

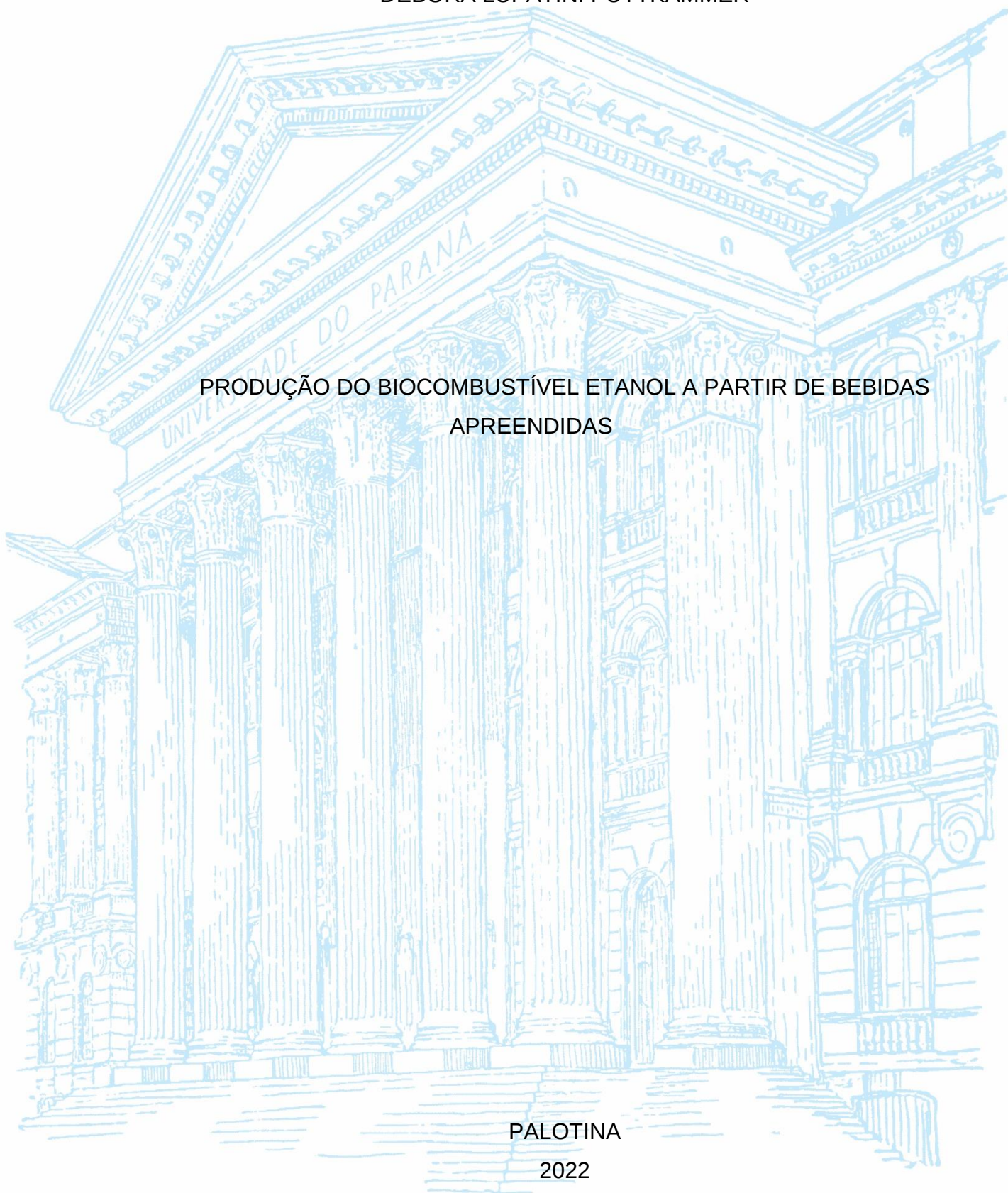
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

DÉBORA LUPATINI PUTTKAMMER

PRODUÇÃO DO BIOCOMBUSTÍVEL ETANOL A PARTIR DE BEBIDAS
APREENDIDAS

PALOTINA

2022



DÉBORA LUPATINI PUTTKAMMER

PRODUÇÃO DO BIOCOMBUSTÍVEL ETANOL A PARTIR DE BEBIDAS
APREENDIDAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia, Setor Palotina, Universidade Federal do Paraná, com requisito parcial à obtenção de título de Bacharel em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Sequinel

PALOTINA

2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ATA DE REUNIÃO

Aos três dias do mês de maio do ano de dois mil e vinte e dois, às dezesesseis horas, na Sala 07 do Bloco Didático II, Universidade Federal do Paraná, Setor Palotina, realizou-se a Defesa Pública e Oral do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado "Produção do Biocombustível Etanol a partir de Bebidas Apreendidas" apresentado pela discente Débora Lupatini Puttkammer, orientada pelo Prof. Dr. Rodrigo Sequinel, como um dos requisitos obrigatórios para conclusão do curso de graduação em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia. Iniciados os trabalhos, o orientador e Presidente da Banca concedeu a palavra à discente, para exposição do seu trabalho. A seguir, foi concedida a palavra em ordem sucessiva aos membros da Banca de Exame, os quais passaram a arguir a discente. Ultimada a defesa, que se desenvolveu nos termos normativos, a Banca de Exame, em sessão secreta, passou aos trabalhos de julgamento, tendo atribuído à discente as seguintes notas: **Prof. Dr. Rodrigo Sequinel, nota: 95 (noventa e cinco), Profa. Dra. Ivonete Rossi Bautitz, nota: 95 (noventa e cinco), e Prof. Dr. Luis Fernando Souza Gomes, nota: 95 (noventa e cinco).** A nota final da discente, após a média aritmética dos três membros da banca de exame, foi **95 (noventa e cinco)**. As considerações e sugestões feitas pela Banca de Exame deverão ser atendidas pela discente sob acompanhamento de seu orientador. Nada mais havendo a tratar foi lavrada a presente ata, que, lida e aprovada, vai por todos assinada eletronicamente.



Documento assinado eletronicamente por **RODRIGO SEQUINEL, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 04/05/2022, às 13:39, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **LUIS FERNANDO SOUZA GOMES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 04/05/2022, às 13:43, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **IVONETE ROSSI BAUTITZ, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 04/05/2022, às 13:58, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **4453600** e o código CRC **E7D474EA**.

A todos aqueles que se fazem presentes
em minha vida, pelo apoio, carinho e
orações.

AGRADECIMENTOS

À Deus por estar presente perante todas as dificuldades enfrentadas.

À todas as pessoas que sempre estiveram ao meu lado me apoiando, me acompanhando e principalmente acreditando em mim.

À minha família pelo amor, carinho e apoio incondicional.

Aos meus amigos, de longe e de perto, pela amizade e companheirismo em qualquer hora.

Ao meu orientador, pela dedicação, apoio e por todas as orientações.

À esta universidade e aos demais professores que auxiliaram, direta ou indiretamente, para que eu pudesse alcançar meus objetivos.

Dedico este trabalho às pessoas que sempre estiveram ao meu lado pelos caminhos da vida, e me incentivaram a não desistir dos meus objetivos e que me fizeram crescer tanto pessoalmente como profissionalmente.

À todas estas pessoas, os meus mais sinceros agradecimentos.

"Os sonhos são como uma bússola, indicando os caminhos que seguiremos e as metas que queremos alcançar. São eles que nos impulsionam, nos fortalecem e nos permitem crescer" (Augusto Cury).

RESUMO

Atualmente os biocombustíveis como o etanol, vem sendo utilizados com o objetivo de substituir combustíveis de origem fóssil, visando muito benefícios ao meio ambiente, como também a redução de gases do efeito estufa. Para a produção do etanol são seguidos alguns parâmetros de qualidade exigidos pela ANP - Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. O presente trabalho avaliou o processo de produção e os parâmetros de qualidade de etanol obtido a partir de bebidas alcoólicas apreendidas pela Receita Federal. Os parâmetros analisados foram aspecto, cor, pH, massa específica, teor alcoólico, acidez total, condutividade e teor de metanol. Foram separadas 4 amostras diferentes que passaram pelo processo de destilação e os resultados dos parâmetros analisados para estas 4 amostras foram positivos para o teor de metanol e aspecto das amostras. Positivos para cor e teor alcoólico das amostras 1 e 3, já para as amostras 2 e 4 foram negativos. Em relação a todas as amostras os resultados para pH, acidez total, condutividade elétrica e massa específica foram negativos, inviabilizando a comercialização do etanol como combustível. As principais não conformidades foram o pH bastante ácido e a acidez total. Neste caso, o processo de destilação pode ser otimizado para adequar os parâmetros de qualidade ou, de forma alternativa, este etanol produzido na Usina do Setor Palotina pode ser utilizado para outros fins, como produção de álcool em gel, álcool para limpeza e para uso cativo dos veículos da universidade.

