

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO  
GRANDE DO NORTE

DANIELLE DOMINGOS DA SILVA MARQUES

**PRODUÇÃO DE BIODIESEL RESIDUAL DE CANOLA E ANÁLISE DE  
APLICABILIDADE CONSIDERANDO TESTES COMPARATIVOS COM  
PROPORÇÕES DE MISTURA – B13, B20, B30 E B40 – E DIESEL S10 EM  
MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA CICLO DIESEL**

NATAL

2022

DANIELLE DOMINGOS DA SILVA MARQUES

**PRODUÇÃO DE BIODIESEL RESIDUAL DE CANOLA E ANÁLISE DE APLICABILIDADE CONSIDERANDO TESTES COMPARATIVOS COM PROPORÇÕES DE MISTURA – B13, B20, B30 E B40 – E DIESEL S10 EM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA CICLO DIESEL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (PPGUSRN/IFRN), em cumprimento às exigências legais como requisito à obtenção do título de Mestra em Ciências Ambientais.

Orientador: André Luiz Lopes Toledo

NATAL

2022

Marques, Danielle Domingos da Silva.

M357p Produção de biodiesel residual de canola de canola e análise de aplicabilidade considerando testes comparativos com proporções de mistura – b13, b20, b30 e b40 – e diesel s10 em motor de combustão interna ciclo diesel / Danielle Domingos da Silva Marques. – 2023.  
166 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, 2023.  
Orientador: Prof. Dr. André Luiz Lopes Toledo.

1. Produção de biodiesel residual – Biocombustível. 2. Impactos ambientais – Sustentabilidade. 3. Gases de emissão. 4. Análise de aplicabilidade. I. Título.

CDU 662:502.131.1

DANIELLE DOMINGOS DA SILVA MARQUES

**PRODUÇÃO DE BIODIESEL RESIDUAL DE CANOLA E ANÁLISE DE APLICABILIDADE CONSIDERANDO TESTES COMPARATIVOS COM PROPORÇÕES DE MISTURA – B13, B20, B30 E B40 – E DIESEL S10 EM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA CICLO DIESEL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (PPGUSRN/IFRN), em cumprimento às exigências legais como requisito à obtenção do título de Mestra em Ciências Ambientais.

Aprovado em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof Dr. André Luiz Lopes Toledo – Orientador  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

---

Prof Dr. Gabriel Constantino de Lima – Avaliador interno  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

---

Prof Dr. Renato Samuel Barbosa de Araújo – Avaliador externo  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

*Dedico essa presente dissertação, primeiramente, a minha filhinha, Luma. Por me acalmar e me amar em todos os momentos. Por ela busco a cada dia ser melhor, ser sua principal fonte de referência um dia. Ao bebê, ainda na minha barriga, por me fazer superar meus limites e desafiar um momento de tamanha dedicação a ser realizado com toda a minha intensidade.*

*Dedico também a todos aqueles que me apoiaram e me incentivaram durante essa nova etapa que tanto almejei um dia, em especial, ao meu companheiro Marcelo Marques, por todas as horas que passou e se dedicou em me ajudar, incentivar, acompanhar, estar ao lado, e, até mesmo, me encorajar. Você foi a peça-chave, a parte fundamental e essencial no desenvolvimento e conclusão da minha pesquisa.*

*Dedico também aos meus pais. À minha mãe, Janira Lemos por me apoiar e até mesmo abdicar de vários dias, durante a semana e até os finais de semana, para auxiliar nos cuidados com minha filhinha enquanto estive realizando as pesquisas e ensaios laboratoriais.*

*E ao, meu pai, Marcio Domingos, que mesmo na distância física, cabendo salientar – mais de 2.700km de distância – sempre acreditou em meu potencial.*

*Meu singelo agradecimento a todos vocês que tanto me incentivaram durante minha jornada acadêmica.*

*Com carinho,*

*Danielle Domingos da Silva Marques*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que participaram, seja de forma direta ou indireta, durante minha produção acadêmica. Em especial, ao professor e responsável pelo Laboratório de Motores (LabMotor) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Marcelo de Souza Marques, por disponibilizar o espaço necessário, pela prestação, atenção em me permitir realizar minhas atividades práticas, por possibilitar que os ensaios fossem realizados da melhor maneira possível sempre com o seu suporte, apoio e inúmeras horas de discussão sobre os resultados obtidos, não medir esforços para a realização da pesquisa e contribuir de maneira inigualável, única e diferenciada, além da clara maestria em transmitir informações fundamentais à cerca da minha pesquisa, principalmente no domínio profundo, excepcional e exemplo de referência no que diz respeito aos Motores de Combustão Interna, seus componentes e os combustíveis utilizados durante a pesquisa, e acrescento, ainda, por ser um grande incentivador e desenvolvedor do pensamento crítico e pesquisador. À professora Klismeryane Costa de Melo, responsável pelo laboratório de Petróleo e Gás, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, por todos os momentos de atenção e ensinamentos acerca dos ensaios de caracterização que precisei realizar. Além, também, das conversas fundamentais e esclarecedoras sobre o processo de produção do óleo. Ao professor Cleiton Rubens Formiga Barbosa, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, ao disponibilizar o equipamento necessário para compor as análises do presente estudo. À técnica Luciana, do laboratório de materiais, da DIAREN, por toda assistência durante a realização dos ensaios morfológicos do material particulado e a posterior disponibilização dos registros obtidos. Ao técnico Ednésio Jales da Silva, da DIACIN, pelos registros realizados e suporte oferecido nos ensaios. Agradeço, também, ao futuro engenheiro eletricitista, Lucas Torres Marques, pela ajuda, suporte e auxílio nas análises e configurações relacionadas às vibrações e sinais. Agradeço ao professor orientador, André Luiz Lopes Toledo, pelas divagações relacionados à pesquisa. Agradeço aos professores Renato Samuel Barbosa de Araújo e Gabriel Constantino de Lima que foram os avaliadores de minha pesquisa durante a qualificação e na defesa, contribuindo de maneira essencial para o melhoramento do estudo realizado.

