



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

LUIZ HENRIQUE NOGUEIRA MARINHO

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE USO DO ÓLEO
FÚSEL EM MISTURA COM O ETANOL COMBUSTÍVEL**

Londrina
2020

LUIZ HENRIQUE NOGUEIRA MARINHO

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE USO DO ÓLEO
FÚSEL EM MISTURA COM O ETANOL COMBUSTÍVEL**

Dissertação apresentada para obtenção ao título de mestre na Universidade Estadual de Londrina, Programa de Pós-Graduação em Bioenergia, como Área de Concentração: Impactos ambientais e socioeconômicos.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Carmen Luisa Barbosa Guedes

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Cristiane de Conti Medina

Londrina
2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

M338v Marinho, Luiz Henrique Nogueira .
Viabilidade técnica e econômica de uso do óleo fúsel em mistura com o etanol combustível / Luiz Henrique Nogueira Marinho. - Londrina, 2020.
62 f. : il.

Orientador: Carmen Luisa Barbosa Guedes.
Dissertação (Mestrado em Bioenergia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Bioenergia, 2020.
Inclui bibliografia.

1. Óleo fúsel - Tese. 2. Etanol combustível - Tese. 3. Setor sucroenergético - Tese. 4. Biocombustível - Tese. I. Guedes, Carmen Luisa Barbosa . II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Bioenergia. III. Título.

CDU 662

LUIZ HENRIQUE NOGUEIRA MARINHO

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE USO DO ÓLEO
FÚSEL EM MISTURA COM O ETANOL COMBUSTÍVEL**

Dissertação apresentada para obtenção ao título de mestre na Universidade Estadual de Londrina, Programa de Pós-Graduação em Bioenergia, como Área de Concentração: Impactos ambientais e socioeconômicos.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Carmen Luisa Barbosa
Guedes
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr^a. Itania Pinheiro Soares
Embrapa Agroenergia

Prof. Dr. Ricardo Ralisch
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Londrina, 11 de setembro de 2020

AGRADECIMENTOS

A Deus que deu saúde e oportunidade para poder estudar, sempre me orientando para que mesmo com minhas imperfeições pudesse seguir em frente.

A minha família que sempre foi o alicerce para construção de uma pessoa melhor a cada dia, sempre me incentivando com amor e muita paciência.

A minha orientadora professora Carmen Guedes que em diversos momentos me fez enxergar muito além que podia imaginar, me transformando em uma pessoa mais técnica e perseverante.

A minha coorientadora professora Cristiane de Conti Medina que com muita calma e sabedoria me direcionou em meus estudos, alinhando com uma visão técnica e objetiva.

Aos professores do mestrado de bioenergia que com muita dedicação compartilharam o saber e colaboraram com minha formação.

A usina que forneceu a matéria prima para os estudos, sempre estando a disposto para ajudar em estudos técnicos personalizados na área do setor sucroenergético.

Aos meus inesquecíveis amigos João Batista, Eleandro Messias, André Cezaro e Tamires Soares que fazem parte de minha vida e carinhosamente sempre estarão guardados em minha memória e no meu coração

A todos meus colegas incríveis do mestrado de bioenergia em seus mais diversos campus e toda a família LaQuiBio que me acolheram como um familiar.

MARINHO, L. H. N. **Viabilidade técnica e econômica de uso do óleo fúsel em mistura com o etanol combustível.** 2020. 63 f. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2020.

RESUMO

Atualmente, o mercado mundial voltado ao consumo de combustíveis vem buscando fontes renováveis, limpas e com resultado financeiro mais atrativo, no que tange à produção de biocombustíveis. No Brasil, o biocombustível mais utilizado é o etanol combustível, derivado do setor sucroenergético, que tem ofertado ao mercado volumes significativos de coprodutos, como o óleo fúsel, que é bastante utilizado como matéria-prima em outros processos. Neste sentido, este estudo teve por objetivo analisar a mistura de etanol combustível com óleo fúsel contendo 14 e 34% de água para verificar o limite máximo da adição no etanol, além de analisar a viabilidade econômica da mistura, a fim de aumentar a rentabilidade deste coproduto. A metodologia utilizada neste estudo foi baseada nas normas vigentes pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e reproduzida em laboratório por meio de ensaios técnicos. O estudo mostrou que até 0,5% do óleo fúsel contendo 34% de água pode ser incorporado ao etanol, resultando em um aumento na receita de R\$314.000,00 por safra de 200 dias. Apesar dos dispêndios econômicos necessários para possibilitar o projeto, o cálculo do Valor Presente Líquido – VPL confirmou a viabilidade econômica do projeto, que se paga antes mesmo do primeiro ano, agregando portanto, maior receita a usina.

Palavras chaves: Óleo Fúsel. Etanol Combustível. Cana de Açúcar. Setor Sucroenergético.

MARINHO, L. H. N. **Technical and economic feasibility of using fúsel oil in a mixture with fuel ethanol.** 2020. 63 p. Dissertation (Master in Bioenergy) - State University of Londrina, Londrina, 2020.

ABSTRACT

Currently, the world market for fuel consumption has been looking for renewable, clean sources and with a more attractive financial result, with regard to the production of biofuels. In Brazil, the most used biofuel is fuel ethanol, derived from the sugar-energy sector, which has offered significant volumes of co-products to the market, such as fúsel oil, which is widely used as a raw material in other processes. In this sense, this study aimed to analyze the mixture of fuel ethanol with fúsel oil containing 14 and 34% and water to verify the maximum limit of the addition in ethanol, in addition to analyzing the economic viability of the mixture, in order to increase the profitability of this co-product. The methodology used in this study was based on the rules in force by the National Agency of Petroleum, Natural Gas and Biofuels (ANP) and reproduced in the laboratory through technical tests. The study showed that up to 0.5% of fúsel oil containing 34% water can be incorporated into ethanol, resulting in an increase in revenue of R \$ 314,000.00 for a 200-day harvest. Despite the economic expenditures necessary to make the project possible, the calculation of the Net Present Value - NPV confirmed the economic viability of the project, which is paid even before the first year, thus adding greater revenue to the plant.

Key words: Fúsel oil. Fuel ethanol. Sugar cane. Sugar and energy sector.

LISTA DE FIGURA

Figura 1 -	Processo de produção de açúcar, etanol e subproduto	14
Figura 2 -	Rede de autores	17
Figura 3 -	Rede de palavras chave	17
Figura 4 -	Etapas da revisão sistemática	18
Figura 5 -	Pontos de coleta de óleo fúsel processo de destilação alcoólica fracionada	30
Figura 6 -	Etanol anidro combustível com adição de óleo fúsel bruto OF34.	32
Figura 7 -	Etanol anidro combustível com adição de óleo fúsel bruto OF14.	32
Figura 8 -	Etanol hidratado combustível com adição de óleo fúsel bruto OF34	33
Figura 9 -	Etanol hidratado combustível com adição de óleo fúsel bruto OF14.	33
Figura 10 -	Acidez total da mistura do etanol anidro combustível.	36
Figura 11 -	Condutividade elétrica da mistura do etanol anidro combustível	37
Figura 12 -	Massa específica da mistura do etanol anidro combustível	38
Figura 13 -	Teor alcoólico da mistura do etanol anidro combustível	39
Figura 14 -	Acidez total na mistura do etanol hidratado combustível	42
Figura 15 -	Condutividade elétrica na mistura do etanol hidratado combustível	42
Figura 16 -	Massa específica na mistura do etanol hidratado combustível	43
Figura 17 -	Teor alcoólico na mistura do etanol hidratado combustível	44
Figura 18 -	pH na mistura do etanol hidratado combustível	45
Figura 19 -	Escopo do croqui de adaptação na planta industrial	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- String de busca	16
Tabela 2	- Características do óleo fúsel bruto retirado da bandeja 08 e 14	30
Tabela 3	- Caracterização do etanol recebido (padrão)	31
Tabela 4	- Avaliação mistura etanol anidro com óleo fúsel OF34.....	34
Tabela 5	- Avaliação mistura etanol anidro com óleo fúsel OF14.....	35
Tabela 6	- Avaliação mistura etanol hidratado com óleo fúsel bruto OF34	40
Tabela 7	- Avaliação mistura etanol hidratado com óleo fúsel OF14.....	41
Tabela 7	- Avaliação mistura etanol hidratado com óleo fúsel OF14.....	41
Tabela 8	- Orçamento de adaptação da planta industrial	46
Tabela 9	- Receita financeira venda etanol hidratado e venda de óleo fúsel	47
Tabela 10	- Receita financeira venda etanol anidro e venda de óleo fúsel	48
Tabela 11	- Proposta de receita financeira com a venda do etanol hidratado, venda de óleo fúsel e mistura	48
Tabela 12	- Proposta de receita financeira com a venda do etanol anidro, venda de óleo fúsel e mistura.	49
Tabela 13	- Resultado financeiro por safra 200 dias.....	49
Tabela 14	- Fluxo de Caixa e VPL 50.....	50

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	OBJETIVOS	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1	PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE AÇÚCAR E ÁLCOOL	12
2.2	ÓLEO FÚSEL	15
2.3	REVISÃO SISTEMÁTICA	15
2.4	REGULAMENTAÇÃO DO ETANOL COMBUSTÍVEL	23
2.5	VIABILIDADE ECONÔMICA	24
3	METODOLOGIA	25
3.1	MATERIAIS	25
3.1.1	Coleta das Amostras de Etanol Anidro, Hidratado e Óleo Fúsel	25
3.2	MÉTODOS	26
3.2.1	Preparo das Misturas de Etanol com Óleo Fúsel Bruto.....	26
3.2.2	Teste de Miscibilidade e Estabilidade das Misturas.....	26
3.2.3	Determinação da Qualidade do Combustível.....	27
3.2.3.1	Determinação de acidez total por titulação potenciométrica NBR 9866	27
3.2.3.2	Determinação da condutividade elétrica NBR 10547	27
3.2.3.3	Determinação do teor alcoólico por densímetro de vidro NBR 5992	27
3.2.3.4	Determinação do pH - método potenciométrico NBR 10891	28
3.2.3.5	Determinação da massa específica NBR 5992.....	28
3.2.3.6	Viabilidade econômica	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1	CARACTERÍSTICA DO ÓLEO FÚSEL	30
4.2	CARACTERÍSTICA DO ETANOL COMBUSTÍVEL	31
4.3	MISCIBILIDADE E ESTABILIDADE DA MISTURA ETANOL E ÓLEO FÚSEL.....	31
4.4	QUALIDADE DO COMBUSTÍVEL COM ÓLEO FÚSEL	33
4.4.1	Mistura do Etanol Anidro Combustível com Óleo Fúsel Bruto.....	34
4.4.2	Mistura do Etanol Hidratado Combustível com Óleo Fúsel Bruto OF34 e OF14	39

4.5	PONTO DE MISTURA E VIABILIDADE ECONÔMICA	45
5	CONCLUSÃO	51
	REFERÊNCIAS	52
	ANEXOS	58
	ANEXO A - Tabela V – Especificações do EAC, do EHC e do EHCP1 RANP 19, de 20/04/2015	59

1 INTRODUÇÃO

Uma grande parte do combustível usado nos veículos motorizados é combustível de origem fóssil. No entanto, combustíveis alternativos vêm sendo estudados como fonte de energia sustentável e renovável, como o etanol combustível, que melhora o processo de combustão e mitiga as emissões de CO (monóxido de carbono); neste sentido, é uma área de conhecimento em que pesquisas têm crescido de forma substancial (BÔAS *et al.*, 2017; UYUMAZ *et al.*, 2014).

Considerando as tendências de consumo de combustível, pode-se dizer que as reservas de petróleo tendem a diminuir ao longo do tempo. Para evitar crises energéticas devido à falta de combustíveis fósseis, são realizadas pesquisas sobre recursos energéticos alternativos (CALAM *et al.*, 2015; LAMMERS *et al.*, 2017) o aproveitamento de coprodutos tem ganhado espaço no setor sucroenergético e destaque no cenário nacional com estudo nas grandes áreas do setor (GUEDES *et al.*, 2010).

Logo, a busca por fontes renováveis limpas e com resultado financeiro, é um assunto muito estudado e fomentado dentro do meio acadêmico e nas organizações. Uma dessas fontes renováveis é o etanol combustível, que ganhou grande destaque no cenário nacional em 1975, com a implantação do Programa Nacional do Alcool – Proálcool, que intensificou a produção de álcool combustível com o objetivo de diminuir a dependência da importação de petróleo (KOHLHEPP, 2010).

Desde então, a sua produção vem batendo recordes e colocando em evidência os seus coprodutos: bagaço de cana, palhada, creme de levedura, vinhaça, torta de filtro e óleo fúsel. Dentre eles, o óleo fúsel é um dos coprodutos com maior valor agregado; neste sentido o interesse de valorização do mesmo por parte das empresas vem crescendo (ROCHA; PANDOLFI, 2019; YUSUF; CALDARELLI, 2018).

Berger, Krings e Zorn (2010) relatam que entre os coprodutos gerados pela indústria Sucroalcooleira, o óleo fúsel possui grande potencial de reaproveitamento dada sua rica composição em álcoois superiores. Apesar do seu aproveitamento não atuar diretamente na redução do custo final do etanol, sua utilização como insumo em outros ramos industriais, tais como indústria farmacêutica, solventes, indústria de plástico e perfumaria (ésteres) pode representar importante iniciativa para aumentar a eficiência global da produção industrial do etanol.

Demartini (2012), salienta que para a cadeia produtiva do etanol se tornar mais competitiva, é necessário agregar valor aos coprodutos, fazendo com que estes coprodutos

sejam matéria-prima de base para outros processos.

O óleo de fúsel é um coproduto obtido através da fermentação de produtos agrícolas. Além de ser extraído da cana-de-açúcar, também pode ser extraído de beterraba, grãos, batatas, batata doce, arroz e trigo entre outros (AWAD *et al.*, 2017a). A separação do coproduto óleo fúsel nas destilarias mais antigas era realizada em fração e armazenadas em tanques. Atualmente, existem colunas de retificação automatizadas, que fazem a retirada automática de acordo com a temperatura da coluna ou de forma contínua em volume controlado (GARCIA, 2008).

Urresta (2014) menciona que a mistura óleo fúsel e água forma uma mistura azeotrópica, sendo um dos principais fatores limitantes na desidratação do coproduto o que torna o processo de separação difícil e aumenta o custo. A autora sugere que a agregação do óleo fúsel em qualquer outra substância deve ser realizada em estado bruto, devido ao alto custo de tratamento.

A qualidade e a quantidade produzida de óleo fúsel estão ligadas diretamente ao método utilizado no preparo do caldo de cana que é utilizado no processo de fermentação; pois, dependendo da qualidade desta matéria prima, a cepa de levedura pode desviar em seu processo metabólico a rota para produção de álcool e assim produzir outros coprodutos de acordo com as condições e o ambiente que o processo fermentativo está inserido. Esta variação pode ocorrer também de acordo com instalação da planta industrial ou pela estratégia adotada pela organização (PATIL *et al.*, 2002). Porém, trabalhos como o de Mayer, Hoffmann e Hoffmann (2013) demonstram que em pequena escala é possível produzir etanol sem a retirada do óleo fúsel atendendo os parâmetros permitidos pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP, o que não ocorre na produção em grande escala, pois a não retirada do óleo fúsel na destilação de grandes volumes, impacta na perda de etanol no processo de destilação.

Já em relação ao valor comercial desses produtos, conforme o indicador anual do etanol anidro e hidratado divulgado pela CEPEA/ESALQ - SÃO PAULO o preço do etanol comercializado ao longo dos meses sofre alteração, tendo em vista a demanda e período de safra e entressafra das unidades produtoras, no ano de 2019 o preço médio do etanol hidratado foi comercializado pela unidade produtora a R\$ 1,75 por litro já com os impostos, e o etanol anidro foi comercializado a 1,93 por litro já com os impostos. O coproduto óleo fúsel por não ter um órgão regulamentador foi considerado pelo preço do mercado R\$ 0,18 por litro com concentração acima de 43% de óleo fúsel, sendo o ano 2019 a referência (CEPEA, [2020]).

Deste modo, há preocupação das usinas em como agregar valor e aumentar sua rentabilidade a este coproduto, levantando a seguinte hipótese: é possível realizar a mistura do óleo fúsel no etanol combustível? Qual a proporção adequada de forma que atenda a legislação? E qual a melhor forma de venda do coproduto: puro ou agregado ao etanol combustível?

Neste sentido, o presente estudo tem como objetivo analisar a mistura de etanol combustível com óleo fúsel e a viabilidade econômica de duas vertentes: a venda do coproduto puro, e a mistura do óleo fúsel no etanol combustível na planta industrial, tendo como base o preço atual praticado no mercado.

Para tanto, a análise de mistura será realizada em laboratório através de ensaios técnicos, e viabilidade econômica será realizada através do Índice de Lucratividade, que mostrará qual é a vertente mais rentável (DUARTE, 2011).

1.1 OBJETIVOS

Este estudo tem como objetivo geral, avaliar a viabilidade técnica de aproveitamento do óleo fúsel, gerado na produção do etanol hidratado combustível e etanol anidro tomando como base o mercado atual.

Os objetivos específicos são:

- Avaliar a miscibilidade do etanol hidratado combustível e etanol anidro combustível com o óleo fúsel;
- Encontrar a adequação de qualidade das misturas de etanol combustível com percentual de óleo fúsel de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT definidas pela Agencia Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP;
- Realizar os cálculos dos indicadores de viabilidade econômica, para identificar a viabilidade da venda do coproduto puro ou misturado no etanol combustível.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO ETANOL À PARTIR DA CANA DE AÇÚCAR

A cana-de-açúcar é originária do sudeste asiático; seu cultivo no Brasil foi impulsionado apenas no século XX, por meio da produção do etanol como opção viável de energia, tornando-se assim umas das principais culturas da economia brasileira (CARDONA; QUINTERO; PAZ, 2010; LOARIE *et al.*, 2011; REIN *et al.*, 2016).

O cultivo da cana-de-açúcar no Brasil é destinado, principalmente, à fabricação de açúcar e etanol. De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2020), a produção de cana-de-açúcar foi estimada para o ano de 2020 em 642,7 milhões de toneladas, apontando aumento de 3,6% em comparação à safra anterior de 2019. Em relação à produção de açúcar para o ano de 2020, espera-se que sejam atingidas 30,14 milhões de toneladas; já em relação à produção de etanol, esperam-se 35,5 bilhões de litros.

De acordo com Lazzarini (2012), a fabricação de açúcar e álcool abrange as etapas de colheita e transporte da cana de açúcar até a usina; posteriormente tem-se as etapas de lavagem da cana de açúcar e processamento, sendo que na etapa de processamento a extração do caldo da cana se difere, sendo destinado para a produção do açúcar e/ou fermentado para produção do álcool.

O processo se inicia na produção agrícola, que corresponde à fase de plantio até a colheita da cultura; nesta etapa, algumas atividades são essenciais para a eficiência da planta como: preparo do solo, sulcação, adubação e plantio, cultivo da cana-planta, tratamentos culturais da socaria, e irrigação da cana-planta e da socaria (AMORIM *et al.*, 2011; SANTOS *et al.*, 2012; TEIXEIRA *et al.*, 2016).