Palavras-chave: Etanol. Destilação. Bebidas apreendidas. Receita Federal.

ABSTRACT

Currently, biofuels such as ethanol are being used with the objective of replacing fossil fuels, aiming for many benefits to the environment, as well as the reduction of greenhouse gases. For the production of ethanol, some quality parameters required by the ANP - National Agency of Petroleum, Natural Gas and Biofuels - are followed. The present work evaluated the production process and the quality parameters of ethanol obtained from alcoholic beverages seized by the Federal Revenue. The parameters analyzed were appearance, color, pH, specific mass, alcohol content, total acidity, conductivity and methanol content. There were 4 different samples separated that went through the distillation process and the results of the parameters analyzed for these 4 samples were positive for methanol content and appearance of the samples. Positive for color and alcohol content for samples 1 and 3, and negative for samples 2 and 4. For all samples the results for pH, total acidity, electrical conductivity and specific mass were negative, making the commercialization of ethanol as fuel unfeasible. The main nonconformities were the very acid pH and the total acidity. In this case, the distillation process can be optimized to adjust the quality parameters or, alternatively, this ethanol produced at the Setor Palotina Plant can be used for other purposes, such as production of alcohol gel, alcohol for cleaning and for captive use of university vehicles.

Keywords: Ethanol. Distillation. Seized beverages. Internal Revenue Service.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 JUSTIFICATIVA	12
3 OBJETIVOS	13
3.1 OBJETIVOS GERAIS	13
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
4 REFERENCIAL TEÓRICO	14
4.1 ETANOL	14
4.2 RECEITA FEDERAL DE FOZ DO IGUAÇU	14
4.3 MINIUSINA UFPR – SETOR PALOTINA	15
5 MATERIAIS E MÉTODOS	18
5.1 PROCESSO DE DESTILAÇÃO DESENVOLVIDO NA MINIUSINA da UFPR - SETOR PALOTINA	18
5.2 COLETA DAS AMOSTRAS	21
5.3 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE	22
5.3.1 Determinação do aspecto e cor pelo método visual	22
5.3.2 Determinação do teor alcoólico e massa específica	22
5.3.3 Determinação do pH	22
5.3.4 Determinação da acidez	23
5.3.5 Determinação da condutividade elétrica	24
5.3.6 Determinação do teor de metanol e demais compostos oxigenados	24
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
6.1 AVALIAÇÃO DO ASPECTO E COR DO ETANOL	27
6.2 DETERMINAÇÃO DO TEOR ALCOÓLICO DO ETANOL	28
6.3 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO ETANOL	29
6.4 DETERMINAÇÃO DO pH DO ETANOL	30
6.5 ACIDEZ TOTAL DO ETANOL	31
6.6 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO ETANOL	32
6.7 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE METANOL NO ETANOL	33
7 CONCLUSÃO	38
BIBLIOGRAFIA	39
APÊNDICE 1	41

1 INTRODUÇÃO

O etanol (C_2H_5OH), dentre outras aplicações é utilizado como combustível sendo considerado um combustível ecologicamente correto, pois o cultivo de sua matéria prima, reduz consideravelmente a quantidade de gás carbônico lançada na atmosfera através da fotossíntese.

Com a diminuição das reservas de petróleo e o aumento crescente com as preocupações ambientais ao longo das décadas vem ocasionando uma pressão sobre o uso dos combustíveis fósseis, que é considerado um dos maiores poluentes devido ao seu uso.

O etanol no Brasil começou a ser utilizado por meados do século XX, e foi consolidado dentre vários fatores como a Lei nº. 737 de 1938, que tornou obrigatório a adição do etanol à gasolina. Em 1973 ocorreu a crise do petróleo onde os preços dos barris de petróleo superfaturaram, o que levou o Brasil a criar uma alternativa para amenizar a crise energética. A crescente demanda por combustíveis de fontes renováveis levou a criação do Programa Nacional do Álcool (Proálcool) em 1975 pelo decreto nº. 76.593, que teve como objetivo estimular a produção do álcool e reduzir o consumo dos combustíveis fósseis.

Segundo Santos (2011), além das vantagens energéticas, a produção de etanol de cana de açúcar apresenta um interesse potencial em projetos de inclusão social, bem como vantagens econômicas e ambientais com relação aos derivados de petróleo.

A pandemia da COVID-19 em 2020 ocasionou uma crise humana e sanitária, associada ao desabastecimento de álcool gel e álcool para limpeza por falta de matéria prima para sua fabricação. Diante disso surgiu como alternativa a utilização de bebidas apreendidas pela Receita Federal para a transformação em etanol, e produção de álcool em gel e álcool para limpeza.

O etanol é uma substância incolor, volátil, inflamável e solúvel em água, é composto por dois átomos de carbono, cinco hidrogênios e um grupo hidroxila. Existem dois tipos de etanol que são comercializados no Brasil, o etanol hidratado abrangendo a indústria de combustíveis e a de bebidas, e o etanol anidro que também atende a indústria de combustíveis, adicionado na gasolina, além de atender à demanda de indústrias químicas.

Segundo a Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis – ANP, o etanol precisa se adequar em algumas especificações para poder ser comercializado e utilizado como etanol combustível destinado a combustão direta.

2 JUSTIFICATIVA

Com o aumento da crise energética global e com o início da escassez de combustíveis fósseis, vários países tomaram a iniciativa de procurar por combustíveis alternativos, de preferência renováveis. Uma solução para esse problema seria a produção de biocombustíveis.

O etanol pode ser produzido a partir de processos fermentativos da biomassa e resíduos agroindustriais, como por exemplo a cana-de-açúcar, o milho, o sorgo sacaríneo, assim como seus materiais lignocelulósicos.

Uma das alternativas para a produção de biocombustível etanol é o aproveitamento de bebidas alcoólicas apreendidas em operações de fiscalização pela Receita Federal. Este processo dá uma finalidade para a bebida apreendida e auxilia na diminuição de problemas ambientais, como o descarte correto tanto da embalagem quanto do líquido, visto que normalmente as bebidas apreendidas sofrem pena de perdimento, não podendo ser consumidas.

As bebidas que sofreram essa pena são destinadas ao processo de destilação e a graduação alcoólica esperada ao final do processo é de aproximadamente de 92 a 95°GL.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVOS GERAIS

Avaliar o processo de produção e os parâmetros de qualidade de etanol obtido a partir de bebidas alcoólicas apreendidas, tendo como base o sistema de destilação montado na UFPR, Setor Palotina.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos envolvem:

- Acompanhar e avaliar o processo de destilação das bebidas alcoólicas apreendidas separando amostras representativas para determinação da qualidade.
- Determinar os parâmetros de qualidade de aspecto, cor, teor alcoólico, massa específica, pH, acidez, condutividade elétrica, teor de metanol e outros compostos oxigenados.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 ETANOL

O etanol é um produto incolor, volátil, solúvel em água e inflamável com fórmula química (C_2H_5OH), podendo ser produzido via fermentação de açúcares. O etanol é composto por dois átomos de carbono, cinco átomos de hidrogênio e uma hidroxila, contendo aproximadamente 35% de oxigênio em sua composição (SANTOS, 2011). É utilizado como um substituto da gasolina em motores ciclo Otto de combustão interna.

No Brasil são produzidos dois tipos de etanol, o etanol hidratado que abrange a indústria de combustíveis e a indústria de bebidas, e o etanol anidro para atender a demanda de indústrias químicas.

O teor de etanol pode ser expresso em graus Gay-Lussac (°GL) ou em Índice Nacional de Pesos e Medidas (°INPM), sendo mais comumente utilizado em graus Gay-Lussac que corresponde ao volume em mililitros de álcool absoluto contidos em 100 mililitros de mistura hidro-alcoólica. Já a escala °INPM corresponde a massa de álcool etílico contido em cada litro. Com esse parâmetro, sabe-se sempre a massa real do etanol independente da temperatura em que se encontre (SANTOS, 2011).