*“O sucesso das várias ações de mitigação e adaptação depende do grau de comprometimento do tomador de decisão e da sociedade no esforço para reduzir emissões de gases de efeito estufa e dos impactos decorrentes da mudança do clima. Por isso, é importante ter conhecimento da região na qual a tomada de decisão será aplicada, das suas vulnerabilidades e dos possíveis impactos que poderão a afetar.”*

**Autor desconhecido**

## RESUMO

Em meio às intensas alterações climáticas devido, principalmente, às ações antrópicas, a busca por meios que possam representar alternativas sustentáveis e de menor impacto ambiental ao uso exacerbado da maior fonte poluidora, o petróleo, têm se tornado cada vez mais intensificadas nas últimas décadas. É sabido que o setor de transporte é responsável por uma das maiores emissões de gases poluentes e fuligem na atmosfera. De maneira a causar inúmeros danos na esfera ambiental, como um todo, e de todos aqueles que dependem do meio ambiente equilibrado. Diante dessa preocupação com a qualidade e estabilidade ambiental, o biodiesel se apresenta como uma proposta mais limpa, renovável e biodegradável que pode ser utilizada com motores de ciclo Diesel, sem demandar alterações no veículo a receber esse tipo de combustível. E com o intuito de oferecer uma alternativa de destino consciente do óleo vegetal, que diariamente é utilizado em residências e comércios, surge a produção de um biodiesel residual. Nesse sentido, o trabalho apresenta uma análise comparativa de características fundamentais, dos gases de emissão e material particulado utilizando-se *diesel* convencional e biodiesel residual de canola, cuja nomenclatura científica é *Brassica napus*, em Motor de Combustão Interna (MCI) com a finalidade de avaliar a aplicabilidade do biodiesel produzido como alternativa a ser utilizado em motogerador de ciclo *Diesel*. Para isso, os combustíveis foram ensaiados em motogerador modelo MDGT-6500CLE, da marca Motomil 4T, movido a combustível *diesel*. As análises foram realizadas tendo como base os resultados obtidos através dos ensaios práticos. O biodiesel produzido e analisado apresentou as seguintes taxas de mistura: 13% (B13), 20% (B20), 30% (B30), 40% (B40) e 100% (B100). Sendo o último biodiesel, B100, apenas para determinadas observações. Foi notado que, de maneira geral, o biodiesel apresentou comportamento semelhante ao diesel convencional na maioria dos ensaios e testes realizados. Todavia, o biocombustível destacou-se quanto a clara diminuição de gases de emissão à medida que a taxa de mistura foi elevada, além, também, apresentar resultado idêntico ao Diesel convencional quando submetido ao ensaio de corrosividade, sem demonstrar nenhum sinal de ataque à lâmina de cobre. E, ainda, foi percebido que todas as amostras de biodiesel residual expuseram comportamento semelhante ao Diesel S10 no que concerne ao perfil de vibrações provocadas pela ignição.

**Palavras-chaves:** energia; biodiesel; gases de emissão; material particulado; meio ambiente; óleo de fritura.

## ABSTRACT

In the midst of intense climate change, mainly due to anthropic actions, the search for means that may represent sustainable alternatives with less environmental impact to the exacerbated use of the biggest polluting source, oil, has become increasingly intensified in recent decades. It is known that the transport sector is responsible for one of the largest emissions of polluting gases and soot in the atmosphere. In order to cause countless damages in the environmental sphere, as a whole, and to all those who depend on a balanced environment. Given this concern with quality and environmental stability, biodiesel presents itself as a cleaner, renewable and biodegradable proposal that can be used with Diesel cycle engines, without requiring changes in the vehicle to receive this type of fuel. And with the aim of offering an alternative for the conscious destination of vegetable oil, which is used daily in homes and businesses, the production of a residual biodiesel appears. In this sense, the work presents a comparative analysis of fundamental characteristics, emission gases and particulate matter using conventional diesel and canola residual biodiesel, whose scientific nomenclature is *Brassica napus*, in Internal Combustion Engine (ICM) with the purpose of to evaluate the applicability of biodiesel produced as an alternative to be used in diesel cycle motor generators. For this, the fuels were tested in a motogenerator model MDGT-6500CLE, brand Motomil 4T, powered by diesel fuel. The analyzes were carried out based on the results obtained through practical tests. The biodiesel produced and analyzed presented the following mixing ratios: 13% (B13), 20% (B20), 30% (B30), 40% (B40) and 100% (B100). Being the last biodiesel, B100, only for certain observations. It was noted that, in general, biodiesel showed similar behavior to conventional diesel in most of the trials and tests carried out. However, the biofuel stood out in terms of the clear decrease in emission gases as the mixing rate was increased, in addition to also presenting an identical result to conventional Diesel when subjected to the corrosivity test, without showing any sign of attack on the blade. copper. And yet, it was noticed that all samples of residual biodiesel exhibited behavior similar to Diesel S10 with regard to the profile of vibrations caused by ignition.

**Keywords:** energy; biodiesel; emission gases; particulate matter; environment; frying oil.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Frações básicas de refinação do petróleo e suas respectivas aplicações.....	22
Figura 2 – Representação das possíveis doenças e alterações corporais que estão relacionadas à qualidade do ar.....	41
Figura 3 – Aparato elétrico BCR – Banco de Carga Resistiva.....	48
Figura 4 – Motogerador.....	49
Figura 5 – Representação da ligação elétrica motogerador-carga resistiva.....	49
Figura 6 – Processo de lavagem do biodiesel.....	52
Figura 7 – Fluxograma do processo de formação do biodiesel.....	53
Figura 8 – Balança de precisão modelo AD500S.....	57
Figura 9 – a) Bombona polimérica de 5L utilizada na pesquisa; b) registro adaptado à bombona para saída do combustível.....	57
Figura 10 – Analisador de Gases, da Tecnomotor, TM 131.....	58
Figura 11 – Estufa modelo Q317M-23, fabricada pela Quimis.....	59
Figura 12 – a) Detalhe da fixação da câmara de desaceleração no início do coletor de escapamento; b) Posicionamento do material têxtil no interior da câmara de desaceleração.....	60
Figura 13 – MEV.....	61
Figura 14 – Sensor de detonação NTK.....	61
Figura 15 – Osciloscópio, computador e interface utilizada durante o ensaio.....	62
Figura 16 – Fluxograma simplificado das fases de produção da pesquisa.....	69
Figura 17 – Óleo residual, submetido a filtragem inicial, antes de ser submetido a reação de transesterificação.....	76
Figura 18 – Biodiesel residual produzido após etapa de secagem do óleo.....	77
Figura 19 – pH neutro do biodiesel residual produzido.....	79
Figura 20 – Diagrama de Pourbaix do sistema Cu-O-S.....	84
Figura 21 – Padrão de lâminas que podem ser obtidas após ensaio em lâmina de cobre.....	84
Figura 22 – Lâminas de cobre antes de serem inseridas em óleo para a realização do ensaio conforme ASTM D130.....	85
Figura 23 – Lâminas de cobre após a realização do ensaio conforme ASTM D130 e ainda mergulhadas em óleo.....	85