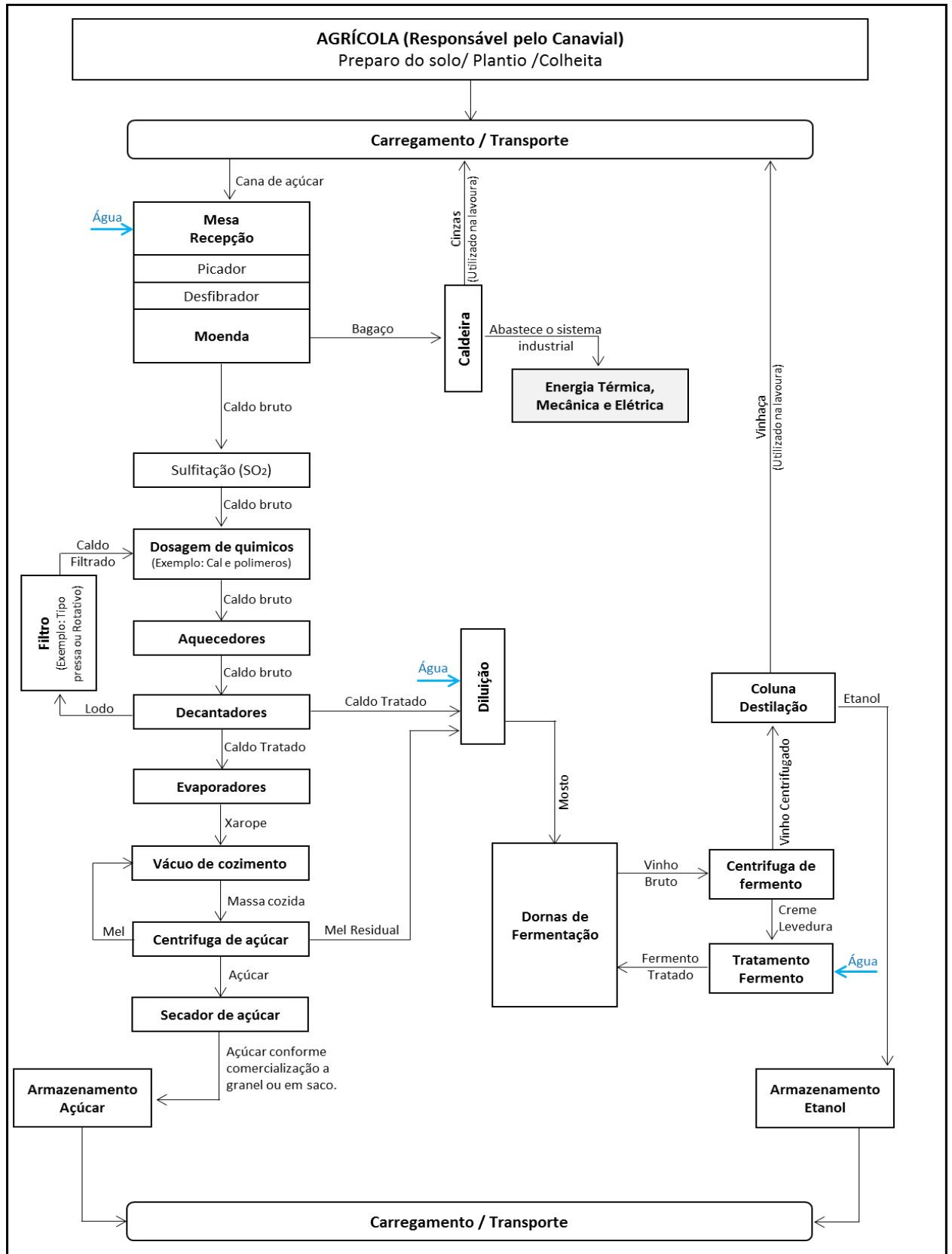
A fabricação de açúcar e álcool abrange as etapas de colheita e transporte da cana de açúcar até a usina, posteriormente tem-se as etapas de lavagem e processamento, sendo que na etapa de processamento a extração do caldo da cana se difere, sendo destinado para a produção do açúcar e/ou fermentado para produção do álcool (LAZZARINI, 2012).

Na moagem, a cana-de-açúcar desfibrada passa por um conjunto de ternos e rolos para separação do caldo, que contém a sacarose; em sequência, o bagaço é levado para as caldeiras para a queima e a produção de vapor. Após o aquecimento, o caldo passa por várias etapas de tratamento até se transformar em cristais de açúcar. Cada tipo de açúcar possui características peculiares em relação às etapas de tratamento utilizadas (CHANDEL *et al.*, 2012; OLIVEIRA *et al.*, 2015; KLEIN *et al.*, 2019).

Os cristais de açúcar formados são envoltos por solução açucarada chamada mel. O mel é recirculado no processo de cozimento até atingir a sua esgotabilidade, quando então é separado em mel final ou mel residual. O mel final, coproduto da fabricação do açúcar, é enviado para a fabricação do álcool na destilaria anexa à usina ou vendido como matéria-prima para outras empresas (MOREIRA; BOIZIO, 2012; VERÃO; COSTA; FOREST, 2016).

Já na destilaria de álcool acontece o preparo do mosto, resultante da mistura de caldo de cana-de-açúcar, xarope, mel final e água. O mosto é enviado para fermentação, onde irão ocorrer várias reações, com auxílio das leveduras que são os microrganismos responsáveis pela fermentação alcoólica; atualmente, o mais utilizado é a levedura *Saccharomyces cerevisiae*; após a etapa de fermentação do mosto, tem-se como resultado o vinho bruto. Em seguida, o vinho bruto é centrifugado para separação da levedura e enviado à destilação. Na primeira coluna (normalmente denominada coluna A) fabrica-se a cachaça ou um produto com baixa concentração alcoólica; a segunda coluna (denominada coluna B) recupera a concentração alcoólica, sendo possível produzir o etanol hidratado; na sequência do processo, outra coluna (normalmente denominada coluna C) produz o álcool anidro; no entanto, para alcançar a concentração desejada é necessário utilizar uma solução desidratante, sendo a mais utilizada atualmente o ciclohexano. Deste modo, no processo de destilação, obtém-se ainda o óleo fúsel e a vinhaça, esta última aproveitada na lavoura como fertilizante e o óleo fúsel comercializado com a indústria farmacêutica ou de solventes (ANTERO; SILVA; VALE, 2019; CASTRO, 2016; DOTANIYA *et al.*, 2016; LIMA; SINDHU *et al.*, 2016). A figura 1 ilustra esse processo.

Figura 1 – Fluxograma do processo de produção de açúcar, etanol e coproduto



Fonte: Adaptado de Lazzarini (2012)

2.2 ÓLEO FÚSEL

A produção de bioetanol gera coprodutos, como o óleo de fúsel, que consiste em uma mistura de álcoois superiores, ou seja, álcoois com cadeias carbônicas iguais ou superiores a 3 carbonos. Em países onde grandes quantidades de etanol são produzidas, como o Brasil, as alternativas para o uso desses coprodutos são de grande importância para tornar a produção de etanol menos poluente e mais lucrativa (FERREIRA; MEIRELLES; BATISTA, 2013; XU *et al.*, 2015).

De acordo com Patil, Koolwal e Butala (2002), o termo óleo de fúsel é usado para designar uma mistura de álcoois superiores obtidos durante a destilação do bioetanol. Álcoois superiores são aqueles que consistem em mais de dois átomos de carbono, como álcool isoamílico, isobutanol, propanol, butanol e outros. O óleo fúsel é um coproduto à base de álcool obtido como coproduto durante a fermentação do álcool (AWAD *et al.*, 2017b).

Em relação ao aspecto ambiental, o óleo de fúsel não pode ser descartado diretamente no meio ambiente, pois causaria impactos ambientais indesejáveis. Alguns autores indicaram aplicações diretas do óleo de fúsel: relatando que ele pode ser queimado para fornecer energia em destilarias ou pode ser adicionado ao óleo diesel para melhorar o índice de cetano. Considerando a quantidade de óleo fúsel no Brasil, existem estudos de plantas industriais adaptadas para produzir álcool isoamílico a partir de óleo fúsel obtido de diferentes destilarias com resultados significativos, uma vez que esse álcool isoamílico é altamente valorizado; seu preço de mercado é, aproximadamente, três vezes o preço do etanol combustível (DÖRMÖ *et al.*, 2004; UYUMAZ *et al.*, 2014; SOLMAZ, 2015).

Pérez, Cardoso e Franco (2001), concluíram que durante o processo de destilação do etanol, é produzida uma fração menos volátil, denominada óleo fúsel, que tem a produção de 2,5 litros de óleo fúsel para cada 1000 litros de etanol produzido, sendo a produção de óleo fúsel 2,5% do volume destilado.

2.3 REVISÃO SISTEMÁTICA

Com intuito de explorar os trabalhos que possuem o mesmo objetivo do estudo aqui apresentado, foi realizada uma revisão sistemática que consiste em aplicar o rigor científico para limitar o viés de seleção, avaliar cientificamente os artigos e sintetizar os trabalhos relevantes com especificidade (PERISSÉ; GOMES; NOGUEIRA, 2001). Nesse tipo de revisão, os elementos a serem estudados são primários, ou unidades de análise, coletados por

meio de método sistematizado e pré-estruturado. Neste contexto, a revisão bibliográfica sistemática (RBS) tem como propósito criar um embasamento teórico científico e compreender o estado da arte, sobre um determinado assunto pesquisado (CONFORTO; AMARAL; SILVA, 2011). As etapas desta RBS deste estudo seguiram as diretrizes método *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis* (PRISMA).

Esse método utiliza uma abordagem sistemática e explícita para identificar, selecionar e avaliar, criticamente, os dados de pesquisa que irão compor a revisão (LIBERATI *et al.*, 2009). As questões da pesquisa serviram para nortear todo o processo de revisão sistemática da literatura, identificando os estudos envolvidos, os dados necessários a serem extraídos de cada publicação.

A identificação dos registros de pesquisa foi realizada por meio de três mecanismos de pesquisa: *Scopus Database*, *Science Direct* e *Web of Science*, em janeiro de 2020. Foram consideradas como palavras chaves: "*fúsel oil*", "*fuel*" e "*ethanol*", formando a *strings* de busca: "*fúsel oil*" AND "*fuel*" and "*ethanol*".

Foram consideradas apenas as publicações em inglês e publicadas em periódicos; os resultados da busca são apresentados na Tabela 1.

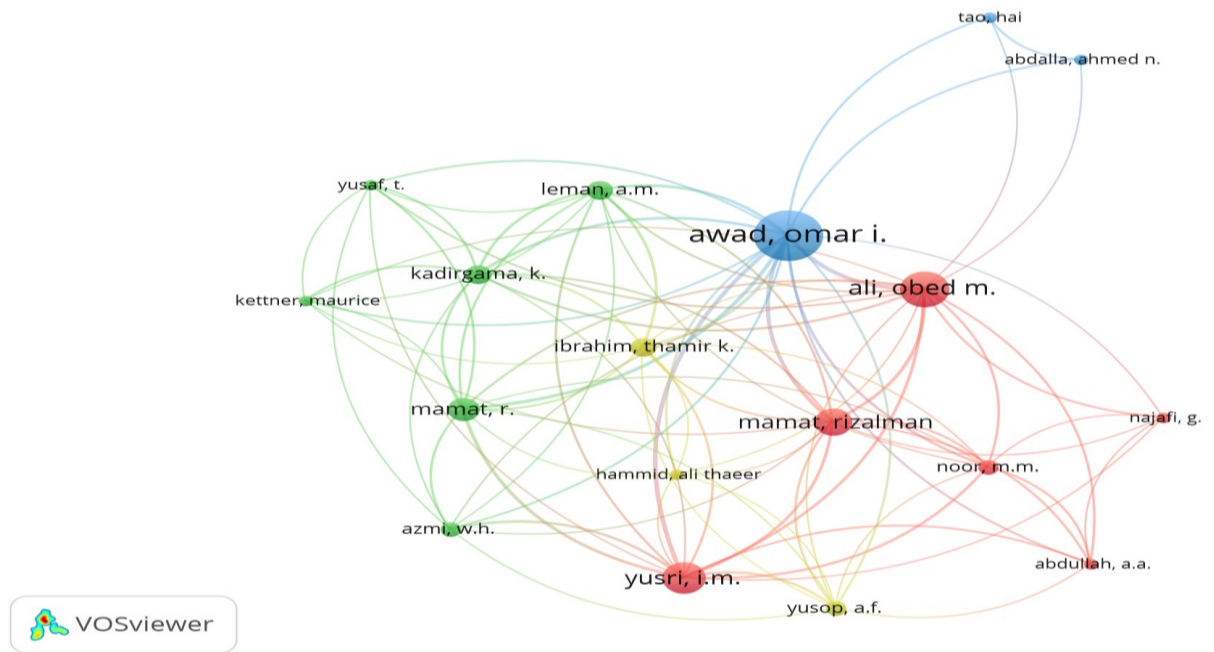
Tabela 1 - String de busca

<i>String</i>	Bases		
	<i>Scopus</i>	<i>Science Direct</i>	<i>Web of Science</i>
" <i>fúsel oil</i> " AND " <i>fuel</i> " and " <i>ethanol</i> "	23	127	32
Total	182		

Fonte: Autor (2020).

A busca não possui restrição de tempo em nenhuma das bases de dados acessadas. Após a extração dos materiais das bases de dados, fez-se necessário eliminar os estudos duplicados, resultando em um total de 182 artigos para análise. Esses estudos foram submetidos a uma análise bibliométrica a fim de se identificar temas centrais de pesquisa, principais autores e principais palavras chaves e termos encontrados no portfólio analisado, como mostra a Figura 2.

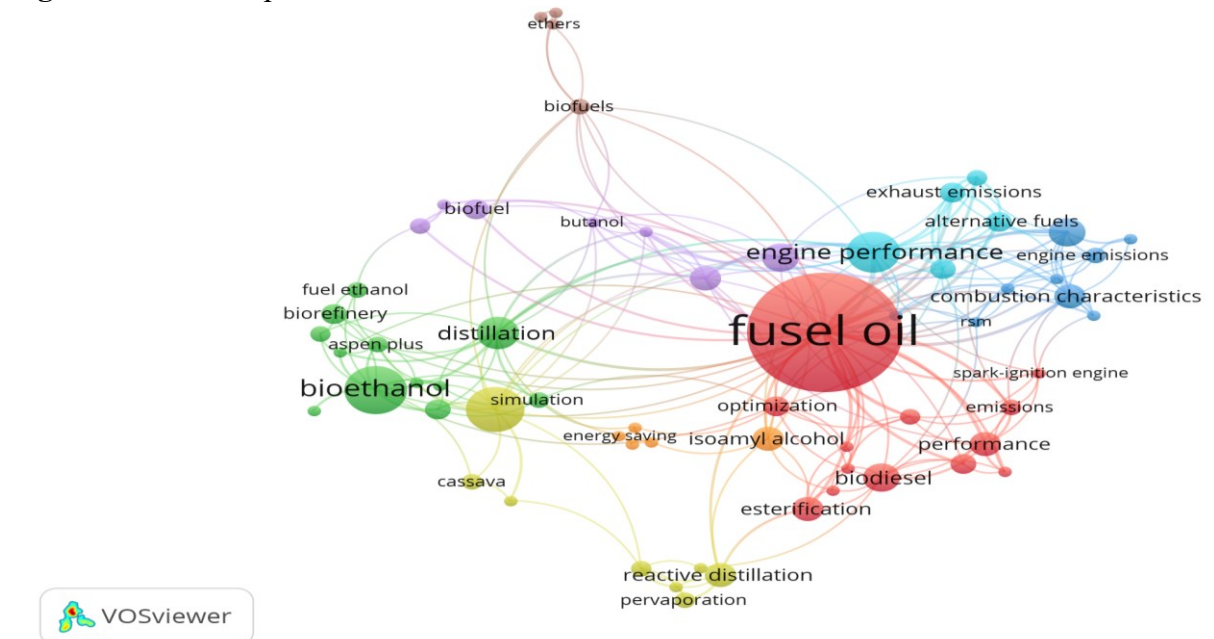
Figura 2 - Rede de autores



Fonte: Autor (2020).

De 407 autores do portfólio, apenas 18 possuem relações entre si, ou seja, formam o mesmo cluster; todos os autores apresentam links entre si, mas estão distantes, mostrando que suas relações não são tão próximas. A segunda análise apresentou as palavras chaves presentes no portfólio em formato de rede, como mostra a Figura 3.

Figura 3 - Rede de palavras chave

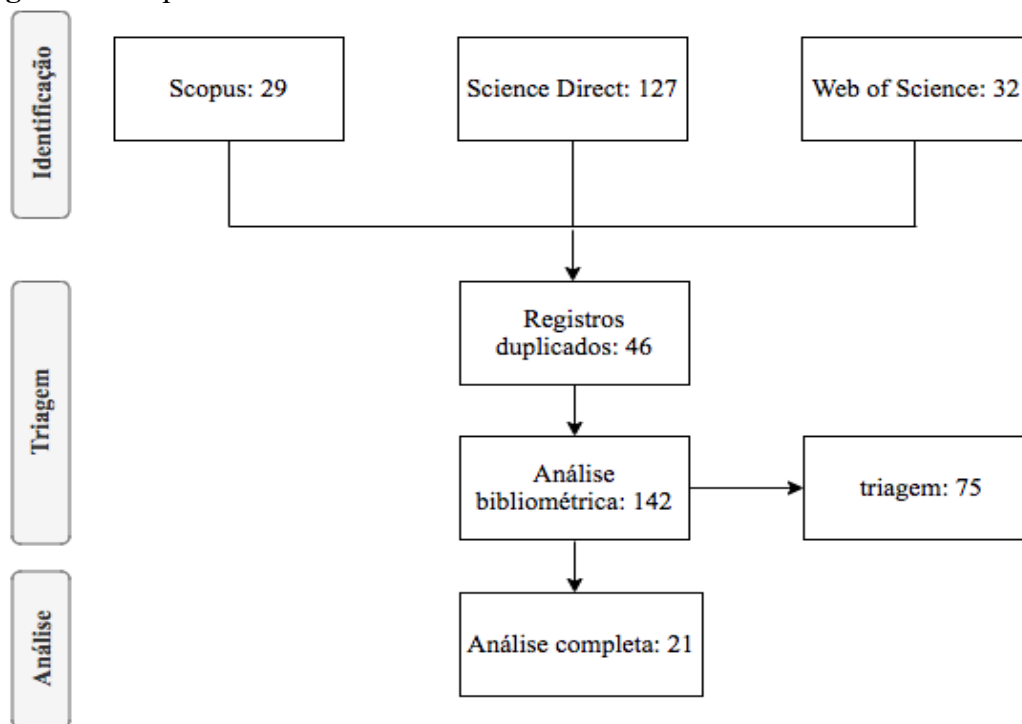


Fonte: Autor (2020).

A rede mostra que o etanol está distante da palavra central que é o óleo fúsel, mostrando que há poucos trabalhos relacionados sobre este tema.

Após a análise sistemática do portfólio, foi iniciado um processo de triagem, para identificar as publicações relevantes, bem como para responder as questões de pesquisa. A princípio, foram eliminados os estudos que não contribuíam com nenhuma questão de pesquisa em seus resumos, restando apenas vinte e um estudos para análise de seu texto completo. As etapas desse estudo estão sintetizadas na Figura 4.

Figura 4 - Etapas da revisão sistemática



Fonte: Autor (2020).

Dessa forma, a análise completa do portfólio estudado foi de 28% dos estudos contemplados da triagem. Salienta-se que na triagem foram excluídos os estudos que não respondiam à questão de pesquisa, ou seja, que não tratavam da mistura do óleo fúsel em algum tipo de combustível.

Pour, Ardebili e Sheikhdavoodi (2018) analisaram os efeitos dos níveis combinados de óleo fúsel e biodiesel no diesel na identificação de seu desempenho e emissões de gases no escape de um motor de um cilindro. Para tanto, diferentes níveis de óleo fúsel foram utilizados (0, 5, 10, 15 e 20%), e também de biodiesel (0, 5, 10, 15 e 20%). O resultado da pesquisa mostrou que o uso de óleo de fúsel diminuiu as emissões de NO_x em até 20%, enquanto as emissões de CO aumentaram em 22%.