Na literatura encontramos muitas denominações diferentes para o etanol sendo elas referentes ao mesmo produto. É chamado genericamente de álcool, etanol, álcool hidratado, etanol hidratado, álcool etílico combustível, bioetanol, biocombustível etanol, álcool etílico hidratado combustível, metil carbinol, dentre muitas outras. Segundo a Resolução da ANP nº 19, 2015 obtemos a denominação etanol hidratado combustível (EHC) sendo etanol combustível que é destinado à utilização direta em motores ciclo Otto.

Para uma melhor compreensão do sobre as denominações anteriormente abordadas adotaremos um único termo sendo ele etanol.

4.2 RECEITA FEDERAL DE FOZ DO IGUAÇU

A Receita Federal do Brasil (RFB), é o órgão do governo que tem como responsabilidade a administração do controle aduaneiro e dos tributos federais.

Quando esses produtos e mercadorias não se encontram de acordo com as normas da Receita Federal são apreendidos.

As mercadorias apreendidas podem ter alguns destinos, como: a destruição ou inutilização, a doação destes bens a entidades filantrópicas e a doação para universidades ou instituições técnicas para a conversão em outros bens (BORIN e ORTIZ, 2011). Segundo Borin e Ortiz (2011), o processo de destruição é o mais convencional, onde a RFB, utiliza o produto através de meios que minimizem as externalidades negativas no meio ambiente e doa os vasilhames para organismos representativos para reciclagem.

Em uma das operações de rotina da Receita Federal, foi desarticulado um depósito clandestino de bebidas (Receita Federal, 2021). O resultado dessa apreensão foram cerca de R\$ 50 mil em bebidas.

O processo de conversão ocorre com a doação das bebidas alcoólicas apreendidas para universidades ou institutos de tecnologia, onde estas bebidas são dispostas todas misturadas em barris ou galões, para que não sejam consumidas ou desviadas. Essa mistura de bebidas então é separada por processo de destilação resultando no etanol.

4.3 MINIUSINA UFPR – SETOR PALOTINA

A miniusina para a produção de etanol, está localizada na Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina, no laboratório de biocombustíveis, a infraestrutura é utilizada para desenvolvimento de atividades pedagógicas e didáticas para os cursos do Setor Palotina.

Sua infraestrutura do laboratório é composta por dornas de fermentação, moenda, um alambique de cobre com capacidade de 500 litros, uma caldeira e torre de retificação. A miniusina tem uma capacidade de armazenamento de 30.000 L, que ficam dispostas em caixas de polietileno localizado ao lado da usina, tem uma capacidade de produção de 50 litros de etanol por batelada, quando utilizadas as bebidas alcoólicas apreendidas como fonte de matéria prima.

A mistura de bebidas alcoólicas utilizadas nos experimentos é uma mistura de vários tipos vinhos e outras bebidas alcoólicas apreendidas e fornecidas pela Receita Federal.

As misturas de bebidas alcoólicas oriunda das apreensões são transferidas para o fervedor ou panela, o mesmo possui uma serpentina por onde passa um fluxo de vapor de água que é aquecido na caldeira, o alambique possui uma coluna com 5 pratos teóricos para separação do etanol. Depois de percorrer os pratos teóricos da coluna do alambique, a mistura vai para a coluna que fica ao lado de fora da infraestrutura do laboratório devido ao seu tamanho, e contém 19 pratos teóricos para separação e purificação do etanol. A coluna externa também possui um condensador e um deflegmador (FIGURA 4).

A destilação é um processo de separação de misturas homogêneas, tendo como princípio a diferença do ponto de ebulição das substâncias que compõem a mistura a ser destilada. A separação ocorre após um ou mais ciclos de vaporização e condensação da mistura. Segundo Hollanda (2016), na mistura de etanol e água ocorre a formação de um azeótropo, onde a mistura passa a se comportar como uma substância pura, com um ponto de ebulição fixo. A mistura azeotrópica se comporta como uma substância pura durante o processo de condensação ou ebulição, a temperatura de ebulição fica constante até que toda mistura passe para o estado gasoso, e o mesmo ocorre na condensação.

Para que ocorra a separação das misturas nesse processo, são necessárias duas colunas, a primeira que trabalha com pressões moderadas, utilizada para concentrar o etanol próximo ao ponto azeotrópico, e a segunda coluna onde ocorre a quebra do ponto azeotrópico, ocorrendo a separação das misturas.

A função do deflegmador é produzir um refluxo interno que enriquece a graduação alcoólica no produto de topo (SCHNEIDER, et al., 2013). O refluxo interno produzido pelo deflegmador faz com que o vapor que sobe para o condensador seja um vapor com alta graduação alcoólica. O vapor de etanol que sobe no condensador no topo da coluna, se condensa e é coletado e possui um teor alcoólico de aproximadamente 92 a 95 °GL.

Para ocorrer a comercialização do etanol ele precisa seguir alguns requisitos ou especificações, a ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, é quem regulamenta essas especificações (TABELA 1).

TABELA 1: RESUMO DAS ESPECIFICAÇÕES DO EHC.

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LÍMITE	MÉTODO	
		EHC	NBR	ASTM/EM/ISO
Aspecto	-	Límpido e isento de impurezas (LII)	Visual	
Cor	-	5 *	Visual	
Acidez total, máx. (em miligramas de ácido acético)	mg/L	30	9866 16047	ISO 17315
Condutividade elétrica, máx.	µS/m	300	10547	ISSO 17308
Massa específica 20°C.	kg/m ³	805,2 a 811,2	5992 15639	D4052
Teor alcoólico	% massa	92,5 a 94,6	5992 15639	-
Potencial hidrogeniônico (pH)	-	6,0 a 8,0	10891	-
Teor de metanol, máx.	% volume	0,5	16041 16943	-

FONTE: Adaptada da Resolução ANP nº 19, de 15.4.2015.

NOTA: *Não pode apresentar as colorações laranja e azul, restritas ao etanol anidro combustível (EAC), e à gasolina de aviação, respectivamente.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho apresenta a reutilização de bebidas alcoólicas apreendidas pela Receita Federal de Foz do Iguaçu para a produção de etanol combustível, com o intuito de reaproveitar este resíduo que seria descartado, contribuindo também com a preservação do meio ambiente. O trabalho foi desenvolvido na UFPR, Setor Palotina, com a destilação das bebidas alcoólicas sendo realizadas na miniusina de produção de etanol, Laboratório de Biocombustíveis e o controle de qualidade realizado no Laboratório de Análise Instrumental e Controle de Qualidade.

5.1 PROCESSO DE DESTILAÇÃO DESENVOLVIDO NA MINIUSINA da UFPR - SETOR PALOTINA

O processo iniciou-se enchendo o fervedor ou panela (FIGURA 1) com a mistura de bebidas alcoólicas com aproximadamente 500 litros, essas bebidas ficam armazenadas do lado de fora do laboratório em caixas de polietileno (FIGURA 2).

FIGURA 1: ALAMBIQUE DE COBRE.



FONTE: A autora (2022).

FIGURA 2: LABORATÓRIO DE BIOCOMBUSTÍVEIS DA UFPR – SETOR PALOTINA.



FONTE: A autora (2022).

O calor gerado na caldeira (FIGURA 3) a lenha é transferido para a água, que passa pelo processo de ebulição formando o vapor, esse vapor é transportado por meio de tubulações até o fervedor ou panela do alambique de cobre. Esse vapor gerado na caldeira aquece a mistura de bebidas alcoólicas, conforme a temperatura da mistura de bebidas vai aumentando, o vapor sobe até o primeiro prato teórico, devido ao prato teórico estar em uma temperatura mais baixa que o vapor, ocorre a liquefação. A porção líquida volta a ser aquecida, passa a fase de vapor e sobe novamente até o prato teórico, até este primeiro prato teórico atingir a mesma temperatura do vapor passando para o prato teórico seguinte, e assim sucessivamente.

FIGURA 3: CALDEIRA A LENHA.



FONTE: A autora (2022).