Figura 24 – Amostras de cobre submetidas às diferentes taxas de biodiesel e diesel após descanso de 30h de descanso, sob temperatura ambiente.....	87
Figura 25 – Classificação, tamanho e fonte dos materiais particulados atmosféricos....	111
Figura 26 – a) Amostra morfológica do material têxtil virgem sob aumento de 500x; b) Amostra morfológica do material têxtil S10 sob aumento de 500x; c) Amostra morfológica do material têxtil B13 sob aumento de 500x; d) Amostra morfológica do material têxtil B20 sob aumento de 500x; e) Amostra morfológica do material têxtil B30 sob aumento de 500x; f) Amostra morfológica do material têxtil B40 sob aumento de 500x.....	112
Figura 27 – a) Amostra morfológica do material têxtil virgem sob aumento de 10000x; b) Amostra morfológica do material têxtil S10 sob aumento de 10000x; c) Amostra morfológica do material têxtil B13 sob aumento de 10000x; d) Amostra morfológica do material têxtil B20 sob aumento de 10000x; e) Amostra morfológica do material têxtil B30 sob aumento de 10000x; f) Amostra morfológica do material têxtil B40 sob aumento de 10000x.....	113

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Frações destiladas e faixa de destilação dos produtos do petróleo.....	23
Tabela 2 – Características do motorgerador MDGT-6500CLE Motomil.....	50
Tabela 3 – Tipos e proporções de combustíveis observadas e analisadas no estudo.....	55
Tabela 4 – Dos ensaios realizados, suas respectivas normas e descrições.....	63
Tabela 5 – Descrição das análises também realizadas durante a pesquisa e suas respectivas descrições.....	64
Tabela 6 – Especificações mínimas e limites para as variáveis a serem analisadas no Analisador de Gases Tecnomotor TM13.....	65
Tabela 7 – Especificações necessárias para avaliação da qualidade do biodiesel.....	65
Tabela 8 - Caracterização do rendimento obtido para a produção do biodiesel residual através do método Christoff (2006).....	80
Tabela 9 – Caracterização do rendimento obtido para a produção do biodiesel residual através do método Silva Marques (2022).....	81
Tabela 10 – Níveis de corrosão conforme das amostras, após o ensaio de corrosividade, conforme a norma ASTM D130.....	86
Tabela 11 – Potência mecânica consumida por combustível ensaiado.....	87
Tabela 12 – Caracterização do consumo através da massa consumida e o tempo.....	88
Tabela 13 – Temperaturas obtidas para o Ponto de Fulgor e Ponto de Combustão após a realização do devido ensaio.....	91
Tabela 14 – Média obtida dos gases analisados e temperatura após batelada de 5 análises com cada amostra de combustível.....	94
Tabela 15 – Análise da pesagem das amostras de elemento têxtil virgem, antes e após submissão em processo de secagem.....	106
Tabela 16 – Perda de peso do material têxtil por voláteis comparado ao seu peso inicial.....	107
Tabela 17 - Análise da pesagem dos elementos têxtil, antes e após a queima dos combustíveis avaliados.....	107

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Análise visual dos rendimentos das amostras de biodiesel residual através do método Christoff (2006) e o método Silva Marques (2022).....	82
Gráfico 2 – Consumo específico obtido no motogerador com a utilização de cada tipo de biodiesel residual.....	88
Gráfico 3 – Análise visual das temperaturas obtidas para PF e PC utilizando cada tipo de combustíveis observado.....	91
Gráfico 4 – Análise visual dos gases emitidos através da combustão das amostras em análise.....	96
Gráfico 5 – Análise visual da emissão de hidrocarbonetos nas amostras de combustível em estudo.....	97
Gráfico 6 – Sinal no domínio do tempo para o combustível S10.....	99
Gráfico 7 – FFT do sinal no domínio do tempo para o motogerador consumindo combustível de controle S10.....	100
Gráfico 8 – Sinal do acelerômetro no domínio do tempo para combustão do combustível B13.....	101
Gráfico 9 - FFT para o motogerador consumindo combustível B13.....	101
Gráfico 10 – Sinal do acelerômetro no domínio do tempo para combustão do combustível B20.....	102
Gráfico 11 – FFT para o motogerador consumindo combustível B20.....	102
Gráfico 12 – Sinal do acelerômetro no domínio do tempo para combustão do combustível B30.....	103
Gráfico 13 – FFT para o motogerador consumindo combustível B30.....	104
Gráfico 14 – Sinal do acelerômetro no domínio do tempo para combustão do combustível B40.....	104
Gráfico 15 – FFT para o motogerador consumindo combustível B40.....	105
Gráfico 16 - Temperatura dos gases de exaustão na saída do escapamento.....	108
Gráfico 17 – Perda de peso do material têxtil.....	109
Gráfico 18 – Percentual de MP acumulado no elemento têxtil. ....	109

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	16
1.1	OBJETIVO GERAL.....	18
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
1.3	JUSTIFICATIVA.....	18
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	20
2.1	PETRÓLEO: ORIGEM, CONCEITOS GERAIS, CARACTERÍSTICAS E SUBPRODUTOS.....	20
2.2	DIESEL E BIODIESEL: CONCEITOS GERAIS, CARACTERÍSTICAS, VANTAGENS E DESVANTAGENS.....	24
2.3	DOS EFEITOS DA EMISSÃO DE GASES E MATERIAL PARTICULADO PROVENIENTES DA QUEIMA DOS COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS – DIESEL.....	34
2.4	MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA: CONCEITOS INTRODUTÓRIOS E CICLO DIESEL.....	42
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	45
3.1	METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS GERAIS.....	45
3.2	DO PRÉ-ENSAIO: APARATO ELÉTRICO FUNDAMENTAL.....	47
3.3	PRODUÇÃO DO BIODIESEL RESIDUAL.....	51
3.4	PREPARAÇÃO DO MOTOGERADOR PARA A REALIZAÇÃO DOS TESTES.....	56
3.4.1	Medição do Consumo de Combustível.....	56
3.4.2	Medição dos Gases de Combustão e Material Particulado.....	58
3.4.3	Medição da Vibração Mecânica.....	61
3.5	DOS ENSAIOS REALIZADOS NO BIODIESEL RESIDUAL E DIESEL S10.....	62
3.6	FASES DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA.....	67
3.7	DAS PRODUÇÕES TÉCNICAS.....	70
3.8	DO PRODUTO TÉCNICO TECNOLÓGICO (PTT).....	74
<b>4</b>	<b>ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b> .....	75
4.1	DOS ASPECTOS VISUAIS DO BIODIESEL RESIDUAL PRODUZIDO...75	
4.2	MASSA ESPECÍFICA À 20 °C E PH.....	77