Sizov, Krupnov e Meledina (2017) teve como problemática a intensificação da biossíntese de álcoois superiores para utilização como matéria-prima avançada para a produção de biocombustíveis. Dentre os itens estudados os pesquisadores destacam o óleo fúsel proveniente da produção de etanol como produto promissor para utilização na produção de biocombustíveis sendo o mesmo com grande disponibilidade no seguimento.

Montoya *et al.* (2016) apresentaram estudo com resultados em termos de composição e propriedades físico-químicas de seis amostras de óleo fúsel. A composição dos principais componentes foi estabelecida por cromatografia gasosa. Foram determinadas as propriedades físico-químicas, como densidade, acidez, teor de umidade e curvas reais de ponto de ebulição.

Pedroza *et al.* (2015) propuseram dois esquemas de destilação para a obtenção de álcool isoamílico a partir do óleo de fúsel: uma sequência de destilação convencional e uma coluna de parede divisória. Após a validação dos modelos termodinâmicos para descrever com precisão os equilíbrios de fase dos componentes do óleo fúsel, foi desenvolvido um esquema de separação da coluna da parede divisória. Os resultados indicam que podem ser obtidas economias significativas de energia e economia na purificação do óleo fúsel.

Yılmaz (2019) realizou a adição de misturas de 5 e 10% de óleo fúsel ao diesel e analisou os efeitos dos combustíveis de teste na combustão, no desempenho do motor e nas emissões de escape de forma abrangente a diferentes cargas e velocidades do motor. Além disso, foi determinado que, à medida que a proporção de óleo fúsel na mistura aumentava, as emissões de CO aumentavam de acordo com a operação de diesel puro e as emissões de fumaça e NO_x diminuam.

Abdalla *et al.* (2019) examinaram o impacto da mistura do uso de óleo fúsel para o aumento de octanagem da gasolina, em um motor de ignição por faísca de 4 cilindros Ciclo Otto; variando a velocidade, chegaram à conclusão que a performance do motor não atende os requisitos de potência projetado com misturas acima de 20% e destacaram que o teor de água na mistura do óleo fúsel impacta negativamente na composição da mistura e restringe a combustão.

Calam (2020) investigou o efeito do óleo fúsel na combustão, desempenho e emissões de um motor. As experiências foram realizadas em um motor HCCI, que foi convertido a partir de um motor de ignição comandada de cilindro único com sistema de injeção de combustível. À medida que a quantidade de óleo de fúsel nos combustíveis misturados aumentava, a faixa de operação mudava para regiões mais ricas. O alto índice de octanagem do óleo de fúsel limitou a operação em condições de mistura pobre e devido à difícil evaporação do óleo fúsel, a temperatura do gás no interior do cilindro diminuiu. Como

resultado pode-se dizer que o óleo fúsel, melhora a combustão e o desempenho em motores HCCI sob condições de trabalho adequadas.

Awad *et al.* (2018a) utilizou a análise estatística para revelar a relação significativa entre as propriedades do combustível e a redução do teor de umidade em várias frações do óleo fúsel na mistura. O teor de umidade do óleo fúsel foi extraído pelo método do extrator rotativo, e os combustíveis foram testados em um motor SI sob diferentes posições da válvula do acelerador aberto (carga) e velocidade de 4500 rpm do motor. Como resultado, o valor do aquecimento e o teor de carbono melhoraram significativamente após a extração do teor de umidade do óleo fúsel em 13% e 7%, respectivamente. De acordo com a análise estatística dos resultados das propriedades do combustível de teste, o valor de aquecimento, o oxigênio e o teor de carbono têm efeitos estatisticamente significativos nos combustíveis de teste, pois a fração do óleo de fúsel aumentou especialmente após a extração de umidade.

Awad *et al.* (2018b) determinaram os efeitos da redução da água nas propriedades características das misturas de óleo fúsel e gasolina, e os efeitos dessa redução no desempenho e nas emissões de um motor de ignição comandada. As experiências foram realizadas em um motor com velocidade de 4500 rpm, e posição diferente da válvula do acelerador aberto, conforme as cargas do motor. Como resultado do teor reduzido de água foi de 13,5% para 6,5%, o valor do aquecimento e o teor de carbono melhoraram 13% e 7,9%, respectivamente. Enquanto o conteúdo de oxigênio reduzido foi de 14%. A potência do freio aumentou ligeiramente em relação à gasolina na maioria das misturas de óleo fúsel e gasolina. Além disso, observou-se que o óleo fúsel, após a extração da água, apresentava potência um pouco maior em comparação com o óleo fúsel antes da extração da água. Destacando, ainda, que o consumo de combustível específico do freio e a eficiência térmica tiveram melhoras expressivas nas avaliações experimentais, com ligeiro aumento nas emissões de gases no motor.

Awad *et al.* (2017a) investigaram os impactos das misturas óleo fúsel e gasolina com diferentes teores de água no desempenho e nas características de combustão de um motor. Os resultados do estudo revelam que a potência do motor, o torque e a eficiência térmica dos freios melhoraram levemente com as misturas de óleo fúsel e gasolina após a redução do teor de água. Salientando ainda que a redução no teor de água do óleo fúsel teve desempenho positivo para aprimorar as características de combustão e desempenho da mistura de combustível e resultar em operação mais estável do motor.

Abdalla *et al.* (2019) analisaram o desempenho do motor e as emissões de gasolina aplicando uma abordagem de otimização da metodologia da superfície de resposta. As

misturas de óleo fúsel e gasolina foram usadas para operar um motor em várias velocidades e cargas. A proporção ideal da mistura de óleo fúsel e gasolina foi determinada para minimizar o consumo de combustível e as emissões de óxido de nitrogênio e hidrocarbonetos e maximizar a potência do freio. Os resultados demonstram que a carga e a velocidade do motor têm efeito significativo no desempenho e nas emissões. Além disso, os combustíveis misturados mostraram reduzir as emissões de NO_x. Os parâmetros ideais foram uma carga correspondente a 60% da carga do motor com aceleração aberta e uma velocidade do motor de 4500 rpm para a mistura analisada.

Tran *et al.* (2020) utilizaram a produção de acetato de isoamil a partir de óleo de fúsel em um sistema heterogêneo usando catalisadores de sílica mesoporosa sulfonada. A produção de acetato de isoamil foi realizada via esterificação do óleo de fúsel com ácido acético em um reator descontínuo a diferentes temperaturas e tempos de reação. As condições ideais foram: 80 °C, 3 h, carga de catalisador de 5% em peso e uma proporção de ácido acético 2: 1 (v / v): ácido acético: fúsel, sob estas condições, foi alcançado um rendimento de 95% de acetato de isoamil.

Awad *et al.* (2017b) avaliaram o potencial da utilização do óleo fúsel como possível combustível alternativo para o motor de ignição. Observaram que o número de octanas aumentou com o aumento da porcentagem de óleo de fúsel nos testes de mistura. Também foi observado que, quando o óleo do fúsel era usado como uma mistura com a gasolina, o torque do motor aumentava levemente e a eficiência volumétrica e o consumo específico de combustível também aumentavam. As emissões de hidrocarboneto (HC) e monóxido de carbono (CO) aumentaram em média. Por outro lado, ocorreram efeitos negativos no desempenho do motor causados pelo maior teor de água no óleo fúsel.

Awad *et al.* (2017c) realizaram análise experimental comparando o combustível misturado de óleo fúsel e diesel (20% volume de óleo fúsel e 80% volume de diesel) com diesel puro em um motor de quatro tempos de cilindro único. O teste foi realizado com duas cargas do motor (50% e 75%) e cinco velocidades do motor (de 1200 a 2400 rpm com intervalos de 300 rpm). Os resultados revelaram que a potência do motor e o torque caíram levemente em comparação com aqueles com diesel puro. Além disso, o consumo específico de combustível indicado aumentou ligeiramente, especialmente acima de 75% de carga, aumento em torno de 8% em média, existindo atraso de ignição maior que 7% em todas as velocidades e cargas do motor comparado àqueles com diesel. No entanto, o alto teor de água, o baixo número de cetano e o baixo valor de aquecimento do óleo fúsel foram as razões do efeito negativo exibidos no desempenho do motor.

Awad *et al.* (2017d) determinaram a proporção ideal de mistura do óleo fúsel e gasolina antes e após a extração da água em quatro misturas, em relação ao desempenho e às emissões do motor de ignição por faísca, usando a metodologia da superfície de resposta. Destacando que a otimização multiobjetivo foi aplicada para maximizar a potência do freio, a eficiência térmica do freio e minimizar o consumo específico de combustível, a emissão de NO_x , a emissão de HC e a emissão de CO. A experiência deste estudo foi realizada com diferentes misturas de óleo fúsel e gasolina, diferentes posições de abertura da válvula do acelerador (15%, 30%, 45% e 60%) e diferentes rotações do motor (1500, 2500, 3500 e 4500 rpm). Todos os modelos desenvolvidos para respostas foram estatisticamente significantes com nível de confiança de 95%. Os resultados do estudo revelam melhora no valor de aquecimento do óleo fúsel após a extração da água, sendo que a mistura de 80% gasolina e 20% óleo fúsel após a extração de água, foi caracterizada como o combustível ideal para os requisitos elencados.

Calam *et al.* (2015) investigaram os efeitos da mistura de gasolina sem chumbo e óleo de fúsel no torque do motor, consumo específico de freio e emissões de escape em um único cilindro; motor de ignição. À medida que a quantidade de óleo fúsel na mistura aumentou, foram observadas melhorias no torque do motor em todas as velocidades e cargas do motor em comparação com a gasolina sem chumbo. Foi determinado que o consumo específico de combustível dos freios e as emissões de monóxido de carbono (CO) e hidrocarboneto (HC) aumentaram, enquanto os óxidos de nitrogênio (NO_x) diminuíram.

Solmaz (2015) apresenta um estudo experimental, com as características de desempenho, emissão e combustão do óleo fúsel em um motor. Concluiu que o maior teor de água e o menor valor de aquecimento no óleo fúsel agravaram a combustão, e as durações de desenvolvimento e propagação da chama foram prolongadas, impactando no desempenho do mecanismo, que caiu; além disso, o uso de óleo de fúsel aumentou as emissões de CO e HC em até 21% e 25%, respectivamente. As emissões de NO_x diminuíram cerca de 31% devido ao pior desempenho de combustão do óleo fúsel.

Awad *et al.* (2018c) realizaram uma revisão sistemática do uso de álcoois e éteres, incluindo butanol, metanol, etanol e óleo fúsel, MTBE e DME como combustíveis em um motor de ignição. O estudo investigou os efeitos do desempenho (torque do freio, potência do freio, BSFC, eficiência efetiva e EGT), emissões (CO, CO_2 , NO_x e HC) e características de combustão do motor SI com álcool e éter. O aumento no desempenho do motor pode ser alcançado com uma taxa de compressão aumentada, juntamente com o uso de combustíveis de álcool com um valor de octanagem mais alto, descrevendo que o etanol e o éter queimaram

melhor do que a gasolina comum e produziram menos monóxido de carbono (CO) e óxido de nitrogênio (NO_x).

Por fim, Zaharin *et al.* (2018) realizaram experiências em um motor de ignição por faísca de quatro cilindros para investigar os efeitos dos aditivos isobutanol na mistura de etanol e gasolina nas propriedades do combustível, desempenho e características de emissão de um motor. Os testes do motor foram realizados com acelerador aberto de 50% e variações da velocidade do motor de 3000 a 5000 RPM, com um intervalo de 1000 RPM. O motor foi alimentado com gasolina base, combustível misturado a etanol e gasolina a 10% do volume de etanol (E10) e três misturas diferentes de combustível de aditivos isobutanol: 5%, 10% e 15%. Em termos de desempenho do motor, as amostras de combustível misturado exibiram maior potência de freio do que a gasolina base, com aumento médio de 7,71%, 10,21%, 10,89% e 11,54% para E10, E10B5, E10B10 e E10B15, respectivamente. Redução significativa no consumo de combustível específico do freio obtido com E10, E10B5, E10B10 e E10B15, em média de 3,57%, 5,15%, 7,14% e 10,89%, respectivamente, em comparação com o combustível base de gasolina. Salientando em seu estudo que a alta temperatura de combustão produzida pelas amostras de combustível colaborou para a temperatura mais alta dos gases de escape, impactando nas emissões de monóxido de carbono e hidrocarboneto, que foram reduzidas.

2.4 REGULAMENTAÇÃO DO ETANOL COMBUSTÍVEL

A Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), atualmente são os órgãos reguladores e consultores da política energética brasileira.

A ANP é responsável pelas leis que tratam sobre produção, distribuição, comercialização e especificações dos combustíveis no país. No que tange à mistura de álcool anidro à gasolina, a mesma é regulamentada pelo Conselho Interministerial do Açúcar e do Alcool (CIMA) por meio do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Neste estudo, foi utilizada a Resolução ANP nº 7, de 22.2.2016 (ANP, 2016), que alterou parcialmente a Resolução ANP nº 19, de 15 de abril de 2015, que estabelece as especificações do Etanol Anidro Combustível (EAC) e do Etanol.

Tratou-se das especificações de limites estabelecidos, na comercialização de combustível no mercado nacional. Bem como, as características contidas nas Tabelas V, VI e VII do Regulamento Técnico aqui utilizado. As tabelas V, VI e VII contidas na Resolução ANP nº 19 (ANP, 2015) estão apresentadas no Anexo A.

2.5 VIABILIDADE ECONÔMICA

Todo novo projeto, para assegurar retorno financeiro, necessita de ter sua viabilidade econômica quantificada. Em geral essas decisões de investimento costumam ter um horizonte de longo prazo e envolverem um capital significativo para a empresa (SANTOS, 2001), e esse planejamento deve ser feito realizado a viabilidade econômica do investimento através de métodos de engenharia econômica como o VPL (Valor Presente Líquido) (SILVA, 2005).

Com todo método mais robusto, o VPL considera o valor do dinheiro no tempo para a sua análise, trazendo para o momento presente todos os fluxos de caixas futuros para o momento zero, dada uma determinada TMA (Taxa Mínima de Atratividade) (ROSS; WESTERFIELD; JAFFE, 2002).

De acordo com Laponni (2007), o VPL de um projeto com prazo pode ser calculado de acordo com a equação 1:

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 - k)^t}$$

Onde I é o investimento inicial do projeto, FC_t são os fluxos de caixa de cada período e k é o custo de capital da empresa, também chamado de TMA.

3 METODOLOGIA

A fim de atingir os objetivos proposto pelo presente trabalho foram realizados diversos passos que estão descritos a seguir. Para facilitar o entendimento e a replicação a metodologia está dividida em materiais e métodos.

3.1 MATERIAIS

Primeiramente foram conduzidos testes experimentais com misturas de etanol hidratado combustível (EHC) e etanol anidro combustível (EAC), misturadas em dois tipos de óleo fúsel variando o percentual de água. As amostras utilizadas: etanol hidratado combustível, etanol anidro combustível e óleo fúsel, foram fornecidos um grupo do setor sucroenergético, situado no noroeste do estado do Paraná, constituída sob as leis brasileiras e cadastrada na ANP conforme Resolução ANP n° 43, de 22 de dezembro de 2009 (ANP, 2009). Os produtos fornecidos e a nomenclatura adotada para utilização nos experimentos foram:

- Etanol Anidro Combustível (EAC);
- Etanol Hidratado Combustível (EHC);
- Óleo Fúsel Bruto retirado da oitava bandeja da coluna de destilação (OF34);
- Óleo Fúsel Bruto retirado da décima quarta bandeja da coluna de destilação (OF14).

Para coleta das amostras de etanol anidro, hidratado e o óleo fúsel foram utilizados reservatórios plásticos constituídos em PEAD graduados com torneira e capacidade de 5 L.

3.1.1 Coleta das Amostras de Etanol Anidro, Hidratado e Óleo Fúsel

O ponto de retirada da amostra de etanol foi na base de carregamento para produtos comercial com grau alcoólico conforme estabelecido pela legislação em vigor. Já para a retirada do óleo fúsel, foram estabelecidos pontos de amostragem na coluna de destilação industrial. Antes das coletas, todos os frascos foram submetidos a lavagem e realizada a rinsagem com etanol anidro, etanol hidratado e óleo fúsel, respectivamente, de cada bombona.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Preparo das Misturas de Etanol com Óleo Fúsel Bruto

Para o prepara das misturas de etanol com óleo fúsel bruto, cada amostra de etanol combustível foi aditivada com 0,25; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 10,0; 20,0; e 50,0 % (v/v) de óleo fúsel bruto OF34 e óleo fúsel bruto OF14. No quadro 1, apresenta-se como foi trabalhado.

Quadro 1 - Amostras de etanol combustível (hidratado e anidro) em mistura com diferentes percentuais de óleo fúsel bruto

ETANOL	ADITIVO (alternativo)	
	Óleo fúsel Bruto (OF34) 34,00% Teor água Misturas	Óleo fúsel Bruto (OF14) 14,00% Teor água Misturas
Volume final da amostra = etanol + aditivo = 10 mL		
Etanol Hidratado Combustível	0,25% A1	0,25% B1
	0,50% A2	0,50% B2
	1,00% A3	1,00% B3
	1,50% A4	1,50% B4
	2,00% A5	2,00% B5
	3,00% A6	3,00% B6
	10,00% A7	10,00% B7
	20,00% A8	20,00% B8
	50,00% A9	50,00% B9
Etanol Anidro Combustível (comercializada apenas para mistura com gasolina automotiva)	0,25% C1	0,25% D1
	0,50% C2	0,50% D2
	1,00% C3	1,00% D3
	1,50% C4	1,50% D4
	2,00% C5	2,00% D5
	3,00% C6	3,00% D6
	10,00% C7	10,00% D7
	20,00% C8	20,00% D8
	50,00% C9	50,00% D9

Fonte: Autor (2020).

3.2.2 Miscibilidade e Estabilidade das Misturas de etanol com óleo fúsel

As misturas de etanol combustível com óleo fúsel, descritas no quadro 1, foram deixadas em repouso à temperatura ambiente pelo período de 7 dias em tubos de ensaio com tampa de rosca de 18 x 180 mm com 30,5mL, sendo observado a cada 24 horas no período matutino o comportamento das misturas. Salienta-se que no período avaliado, todos os dias

foram realizados os registros fotográficos.

3.2.3 Qualidade do etanol em mistura com óleo fúsel

Para as análises das misturas de etanol anidro e etanol hidratado foram realizados ensaios de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT determinado pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) de acordo com a legislação em vigor no território nacional, descritas na Resolução ANP nº 7, de 22.2.2016 (ANP, 2016), que alterou a Resolução ANP nº 19, de 15 de abril de 2015, que estabelece as especificações do Etanol Anidro Combustível (EAC) e do Etanol Hidratado Combustível (EHC).

3.2.3.1 Determinação de acidez total por titulação potenciométrica NBR 9866 (ABNT, 2012)

A acidez total das misturas de etanol e óleo fúsel foi realizada por meio de titulação potenciométrica seguindo a NBR 9866, sendo utilizada uma balança marca Metter Toledo, modelo AB204-S para pesar os produtos utilizados na preparação dos reagentes e vidrarias volumétrica, tais como proveta e balão de 50mL a 1000mL. Após conclusão do procedimento, utilizou-se a expressão dos resultados apresentado na normativa e obteve-se o resultado das análises em miligramas (mg), por volume de etanol, em litros (L).