Após passar por todos os 5 pratos teóricos do alambique, esse vapor segue para a coluna externa que contém 19 pratos teóricos (FIGURA 4). Essa coluna possui um deflegmador, um equipamento que faz um refluxo forçado desse vapor, no intuito de concentrar ainda mais esse etanol. Chegando ao final do processo o deflegmador é desligado, e o vapor de etanol chega ao condensador onde é condensado e coletado.

FIGURA 4: COLUNA DE DESTILAÇÃO.



FONTE: A autora (2022).

5.2 COLETA DAS AMOSTRAS

As amostras de bebidas alcoólicas são apreendidas na fronteira de Foz do Iguaçu pela Alfandega da Receita Federal. Apenas o conteúdo líquido é extraído dos vasilhames apreendidos, foram acondicionados em recipientes de até 1.000 L, separados pela própria Receita Federal e enviados à UFPR, Setor Palotina. Estas misturas foram encaminhadas para o processo de destilação no laboratório de Produção de Biocombustíveis e as amostras de etanol obtidas ao final do processo foram coletadas, aproximadamente 1 L de cada amostra. As destilações deste etanol ocorreram em dias diferentes com condições diferentes entre as bateladas.

Após as amostras serem coletadas, tiveram seu controle de qualidade realizado no Laboratório de Análise Instrumental e Controle de Qualidade.

5.3 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE

5.3.1 Determinação do aspecto e cor pelo método visual

Para a determinação de aspecto e cor do etanol, as 4 amostras de etanol devem ser dispostas em recipientes de vidro transparentes e colocadas em um fundo branco e em um local bem iluminado para melhor visualização do aspecto e cor.

5.3.2 Determinação do teor alcoólico e massa específica

Conforme NRB 5992 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016) podemos observar a determinação de teor alcoólico, percentual em base mássica (% m/m) ou volumétrica (% v/v) de etanol.

As vidrarias utilizadas foram provetas de vidro (150 mL), densímetro de vidro, alcoômetro de vidro e um termômetro.

O procedimento iniciou-se colocando as amostras na proveta e medindo o teor alcoólico e depois sua massa específica, a massa específica também foi medida por equipamento (FIGURA 5).

FIGURA 5: DENSÍMETRO METTLER TOLEDO DENSITO 30 PX.



FONTE: Mettler Toledo.

5.3.3 Determinação do pH

Conforme NRB 10891 (ABNT, 2017), especifica o método potenciométrico para a determinação do pH, onde o método consiste na medição da diferença do potencial entre os eletrodos de vidro.

Foram utilizadas as soluções tamponantes preparadas (STP), pH 4,00 e 7,00. As amostras foram colocadas em recipientes de vidro e uma a uma foram medidas no phmetro.

5.3.4 Determinação da acidez

Conforme o método de determinação de acidez total do Instituto Adolfo Lutz (2008, p. 421) podemos determinar a acidez total presente no etanol, baseada na titulação de neutralização dos ácidos com soluções padronizadas.

O que foi utilizado no experimento foram, erlenmeyers, bureta (25 mL), pipeta volumétrica, balão volumétrico, solução de NaOH (padronizada com biftalato de potássio) e solução de fenolftaleína.

O procedimento se deu com a titulação (FIGURA 6) das amostras de etanol, onde as mesmas foram feitas em triplicata até se obter uma coloração rósea.

FIGURA 6: TITULAÇÃO DAS AMOSTRAS DE ETANOL.



FONTE: A autora (2022).

Eq 1

$$\frac{n \times M \times PM}{10 \times V} = \text{ácidos totais, em g de ácido acético por 100 mL de amostra}$$

Onde, n = volume de solução de hidróxido de sódio em mL, M = molaridade da solução de hidróxido de sódio, PM = peso molecular do ácido acético (60g) e V = volume da amostra em mL.

5.3.5 Determinação da condutividade elétrica

Conforme NRB 10547 (ABNT, 2012), a condutividade elétrica do etanol é a capacidade de uma substância de conduzir corrente elétrica por íons que estão presente na solução.

Os equipamentos utilizados foram, medidor de condutividade elétrica, e um recipiente de vidro para as amostras. O procedimento se deu com a medição uma a uma das amostras de etanol, e seus respectivos valores foram anotados.

FIGURA 7: MEDIDOR DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA.



FONTE: TECNAL.

5.3.6 Determinação do teor de metanol e demais compostos oxigenados

Conforme o método de determinação de metanol e demais compostos oxigenados do Instituto Adolfo Lutz (2008, p. 438) podemos determinar as concentrações de metanol por cromatografia em fase gasosa.

Para o método foram utilizadas as soluções de álcool absoluto, e as demais soluções da TABELA 2, também foram utilizados balões volumétricos e pipetas.

TABELA 2: REAGENTES UTILIZADOS NOS PREPAROS DAS SOLUÇÕES.

Padrão	V (mL)
Acetaldeído	0,8
Metanol	2
Acetato de etila	2
n-Propanol	1,5
Isobutanol	2,5
n-Butanol	0,5
3-Metilbutanol	2,5
2-Butanol	1

FONTE: Instituto Adolfo Lutz (2008, p. 438).

Todas as soluções foram devidamente preparadas conforme o descrito na metodologia adotada FIGURA 8.

FIGURA 8: SOLUÇÕES UTILIZADAS NO CROMOTOGRAFO GASOSO.



FONTE: A autora, (2022).

Condições de análise:

Cromatógrafo Thermo Scientific Trace 1310, com detecção FID, coluna Zebron Wax 30 m x 0,25 mm x 0,25 µm.

Método baseado na análise de metanol e componentes secundários em bebidas (p. 438) das Normas de Análise de Alimentos do Instituto Adolfo Lutz.

Condição do forno: 40 °C por 4 min + 15 °C/min até 60 min, mantendo por 3 min + 30 °C/min até 170 °C mantendo por 5 min.

Gás de arraste: nitrogênio, fluxo 1 mL/min.

Injetor Split, 200 °C, razão split 1:100, volume de injeção 1 uL.

Detector FID 250 °C.

Cálculos:

Cálculos manuais: cálculo dos fatores de correção. Os fatores de correção são obtidos a partir dos cromatogramas gerados pela solução-padrão de trabalho C, para cada componente secundário.

Eq 2

$$\frac{C_{comp} \times A_{PI}}{C_{PI} \times A_{comp}} = \text{fator de correção do composto}$$

Onde, A_{PI} é a área do pico do padrão interno do cromatograma da solução C. A_{comp} é a área de cada composto do cromatograma da solução C. C_{PI} é a concentração do padrão interno (mg/100 g) na solução C. C_{comp} é a concentração do composto (mg/100 g) na solução C.

A concentração de cada composto é calculada a partir do cromatogramas da amostra e é expressa em mg por 100 g:

Eq3

$$\frac{A_{compA} \times FC_{comp} \times C_{PIA}}{A_{PIA}} = \text{concentração do composto mg/100 g}$$

Onde, A_{compA} é a área do pico do composto do cromatograma da amostra. A_{PIA} é a área do pico do padrão interno do cromatograma da amostra. FC_{comp} é o fator de correção do composto obtido a partir da solução C. C_{PIA} é a concentração do padrão interno da solução da amostra (mg por 100 g).