4.3	DO RENDIMENTO DAS MISTURAS DE BIODIESEL RESIDUAL PRODUZIDO A PARTIR DE ÓLEO DE FRITURA.....	79
4.4	DA CORROSÃO EM LÂMINA DE COBRE DAS AMOSTRAS DE BODIESEL COMPARADAS COM O DIESEL S10.....	83
4.5	DO CONSUMO DAS AMOSTRAS DE BODIESEL E DIESEL S10 APLICADAS NO MOTOGERADOR.....	87
4.6	DO PONTO DE FULGOR E PONTO DE COMBUSTÃO DO DIESEL S10 E DAS AMOSTRAS DE BODIESEL.....	89
4.7	DO REGISTRO DOS GASES DE EMISSÃO DAS AMOSTRAS DE BODIESEL E DIESEL.....	92
4.8	DAS VIBRAÇÕES PROVOCADAS PELA IGNIÇÃO.....	98
4.9	DO MATERIAL PARTICULADO: PESAGEM DAS AMOSTRAS E ANÁLISE DA MORFOLOGIA.....	105
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>115</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>119</b>
	<b>APÊNDICE 1.....</b>	<b>136</b>
	<b>APÊNDICE 2.....</b>	<b>137</b>
	<b>APÊNDICE 3.....</b>	<b>144</b>
	<b>APÊNDICE 4.....</b>	<b>147</b>
	<b>APÊNDICE 5.....</b>	<b>148</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O planeta Terra possui um envoltório natural de fundamental importância para a vida terrestre. Conhecido como efeito estufa, esse fenômeno em seu estado perfeito é responsável pelo equilíbrio da temperatura terrestre, de modo a controlar a radiação solar. Se não fosse pelo efeito estufa, a superfície terrestre alcançaria temperaturas extremas e incapazes de proporcionar vida.

Sabe-se que na atmosfera terrestre ocorrem inúmeros processos que envolvem a troca de energia térmica, de modo a influenciar diretamente a temperatura global. Nesse sentido, Xavier e Kerr (2008) afirma que há a existência da condução de calor, a convecção e a interação da radiação com os gases e partículas existentes na atmosfera terrestre. E que atividades antrópicas podem intensificar esse fenômeno.

Atividades antrópicas resultam como consequência na emissão de gases nocivos na atmosfera terrestre são as principais causadoras da intensificação do efeito estufa. Uma vez que os gases liberados não conseguem ultrapassar essa camada protetora terrestre, eles tendem a se acumular e desenvolver o aquecimento global e seus inúmeros impactos. Dentre as atividades mais prejudiciais para o efeito estufa, destacam-se as que envolvem os setores petrolífero, automobilístico, madeireiro, têxteis e até a pecuária.

Assim, com o advento do motor de autoignição desenvolvido pelo engenheiro alemão Rudolf Diesel, em 1895, a utilização de óleos vegetais tornou-se alvo de pesquisas por cientistas de todo o mundo. Em meio à crise energética, que tem persistido ao longo dos últimos anos, devido à baixa na produção de petróleo, a busca por fontes alternativas de combustível tem crescido cada vez mais, havendo interesse global para os biocombustíveis, de origem animal, vegetal ou residual.

O principal escopo da utilização do biodiesel é substituir o óleo diesel, podendo ser usado em motores a combustão interna (MCI) com ignição por compressão ou para geração de outro tipo de energia que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil.

De acordo com Knothe et al. (2006), a utilização do biodiesel tem se tornado cada vez mais frequente como medida de substituição a utilização do diesel, sendo esse uso principalmente marcado pelas indústrias de transporte e geração de energia em todas as regiões do mundo, objetivando a diminuição dos impactos que a queima incompleta desse tipo de combustível pode ocasionar no meio ambiente e na saúde pública como um todo.

O processo de produção de um biodiesel envolve uma reação denominada de transesterificação. Consiste basicamente em um procedimento em que dois reagentes, um éster em junção com um determinado tipo de álcool (metanol ou etanol) é capaz de produzir como produtos outro éster e álcool.

Um dos maiores desafios de se usar um biodiesel com 100% de sua composição sendo de origem animal ou vegetal é a questão da lubrificação. Isso devido ao fato de que a presença do enxofre nos combustíveis de origem fóssil é fundamental para que não haja o desgaste precipitado dos componentes móveis de um motor automotivo. E nos combustíveis de origem renovável não há a presença desse elemento químico.

Além disso, em um processo de combustão completo de combustível, que envolve o combustível na presença do comburente (o ar) e a energia (o calor), o esperado é que haja como produtos da queima apenas o dióxido de carbono e a água como produtos. No entanto, do ponto de vista real, há a alteração de algum desses componentes para que haja a combustão, resultando em um processo incompleto. A combustão incompleta é capaz de originar além do dióxido de carbono e a água, e diferentemente, da completa, produtos como o monóxido de carbono, os óxidos nitrosos e de enxofre, os hidrocarbonetos e os materiais particulados.

Contudo, já se foi comprovado, por meio de estudos, que a produção de biodiesel com percentuais de diesel, são capazes de emitirem emissões desses tipos de gases já supracitados em quantidades menores se comparados com as emissões dos combustíveis diesel. Dessa maneira, além de poder contribuir do ponto de vista ambiental, o desenvolvimento desse combustível, o biodiesel com percentuais de diesel, não irão causar tantos desgastes nos componentes do motor.

Nesse contexto, é cabível mencionar que sabendo que o biodiesel pode ser produzido por um óleo residual, por que não oferecer um destino para os óleos que são comumente descartados em pias? Dessa maneira, diminuindo um possível “efeito dominó” de impactos que pode ocasionar um descarte incorreto desse tipo de resíduo, transformando em um potencial fonte de energia. Contribuindo tanto do ponto de vista econômico, ambiental, social e até político.