3.2.3.2 Determinação da condutividade elétrica NBR 10547 (ABNT, 2016a)

Para realizar a determinação da condutividade elétrica nas misturas de etanol e óleo fúsel, conforme denominado na NBR 10547, foi utilizado um condutivímetro de bancada da marca Digimed, modelo DM-32-ET com compensação de temperatura automática definida para 25°C e precisão relativa de 0,05% (f.e) e incerteza de $\pm 1\%$, sendo o resultado da medição de condutividade expresso em microsiemens por metro ($\mu\text{S/m}$). Na mistura foram aguardados 3 minutos após a estabilização da amostra para validação do resultado.

3.2.3.3 Determinação do teor alcoólico por densímetro de vidro NBR 5992 (ABNT, 2016b)

Na determinação de teor alcoólico nas misturas de etanol e óleo fúsel, conforme denominado na NBR 5992, foi utilizado um densímetro para álcool etílico e suas misturas

com água com escala de 0,800 – 0,850, com resolução de 0,0005 e certificação de verificação do INMETRO, conforme a portaria 124 de 01/08/2005, sendo a referência do equipamento o número 5831 da marca Inconterm. Para medir a temperatura da mistura, foi utilizado termômetro do tipo 1 – Petróleo e seus derivados e biocombustíveis líquidos, com escala interna de – 10 a + 50°C, com resolução de 0,5°C do tipo de imersão total, sendo o limite de erro: $\pm 0,5$ da marca Inconterm, com certificado do INMETRO, Portaria n° 206 de 27/09/2019 sendo a referência do equipamento número 5182.15 Nas amostras que ficaram fora da faixa de trabalho do densímetro, foi estimado o valor via cálculo de balanço de massa, tendo em vista que a normativa não permite realizar avaliações fora dessa faixa.

3.2.3.4 Determinação do pH - Método potenciométrico NBR 10891 (ABNT, 2018)

Na determinação do potencial hidrogeniônico (pH) da mistura etanol hidratado com óleo fúsel foi utilizado o método potenciométrico descrito na NBR 10891, utilizando medidor de pH da marca digimed, modelo DM-22-ETH, com compensação de temperatura automática definida para 25°C, sendo a resolução de temperatura 0,1°C e precisão relativa 0,01% pH e incerteza de $\pm 0,01$. Na análise, foi utilizado eletrodo combinado de vidro de pH com sistema de referência prata/cloreto de prata com junção anular fixa. Para mistura de etanol anidro com óleo fúsel, não foi realizada a análise do Potencial hidrogeniônico (pH), pois esta NBR descreve o procedimento apenas para etanol hidratado e a Resolução n° 19 da ANP não estabelece referência para a comercialização do etanol anidro.

3.2.3.5 Determinação da massa específica NBR 5992 (ABNT, 2016b)

Para realizar a determinação da massa específica das misturas de etanol e óleo fúsel, conforme denominado na NBR 5992, foi utilizado um densímetro para álcool etílico e suas misturas com água, com escala de 0,800 – 0,850, resolução de 0,0005 e certificação de verificação do INMETRO conforme a Portaria n° 124 de 01/08/2005, sendo a referência do equipamento o número 5831 da marca Inconterm. Para medir a temperatura da mistura, foi utilizado termômetro do tipo 1 – Petróleo e seus derivados e biocombustíveis líquidos, com escala interna de – 10 a + 50°C, com resolução de 0,5°C do tipo de imersão total, sendo o limite de erro: $\pm 0,5$ da marca Inconterm, com certificado do INMETRO Portaria n°206 de 27/09/2019, sendo a referência do equipamento número 5182.15. Nas amostras que ficaram fora da faixa de trabalho do densímetro, foi estimado o valor via cálculo de balanço de massa,

tendo em vista que a normativa não permite realizar avaliações fora dessa faixa.

3.2.3.6 Viabilidade econômica

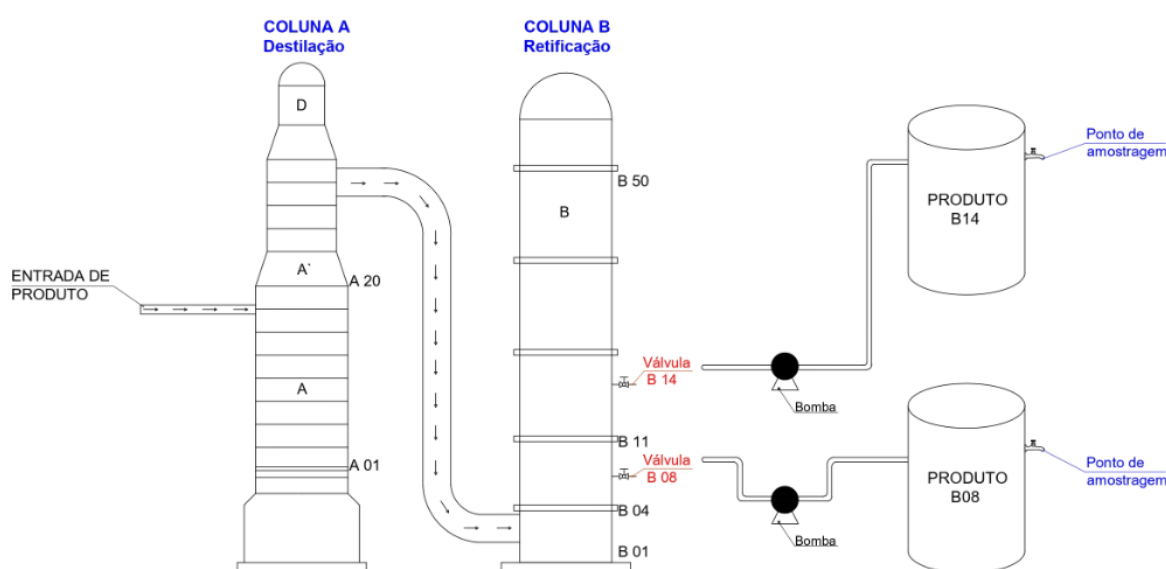
Por fim, para analisar se o projeto se mostrava economicamente viável, foi realizado um estudo de viabilidade econômica através do cálculo do VPL (Valor Presente Líquido). Para tanto, utilizou-se a equação 1 na qual foi considerado o fluxo de caixa dos próximos 10 anos (baseado na vida útil do projeto), levando-se em consideração somente as novas entradas e saídas que resultarão do projeto e uma Taxa Mínima de Atratividade - TMA (taxa k) de 8,02% que é a praticada atualmente pela usina para investimentos no setor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERÍSTICA DO ÓLEO FÚSEL

A composição química do óleo fúsel, assim como o teor de água, pode mudar conforme a qualidade da matéria-prima utilizada e o regime de trabalho da coluna de destilação. Desta forma, foram adotados pontos fixos de amostragem, sendo o produto retirado da bandeja 08 e bandeja 14, como mostra a Figura 5. A coluna de destilação no momento da coleta estava operando em condição de projeto, conforme sua especificação.

Figura 5 - Pontos de coleta de óleo fúsel processo de destilação alcoólica fracionada



Fonte: Autor (2020).

O óleo fúsel é obtido como coproduto no processo de purificação do etanol, mais precisamente na coluna de retificação, denominada em seu projeto como B nas bandejas 08 e 14. Posteriormente, de forma individual, esse coproduto vai para um tanque de decantação no qual foram realizadas as coletas das amostras, que foram caracterizadas pela usina, como mostra a tabela 2.

Tabela 2 - Características do óleo fúsel bruto retirado da bandeja 08 e 14

Composição	Óleo Fúsel Bruto	
	Bandeja 08 (OF34)	Bandeja 14 (OF14)
% Água	34%	14 %
% Óleo fúsel	66%	86 %

Fonte: Autor (2020).

Para facilitar o entendimento das misturas, foi adotada a nomenclatura OF34 para o óleo fúsel retirado da bandeja 08 e OF14 para o óleo fúsel retirado da bandeja 14.

4.2 CARACTERÍSTICA DO ETANOL COMBUSTÍVEL

O etanol combustível comercial fornecido pela unidade produtora para as análises foi retirado no ponto de carregamento industrial, na área de expedição comercial da unidade. A Tabela 3 apresenta as características do produto fornecido.

Tabela 3 - Caracterização do etanol recebido (padrão)

Parâmetro	Etanol Anidro	Etanol Hidratado
pH	-----	6,92
Teor alcoólico °(INPM) (%m/m)	99,90	92,94
Condutividade ($\mu\text{S/m}$)	22,74	30,37
Acidez Total (mg/L)	6,86	9,69
Massa específica (kg/m^3) 20 °C	789,6	809,9

Fonte: Autor (2019).

Todos os produtos fornecidos atendem os parâmetros estabelecidos pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, conforme legislação em vigor.

4.3 MISCIBILIDADE E ESTABILIDADE DA MISTURA ETANOL E ÓLEO FÚSEL

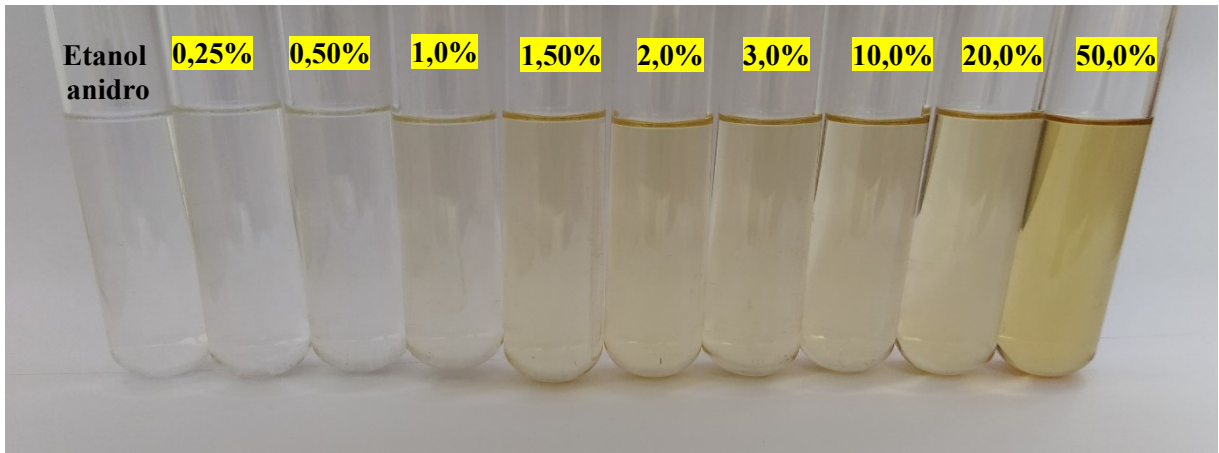
As misturas de etanol anidro combustível e etanol hidratado combustível com óleo fúsel foram miscíveis e estáveis em todos os percentuais de óleo fúsel testados (0,25; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 10,0; 20,0; e 50,0 % (v/v)), mesmo utilizando óleo fúsel com características de teor de água diferente, denominados como óleo fúsel OF34 e OF14. Durante o processo de avaliação, a única diferença notada nos experimentos foi o tempo de estabilização da mistura OF14 quem, em média, demandava 30 segundos a mais para estabilizar.

Martins, Lopes e Andrade (2013) relatam que a miscibilidade de uma mistura está relacionada a formação de uma única fase, ou seja, uma mistura homogênea. Quando ocorre esta formação, a mistura é chamada como miscível. Os autores descrevem que a solubilidade

de uma substância orgânica tem conexão direta com sua estrutura molecular, especialmente com a polaridade das ligações e da espécie química como um todo (momento de dipolo).

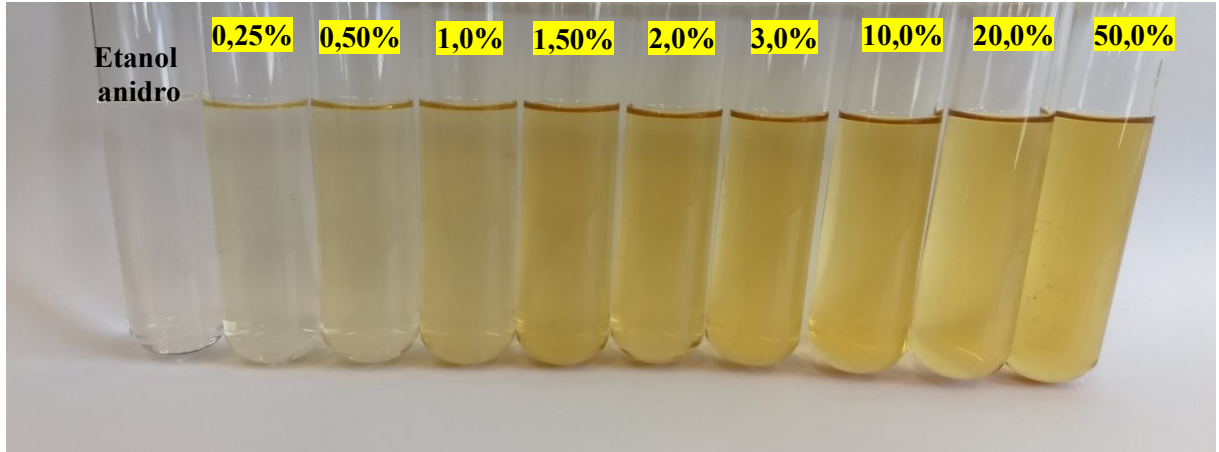
A seguir, as Figuras 6, 7, 8 e 9 apresentam imagens das misturas durante o período de avaliação de miscibilidade:

Figura 6 - Etanol anidro com adição de óleo fúsel contendo 34% de água.



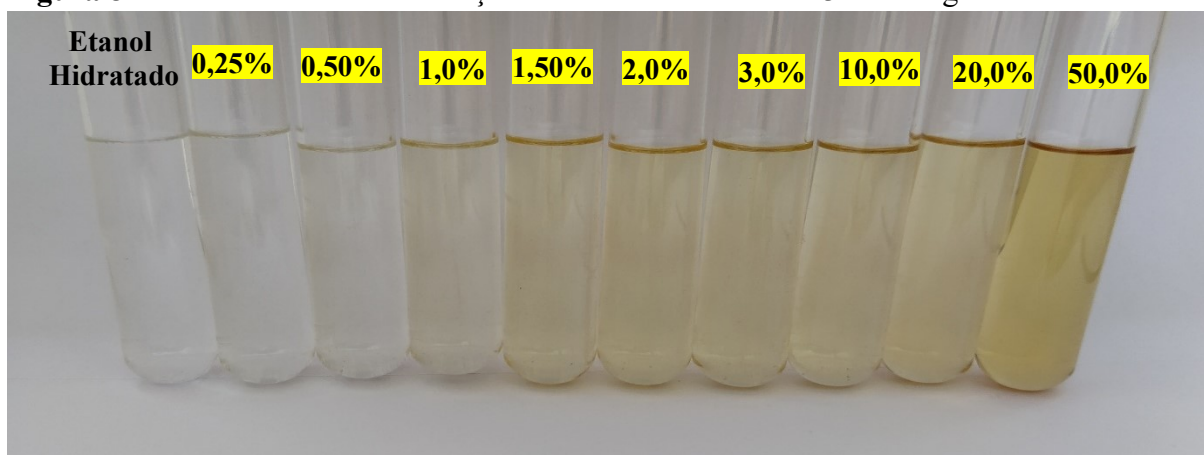
Fonte: Autor (2020).

Figura 7 - Etanol anidro com adição de óleo fúsel contendo 14% de água



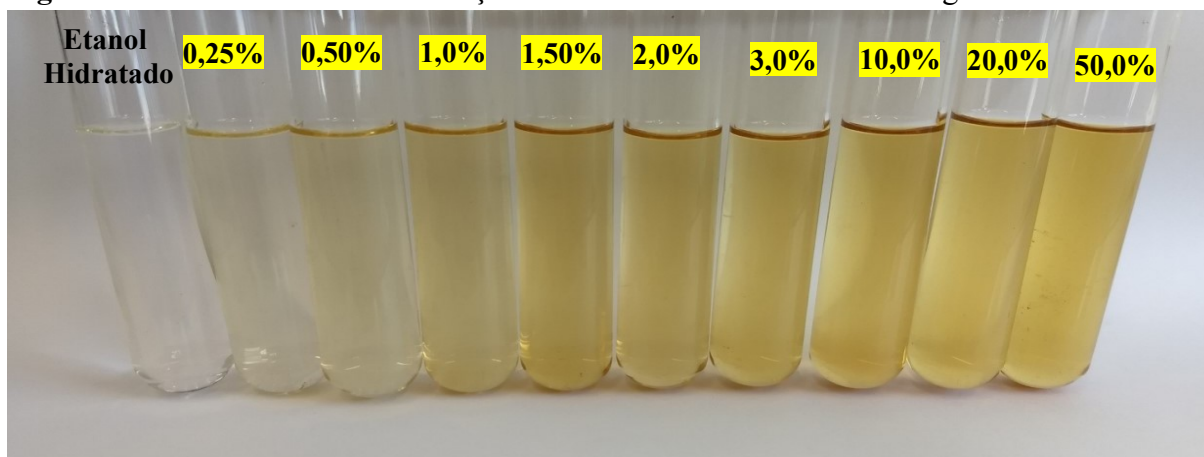
Fonte: Autor (2020).

Figura 8 - Etanol hidratado com adição de óleo fúsel contendo 34% de água



Fonte: Autor (2020).

Figura 9 - Etanol hidratado com adição de óleo fúsel contendo 14% de água.



Fonte: Autor (2020).

A avaliação de miscibilidade é um dos parâmetros mais importante na mistura de combustíveis; pois, caso a mistura não seja miscível, pode ocorrer dificuldade e até inviabilidade técnica da aplicação do mesmo. Neste estudo, foi considerada a possível aplicação da mistura etanol combustível e óleo fúsel em motores veiculares (Ciclo Otto), tendo resultado promissor na estabilidade da mistura.

4.4 QUALIDADE DO COMBUSTÍVEL COM ÓLEO FÚSEL

Todo controle de qualidade tem por objetivo estabelecer padrões para os produtos de forma que o consumidor final não seja prejudicado. A adição do óleo fúsel ao etanol pode impactar nos parâmetros de qualidade estabelecidos pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP, podendo tornar a mistura imprópria para utilização como combustível nos motores disponíveis no mercado.

4.4.1 Mistura do Etanol Anidro Combustível com Óleo Fúsel Bruto

Para realizar a avaliação da mistura de etanol anidro com óleo fúsel, foram utilizados dois tipos de matéria prima, denominado OF34 com maior percentual de água (66% óleo fúsel e 34% água) e OF14 com menor percentual de água (86% óleo fúsel e 14 % água). Na tabela 4 são apresentados os resultados das amostras provenientes da mistura do etanol anidro com óleo fúsel bruto OF34.

Tabela 4 - Avaliação mistura etanol anidro e óleo fúsel contendo 34% água (OF34)

Propriedade EAC / Unidade	Parâmetros			
	Acidez total, máx. (mg/L)	Condutividade elétrica ($\mu\text{S/m}$)	Massa específica a 20°C (kg/m^3)	Teor alcoólico (% massa)
Padrão Etanol Anidro	6,86	22,74	789,6	99,90
0,25 %	11,10	64,27	790,3	99,65
0,50 %	13,00	57,68	791,1	99,41
1,00 %	16,55	67,55	792,7	98,90
1,50 %	17,49	73,58	794,3	98,40
Mistura 2,00 %	21,04	82,23	795,9	97,90
3,00 %	29,04	103,17	799,1	96,90
10,0%	77,54	3987,56	821,2	89,91
20,0%	82,14	4587,43	852,8	79,92
50,0%	91,38	7985,21	946,8	50,23
Limite ANP	30,0	300,0	791,5 máx.	99,3 mín.

