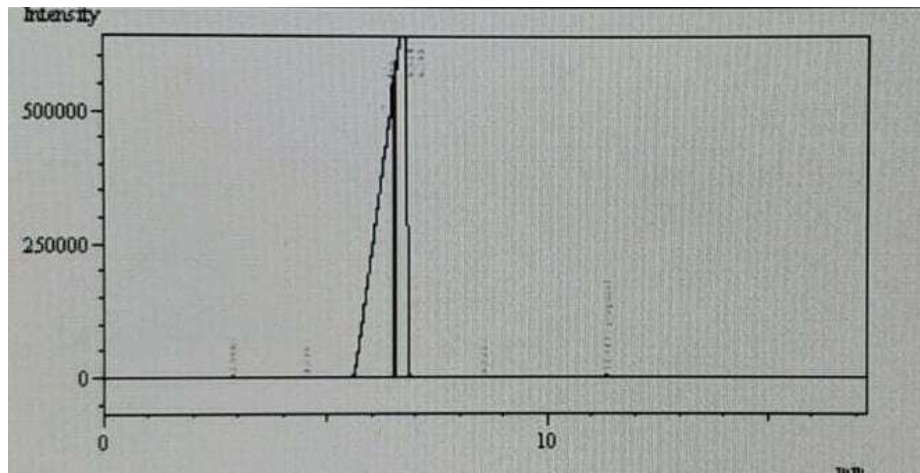
Fonte: Autoria Própria

Apêndice C. Cromatograma do Álcool Combustível produzido na Cachaçaria



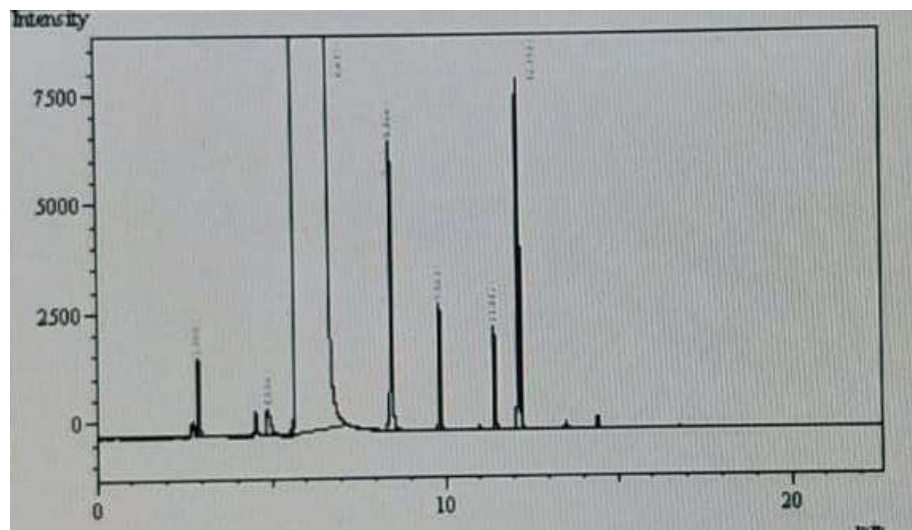
Fonte: Autoria Própria

Apêndice D. Cromatograma do Álcool Combustível Comercial



Fonte: Autoria Própria

Apêndice E. Cromatograma do Subproduto da produção de cachaça



Fonte: Autoria Própria