É possível o desenvolvimento de um combustível que possa atuar em conjunto. De modo que contribua com o meio ambiente e que também não seja agressivo a vida útil de um motor. Nesse sentido, se faz necessário estudos que possam incentivar a utilização de biodiesel com diesel em motogeradores levando em consideração a realidade do Brasil e do Rio Grande do Norte.

Considerando que a tecnologia futura que envolve a adoção de veículos elétricos, não condiz com a realidade brasileira e que a utilização de motores movidos tanto a combustível diesel, gasolina e até biodiesel estarão ainda presentes por muitos anos no Brasil.

### 1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a aplicabilidade do biodiesel produzido através da reutilização de óleo de cozinha em motogeradores como uma real alternativa ao uso convencional do combustível diesel S10.

### 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Diante do contexto apresentado, esta pesquisa tem como objetivos específicos os seguintes itens:

- I. Analisar os gases de emissão (CO, CO<sub>2</sub>, HC e O<sub>2</sub>) e material particulado emitidos durante o processo de combustão do biodiesel residual de canola, *Brassica napus* comparado com o diesel S10;
- II. Incentivar a utilização do óleo de cozinha como matéria-prima para a produção de biodiesel;
- III. Comparar resultados de qualidade entre o biodiesel residual tendo o diesel S10 como combustível modelo;
- IV. Desenvolver artigos, minicurso e evento que abordem a temática dos biocombustíveis – biodiesel – e a importância de práticas sustentáveis que atuem em prol da minimização das mudanças climáticas e impactos ambientais.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

A presente pesquisa está pautada na realidade em que a sociedade está inserida após a intensificação da Revolução Industrial. De acordo com a história, a intensificação das emissões de gases de efeito estufa veio justamente com esse período em que houve o incentivo às produções industriais. Como consequência, milhares de tipos de indústrias alavancaram e passaram a produzir em alta intensidade. Sabe-se que uma das mais poluidoras e nocivas ao meio ambiente são as indústrias: petrolíferas, têxteis e automobilísticas.

Constata-se que dentro os efeitos da Revolução Industrial no meio ambiente, que reflete e persiste atualmente, destaca-se a degradação ambiental como a poluição atmosférica, a contaminação das águas e solos além do desmatamento de florestas. Nesse sentido, o estudo visa atuar diretamente em duas áreas, a que se refere ao uso de petróleo e a de motogeradores, movidos a ciclo Diesel, que fazem uso de combustíveis de origem mineral.

Dessa maneira, sabendo que os efeitos do passado e presente são capazes de refletir impactos nas gerações futuras, no ecossistema como um todo, e que atualmente discussões que abordem temáticas de sustentabilidade e adoção de medidas alternativas ao uso intenso de petróleo tem se tornado cada vez mais presente. Sendo essa abordagem configurando a primeira justificativa da presente pesquisa, embasada no Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 7, ou ODS 7, que trata justamente da promoção da energia limpa e acessível.

Assim, a presente pesquisa busca mostrar, comprovar e demonstrar aplicabilidade da utilização de biodiesel em motogeradores, que são comumente utilizados, de modo geral, em todos os lugares onde se faz necessária a não interrupção de energia, mencionando-se como exemplo da utilização de um motogerador, os hospitais.

É de fundamental importância a adoção de medidas alternativas ao uso exclusivo de petróleo que vise a qualidade de vida tanto do presente como das gerações futuras. Sendo a qualidade de vida englobando desde a diminuição de emissões de gases nocivos à atmosfera como a promoção de consciências ecológicas que abordam a preservação do meio ambiente. Representando assim a segunda justificativa da pesquisa e estando em concordância com a ODS 13, que faz referência a ações que atuam contra as mudanças climáticas.

Além disso, a presente pesquisa traz consigo a importância de se adotar, na prática, a mentalidade sustentável. Isso através da reutilização de um item fundamental que se é usado no dia a dia durante o preparo de diversos tipos de comidas: o óleo. É sabido que o descarte incorreto desse item é capaz de causar inúmeros impactos tanto no meio abiótico como biótico. Estando, dessa maneira, em sintonia com a ODS 12. No qual se refere justamente a garantia do consumo e a produção sustentáveis, de forma a estimular a redução da geração de resíduos, por intermédio da aplicação dos 3 R's – redução, reciclagem e a reutilização.

Isto posto, considerando que na realidade atual do Rio Grande do Norte, não se vê com frequência o incentivo a reutilização desse tipo de resíduo mesmo estando tão

presente na vida de muitos indivíduos. Se fazendo necessária a exposição da possível aplicabilidade desse tipo de resíduo como base para a produção de biodiesel a ser usado em motogeradores.

É válido saber que a junção de pequenas atitudes, hoje, que corroboram tanto para a diminuição de gases que intensificam o efeito estufa e, como consequência, o aquecimento global, como a reutilização e gestão de resíduos podem resultar em efeitos de extrema importância nos dias futuros.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 PETRÓLEO: ORIGEM, CONCEITOS GERAIS, CARACTERÍSTICAS E SUBPRODUTOS

Do latim “*petroleum*”, referindo-se a “*petrus*” de pedra e “*oleum*” de óleo, os primeiros registros que fazem menção a utilização de petróleo bruto são oriundos dos tempos da Bíblia. Por exemplo, a Arca de Noé teria sido impermeabilizada com betume, conforme afirma Hobson e Pohl (1975). Sendo o betume representado por uma substância rica em carbono (C) e hidrogênio (H), ou seja, hidrocarbonetos. Há ainda registros de que os povos bíblicos e ainda os chineses faziam uso de petróleo a pelo menos 6000 anos com fins de alimentação, iluminação e até para o aquecimento de residências, de acordo com Farah (2013).

São inúmeras as teorias que abordam a respeito do surgimento do petróleo. Branco (2014) relata que uma delas faz menção a matéria orgânica acumulada no fundo de mares e lagoas. Matéria constituída principalmente de algas e bactérias. Todavia, Gomes (2013) menciona a origem em decorrência dos vegetais e animais que estavam presentes em solo, aliados também à ação de bactérias, a milhares de anos atrás.

No Brasil, o primeiro poço perfurado com o objetivo de explorar petróleo ocorreu em meados de 1897, no município de Bofete, localizado no estado de São Paulo, de acordo com a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2013). A extração de óleo desse primeiro poço rendeu apenas 2 barris. Sendo apenas 42 anos depois, em 1939, o descobrimento de um poço promissor situado no Recôncavo Baiano. Somente após com o anúncio da descoberta do pré-sal, em 2006, pela PETROBRAS, que a realidade de exploração do petróleo foi alavancada.