Fonte: Autor (2020).

Utilizando-se os mesmos procedimentos, foram realizadas análises alterando o tipo de aditivo, com o objetivo de avaliar o impacto nos parâmetros de qualidade estabelecidos pelo órgão regulamentador. Na tabela 5, estão os resultados das amostras provenientes da mistura do etanol anidro com óleo fúsel bruto OF14.

Tabela 5 - Avaliação mistura etanol anidro e óleo fúsel contendo 14 % água (OF14).

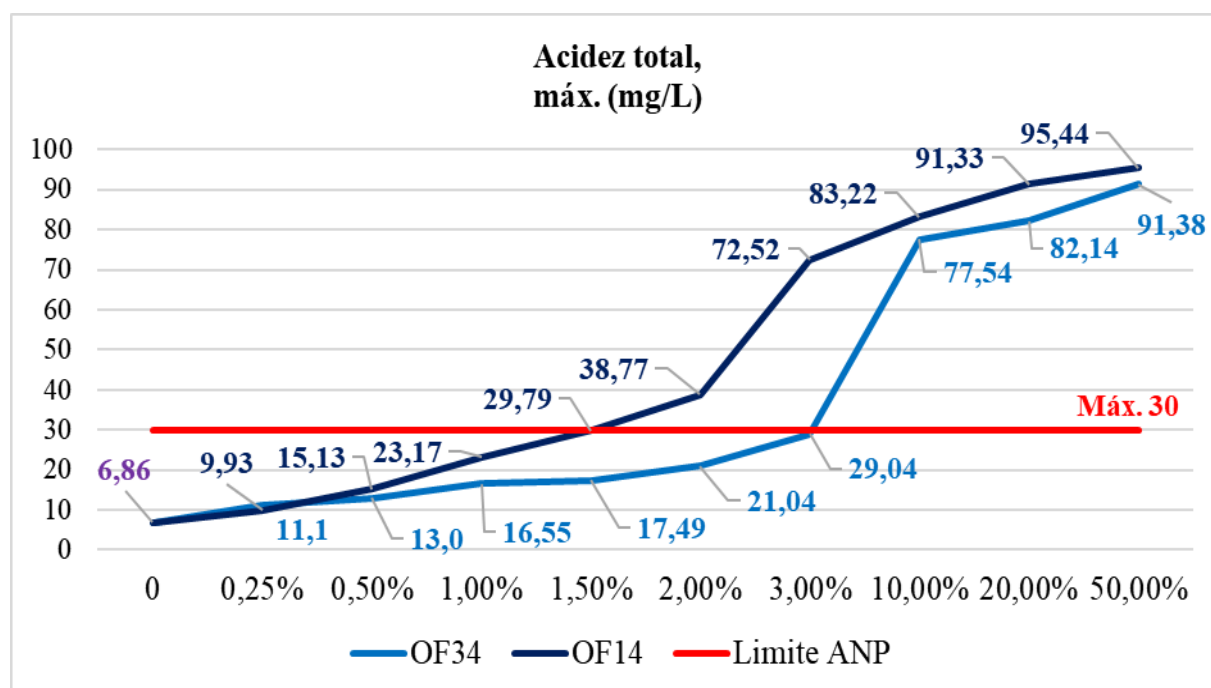
Propriedade EAC / Unidade	Parâmetros				
	Acidez total, máx. (mg/L)	Condutividade elétrica ($\mu\text{S/m}$)	Massa específica a 20°C (kg/m^3)	Teor alcoólico (% massa)	
Padrão Etanol Anidro	6,86	22,74	789,6	99,90	
0,25 %	9,93	179,04	790,5	99,75	
0,50 %	15,13	321,48	791,1	99,53	
1,00 %	23,17	597,51	792,0	99,10	
1,50 %	29,79	799,56	793,3	98,64	
Mistura	2,00 %	38,77	1060,70	795,7	98,05
	3,00 %	72,52	1659,30	798,5	97,15
	10,0%	83,22	3998,40	818,8	91,25
	20,0%	91,33	4967,21	848,5	80,90
	50,0%	95,44	7934,40	940,4	51,85
Limite ANP	30,0 máx.	300,0 máx.	791,5 máx.	99,3 mín.	

Fonte: Autor (2020).

Pela tabulação dos dados e avaliação dos experimentos, foi possível verificar que, valores acima de 3,0% na mistura de óleo fúsel contendo 34% de água ultrapassa o limite de 30mg/L estabelecido pela ANP, quando utilizado na mistura o óleo fúsel contendo 14% de água o limite permitido pela legislação em vigor decresce para 1,5%, sofrendo maior influência pelo óleo fúsel misturado. No parâmetro condutividade elétrica a mistura do óleo fúsel OF34 permite a adição até 3,0% de modo a atender os parâmetros estabelecidos pela ANP, ao utilizar na mistura o óleo fúsel OF14 maior que 0,25% já existe a inviabilidade para comercialização da mistura, conforme o órgão regulamentador. No parâmetro massa específica em ambos os casos da mistura valores acima de 0,5% de óleo fúsel no etanol anidro ultrapassa o limite de 791,5 kg/m^3 valor máximo estabelecido pela ANP. Diferentemente dos parâmetros anteriores o teor alcoólico tem maior interferência com a mistura OF34 devido aos seu maior percentual de água como pode ser observado nas tabelas 4 e 5, no entanto em ambos os casos misturas acima de 0,5% não atendem as diretrizes estabelecidas pelo órgão regulamentador.

A Figura 10 apresenta a variação da acidez total nas misturas de etanol anidro combustível com óleo fúsel bruto OF34 e OF14. Nota-se que neste quesito há uma variação dentro do limite aceitável até 1,5%, na amostra de óleo fúsel bruto OF14, e 3% para óleo fúsel OF34. Acima deste valor, as amostras ultrapassam o valor permitido pela Resolução ANP nº19, conforme estabelecido pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. A acidez total é um parâmetro de qualidade que está relacionado ao potencial corrosivo do etanol, o qual afeta a vida útil de veículos automotivos. Por meio de ensaios técnicos, a ANP estabelece como valor máximo para este parâmetro 30mg/L, levando-se em conta que esse é um valor seguro para que o combustível não cause agravamento de corrosão nos veículos automotivos.

Figura 10 - Acidez total da mistura do etanol anidro combustível

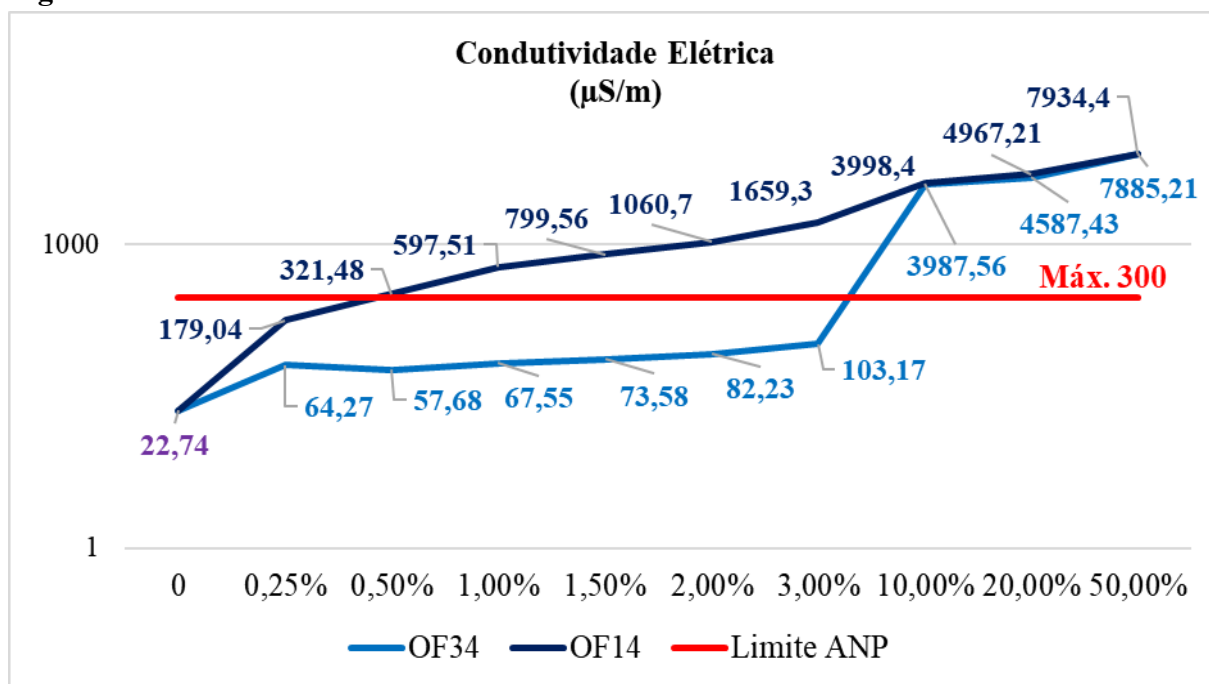


Fonte: Autor (2020).

Na figura 11 é possível visualizar a variação da mistura de etanol anidro combustível com óleo fúsel bruto OF34 e OF14 para condutividade elétrica. A mesma mostra que o óleo fúsel bruto com maior concentração de água (OF34) permite mistura de até 3,0%; já o óleo fúsel bruto da amostra OF14 com baixa concentração de água permite que seja adicionado até 0,25%; acima deste volume não é possível atender o parâmetro conforme estabelecido na legislação. A medição da condutividade visa avaliar o potencial corrosivo do combustível, uma vez que está diretamente relacionada à quantidade de íons dissolvidos no etanol, tais como: cloretos, sulfatos, sódio e ferro. Um valor elevado para o parâmetro indica alto

potencial de promover a corrosão, prejudicando as linhas de transferência de combustível nos veículos e causando possíveis depósitos no sistema de injeção. O limite imposto pela ANP é de $300\mu\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$, que visa limitar a quantidade máxima de íons dissolvidos no etanol, garantindo assim um baixo potencial corrosivo para o combustível.

Figura 11 - Condutividade elétrica da mistura do etanol anidro combustível

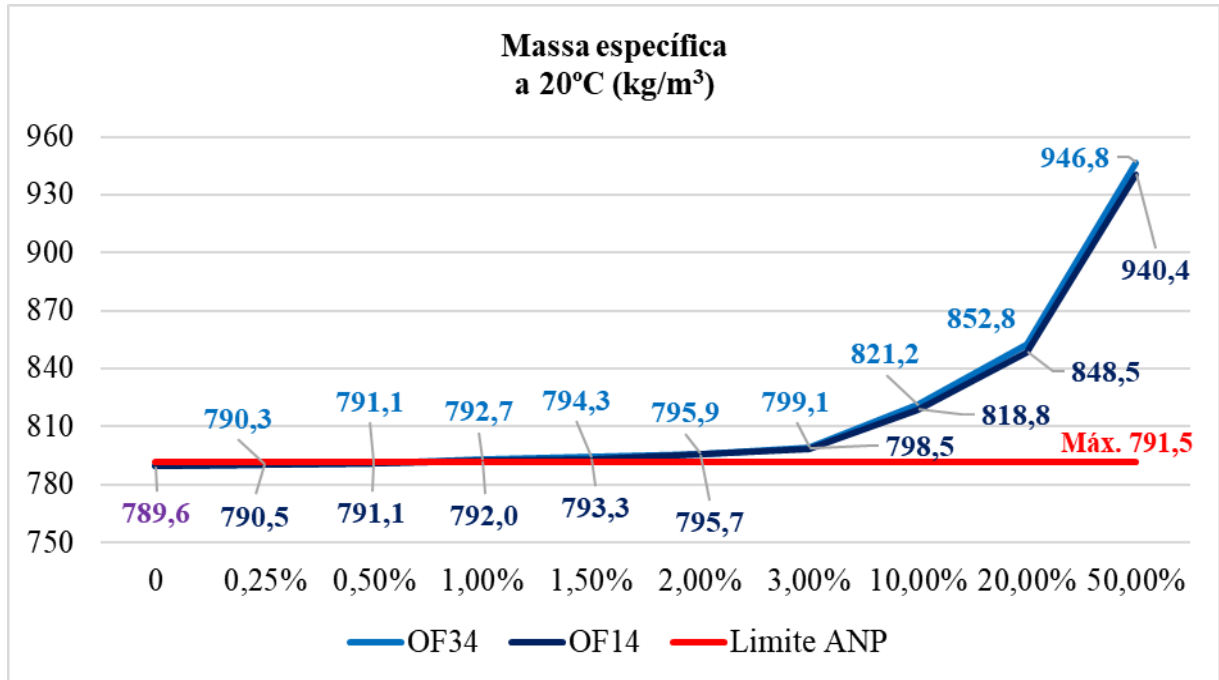


Fonte: Autor (2020).

Já na Figura 12, as amostras apresentam características similares na adição de óleo fúsel bruto OF34 e OF14, o que era esperado, tendo em vista a característica de alta densidade presente no óleo fúsel, sendo permitido pela legislação que seja adicionado em ambos os casos até 0,5%, de modo a não inviabilizar o produto, conforme a legislação em vigor. A massa específica é um dos parâmetros utilizado para ajuste do fator de dirigibilidade de um veículo. No caso específico do etanol, a massa específica está diretamente relacionada ao teor alcoólico do combustível, ou seja, a quantidade real de etanol presente no álcool combustível. Isso se deve ao fato de haver uma correlação entre a massa específica e o teor alcoólico, o que permite que a determinação deste parâmetro seja feita de modo indireto, utilizando-se os dados medidos de massa específica. Os limites definidos para esses parâmetros, conforme a ANP, são valores que garantam uma quantidade adequada de etanol sendo empregada no funcionamento dos veículos. Isso porque os fabricantes de motores utilizam a massa específica para calibrarem o sistema de injeção e definirem o fluxo de combustível a ser direcionado para as várias partes do veículo, tais como: bicos, bombas entre

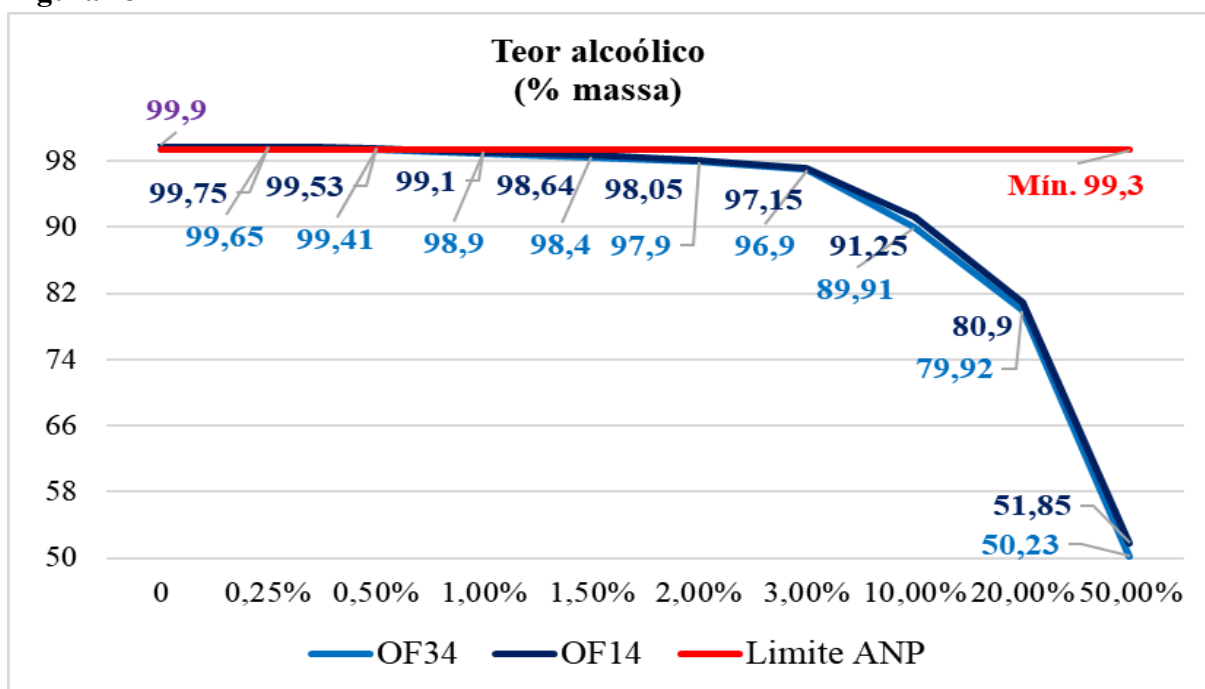
outros.

Figura 12 - Massa específica da mistura do etanol anidro combustível



Fonte: Autor (2020).

Por fim, a Figura 13 mostra que as misturas de óleo fúsel bruto OF34 e OF14 com até 0,5%, podem ser realizadas de modo a não afetar a qualidade do produto. Valores acima de 0,5% comprometem a qualidade do produto final, não sendo permitida a comercialização no território nacional.

Figura 13 - Teor alcoólico da mistura do etanol anidro combustível

Fonte: Autor (2020).

A condutividade foi a principal variável de restrição nas misturas avaliadas de etanol anidro combustível e óleo fúsel bruto OF34 e OF14; atualmente, a legislação em vigor estabelece como $300\mu\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$ o valor máximo de condutividade elétrica que o etanol anidro combustível pode chegar para o produto ser comercializado no território nacional. Nota-se que a mistura do óleo fúsel OF34 permite ser realizada até 3,0% com etanol anidro combustível de modo a não impactar a restrição imposta pela legislação. Já a mistura de óleo fúsel bruto OF14 com etanol anidro acima de 0,25% inviabiliza a comercialização do produto. Em contrapartida, o impacto da mistura do óleo fúsel bruto OF34 com etanol anidro acima de 0,50% não é permitida, pois as análises de teor alcoólico e massa específica tem impacto da mistura significativo, de forma a não atender os parâmetros estabelecidos pelo órgão regulamentador, que exige o teor alcoólico mínimo em % de massa de 99,3 (% massa) e massa específica máxima de $791,5\text{kg}/\text{m}^3$.

4.4.2 Mistura do Etanol Hidratado Combustível com Óleo Fúsel Bruto OF34 e OF14

Nas misturas de etanol hidratado com óleo fúsel, foram utilizadas também dois tipos de matérias primas, denominadas OF34 com maior percentual de água (66% óleo fúsel e 34% água) e OF14 com menor percentual de água (86% óleo fúsel e 14% água). Salienta-se que as características químicas do óleo fúsel são as mesmas da mistura anterior, variando apenas o

tipo de etanol. A tabela 6 apresenta os resultados das amostras provenientes da mistura do etanol hidratado com óleo fúsel bruto OF34:

Tabela 6 - Avaliação mistura etanol hidratado com óleo fúsel bruto OF34.

Propriedade EHC / Unidade	Parâmetros				
	Acidez total, máx. / (mg/L)	Condutividade de elétrica (µS/m)	Massa específica a 20°C (kg/m ³)	Teor alcoólico (% massa)	pH
Padrão Etanol Hidratado	9,69	30,37	809,9	92,94	6,92
0,25 %	9,90	42,75	810,7	92,72	6,71
0,50 %	11,11	59,74	811,1	92,50	6,43
1,00 %	13,47	66,38	811,9	92,20	6,37
1,50 %	16,78	109,25	813,5	91,62	6,19
Mistura 2,00 %	16,95	110,71	814,9	91,13	6,14
3,00 %	26,00	118,82	817,9	90,18	6,05
10,0%	41,33	385,21	836,7	83,95	5,92
20,0%	52,32	464,87	867,1	74,34	5,74
50,0%	68,02	989,97	948,7	47,23	5,59
Limite ANP	30,0 máx.	300,0 máx.	805,2 a 811,2	92,5 a 94,6	6,0 a 8,0

Fonte: Autor (2020).