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

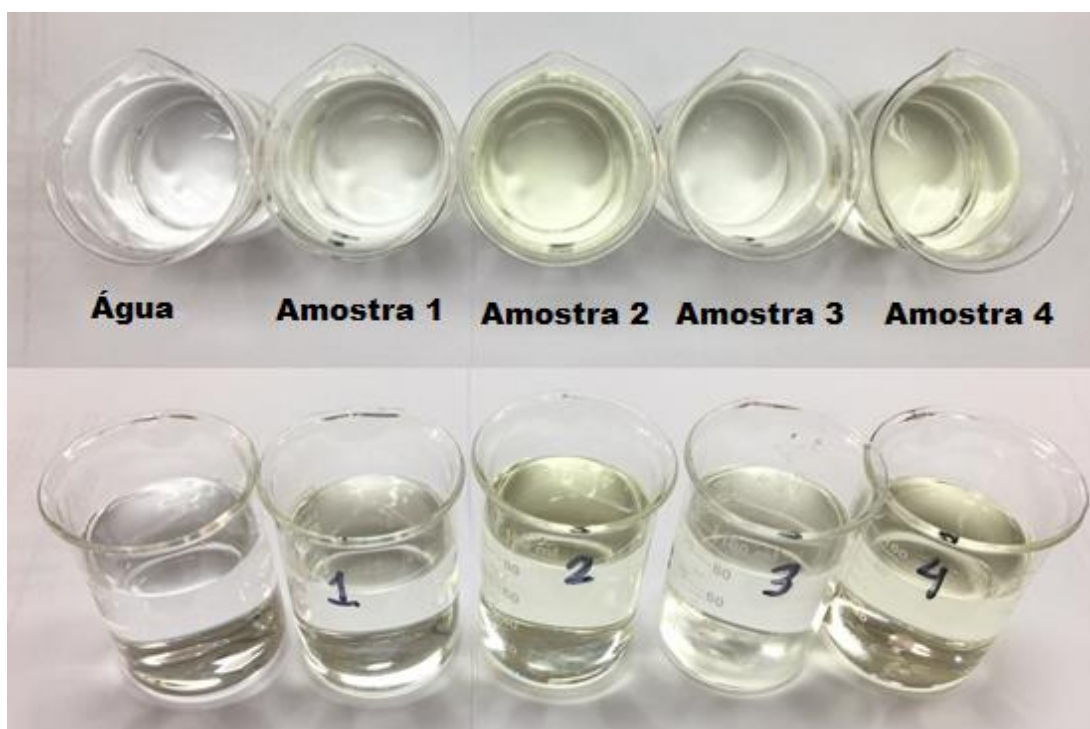
Os processos de destilação das bebidas alcoólicas apreendidas foram acompanhados, e de quatro destilações foram coletadas amostras de etanol e estas foram analisadas de acordo com os procedimentos descritos na seção de materiais e métodos.

Em sequência serão discutidos os parâmetros das amostras de etanol analisado, para concluir se elas se encontram dentro dos padrões exigidos pela ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, as amostras que estiverem dentro do padrão exigido poderão ser comercializadas como etanol combustível.

6.1 AVALIAÇÃO DO ASPECTO E COR DO ETANOL

A avaliação do aspecto e cor do etanol foram feitas de forma visual, as amostras foram colocadas dentro de béqueres, contra um fundo branco e bem iluminado para melhor visualização, sendo comparadas visualmente com a água, que é límpida e incolor.

FIGURA 9: AMOSTRAS DE ETANOL PARA DETERMINAÇÃO DE ASPECTO E COR.



FONTE: A autora (2022).

TABELA 3: ESPECIFICAÇÕES DE ASPECTO E COR DO ETANOL.

Amostras	Cor	Aspecto
1	Incolor	Límpido e isento de impurezas
2	Amarelada	Límpido e isento de impurezas
3	Incolor	Límpido e isento de impurezas
4	Amarelada	Límpido e isento de impurezas

FONTE: A autora (2022).

Analisando as amostras de etanol, podemos concluir que no quesito aspecto todas as amostras estão dentro do padrão exigido pela ANP, onde todas as amostras se encontraram límpidas e isentas de impurezas, as amostras 1 e 3 se encontram incolores, já as amostras 2 e 4 são mais amareladas, inviabilizando a venda como etanol combustível, já que existe a necessidade de a cor ser incolor. Esta cor pode ser devido a algum componente da bebida que pode ter sido arrastado na destilação. Discute-se também um possível suspeita de presença de íons de ferro nas amostras causadas pela corrosão da coluna de destilação externa. Tal resultado precisa ser melhor investigado.

6.2 DETERMINAÇÃO DO TEOR ALCOÓLICO DO ETANOL

Para os procedimentos de teor alcoólico e massa específica foi utilizado a descrição da NBR 5992 (ABNT. 2016), onde as amostras de etanol foram colocadas dentro de provetas e o teor alcoólico foi medido com o densímetro, e a temperatura foi aferida com o termômetro, e os resultados encontrados se encontram na TABELA 4.

TABELA 4: TEOR ALCOÓLICO DO ETANOL DAS AMOSTRAS ANALISADAS.

Amostra	Teor alcoólico °GL	Temperatura °C
1	94,5	24,0
2	90,0	23,4
3	94,0	23,4
4	88,5	23,9

FONTE: A autora (2022).

O teor alcoólico e a temperatura foram corrigidos para 20 °C através de tabelas de correção do teor alcoólico, como podemos observar na TABELA 5.

TABELA 5: TEOR ALCOÓLICO DO ETANOL CORRIGIDO A 20 °C.

Amostra	Teor alcoólico °GL	Temperatura °C
1	93,7	20,0
2	89,1	20,0
3	93,3	20,0
4	87,4	20,0

FONTE: A autora (2022).

Com o resultado desta correção, podemos observar que as amostras 1 e 3 estão dentro do padrão de teor alcoólico exigido pela ANP (92,5 – 94,6) °GL.

As amostras 2 e 4 que não estão dentro do padrão exigido pela ANP, devido há alguns problemas que podem ter ocorrido durante a destilação dessas amostras. Como por exemplo, excesso de calor fornecido pela caldeira ao fervedor ou panela fazendo com que a temperatura de evaporação tenha sido muito alta, ou também por decorrências climáticas, como a chuva que desestabiliza a coluna externa, fazendo com que a coluna externa perca o equilíbrio de temperatura, ocasionando em um maior tempo de permanência das amostras dentro da coluna de destilação. Nos dias de realização da destilação de algumas das amostras ocorrerá chuvas e houve também variação no calor fornecido pela caldeira.

6.3 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO ETANOL

Para massa específica, as amostras também foram colocadas dentro de provetas para que fossem medidas a densidade de cada amostra, assim como também foi aferida a temperatura de cada amostra conforme o descrito na NBR 5992 (ABNT, 2016). Os resultados obtidos podem ser observados na TABELA 6.

TABELA 6: MASSA ESPECÍFICA DAS AMOSTRAS DE ETANOL ANALISADAS.

Amostra	Massa específica kg/m ³	Temperatura °C
1	815,5	24,0
2	830,0	23,4
3	820,0	23,4
4	835,0	23,9

FONTE: A autora (2022).

A massa específica foi medida novamente devido ao valor muito encontrado nas amostras, mas desta vez medidas a 20 °C com o equipamento Densímetro Mettler Toledo Densito (FIGURA 5), e os resultados obtidos podem ser observados na TABELA 7.

TABELA 7: MASSA ESPECÍFICA DO ETANOL A 20 °C.

Amostra	Massa específica kg/m ³	Temperatura °C (± 0,5)
1	817,7	20,0
2	833,1	20,0
3	819,5	20,0
4	837,4	20,0

FONTE: A autora (2022).

Analisando os resultados podemos observar que nenhuma amostra se enquadra nos padrões da ANP (805,2 – 811,2), podendo ser devido ao alto teor de água que contém nas amostras. Como a densidade da água é de 1,0 g/cm³ e do etanol é de 0,8 g/cm³, quando mais água a amostra tiver, mais densa a massa específica da amostra vai ser. Esses valores para a densidade encontrados podem estar relacionados com os problemas enfrentados durante a destilação das amostras.

Para Gonçalves et al., (2013), a determinação do teor de água no etanol é fundamental para a avaliação da qualidade, pois a solubilidade do etanol na gasolina é inversamente proporcional ao teor de água contido.

6.4 DETERMINAÇÃO DO pH DO ETANOL

Para o procedimento do pH, as amostras foram analisadas em triplicata, a média aritmética dos valores de pH foram feitas, como pode ser observado na TABELA 8.

TABELA 8: VALORES DE PH E TEMPERATURAS DO ETANOL.

Amostras	pH	Média
1	1,69	1,83
	1,83	
	1,96	
	2,13	
2	2,22	2,22
	2,3	
	1,74	
	1,96	
3	2,06	1,96
	2,31	
	2,43	
	2,54	
4	2,43	2,43
	2,43	
	2,43	
	2,43	

FONTE: A autora (2022).

Através das médias de pH analisadas podemos observar que nenhuma amostra se enquadra nos padrões da ANP (pH 6 - 8). Um dos motivos desse resultado pode ser a fermentação acética que pode ter ocorrido nesta mistura de vinhos no armazenamento devido ao tempo que ficou armazenado antes da destilação. Outro motivo que pode ter contribuído para esta alteração do pH das amostras é na hora da destilação, quando ácidos orgânicos saem junto com o etanol da coluna devido ao seu baixo ponto de ebulição. Por outro lado, pode estar relacionado ao ponto de corrosão da coluna externa de destilação que pode ter carregado íons ferro nas amostras, causando redução do pH. Tais fatores necessitam de investigação.