Hoje, é um fato, que o petróleo corresponde a um recurso natural indispensável e essencial para a sociedade, tendo em vista que está presente em diversos âmbitos do dia

a dia, além de trazer inúmeros benefícios. Sua utilização é extremamente ampla. Todavia, segundo Santos (2012), é necessário que este recurso natural seja submetido a diversas etapas até a sua devida utilização e aplicabilidade.

O petróleo consiste em um produto da decomposição da matéria orgânica oriunda da fauna e flora – animais e plantas – que habitaram o solo terrestre há milhões de anos atrás. De acordo com Branco (2014), o petróleo pode ser caracterizado como sendo uma mistura encontrada no estado líquido, inflamável, oleoso, com o odor característico, além de ser detentor de uma densidade menor do que a água. O acrescenta ainda que o óleo é composto por uma rede complexa de substâncias orgânicas, constituídas de carbono e hidrogênio.

O fato de ser considerado uma fonte de energia não renovável está relacionado a sua velocidade de regeneração e formação. Ou seja, em concordância com Branco (2014), a temperatura e a pressão são fatores fundamentais e determinantes para estabelecer o tempo de desenvolvimento do petróleo bruto. O autor menciona que a temperatura mínima para deflagrar o processo de formação é de 49°C, submetido a profundidades superiores a 1500 metros.

Delgado e Gauto (2021) acrescentam que as características geológicas de onde o petróleo bruto é extraído, é capaz de alterar sua composição e seu aspecto. Implicando dizer, que o local de extração está relacionado com o aumento, ou não, de concentrações de elementos químicos na composição do óleo bruto, além de interferir nos atributos dele.

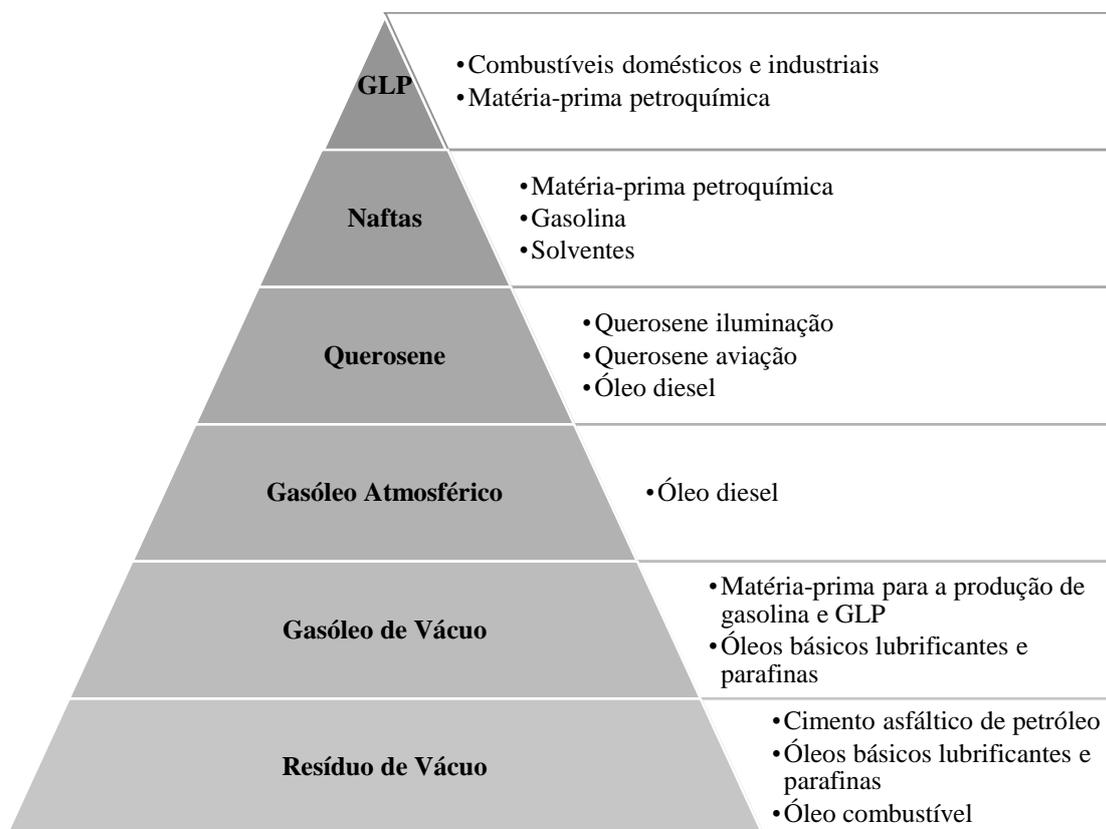
Farah (2013) indica que as jazidas de petróleo podem ser apresentadas de duas maneiras, são elas: estruturais, que corresponde a forma clássica, representadas pelos anticlinais e forma formato de calota; e as estratigráficas, as que apresentam maior dificuldade de serem encontradas. Nesse contexto, Thomas (2001 apud FARAH, 2013) afirma que uma jazida de petróleo que possa, é fundamental a existência de: I) rocha geradora, local onde a o petróleo é formado; II) rocha reservatório, local onde o petróleo é armazenado; III) rocha selante, rocha responsável pelo impedimento da constante migração do petróleo; IV) falhas estruturais, para que possa ocorrer, dentro do previsto, as migrações do petróleo; V) armadilha, para poder armazenar o óleo migrado através das falhas estruturais; e VI) tempo e condições necessárias para a ocorrência das sequências necessárias.

Buscando-se obter os derivados de petróleo, a partir do refino, a PETROBRAS, menciona os três principais processo para tal: I) destilação – referindo-se ao processo, resumidamente, em que ocorre a separação dos produtos por intermédio da submissão do

petróleo bruto em elevadas temperaturas até chegar ao estado de vapor; II) conversão – trata-se de processo em que transforma as partes mais pesadas e de menor valor comercial, em moléculas pequenas que podem originar produtos mais nobres, oferecendo, dessa maneira, melhor aproveitamento do petróleo; e III) tratamentos – faz alusão ao processo relacionado à adequação dos derivados obtidos às qualidades e especificações exigidas pelo mercado.

Barcza (2017) conceitua o processo de refino de petróleo como sendo a etapa em que uma série de procedimentos de características físicas e químicas que são capazes de promover o desfrute integral de seu potencial energético por intermédio da destilação fracionado, ou da geração dos cortes, do petróleo sem seu estado bruto. O autor acrescenta, ainda, que o refinamento nada mais é do que o momento em que ocorre a separação das frações e o processamento das mesmas, tornando-as em produtos de essencial utilidade para a sociedade.