Deste modo, também foram utilizados os mesmos procedimentos realizados nas análises alterando o tipo de aditivo.

A tabela 7 apresenta os resultados das amostras proveniente da mistura do etanol hidratado com óleo fúsel bruto OF14.

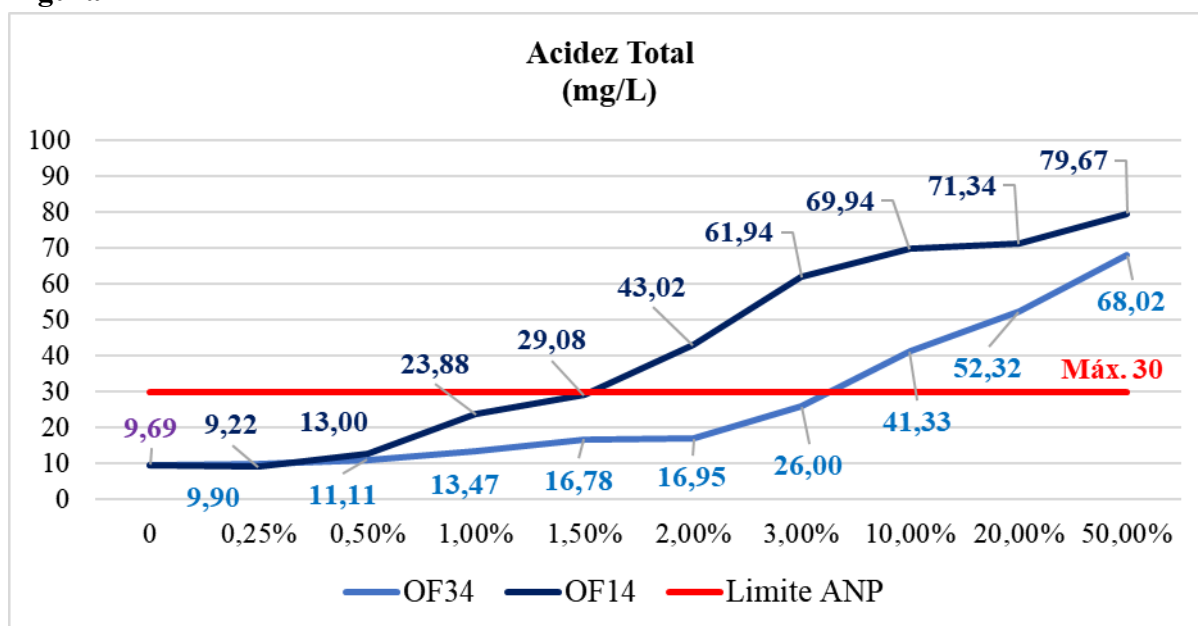
Tabela 7 - Avaliação mistura etanol hidratado com óleo fúsel OF14

Propriedade EHC / Unidade	Parâmetros				
	Acidez total, máx. / (mg/L)	Condutividade de elétrica ($\mu\text{S/m}$)	Massa específica a 20°C (kg/m^3)	Teor alcoólico (% massa)	pH
Padrão Etanol Hidratado	9,69	30,37	809,9	92,94	6,92
0,25 %	9,22	226,80	810,3	92,79	6,44
0,50 %	13,00	379,08	810,9	92,58	6,16
1,00 %	23,88	666,81	811,6	92,30	5,79
1,50 %	29,08	1039,68	812,4	91,71	5,68
Mistura 2,00 %	43,02	1354,59	813,6	91,25	5,49
3,00 %	61,94	1911,60	815,7	90,33	5,46
10,0%	69,94	3654,32	835,5	84,09	5,67
20,0%	71,34	4165,29	863,6	75,22	5,42
50,0%	79,67	5871,43	948,3	48,27	5,31
Limite ANP	30,0 máx.	300,0 máx.	805,2 a 811,2	92,5 a 94,6	6,0 a 8,0

Fonte: Autor (2020).

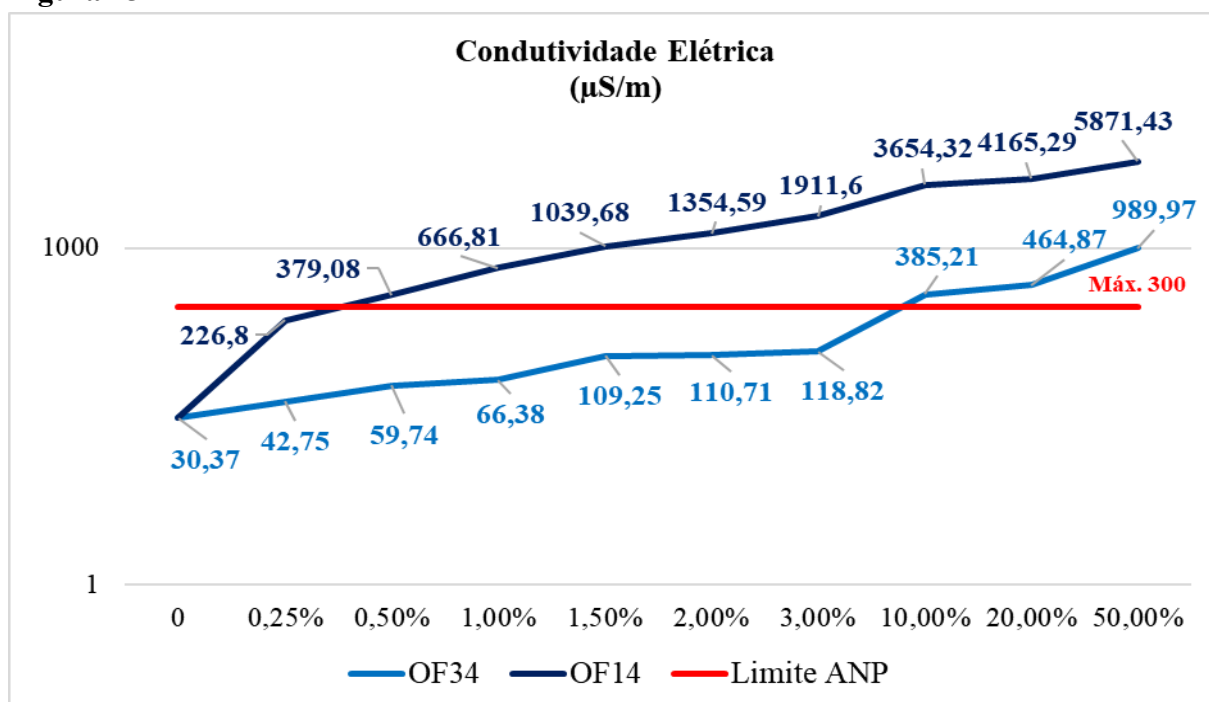
Nesta etapa da avaliação dos experimentos foi possível verificar que, ao se utilizar o óleo fúsel bruto como aditivo para o etanol hidratado combustível, teve-se impacto direto nas variáveis analisadas. Deste modo, serão descritos de forma individualizada os resultados de cada variável analisada.

A Figura 14 apresenta a variação da acidez total na mistura de etanol hidratado combustível com óleo fúsel. Nota-se que o óleo fúsel bruto OF34 misturado no etanol hidratado combustível, ultrapassa o limite estabelecido pela legislação na concentração acima de 3%. Já o óleo fúsel bruto OF14 apresenta como faixa limite na concentração de 1,5% sendo utilizados os parâmetros estabelecidos pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, que estabelece como limite máximo de 30mg/L para acidez no etanol hidratado combustível.

Figura 14 - Acidez total na mistura do etanol hidratado combustível

Fonte: Autor (2020).

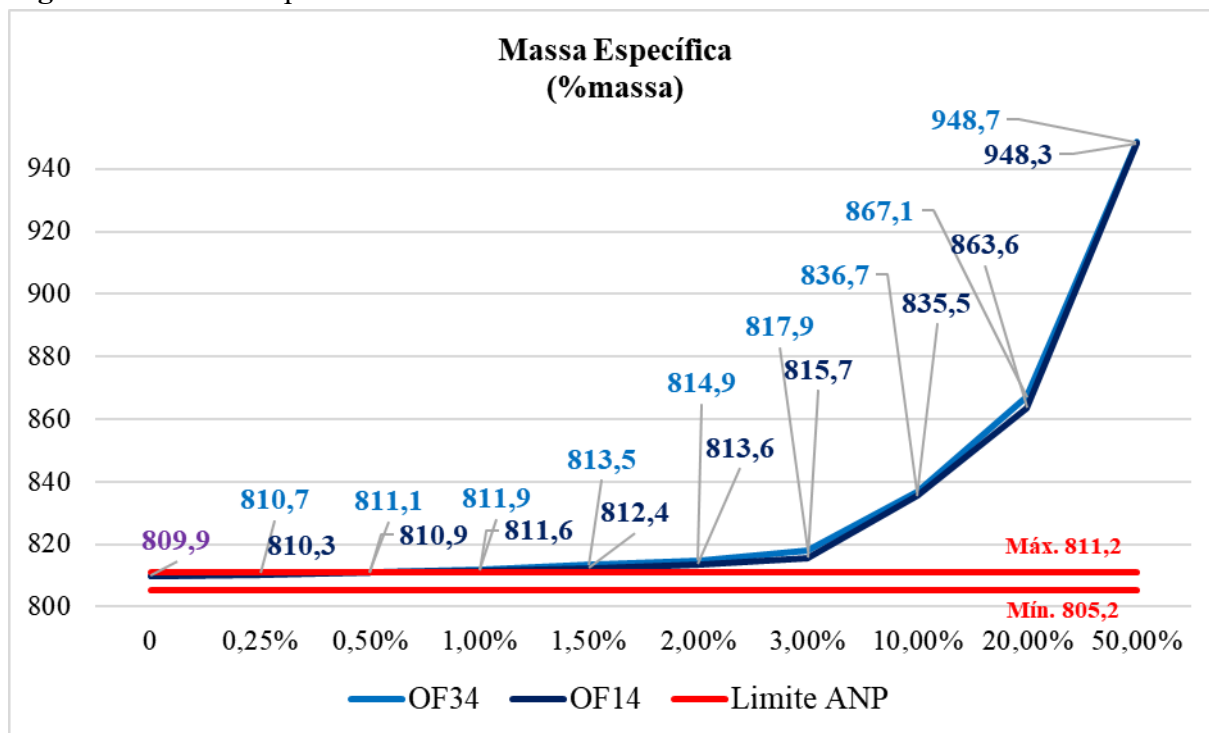
Já a Figura 15, mostra que, em relação à condutividade elétrica, a mistura de óleo fúsel bruto OF34 foi possível realizar até 3% de concentração, e na mistura de óleo fúsel bruto OF14 foi possível adicionar até 0,25% de concentração. Nota-se que esta variável sofre impacto significativo ao realizar a mistura, sendo novamente ponto de restrição no percentual de óleo fúsel bruto acrescido ao etanol hidratado.

Figura 15 - Condutividade elétrica na mistura do etanol hidratado combustível

Fonte: Autor (2020).

A Figura 16 apresenta que, tanto o óleo fúsel bruto OF34, quanto o óleo fúsel bruto OF14, permitem a adição na concentração de até 0,5%. Acima deste valor, o produto não atende a legislação vigente.

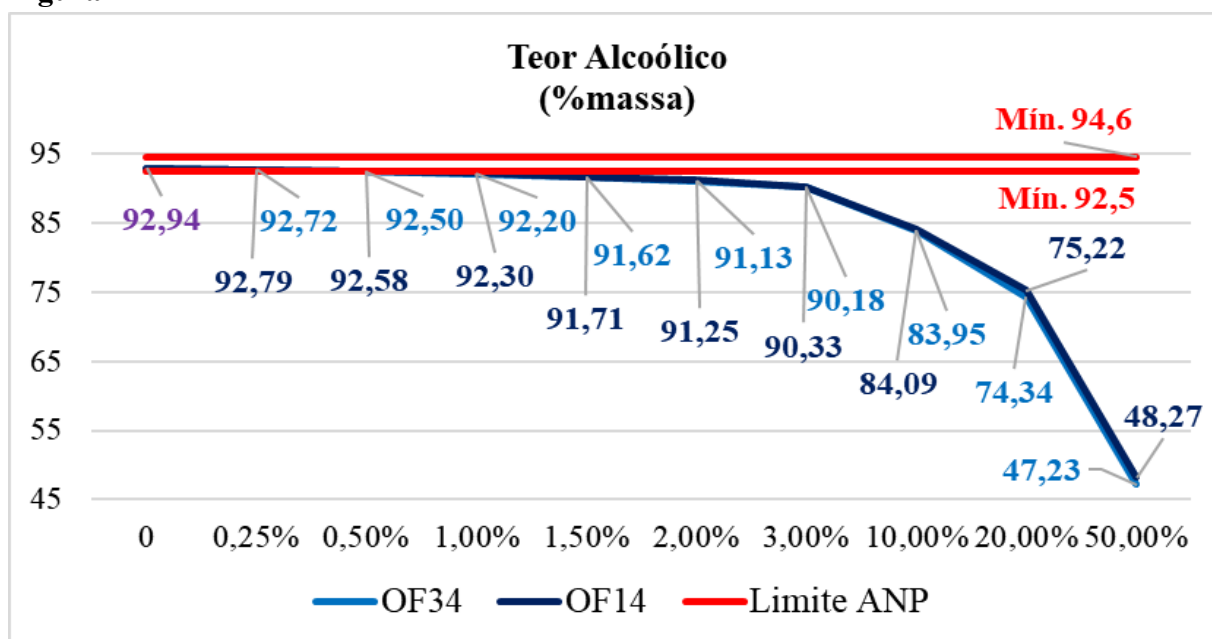
Figura 16 - Massa específica na mistura do etanol hidratado combustível



Fonte: Autor (2020).

Na Figura 17, as misturas de óleo fúsel bruto OF34 e óleo fúsel bruto OF14 também apresentam limite na concentração de até 0,5%. Acima deste valor, os parâmetros estabelecidos pela legislação não são atendidos.

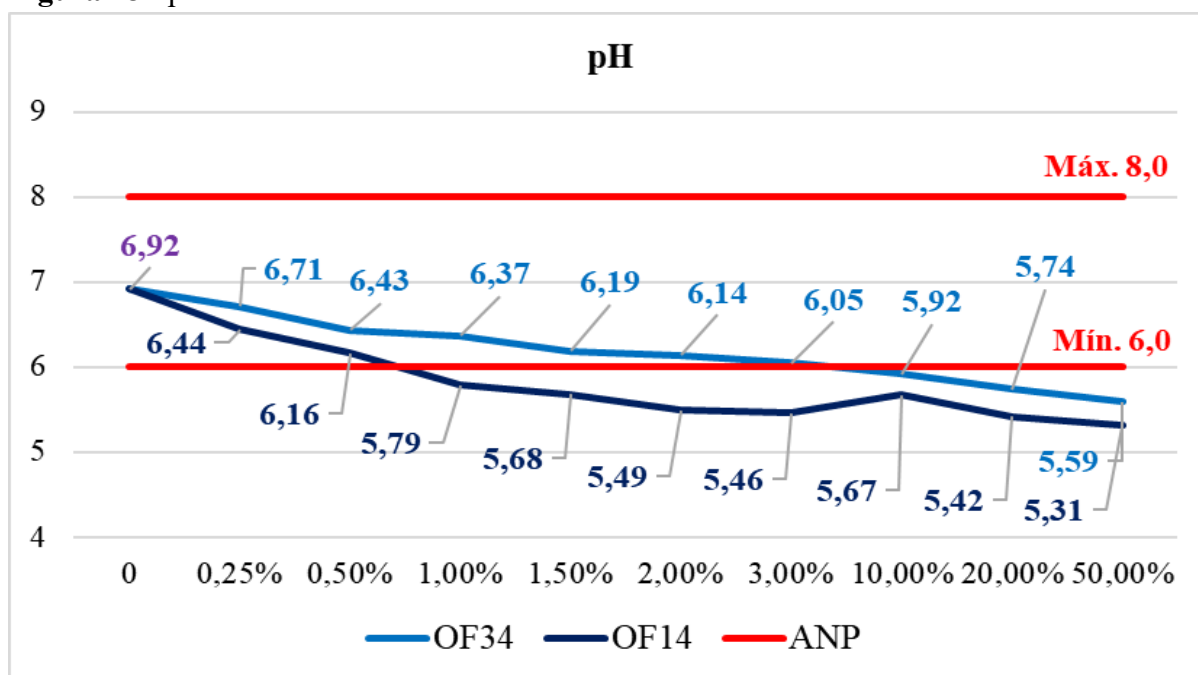
Figura 17 - Teor alcoólico na mistura do etanol hidratado combustível



Fonte: Autor (2020).

Na análise do pH, conforme apresenta a Figura 18, é permitido pela legislação em vigor até 1% para mistura de óleo fúsel bruto OF34 e até 0,5% para óleo fúsel bruto OF14. Salienta-se, que esta variável é exigida pela legislação apenas para etanol hidratado combustível. Deste modo, nas análises de etanol anidro não foi considerada; o pH é um indicador utilizado para mensurar a acidez ou a alcalinidade do etanol. Valores elevados indicam alcalinidade e valores baixos indicam acidez, o valor igual a 7 indica a neutralidade e em ambos extremos podem aumentar a corrosividade no sistema de combustível do veículo. Assim, a faixa de pH estabelecida pela especificação vigente, variando entre 6,0 e 8,0, visa garantir ao consumidor um etanol com baixas acidez e alcalinidade, de forma a proteger os componentes do veículo que possam ser suscetíveis à corrosão.

Figura 18 - pH na mistura do etanol hidratado combustível com óleo fúsel.

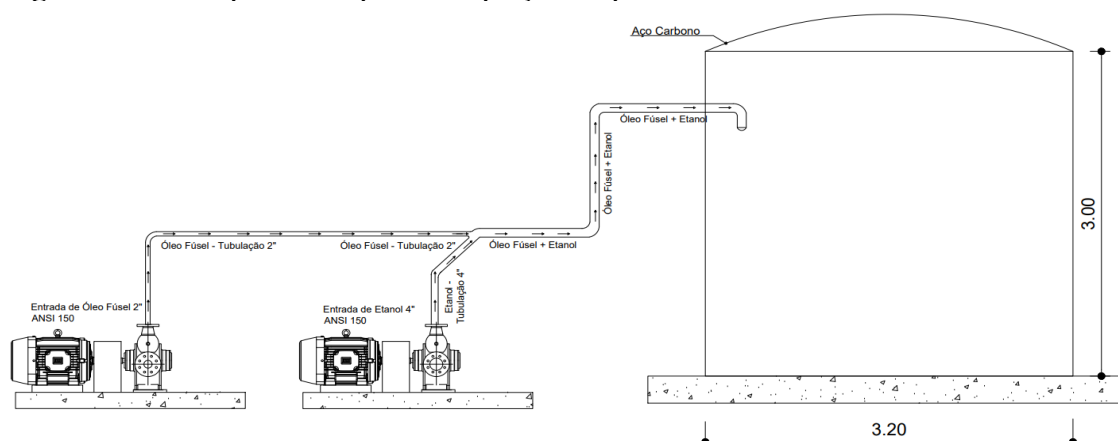


Fonte: Autor (2020).

Analisando o comportamento das variáveis nas misturas de etanol hidratado combustível e óleo fúsel bruto, foi possível observar que na mistura de óleo fúsel bruto (OF34) a concentração ótima foi de até 0,5%, pois atende todos os parâmetros da legislação vigente. No entanto para mistura de óleo fúsel bruto (OF14) a concentração máxima foi de 0,25%, de modo a atender todos os parâmetros conforme a legislação em vigor.