Segundo Gonçalves et al., (2013), os parâmetros de pH e acidez total são utilizados como indicativos de riscos de corrosão que podem ser provocadas por etanol de baixa qualidade, relacionados à presença de ácidos e outros contaminantes provenientes dos processos de fermentação e destilação.

6.5 ACIDEZ TOTAL DO ETANOL

Para a titulação do etanol com a solução de NaOH padronizada resultou nos valores de acidez total que podem ser observados na TABELA 9.

TABELA 9: VALORES DA ACIDEZ TOTAL DO ETANOL.

Amostras	Acidez total (g/mL)	Acidez total (mg/L)
1	0,0593	59.300
2	0,0569	56.970
3	0,0511	51.160
4	0,0569	56.970

FONTE: A autora (2022).

Os valores de acidez encontrados nas amostras de etanol analisados não se encontram dentro do padrão de acidez total (máx. de 30 mg/L) exigido pela ANP. Do mesmo modo que pH é alterado pelo ácido acético, ácidos orgânicos e outros contaminantes provenientes dos processos de fermentação e destilação, consequentemente a acidez total do etanol também representa essa alteração.

6.6 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO ETANOL

As condutividades elétricas das amostras de etanol foram medidas conforme a NBR 10547 (ABNT. 2012), e seus resultados podem ser observados na TABELA 10. O valor da condutividade elétrica exigido pela ANP é de 300 $\mu\text{S/m}$, onde nenhuma amostra se enquadra nesse parâmetro exigido.

TABELA 10: VALORES DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO ETANOL ANALISADO.

Amostras	Condutividade $\mu\text{S/cm}$	Condutividade $\mu\text{S/m}$
1	19,67	1.967
2	24,64	2.464
3	19,93	1.993
4	21,24	2.124

FONTE: A autora (2022).

Analisando as amostras de etanol, podemos perceber que a cores mais amareladas das amostras 2 e 4 estão relacionadas a alta condutividade das amostras. No processo de destilação na coluna externa de aço inox, íons de ferro são arrancados da coluna devido ao pH ácido do etanol destilado e a sua permanência dentro da coluna de destilação, resultando na condutividade muito acima do exigido pela ANP.

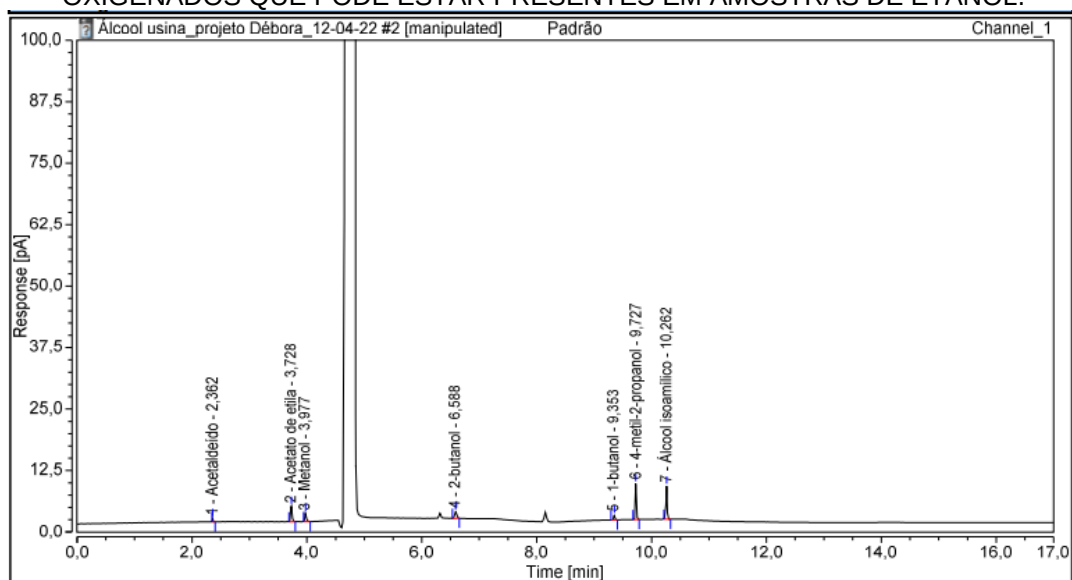
Para Gonçalves et al., (2013), a condutividade elétrica é muito utilizada como indicativo de etanol de baixa qualidade, onde a presença de ácidos e outros

contaminantes influenciam no seu valor. Os altos níveis de condutividade elétrica e outros contaminantes são indicativos para o alto risco de corrosão.

6.7 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE METANOL NO ETANOL

Para a análise do teor de metanol, primeiramente foram preparadas todas as soluções necessárias. As amostras foram colocadas em vials e analisadas por cromatografia gasosa, e seus resultados foram expressos nos cromatogramas abaixo FIGURA 10.

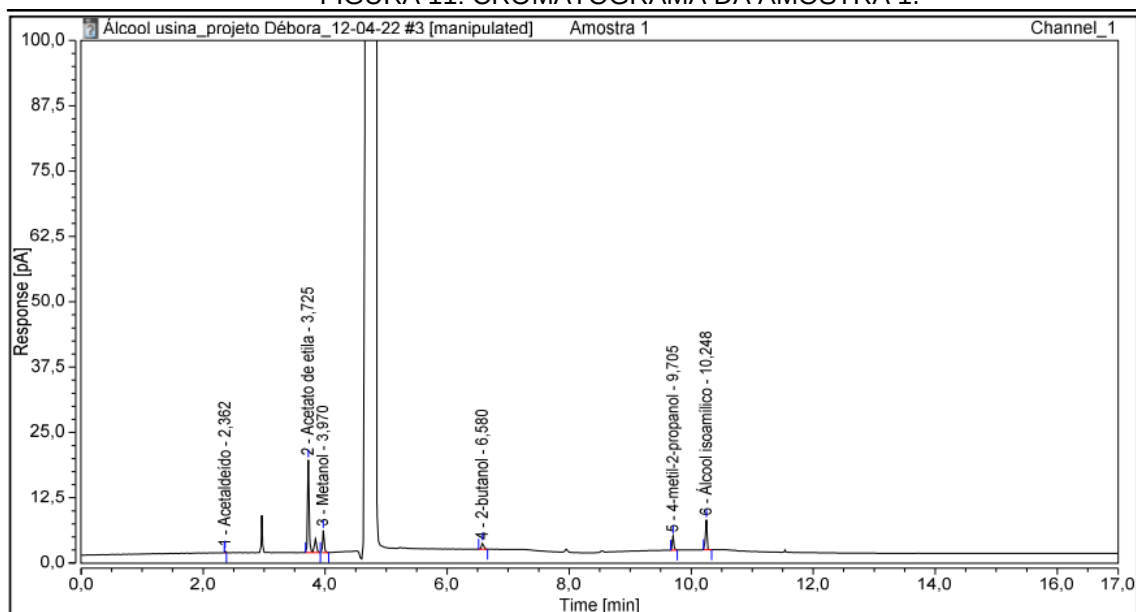
FIGURA 10: CROMATOGRAMA DE MISTURA PADRÃO DE ÁLCOOIS E DEMAIS COMPOSTOS OXIGENADOS QUE PODE ESTAR PRESENTES EM AMOSTRAS DE ETANOL.



FONTE: A autora (2022).

A análise cromatográfica do padrão mostra que o pico do metanol foi eluído no tempo de 3,9 minutos.

FIGURA 11: CROMATOGRAMA DA AMOSTRA 1.



FONTE: A autora (2022).

TABELA 11: VALORES DE CADA COMPONENTE PRESENTE NA AMOSTRA 1.