Segundo Farah (2013), as frações básicas de refinação do petróleo e suas respectivas possíveis aplicações e destinos em produtos são os seguintes, conforme a Figura 1:



**Figura 1** - Frações básicas de refinação do petróleo e suas respectivas aplicações. (Fonte: Farah, 2013 - Adaptado)

De acordo com Barcza (2017), a quantidade de hidrocarbonetos presentes no produto final, formado a partir da destilação do petróleo, é variável conforme as características e aplicações desejáveis. O autor ainda acrescenta que todos os tipos de petróleo, em sua constituição, são formados pelos mesmos hidrocarbonetos, todavia, em proporções diferentes.

Nesse contexto, Barcza (2017) afirma que a maneira mais simples de se caracterizar o petróleo é por intermédio da quantificação dos compostos conforme a faixa de temperatura em que estes hidrocarbonetos entram no estado de ebulição, ou seja, a saída do estado líquido para o estado gasoso ou vapor. Onde há a ocorrência das separações ou cortes dos produtos oriundos do petróleo bruto. Esse processo, na indústria petrolífera, é conhecido como destilação fracionada do petróleo.

A Tabela 1 seguinte demonstra as frações básicas do processo de refinação do petróleo e suas respectivas faixas de destilação, ou seja, a temperatura necessária para se obter os produtos fracionados, de acordo com Farah (2013):

**Tabela 1** – Frações destiladas e faixa de destilação dos produtos do petróleo.

<b>Fração</b>	<b>Faixa de destilação (°C)</b>
Gás combustível	< - 42
GLP	- 42 a 0
Nafta leve	30 a 90
Nafta pesada	90 a 170
Querosene	170 a 270
Gasóleo leve atmosférico	270 a 320
Gasóleo pesado atmosférico	320 a 390
Gasóleo leve de vácuo	390 a 420
Gasóleo pesado de vácuo	420 a 550
Resíduo de vácuo	> 550

(Fonte: Farah, 2013 - Adaptado)

Na Tabela 1 é possível notar as faixas determinadas para a obtenção de determinado produto originado, isso quer dizer que, as frações de destilação que se encontram dentro da faixa de temperatura, em concordância com Barcza (2017), corresponde ao “ponto de corte” ou “*cut points*” representado por duas temperaturas.

Segundo a PETROBRAS (2002), as temperaturas de ebulição dos hidrocarbonetos, existentes no petróleo cru, se elevam proporcionalmente com a elevação de suas respectivas massas molares. Implicando dizer que, à medida que as condições de aquecimento dos hidrocarbonetos são variadas, é possível a obtenção de compostos leves, intermediários e/ou pesados.

## 2.2 DIESEL E BIODIESEL: CONCEITOS GERAIS, CARACTERÍSTICAS, VANTAGENS E DESVANTAGENS

Produto originado a partir da destilação do petróleo, comumente situada entre a faixa dos 150-400 °C, o Diesel pode ser conceituado como sendo, conforme afirma Farah (2013), um hidrocarboneto constituído de uma cadeia carbônica composta por, em média, 10-25 átomos de carbono que é formado por um conjunto de características e propriedades que permitem o seu devido emprego em, preponderantemente, em veículos de motores ciclo Diesel.

Segundo a PETROBRAS (2021), o óleo diesel corresponde a um combustível de estado líquido, originado a partir da destilação do petróleo bruto e utilizado em veículos cujo motor é ciclo Diesel – motor de combustão interna em que a ignição ocorre através da ignição – além disso, é formulado por intermédio da mistura de várias correntes, tais como, gasóleos, nafta pesada, diesel leve e pesado, em decorrência das numerosas etapas de processamento do petróleo em seu estado inicial, bruto.

O Departamento de Pesquisas e Estudos Econômicos (2019) da BRADESCO define brevemente o óleo diesel como sendo um produto inflamável que apresenta odor característico e, de modo mediano, tóxico. Acrescenta também que esse óleo tem sua aplicabilidade voltada para motores de combustão interna (MCI) e ignição por compressão, fazendo referência aos motores de ciclo diesel. Que comumente é aplicado em caminhões, tratores, equipamentos relacionados a geração de energia e ainda, de modo geral, a veículos de carga.

O óleo Diesel é constituído, de acordo com Farah (2013), por hidrocarbonetos parafínicos, naftênicos, aromáticos, aromáticos totais, monoaromáticos, diaromáticos, triaromáticos e poliaromáticos. Sendo cada um desses constituintes responsáveis por características essenciais desse óleo. O autor menciona que os hidrocarbonetos parafínicos podem dispor de atributos que influenciam diretamente na qualidade de ignição, entretanto, são fáceis de cristalizar em baixas temperaturas. Já os aromáticos, em

grandes quantidades, não são desejáveis pois podem resultar na baixa qualidade de ignição do motor diesel.

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB (2021) acrescenta, ainda que o diesel além de ser originado a partir do petróleo, apresenta também um conjunto de carbonos e aditivos com o objetivo de elevar seu desempenho. Isso quer dizer que, em sua composição, a presença do enxofre indica a qualidade do óleo, quanto menor a quantidade desse elemento químico, melhor a qualidade do óleo. E ainda, menciona que correspondem às características basilares do diesel: volatilidade, odor característico e a inflamabilidade.

O combustível diesel possui sua utilização de acordo com suas especificações, podendo ser de quatro tipos, segundo a PETROBRAS (2021): para uso rodoviário – utiliza-se o diesel S10 (produto com um máximo de 10 mg/kg de enxofre total) e S500 (produto com um máximo de 500 mg/kg de enxofre total); e para uso não rodoviário – fazendo uso do diesel não rodoviário (conhecido como S1800, apresentando teor máximo de 1800 mg/kg de enxofre) e diesel marítimo (voltado para atender as necessidades de embarcações).

Sabe-se que além da presença dos hidrocarbonetos na composição do óleo Diesel, há também a existência de compostos de enxofre, nitrogênio e oxigênio. Sendo o enxofre, além de proporcionar elevada lubricidade aos componentes móveis do motor, pode também, provocar a corrosão e aumentar a emissão de materiais particulados (FARAH, 2013).

O Diesel S10 atual, por exemplo, conforme afirma a PETROBRAS (2021) foi desenvolvido com o intuito de atender aos requisitos ambientais no que se refere às emissões de particulados e NOx, estabelecendo, dessa maneira, o teor máximo da presença de enxofre de 10 mg/kg.