4.5 PONTO DE MISTURA E VIABILIDADE ECONÔMICA

O local mais eficiente para realizar a mistura do etanol com o óleo fúsel é na planta industrial, tendo em vista o impacto da mistura nos parâmetros estabelecidos pela ANP conforme pode ser observado nas análises das misturas realizadas neste estudo. Para realizar a mistura na planta industrial é necessária a adaptação da infraestrutura industrial, como bombas para deslocamento do fluido e tanque de mistura. Neste estudo, foi realizada a análise de viabilidade financeira da mistura em uma planta industrial com produção de 200 m³ dia⁻¹ de etanol hidratado ou 160 m³ dia⁻¹ de etanol anidro. No levantamento técnico, com base na planta industrial, concluiu-se que há a necessidade de um tanque de 20 m³ para realizar a mistura do etanol com o óleo fúsel, conforme o croqui descrito abaixo:

Figura 19 – Escopo do croqui de adaptação na planta industrial

Fonte: Autor (2019).

No levantamento de custo para implementação do sistema de mistura na planta industrial, foram utilizadas como base as características da planta estudada; dessa forma, o orçamento resultou no valor de R\$ 66.472,36 para aquisição dos materiais necessários, que estão listados na tabela 8.

Tabela 8 – Orçamento de adaptação da planta industrial

Produto	Característica	Medida (polegadas)	Quantidade (peça)	Preço unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Tubulação	Aço Carbono SCH40 (barra 6 metros)	2"	5	R\$ 188,40	R\$ 942,00
Curva	Aço Carbono SCH40	2"	5	R\$ 24,90	R\$ 124,50
Válvula	Esfera, Bipartida 150 lbs	2"	3	R\$ 579,94	R\$ 1.739,82
Flange	Aço Carbono Norma ASME B 16.1	2"	8	R\$ 52,00	R\$ 416,00
Tubulação	Aço Carbono SCH40 (barra 6 metros)	4"	5	R\$ 454,00	R\$ 2.270,00
Curva	Aço Carbono SCH40	4"	5	R\$ 111,30	R\$ 556,50
Válvula	Esfera, Bipartida 150 lbs	4"	3	R\$ 1.577,04	R\$ 4.731,12
Flange	Aço Carbono Norma (ASME B 16.1)	4"	8	R\$ 119,50	R\$ 956,00
Bomba e Motor	Vazão Nominal (10,01 m ³ /h) Altura total calculada 15,01 m Pressão de recalque 1,16 bar.g	Saída e entrada 2" com flange ASME B 16.1 EX	1	R\$ 13.293,00	R\$ 13.293,00
Bomba e Motor	Vazão Nominal 20,01 m ³ /h Altura total calculada 15,01 m Pressão de recalque 1,16 bar.g	Saída e entrada 4" com flange ASME B 16.1 - EX	1	R\$ 15.141,00	R\$ 15.141,00
Inversor	Trifásico, 220 V	10 CV	2	R\$ 3.701,21	R\$ 7.402,42
Tanque industrial	Aço Carbono	20 m ³	1	R\$ 18.900,00	R\$ 18.900,00
Valor Total					R\$ 66.472,36

Fonte: Autor (2019).

** Neste orçamento tem como premissa que a planta industrial já tenha o tanque de óleo fúsel e o tanque de etanol hidratado.

Para base de cálculo do preço do etanol foi utilizado o indicador CEPEA/ESALQ - São Paulo, sendo o ano 2019 a referência de preço. O preço médio do etanol hidratado no ano de referência foi de R\$ 1,75 o litro; já o preço médio do etanol anidro combustível utilizado para ser misturado com a gasolina tipo A foi de R\$ 1,93. Atualmente, no Brasil, não existe um órgão regulamentador do preço do coproduto óleo fúsel, sendo para este estudo utilizado como base o valor de R\$ 0,18, que consiste no preço comercializado no ano de 2019 pela indústria estudada (CEPEA, 2020). Deste modo, foi utilizado como base o valor de faturamento de uma unidade fabril, conforme seu faturamento com apenas os itens estudados, ou seja, etanol hidratado, etanol anidro e óleo fúsel. A tabela 9 descreve o faturamento anual com etanol hidratado, utilizando como base 200 dias.

Tabela 9 – Receita financeira da venda de etanol hidratado e da venda de óleo fúsel

Descrição	Volume	Unidade	Observação		
Produção da planta etanol hidratado	200.000	litro/dia	Dias de safra		200
Produção de óleo fúsel na planta	2,50%	volume	5.000		litro/dia
Preço do etanol hidratado (2019)	R\$ 1,75	litro	Faturamento safra	R\$	70.000.000,00
Preço do óleo fúsel (2019)	R\$ 0,18	litro	Faturamento safra	R\$	180.000,00
Receita total etanol hidratado e venda de óleo fúsel				R\$	70.180.000,00

Fonte: Autor (2020).

O resultado financeiro de uma planta industrial com capacidade de produção efetiva 200.000 litros de etanol hidratado dia é de R\$ 70.180.000,00 com a venda do produto etanol hidratado e o coproduto óleo fúsel, tendo como base uma safra de 200 dias e o preço médio praticado no ano 2019. Seguindo a mesma linha de raciocínio, foi calculado o rendimento financeiro com a produção de etanol anidro. Levando-se em consideração as características da planta industrial, ou seja, 160.000 litros de etanol anidro/dia, a produção reduz, pois existe mais uma coluna de destilação (Coluna denominada C) e a mistura de solvente para desidratar a solução alcoólica e atingir o grau alcoólico estabelecido pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP.

Tabela 10 – Receita financeira de venda etanol anidro e de venda de óleo fúsel

Descrição	Volume	Unidade	Observação		
Produção da planta etanol anidro	160.000	litro/dia	Dias de safra		200
Produção de óleo fúsel na planta	2,50%	volume	4.000		litro/dia
Preço do etanol anidro	R\$ 1,93	litro	Faturamento safra	R\$	61.760.000,00
Preço do óleo fúsel	R\$ 0,18	litro	Faturamento safra	R\$	144.000,00
Receita total etanol anidro e venda de óleo fúsel				R\$	61.904.000,00

Fonte: Autor (2020).

Conforme a característica da planta industrial, tem-se como resultado financeiro o valor de R\$61.904.000,00 com a venda do produto etanol anidro e o coproduto óleo fúsel. Nos ensaios realizados em bancada de laboratório, foi possível observar que é possível adicionar até 0,5% de óleo fúsel com 34 e 14% de água, sem comprometer a qualidade do etanol, de modo a atender os parâmetros estabelecidos pela legislação em vigor. Assim, foram realizadas duas propostas de mistura em planta industrial:

- a) Mistura de 0,5% de óleo fúsel em toda produção de etanol hidratado ao longo da safra;
- b) Mistura de 0,5% de óleo fúsel em toda produção de etanol anidro ao longo da safra.

Para a proposta de misturar 0,5% de óleo fúsel no etanol hidratado, seguindo as mesmas condições operacionais da planta industrial, ou seja, volume de produção e eficiência, e venda do óleo fúsel misturado ao etanol hidratado, tem-se como receita financeira R\$ 70.494.000,00. Na tabela 11 encontram-se descritos os valores das receitas individuais.

Tabela 11 – Proposta de receita financeira com a venda do etanol hidratado, óleo fúsel e da mistura.

Descrição	Volume	Unidade	Observação		
Produção da planta etanol hidratado	200.000	litro/dia	Dias de safra		200
Produção de óleo fúsel na planta	2,00%	volume	4.000		litro/dia
Óleo fúsel adicionado no etanol	0,50%	volume	1.000		litro/dia
Preço do etanol hidratado	R\$ 1,75	litro	Faturamento safra	R\$	70.000.000,00
Preço do óleo fúsel	R\$ 0,18	litro	Faturamento safra	R\$	144.000,00
Etanol misturado (etanol + óleo fúsel)	R\$ 1,75	litro	Faturamento safra	R\$	350.000,00
Receita total etanol hidratado, venda de óleo fúsel e mistura				R\$	70.494.000,00

Fonte: Autor (2020).

Já para proposta de mistura com etanol anidro, utilizando o mesmo cenário da planta industrial e condições de trabalho, tem-se uma receita financeira de R\$62.184.000,00, conforme detalhado na tabela 12.

Tabela 12 – Proposta de receita financeira com a venda do etanol anidro, venda de óleo fúsel e mistura.

Descrição	Volume	Unidade	Observação	
Produção da planta etanol anidro	160.000	litro/dia	Dias de safra	200
Produção de óleo fúsel na planta	2,00%	volume	3.200	litro/dia
Óleo fúsel adicionado no etanol	0,50%	volume	800	litro/dia
Preço do etanol hidratado	R\$ 1,93	litro	Faturamento safra	R\$ 61.740.000,00
Preço do óleo fúsel	R\$ 0,18	litro	Faturamento safra	R\$ 115.200,00
Etanol misturado (etanol + óleo fúsel)	R\$ 1,93	litro	Faturamento safra	R\$ 308.800,00
Receita total etanol anidro, venda de óleo fúsel e mistura				R\$ 62.184.000,00

Fonte: Autor (2020).

Considerando as propostas de mistura e o valor praticado pelo mercado, é possível obter ganhos financeiros com a mistura do óleo fúsel no etanol hidratado e etanol anidro; como pode ser observado na tabela 13, a mistura entre o óleo fúsel e o etanol hidratado apresenta melhor resultado financeiro.

Tabela 13 – Resultado financeiro por safra 200 dias.

Produto e coproduto	Receita financeira safra 200 dias	
Etanol Hidratado e óleo fúsel	R\$	70.180.000,00
Etanol Anidro e óleo fúsel	R\$	61.904.000,00
Proposta 01: Etanol hidratado, óleo fúsel e mistura 0,5%	R\$	70.494.000,00
Proposta 02: Etanol anidro, óleo fúsel e mistura 0,5%	R\$	62.184.000,00

Fonte: Autor (2020).

Com a adição do óleo fúsel ao etanol hidratado, é possível obter-se o ganho de R\$314.000,00 por safra de 200 dias para uma planta industrial de capacidade produtiva de $200\text{m}^3\text{dia}^{-1}$. Segundo Lima (2011), o preço do etanol hidratado comprado pelas distribuidoras nas destilarias e usinas já inclui os impostos ICMS, PIS/Pasep e a Confins e com relação ao etanol anidro não há incidência do ICMS na operação de sua aquisição pelas distribuidoras nas destilarias e usinas.

Apesar do aumento significativo no faturamento da empresa, para a análise de investimento é importante considerar também os gastos gerados com a implantação do

sistema (R\$66.472,36 de acordo com a tabela 8) e os seus custos de operação e mão-de-obra anual. Nesse caso, para atender ao sistema será necessária a contratação de um funcionário, sendo que os gastos anuais (que incluem salário, impostos, férias, décimo terceiro, treinamentos e deslocamentos), baseados na média de salários pago para um colaborador com as características semelhantes na usina, totalizam R\$36.000,00 ano⁻¹. Ainda de acordo com os dados históricos coletados na empresa, estimou-se que o custo anual com eletricidade e manutenção para a operação das bombas será de, aproximadamente R\$4.000,00 ano⁻¹. Baseado nesses dados e no fato de que tanto os custos, quanto as receitas devem ter seus valores aumentados de acordo com a inflação e, portanto, não há necessidade de correção monetária anual e, considerando ainda a vida útil dos equipamentos e tanque de 10 anos - de acordo com a Instrução normativa SRF (Secretaria da Receita Federal) número 162, de 31 de dezembro de 1988 -, foi realizado o cálculo do VPL, que se encontra-se na Tabela 14.

Tabela 14 – Fluxo de Caixa e VPL (Valor Presente Líquido)

Ano	Investimento	Receita	Custo mão-de-obra	Custo de Manutenção	Fluxo de Caixa
0	-R\$ 66.472,36	R\$ -	R\$ -	R\$ -	-R\$ 66.472,36
1		R\$ 314.000,00	-R\$ 36.000,00	-R\$ 4.000,00	R\$ 274.000,00
2		R\$ 314.000,00	-R\$ 36.000,00	-R\$ 4.000,00	R\$ 274.000,00
3		R\$ 314.000,00	-R\$ 36.000,00	-R\$ 4.000,00	R\$ 274.000,00
4		R\$ 314.000,00	-R\$ 36.000,00	-R\$ 4.000,00	R\$ 274.000,00
5		R\$ 314.000,00	-R\$ 36.000,00	-R\$ 4.000,00	R\$ 274.000,00
6		R\$ 314.000,00	-R\$ 36.000,00	-R\$ 4.000,00	R\$ 274.000,00
7		R\$ 314.000,00	-R\$ 36.000,00	-R\$ 4.000,00	R\$ 274.000,00
8		R\$ 314.000,00	-R\$ 36.000,00	-R\$ 4.000,00	R\$ 274.000,00
9		R\$ 314.000,00	-R\$ 36.000,00	-R\$ 4.000,00	R\$ 274.000,00
10		R\$ 314.000,00	-R\$ 36.000,00	-R\$ 4.000,00	R\$ 274.000,00
		VPL			R\$ 1.770.432,54

Fonte: Autor (2020).

É possível verificar através da Tabela 14 que o investimento é altamente lucrativo, pois além de permitir que comece a ter retorno logo no primeiro ano, ainda totaliza um VPL, no horizonte de 10 anos, de R\$1.770.432,54, sendo, portanto, excelente alternativa de agregação de valor para parte do óleo fúsel gerado pela usina.

Adicionalmente, foi calculado o índice de lucratividade através do lucro líquido presumido da empresa (24%), sobre o valor final, onde estão incluídos todos os impostos e a oportunidade de ganho financeiro com a receita proveniente da venda do óleo fúsel misturado com o etanol, com o percentual de 0,5%, detalhado abaixo:

Aplicando a fórmula: Lucratividade = (lucro líquido/ receita total) x 100:

Lucratividade = $(R\$ 17.157.200,00 / R\$ 70.180.000) \times 100 = 24,44\%$ ao ano

Ou seja, um aumento na lucratividade da empresa de 0,44% por ano com safra de 200 dias, tornando a empresa mais competitiva e rentável no mercado.

4 CONCLUSÃO

Tendo em vista o baixo valor agregado do óleo fúsel de R\$ 0,18 por litro e sua forma atual de comercialização (como coproduto), foi observado grande potencial para utilização como aditivo em misturas com etanol anidro combustível e etanol hidratado combustível. Nos ensaios foram utilizados dois tipos de óleo fúsel: óleo fúsel bruto contendo 34% água (OF34) e óleo fúsel contendo 14% de água (OF14); nos dois casos, a utilização do coproduto como aditivo teve viabilidade técnica, porém existe restrições quanto ao percentual a ser adicionado.

Nos ensaios realizados com óleo fúsel OF34, a mistura se mostrou viável até o percentual de 0,50%, de modo a atender todas as restrições estabelecidas pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Acima deste percentual, obteve-se como variável crítica o teor alcoólico e a massa específica, pois há impacto direto devido ao teor de água no óleo fúsel utilizado na mistura. Em ambos os tipos de etanol utilizados (anidro e hidratado), o comportamento de variação teve a mesma singularidade.

Nos ensaios com óleo fúsel contendo 14% de água (OF14), a mistura se mostrou viável até o percentual de 0,25% de modo a atender todas as diretrizes estabelecidas pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Acima deste percentual, obteve-se como variável crítica a condutividade elétrica da mistura, que está diretamente ligada ao potencial corrosivo do combustível, que pode prejudicar as linhas de transferência de combustível nos veículos, causando possíveis depósitos no sistema de injeção. Sobre os tipos de etanol utilizados (anidro e hidratado), em ambos os casos, o comportamento de variação teve a mesma singularidade devido ao óleo fúsel concentrado.

Para o cálculo da viabilidade econômica, foi considerado o maior percentual da mistura permitido 0,5% óleo fúsel contendo 34% de água, tendo em vista otimizar o volume adicionado à mistura e o produto comercializado. Ponderando a característica da planta industrial avaliada, foi proposta a adaptação do ponto de mistura, sendo detalhado o cálculo do custo de implantação; diante do cenário analisado, concluímos que o melhor resultado financeiro foi ao adicionar o coproduto óleo fúsel ao etanol hidratado gerando uma receita financeira por safra de 200 dias no montante de R\$ 314.000,00, pagando já no primeiro ano de implantação o investimento de adaptação da planta industrial.

A utilização do óleo fúsel como aditivo no etanol combustível, mostra-se promissora e uma ótima forma de agregar valor ao coproduto, pois, incorporando-o ao etanol combustível em pequenas proporções, é possível realizar a comercialização do mesmo de forma que atenda a legislação em vigor.

REFERÊNCIAS

ABDALLA, A. N. *et al.* Prediction of emissions and performance of a gasoline engine running with fúsel oil–gasoline blends using response surface methodology. **Fuel**, Guildford, v. 253, p. 1-14, 2019.

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

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-10891**: Etanol hidratado combustível – determinação do pH – método potenciométrico. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

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: ABNT, 2016b.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-9866**: Etanol combustível – determinação da acidez total por titulação colorimétrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

AMORIM, H. V. *et al.* Scientific challenges of bioethanol production in Brazil. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Berlin, v. 91, n. 5, p. 1267, 2011.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Resolução ANP nº 7, de 22 fevereiro de 2016**. Brasília: ANP, 2016. Disponível em: <http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resol-anp/2016/fevereiro&item=ranp-7--2016&export=pdf>. Acesso em: 20 dez. 2019.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Resolução ANP nº 43, de 22 de dezembro de 2009**. Brasília: ANP, 2016. Disponível em: <http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resol-anp/2009/dezembro&item=ranp-43-2009>. Acesso em: 20 dez. 2019.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Resolução ANP nº 19, de 15 de abril de 2015. **Diário Oficial da União**: Seção 1, Brasília, DF, n. 73, p. 44, 17 abr. 2015. Disponível em: http://www.lex.com.br/legis_26687827_. Acesso em: 20 dez. 2019.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Resolução ANP nº 740, de 15 agosto de 2018**. Altera a resolução ANP nº 19, de 15 de abril de 2015, que regulamenta as especificações do etanol anidro combustível e do etanol hidratado combustível e as obrigações quanto ao controle da qualidade, no que se refere ao teor de metanol. Brasília: ANP, 2018. Disponível em: <http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resol-anp/2018/agosto&item=ranp-740-2018>. Acesso em: 20 dez. 2019.

ANTERO, R. V. P.; SILVA, D. B.; VALE, A. T. Balanço energético da produção de etanol a partir da cana-de açúcar e as-pectos da produção brasileira atual. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, Gurupi, Tocantins, v. 7, n. 3, p. 399-412, 2019.

AWAD, O. I. *et al.* Alcohol and ether as alternative fuels in spark ignition engine: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 82, p. 2586-2605, 2018a.

AWAD, O. I. *et al.* Calorific value enhancement of fúsel oil by moisture removal and its effect on the performance and combustion of a spark ignition engine. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 137, p. 86-96, 2017a.

AWAD, O. I. *et al.* Effects of fúsel oil water content reduction on fuel properties, performance and emissions of SI engine fueled with gasoline-fúsel oil blends. **Renewable Energy**, Oxford, v. 118, p. 858-869, 2018b.

AWAD, O. I. *et al.* Impact of fúsel oil moisture reduction on the fuel properties and combustion characteristics of SI engine fueled with gasoline-fúsel oil blends. **Renewable Energy**, Oxford, v. 123, p. 79-91, 2018c.

AWAD, O. I. *et al.* Performance, combustion characteristics and emission tests of single cylinder engine running on fúsel oil-diesel blended (F20) Fuel. **International Journal of Vehicle Structures & Systems (IJVSS)**, UK, v. 9, n. 3, 2017b.