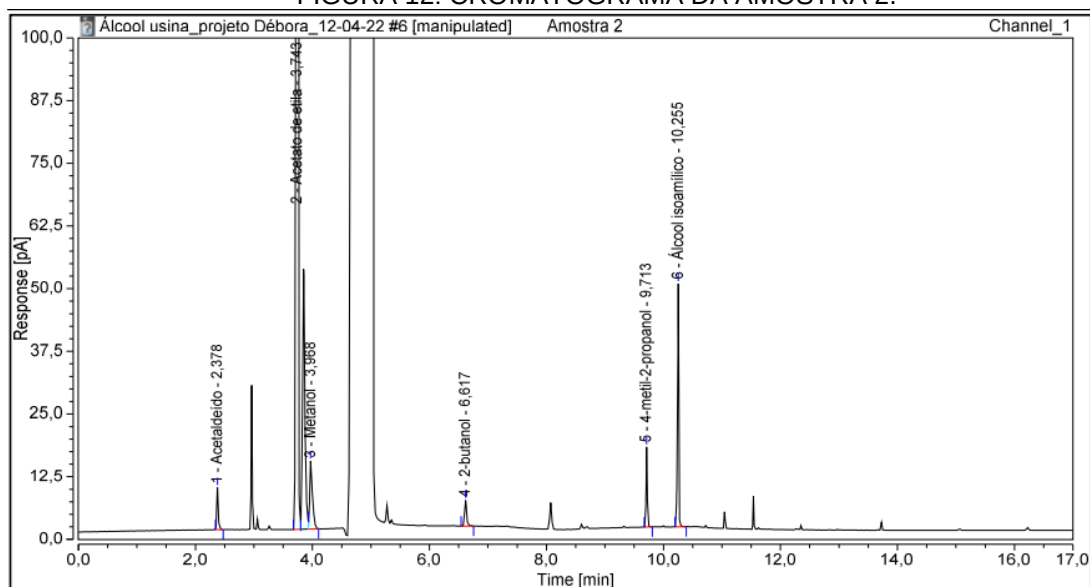
AMOSTRA 1

Nome do composto	Tempo de retenção (min)	Concentração do composto (mg/100g)			Média (mg/100g)
metanol	4,0	57,0	48,0	35,7	48,0

FONTE: A autora (2022).

A análise do cromatograma da amostra 1, mostra o tempo médio que o pico do metanol foi eluído em um tempo de 4,0 minutos, com uma concentração média das triplicatas de 48,0 mg/100 g.

FIGURA 12: CROMATOGRAMA DA AMOSTRA 2.



FONTE: A autora (2022).

FIGURA 12: VALORES DE CADA COMPONENTE PRESENTE NA AMOSTRA 2.

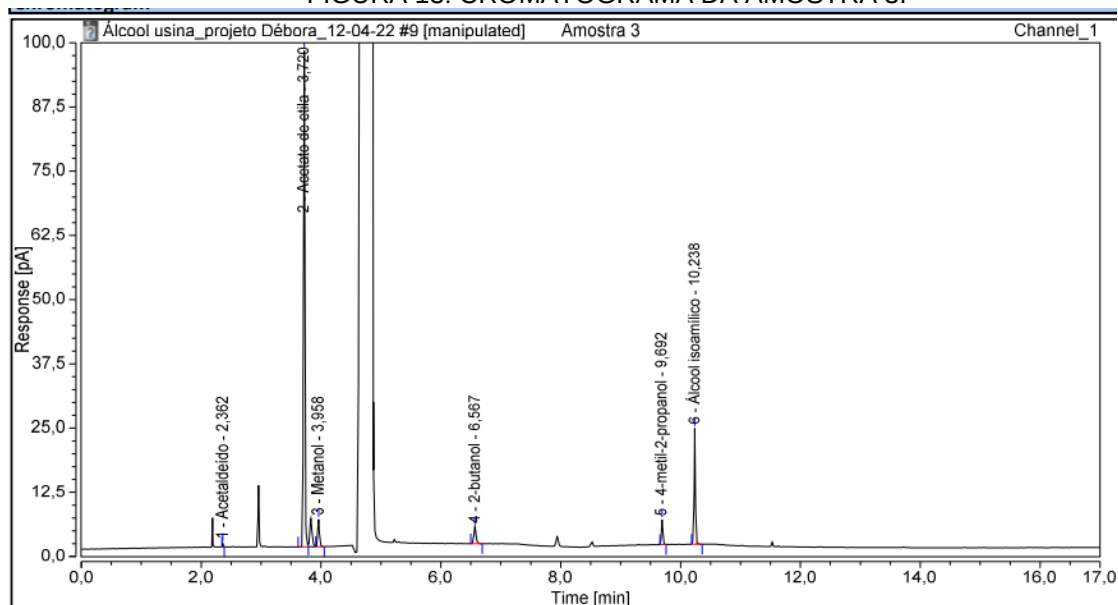
AMOSTRA 2

Nome do composto	Tempo de retenção (min)	Concentração do composto (mg/100g)			Média (mg/100g)
metanol	4,0	58,7	37,9	57,3	57,3

FONTE: A autora (2022).

A análise do cromatograma da amostra 2, mostra o tempo médio que o pico do metanol foi eluído em um tempo de 4,0 minutos, com uma concentração média das triplicatas de 57,3 mg/100 g.

FIGURA 13: CROMATOGRAMA DA AMOSTRA 3.



FONTE: A autora (2022).

TABELA 13: VALORES DE CADA COMPONENTE PRESENTE NA AMOSTRA 3.

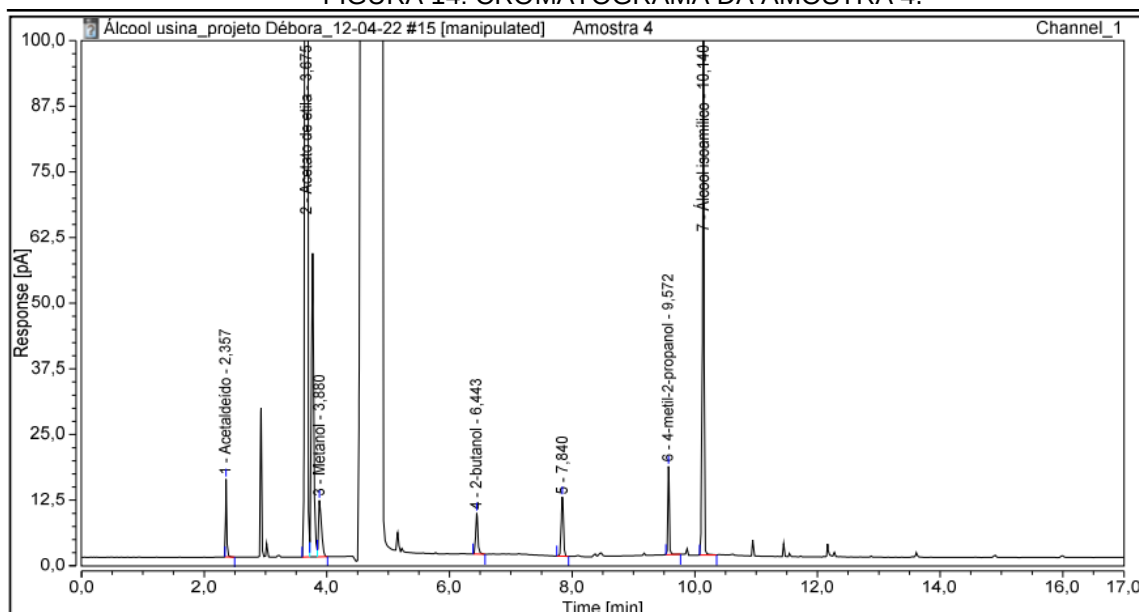
AMOSTRA 3

Nome do composto	Tempo de retenção (min)	Concentração do composto (mg/100g)			Média (mg/100g)
metanol	4,0	44,6	33,8	44,1	44,1

FONTE: A autora (2022).

A análise do cromatograma da amostra 3, mostra o tempo médio que o pico do metanol foi eluído em um tempo de 4,0 minutos, com uma concentração média das triplicatas de 44,1 mg/100 g.

FIGURA 14: CROMATOGRAMA DA AMOSTRA 4.



FONTE: A autora (2022).

TABELA 14: VALORES DE CADA COMPONENTE PRESENTE NA AMOSTRA 4.

AMOSTRA 4

Nome do composto	Tempo de retenção (min)	Concentração do composto (mg/100g)			Média (mg/100g)
metanol	3,9	41,4	52,5	56,5	52,5

FONTE: A autora (2022).

A análise do cromatograma da amostra 1, mostra o tempo médio que o pico do metanol foi eluído em um tempo de 3,9 minutos, com uma concentração média das triplicatas de 52,5 mg/100 g.