AWAD, O. I. *et al.* Response surface methodology (RSM) based multi-objective optimization of fúsel oil-gasoline blends at different water content in SI engine. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 150, p. 222-241, 2017c.

AWAD, O. I. *et al.* The effect of adding fúsel oil to diesel on the performance and the emissions characteristics in a single cylinder CI engine. **Journal of the Energy Institute**, Oxford, v. 90, n. 3, p. 382-396, 2017d.

AWAD, O. I. *et al.* Using fúsel oil as a blend in gasoline to improve SI engine efficiencies: A comprehensive review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], v. 69, p. 1232-1242, 2017e.

AZANIA, A. A. P. M. *et al.* Fúsel oil as herbicide at late weed postemergence. **Planta Daninha**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 1, p. 231-236, 2008.

BERGER, R. G.; KRINGS, U.; ZORN, H. Biotechnological flavour generation. *In*: TAYLOR, A. J.; LINFORTH, R. S. T. (ed.). **Food flavour technology**. Oxford: Wiley-Blackwell, 2010. p. 89-115.

BÔAS, R. N. V. *et al.* Enzymatic synthesis of isopentyl caprylate using fúsel oil as feedstock. **Química Nova**, São Paulo, v. 40, n. 5, p. 541-547, 2017.

CALAM, A. Effects of the fúsel oil usage in HCCI engine on combustion, performance and emission. **Fuel**, Guildford, v. 262, p. 116503, 2020.

CALAM, A. *et al.* Investigation of usability of the fúsel oil in a single cylinder spark ignition engine. **Journal of the Energy Institute**, Oxford, v. 88, n. 3, p. 258-265, 2015.

CARDONA, Carlos Ariel; QUINTERO, Julián; PAZ, Izabel. Produção de bioetanol a partir de bagaço de cana: status e perspectivas. **Bioresource Technology**, Essex, v. 101, n. 13, p. 4754-4766, 2010.

CEPEA - CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. *Indicador semanal do etanol hidratado e anidro combustível CEPEA/ESALQ*. São Paulo: CEPEA, [2020]. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/indicador/etanol.aspx>. Acesso em: 14 jul. 2020.

CHANDEL, A. K. *et al.* Sugarcane bagasse and leaves: foreseeable biomass of biofuel and bioproducts. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, Oxford, v. 87, n. 1, p. 11-20, 2012.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DO ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar: SAFRA 2019/20**. Brasília: Conab, 2020. v. 7, n. 1: Primeiro Levantamento. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>. Acesso em: 15 jan. 2020.

CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO - CBGDP, 2011, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre, RS: [s. n.], 2011. v. 8.

DEMARTINI, F. J. **Agregação de valor a subprodutos da produção de etanol**: uma proposta de modelo de centro tecnológico para o Rio Grande do Sul. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2012.

DÖRMÖ, N. *et al.* Manufacture of an environmental-safe biolubricant from fúsel oil by enzymatic esterification in solvent-free system. **Biochemical Engineering Journal**, Amsterdam, v. 21, n. 3, p. 229-234, nov. 2004.

DOTANIYA, M. L. *et al.* Use of sugarcane industrial by-products for improving sugarcane productivity and soil health. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, Berlin, v. 5, n. 3, p. 185-194, 2016.

DUARTE, J. F. **Análise de viabilidade**: um caso para implementação de uma pequena empresa de tecnologia da informação em Florianópolis. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Contábeis) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011,

FERREIRA, M. C.; MEIRELLES, A. J. A.; BATISTA, E. A. C. Study of the fúsel oil distillation process. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, Washington, v. 52, n. 6, p. 2336-2351, 2013.

GARCIA, V. **Subproduto de destilaria de óleo fúsel**: caracterização da composição química e estudo de sua aplicação industrial. 2008. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Processos Químicos e Bioquímicos) - Escola de Engenharia de Mauá, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2008.

GUEDES, Carmen Luisa Barbosa *et al.* Avaliação de biocombustível derivado do bio-óleo obtido por pirólise rápida de biomassa lignocelulósica como aditivo para gasolina. **Química Nova**, São Paulo, v. 33, n. 4, p. 781-786, 2010.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Portaria nº 124, de 1 de agosto de 2005**. Brasília: Inmetro, 2005. Disponível em: http://inmetro.gov.br/legislacao/detalhe.asp?seq_classe=2&seq_ato=7155. Acesso em: 20 dez. 2019.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Portaria Inmetro/Dimel nº 206, 27 de setembro de 2019**. Brasília: Inmetro, 2019. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/pam/pdf/PAM007008.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2019.

KLEIN, B. C. *et al.* Beyond ethanol, sugar, and electricity: a critical review of product diversification in Brazilian sugarcane mills. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, Chichester, v. 13, n. 3, p. 809-821, 2019.

KOHLHEPP, G. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 24, n. 68, p. 223-253, 2010.

LAMMERS, P. J. *et al.* Review of the cultivation program within the National Alliance for Advanced Biofuels and Bioproducts. **Algal Research**, Amsterdam, v. 22, p. 166-186, 2017.

LAPONNI, Juan Carlos. **Projetos de Investimento na empresa**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

LAZZARINI, C. M. C. **Modelagem e otimização da produção em usinas de açúcar e álcool**. 2012. 223 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

LIBERATI, A. *et al.* The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. **Annals of Internal Medicine**, Philadelphia, v. 151, n. 4, p. W65-W94, 2009.

LIMA, M. P.; CASTRO, M. C. G. A produção da cana-de-açúcar no Brasil-uma análise dos impactos socio-econômicos. *In*: SEMINÁRIO DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO, ENSINO E EXTENSÃO, 2016, Anápolis. **Anais [...]**. Anápolis: UEG 2016. v. 2, n. 1.

LIMA, Nilton Cesar. **A formação dos preços do etanol hidratado no mercado brasileiro de combustíveis**. 2011. Tese (Doutorado) -Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

LOARIE, S. R. *et al.* Impactos diretos no clima local da expansão da cana no Brasil. **Nature Climate Change**, London, v. 1, n. 2, p. 105, 2011.

MARTINS, C. R.; LOPES, W. A.; ANDRADE, J. B. Solubilidade das substâncias orgânicas. **Química Nova**, São Paulo, v. 36, p. 1248-1255, 2013.

MAYER, F. D.; HOFFMANN, S. R.; HOFFMANN, R. An innovative project involving an appropriate hybrid distillation system for small-scale ethanol fuel production. **Chemical Engineering Communications**, Philadelphia, v. 200, p. 563-574, 2013.

MONTOYA, N. *et al.* Colombian fúsel oil. **Ingeniería e Investigación**, Bogota, v. 36, n. 2, p. 21-27, 2016.

- MOREIRA, M. G.; BOIZIO, R. C. Análise comparativa dos custos de cana-de-açúcar: produção independente x usina de açúcar e álcool. **Custos e @gronegocio on line**, Recife, v. 8, n. 2, p. 84-99, abr./jun. 2012.
- OLIVEIRA, M. W. *et al.* Produção e qualidade de três variedades de cana-de-açúcar cultivadas no nordeste de Minas Gerais. **Revista Ciência Agrícola**, Rio Largo, v. 12, n. 1, p. 17-20, 2015.
- PATIL, A.; KOOLWAL, S. M.; BUTALA, H. D. Fúsel oil: composition, removal and potential utilization. **International Sugar Journal**, Glamorgan, v. 104, n. 1238, p. 51-58, 2002.
- PEDROZA, J. J. M. *et al.* Optimization of a fúsel oil separation system using a dividing wall column. *In*: GERNAEY, Krist V.; HUUSOM, Jakob K.; GANI, Rafiqul (ed.). INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PROCESS SYSTEMS ENGINEERING, 12.; EUROPEAN SYMPOSIUM ON COMPUTER AIDED PROCESS ENGINEERING, 25., 2015, Copenhagen. **Anais [...]**. Copenhagen: Elsevier, 2015. v. 37, p. 1031-1036.
- PÉREZ, E. R.; CARDOSO, D. R.; FRANCO, D. W. Análise dos álcoois, ésteres e compostos carbonílicos em amostras de óleo fúsel. **Química Nova**, São Paulo, n. 1, v. 24, p. 10-12, 2001.
- PERISSÉ, A. R. S.; GOMES, M. M.; NOGUEIRA, S. A. Revisões sistemáticas (inclusive metanálises) e diretrizes clínicas. *In*: GOMES M. M. (org.). **Medicina baseada em evidências: princípios e práticas**. Rio de Janeiro: Reichmann & Affonso, 2001. p. 131-148.
- POUR, A. H.; ARDEBILI, S. M. S.; SHEIKHDAVOODI, M. J. Multi-objective optimization of diesel engine performance and emissions fueled with diesel-biodiesel-fúsel oil blends using response surface method. **Environmental Science and Pollution Research**, Berlin, v. 25, n. 35, p. 35429-35439, 2018.
- QIAN, Y. *et al.* Experimental studies on combustion and emissions of RCCI fueled with n-heptane/alcohols fuels. **Fuel**, Guildford, v. 162, p. 239-250, 2015.
- REIN, P. *et al.* **Engenharia de cana-de-açúcar**. Berlin: Verlag Dr. Albert Bartens KG, 2016. p. 465 – 474.
- ROCHA, R. L.; PANDOLFI, M. A. C. Geração de resíduos no setor sucroalcooleiro. **Revista Interface Tecnológica**, Taquaritinga, v. 16, n. 1, p. 384-392, 2019.
- ROSS, Stephen; WESTERFIELS, Raandolph W.; JAFFE, Jeffrey F. **Administração financeira**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- SANTOS, F. A. *et al.* Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Química Nova**, São Paulo, v. 35, n. 5, p. 1004-1010, 2012.
- SANTOS, Edno Oliveira dos. **Administração financeira da pequena e média empresa**. São Paulo: Atlas, 2001.
- SILVA, Edson Cordeiro da. **Como administrar o fluxo de caixa das empresas**. São Paulo: Atlas, 2005.

SINDHU, R. *et al.* Bioconversion of sugarcane crop residue for value added products—An overview. **Renewable Energy**, Oxford, v. 98, p. 203-215, 2016.

SIZOV, A.; KRUPNOV, I.; MELEDINA, T. Intensification of higher alcohols biosynthesis—an advanced feedstock for biofuel production. **Energy Procedia**, Amsterdam, v. 113, p. 333-338, 2017.

SOLMAZ, H. Combustion, performance and emission characteristics of fúsel oil in a spark ignition engine. **Fuel Processing Technology**, Amsterdam, v. 133, p. 20-28, 2015.

TEIXEIRA, A. H. C. *et al.* Sugarcane Water Productivity Assessments in the São Paulo state, Brazil. Embrapa Territorial-Artigo em periódico indexado. **International Journal of Remote Sensing Applications**, UK, v. 6, p. 84-95, 2016.

TRAN, T. T. V. *et al.* Selective production of green solvent (isoamyl acetate) from fúsel oil using a sulfonic acid-functionalized KIT-6 catalyst. **Molecular Catalysis**, Amsterdam, v. 484, mar. 2020.

URRESTA, J. D. Deshidratacion de los alcoholes presentes en el aceite fúsel y su conversión en alquenos empleando una zeolita tipo HZSM-5. **Ingeniería y Competitividad**, Cali, v. 16, n. 2, p. 79-90, 2014.

UYUMAZ, A. *et al.* Experimental examination of the effects of military aviation fuel JP-8 and biodiesel fuel blends on the engine performance, exhaust emissions and combustion in a direct injection engine. **Fuel Processing Technology**, Amsterdam, v. 128, p. 158-165, 2014.

VERÃO, J. A.; COSTA, J. S.; FOREST, R. Expansão da produção da cana-de-açúcar no Mato Grosso do Sul: uma análise do modelo shift-share. **Revista Teoria e Evidência Econômica**, Passo Fundo, v. 22, n. 46, 2016.

XU, Y. *et al.* Assessment of alternative fuel and powertrain transit bus options using real-world operations data: Life-cycle fuel and emissions modeling. **Applied Energy**, London, v. 154, p. 143-159, 2015.

YILMAZ, E. Investigation of the effects of diesel-fúsel oil fuel blends on combustion, engine performance and exhaust emissions in a single cylinder compression ignition engine. **Fuel**, Guildford, v. 255, p. 115741, 2019.

YUSUF, K. A.; CALDARELLI, C. E. Novos desafios para a agroindústria canavieira no Brasil. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v. 27, n. 2, p. 55, 2018.

ZAHARIN, M. S. M. *et al.* Evaluation on physicochemical properties of iso-butanol additives in ethanol-gasoline blend on performance and emission characteristics of a spark-ignition engine. **Applied Thermal Engineering**, Oxford, v. 144, p. 960-971, 2018.

ANEXOS

ANEXO A

Tabela V – Especificações do EAC, do EHC e do EHCP1 RANP 19, de 20/04/2015.

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE			MÉTODO	
		EAC	EHC	EHCP2	NBR	ASTM/EM/ISO
Aspecto 3	-	Límpido e Isento de Impurezas (LII)				Visual
Cor	-	4		5		Visual
Acidez total, máx. (em miligramas de ácido acético)	mg/L		30		9866 16047	ISO 17315
Condutividade elétrica, máx.6	µS/m		300		10547	ISO 17308
Massa específica a 20°C.7	kg/m ³	791,5 máx.	805,2 a 811,2	799,7 a 802,8	5992 15639	D4052
Teor alcoólico7,8,9	% massa	99,3 mín.	92,5 a 94,6	95,5 a 96,5	5992 15639	-
Potencial hidrogeniônico (pH)	-	-	6,0 a 8,0		10891	-
Teor de etanol, mín.10	% volume	98,0	94,5	96,3	16041	DD5501
Teor de água, máx.10	% massa	0,7	7,5	4,5	15531 15888	E203 E1064
Resíduo por evaporação, máx.12,13	mg/100mL		5		8644	-
Teor de hidrocarbonetos, máx.12	% volume		3		13993	-
Teor de cloreto, máx.14	mg/kg		1		10894	D7328 D7319
Teor de sulfato, máx.15	mg/kg		4		10894	D7328 D7319
Teor de ferro, máx.15	mg/kg		5		11331	-
Teor de sódio, máx.15	mg/kg		2		10422	-
Teor de cobre, máx.16	mg/kg	0,07		-	11331	-
Teor de enxofre, máx.17,18	mg/kg		Anotar		-	D5453 EN15485 EN15486 EN15837
Teor de metanol, máx. 21, 22 *	% volume		0,5		16041	1388-8

Fonte: ANP (2018).

*Redação dada pela Resolução ANP nº 740 de 15.8.2018 - DOU 16.8.2018 - Efeitos a partir de 16.8.2018

1. A ANP poderá acrescentar características adicionais, métodos complementares ou impor novos limites às especificações dispostas nas Tabelas V e VI deste Regulamento Técnico, para o caso de Etanol Combustível produzido a partir de matéria-prima distinta ao caldo ou melaço de cana-de-açúcar ou a partir de processos distintos ao da rota fermentativa.
2. No Certificado da Qualidade deverá ser indicada a nomenclatura Etanol Hidratado Combustível Premium, quando os resultados das análises atenderem aos limites de

especificação do EHCP.

3. O produto só poderá ser considerado reprovado no Aspecto, caso o parâmetro resíduo por evaporação estiver não conforme. Alternativamente, o parâmetro resíduo por evaporação pode ser substituído pelo teor de material não volátil, segundo a norma ABNT NBR 15559: Etanol combustível - Determinação do teor de material não volátil por evaporação, sendo aceito o limite de 5 mg/100mL.
4. Laranja após adição do corante especificado segundo a Tabela VII deste Regulamento Técnico.
5. Não pode apresentar as colorações laranja e azul, restritas ao EAC e à gasolina de aviação, respectivamente.
6. O Limite de 300 $\mu\text{S/m}$ entrará em vigor a partir de 1º de julho de 2015. Até 30 de junho de 2015, fica o valor máximo de 389 $\mu\text{S/m}$.
7. Para o caso de EHC e de EHCP certificado após transporte dutoviário ou aquaviário e no caso de produto importado, o limite para massa específica e teor alcoólico deve atender os valores constantes na Tabela VI.
8. A unidade °INPM é equivalente à unidade % massa para o teor alcoólico.
9. Para o cálculo do teor alcoólico, deve ser considerado o valor da massa específica com apenas uma casa decimal. Aplicar a regra de arredondamento determinada na norma NBR 5891.
10. Análise obrigatória para produto importado e quando houver suspeita de contaminação ou por solicitação da ANP.
11. A Norma ASTM E1064 somente poderá ser utilizada para o Etanol Anidro Combustível.
12. Análise obrigatória para produto importado e em caso de Etanol Combustível proveniente de transporte dutoviário ou aquaviário, o que não isenta de responsabilidade os agentes econômicos em atender o limite previsto na especificação nos casos em que o etanol não for transportado por estes modais.
13. No caso de Etanol Combustível aditivado, a determinação da característica resíduo por evaporação deverá ser conduzida conforme procedimento 2 da norma ABNT NBR 8644.
14. Análise obrigatória em caso de Etanol Combustível proveniente de transporte aquaviário por navegação marítima, o que não isenta de responsabilidade cada agente econômico que comercializa o combustível em atender o limite previsto na especificação ao longo de toda cadeia.
15. Análise obrigatória para produto importado. No caso de produção nacional, análise de periodicidade mensal e obrigatória apenas para o EHC e EHCP, o que não isenta a responsabilidade por parte do Fornecedor de Etanol Combustível e demais agentes da cadeia em atender o limite previsto na especificação para o Etanol Anidro Combustível.
16. Análise obrigatória para produto importado. No caso de produção nacional, análise de

periodicidade mensal e obrigatória somente quando o Etanol for produzido, armazenado ou transportado em equipamentos ou linhas que contenham ligas metálicas compostas por cobre.

17. Análise obrigatória para produto importado. No caso de produção nacional, análise de periodicidade trimestral.

18. A análise teor de enxofre passará a ser obrigatória a partir de 1º de julho de 2015.

19. A cadeia de distribuição e revenda também deverá atender aos limites estabelecidos na Tabela V, nos parâmetros não exigidos no Boletim de Conformidade.

20. A absorvância, que deve ser determinada em amostra contendo 15 mg/L do corante em EAC, e a solubilidade devem ser avaliadas considerando procedimento descrito no Formulário para Registro de Corante para Etanol Anidro Combustível, o qual se encontra disponível no sítio da ANP: <http://www.anp.gov.br>

21. Proibida a adição. Métodos que identifiquem a presença de metanol com base na norma ISO 1388-8, bem como outro(s) método(s) que venha(m) a ser normalizado(s) para detecção de metanol no etanol podem ser utilizados. Caso seja utilizada a norma ISO 1388-8, qualquer mudança de coloração de incolor para azul no tubo de ensaio da amostra - indicativo da presença de metanol - ou ainda a obtenção de resultados inconclusivos exige a confirmação pelo método cromatográfico ABNT NBR 16041. (Redação dada pela Resolução ANP nº 740 de 15.8.2018 - DOU 16.8.2018 - Efeitos a partir de 16.8.2018)

22. Caso o Fornecedor de Etanol Combustível opte por não realizar a análise de metanol pelo(s) método(s) indicado(s), deverá deixar em branco o campo "Resultado" do Certificado de Qualidade e declarar expressamente que o etanol combustível contém teor de metanol abaixo do limite da especificação, de 0,5% de volume, e que assume toda e qualquer responsabilidade pelo não atendimento à especificação. (Acrescentado pela Resolução ANP nº 740 de 15.8.2018 - DOU 16.8.2018 - Efeitos a partir de 16.8.2018)