TABELA 15: CONCENTRAÇÃO E TEMPO DE RETENÇÃO DE METANOL DAS AMOSTRAS.

Amostra	Tempo de retenção (min)	Teor de metanol (mg/100g)
1	4,0	48,0
2	4,0	57,3
3	4,0	44,1
4	3,9	52,5

FONTE: A autora (2022).

Analisando os cromatogramas podemos perceber que o tempo médio de eluição de metanol das amostras é de 4,0 minutos, e o teor médio de todas as amostras é de 50,5 mg/100g de etanol ou aproximadamente 0,05% em massa na amostra.

Em função da exigência da ANP, o teor de metanol máximo permitido é de 0,5%volume na amostra, os valores de teor de metanol encontrados nas amostras se encontram dentro do limite permitido pela ANP.

7 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos para as 4 amostras analisadas demonstram que estas não se enquadram em vários parâmetros para serem comercializadas como combustível, de acordo com os padrões de qualidade exigidos pela ANP - Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.

Para as características de pH, acidez total, condutividade elétrica e massa específica nenhuma amostra se enquadrou no limite exigido pela ANP. As amostras 2 e 4 não se enquadraram nos limites de cor e teor alcoólico, já as amostras 1 e 3 tiveram resultados positivos. Para o teor de metanol todas as amostras apresentaram um resultado positivo estando abaixo do teor de metanol exigido.

Os resultados foram obtidos para 4 processos de destilação realizados na mini Usina, outros processos podem ser acompanhados na continuidade deste estudo podendo servir de suporte para otimização e ajustes no processo ou mesmo para servir de suporte em relação à repetibilidade das condições da destilação.

Outra evidencia observada foi a corrosão pontual na coluna de destilação devido ao tempo de uso. Este fator provavelmente interferiu nos parâmetros de qualidade do etanol e sugere uma melhoria visando preservar a vida útil da coluna de destilação, principalmente para destilações de vinhos onde o açúcar contido na mistura fica incrustado na coluna. Destilações feitas a partir de outras misturas de bebidas como por exemplo destilados, onde não acontece a fermentação e alteração do seu pH como pode ter acontecido com a mistura de bebidas de vinhos.

Este etanol pode ser utilizado de outras formas, como para a produção de álcool para limpeza, desinfecção principalmente de superfícies e também para o uso cativo dos veículos da UFPR – Setor Palotina desde que acompanhado de testes de acompanhamento.

BIBLIOGRAFIA

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR- 10547: Etanol combustível – Determinação da condutividade elétrica**. Rio de Janeiro – RJ, 2016.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-10891: Etanol hidratado combustível – Determinação do pH – Método potenciométrico**. Rio de Janeiro – RJ. 2017.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-5992: Etanol combustível – Determinação da massa específica e do teor alcoólico por densímetro de vidro**. Rio de Janeiro – RJ: 2016.

ANP (2015). **Resolução ANP nº19, de 15.04.2015**. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em: <<https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-19-2015-2020-09-02-versao-compilada?origin=instituicao>>. Acesso em: 11 mar. 2022.

BORIN, João Roberto.; ORTIZ, Luis Cláudio Villani. **A Análise Econômica do Direito sobre o Processo de Distribuição de Bens Apreendidos pela Receita Federal do Brasil**. Revista da AMDE, [S.l], v.6. 2011. Disponível em: <<http://www.revista.amde.org.br/index.php/ramde/article/view/193/pdf>>. Acesso em: 05 mar. 2022.

GONÇALVES, Mary A. *et al.* Avaliação de laboratórios brasileiros na determinação de alguns parâmetros de qualidade de biocombustíveis. **Química Nova**, v. 36, p. 393 - 399, 2013.

HOLLANDA, Luana Rabelo. **ESTUDO DO EQUILÍBRIO DE FASES PARA PROCESSOS DE SEPARAÇÃO: DESTILAÇÃO DO ETANOL COM LÍQUIDO IÔNICO** Monografia - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - RN, 2016.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos Físico-químicos para Análises de Alimentos** /coordenadores Odair Zenebon, Neus Sadocco Pascuet e Paulo Tiglea. 4ª ed. (1ª Edição digital), 2008. 1020 p.

Medidor de Densidade Portátil Densito 30PX. METTLER TOLEDO. Disponível em: https://www.mt.com/int/pt/home/phased_out_products/Laboratory_Analytics_Browse/Density_Family_Browse_main/Portable_density_meter_family_browse_main/Densito_30PX.html. Acesso em: 17 abr. 2022.

RECEITA FEDERAL. **Receita Federal desarticula depósito clandestino de bebidas em Foz do Iguaçu**. 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/receitafederal/pt-br/assuntos/noticias/2021/novembro/receita-federal-desarticula-deposito-clandestino-de-bebidas-em-foz-do-iguacu>>. Acesso em: 06 mar. 2022.

SANTOS, Rodolfo Esmarady Rocha dos. **ANÁLISE DA VIABILIDADE ENERGÉTICA E ECONOMICA DA PRODUÇÃO DE ETANOL EM MICRODESTILARIAS** Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia) - Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá - MG, 2011.

SCHNEIDER, Lara Talita *et al.* **INFLUÊNCIA DA TAXA DE REFLUXO NO PROCESSO DE DESTILAÇÃO PARA OBTENÇÃO DE ETANOL HIDRATADO.** Revista Brasileira de Energias Renováveis, v. 3, p. 13 - 24, 2013.

APÊNDICE 1

Cálculos para teor de metanol nas amostras.

- 1 Passo: cálculo do padrão-interno (4-metil-2propanol).

$$3,6004 \text{ g} \rightarrow 78,126 \text{ g}$$

$$3.600,4 \text{ mg} \rightarrow 78,126 \text{ g}$$

$$X \leftarrow 100 \text{ g}$$

$$X = 4.608,4 \frac{\text{mg}}{100} \text{ g}$$

- 2 Passo: Cálculo de diluição.

$$C1V1 = C2V2$$

$$4.608,4 \frac{\text{mg}}{100} \text{ g} \times 2,5 \text{ mL} = C2 \times 100 \text{ mL}$$

$$C2 = 115,21 \frac{\text{mg}}{100} \text{ g}$$

Para saber a concentração de cada componente presente nas amostras serão necessários alguns passos.

- 1 Passo: Concentração de acetaldeído na solução A.

$$0,4895 \text{ g} \rightarrow 78,739 \text{ g}$$

$$489,5 \text{ mg} \rightarrow 78,739 \text{ g}$$

$$X \leftarrow 100 \text{ g}$$

$$X = 621,67 \frac{\text{mg}}{100} \text{ g}$$

- 2 Passo: Diluição de 1 mL de acetaldeído para 100 mL.

$$C1V1 = C2V2$$

$$621,67 \frac{\text{mg}}{100} \text{ g} \times 1 \text{ mL} = C2 \times 100 \text{ mL}$$

$$C2 = 6,2162 \frac{\text{mg}}{100} \text{ g}$$

- 3 Passo: Cálculo do fator de correção. (Equação 2).

$$\frac{6,2162 \frac{mg}{100} g \times 0,261}{115,21 \times 0,014} = 1,006 \text{ Fator de correção de acetaldeído}$$

Equação 2 foi utilizada para descobrir o fator de correção de cada composto:

Fator de correção do composto	
acetaldeído	1,006
metanol	0,6562
acetato de etila	0,8144
3-metilbutanol	0,3661
2-butanol	0,3008

- 4 Passo: Diluição do PI na amostra.

- 1- PI foi preparado na solução B.
- 2- PI foi diluído para solução E.
- 3- PI foi diluído na amostra.

Concentração do PI na solução E:

$$4.608,4 \frac{mg}{100} g \times 10 mL = C2 \times 100 mL$$

$$C2 = 460,84 \frac{mg}{100} g$$

Concentração do PI na amostra:

$$460,84 \frac{mg}{100} g \times 1 mL = C2 \times 10 mL$$

$$C2 = 46,084 \frac{mg}{100} g$$

- 5 Passo: Cálculo (Equação 3) para concentração de cada composto em cada amostra.

AMOSTRA 1: Acetaldeído.

$$\frac{0,005 \times 1,006 \times 46,084 \frac{mg}{100} g}{0,070}$$
$$3,3115 \frac{mg}{100} g$$