A maior problemática da utilização do óleo diesel está nos impactos que este pode ocasionar tanto no meio ambiente como a sua exposição humana e seus efeitos à saúde. Considerando que a ocorrência das implicações está diretamente relacionada com fatores como a quantidade, a duração da exposição, além também dos meios. A CETESB (2020) menciona alguns dos possíveis efeitos à saúde quanto a exposição ao diesel, nisso inclui também seus produtos do processo de combustão: irritação cutânea, dermatites, toxicidade, náuseas, cefaleias, enjoos, vômitos, desenvolvimento de pneumonia, arritmia cardíaca, falência renal, carcinogenicidade, câncer de pulmão e câncer de bexiga.

No meio ambiente, já é comprovado os efeitos dos produtos relacionados à queima e derramamento de óleo diesel. Desastres naturais são desencadeados por causa dos subprodutos e do petróleo propriamente dito. E tem se intensificado cada vez mais com o passar dos anos. Em contato com a água, a CETESB (2020), afirma que o diesel é capaz de se espalhar de maneira imediata, provoca a degradação microbiana e fotoquímica local e, ainda, contamina todo o ecossistema da região que teve o contato com o óleo. No ar, seus subprodutos, os gases de emissão e material particulado, podem desequilibrar toda a qualidade da atmosfera, além de intensificar o efeito estufa e, por consequência, o aquecimento global.

Considerando as intensas mudanças climáticas e a intensificação do aquecimento global que vêm ocorrendo com maior frequência nas últimas décadas, a intensificação da chamada global por medidas que possam atuar em prol do bem-estar da população, gerações futuras e a preservação e conservação do meio ambiente tem cada vez mais se acentuado.

De acordo com últimos dados do Instituto de Energia e Meio Ambiente (2020), a maior parcela de emissão de gás carbônico na atmosfera tem como fonte geradora os derivados do petróleo. De modo que, o setor automotivo – transportes – de modo geral, emitiram cerca de 197 Mt de CO<sub>2</sub> apenas no ano de 2019. Seguido das indústrias e do setor de geração de energia elétrica, com 159 Mt e 53 Mt respectivamente.

Nesse sentido, vêm a busca por modelos de combustíveis alternativos aos de origem fóssil. Esses biocombustíveis surgem na proposta de causarem um menor impacto de diversas esferas, além de diminuir a dependência aos destilados do petróleo. Os biocombustíveis têm sua origem renovável, biodegradável e limpa.

O biodiesel é caracterizado como sendo um combustível renovável, não tóxico e, ainda, biodegradável. Implicando dizer que é composto por variáveis ambientais, sociais e econômicas, de acordo com Conceição et al. (2018). Além disso, é um combustível capaz de, segundo os autores mencionados anteriormente: I) representar uma alternativa que possibilita a diminuição da dependência externa do petróleo; II) não contribui com o aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE); III) minimiza as emissões de monóxido de carbono; IV) desenvolve e fortalece as fontes de energia renováveis na matriz energética; V) apresenta um mercado em crescente expansão, tanto interno como externo; VI) capaz de contribuir para a economia de combustível; e VII) possibilidade de geração de empregos e rendas.

De acordo com a Resolução ANP nº 7, de 19 de março de 2008, o biodiesel pode ser conceituado, basicamente, como um combustível constituído de alquil ésteres de ácidos graxos de cadeia longa, derivado de óleos vegetais ou gorduras animais. A resolução ainda estabelece que a mistura biodiesel/diesel (BX) corresponde a um composto formado por X% de biodiesel em volume de óleo diesel. Sendo a proporção utilizada tanto para fins experimentais como também específicos, todavia, esse último apenas conforme legislação e autorização específica.

Pela PETROBRAS (2021) o manuseio do biodiesel e suas respectivas misturas devem atender os cuidados e procedimentos estabelecidos pela Norma Brasileira ABNT nº 15.512, que trata do armazenamento, transporte, abastecimento e controle de qualidade do biodiesel e/ou mistura diesel/biodiesel. Segundo a estatal, no Brasil o biodiesel só pode ser comercializado para o consumidor final através da mistura de diesel com biodiesel, o chamado óleo Diesel B. Sendo o teor de mistura estabelecido pelo órgão governamental, que inclui a interação de ministérios, como o Ministério de Minas e Energia, além do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE).

A mistura diesel/biodiesel, de acordo com a PETROBRAS (2021), é realizada com o diesel S10 ou o diesel S500, sendo aplicada em caminhões, tratores, determinados tipos de automóveis, geradores de eletricidade e calor, além de outros veículos de carga.

Essa alternativa de biocombustível pode ser produzida a partir de gordura animal, óleos vegetais ou óleos residuais. No Brasil, o destaque maior para a produção de biodiesel está entre a soja e a gordura animal, segundo a Embrapa (2021). Todavia, segundo o órgão, também são muito comumente utilizadas as seguintes oleaginosas/gorduras por região do Brasil: para o norte – dendê, babaçu, soja e gordura animal; para o nordeste – babaçu, soja, mamona, dendê, algodão, coco, gordura animal e óleo de peixe; para o sul – soja, colza, girassol, algodão, gordura animal e óleo de peixe; e, para o sudeste – soja, mamona, algodão, girassol, gordura animal e óleo de peixe.

A produção de biodiesel pode ocorrer através de dois processos, sendo eles: o processo catalítico e o processo não-catalítico. A diferença entre um processo e o outro, está, basicamente, na presença ou não da utilização de um catalisador, ou agente acelerador, para acelerar ou retardar a velocidade de uma dada reação química.

De modo bem simples e objetivo, processos catalíticos são os que envolvem reações na presença de um agente acelerador, ou seja, um catalisador. Utilizado para acelerar o tempo da reação. Já processos não-catalíticos, são o contrário dos catalíticos, caracterizados por aqueles que não fazem uso de catalisadores durante as reações

químicas. São reações que ocorrem, muitas vezes, em um maior tempo e de forma mais espontânea.

Folgher (2009) acrescenta, ainda, que através do uso de catalisador é possível a obtenção de um produto final por meio de uma rota alternativa com o menor gasto energético, além de também ser capaz de alterar tanto o rendimento como a seletividade de uma reação.

As catálises podem ser classificadas em: homogêneas ou heterogêneas. Sendo a catálise homogênea caracterizada pela presença do catalisador na mesma fase dos reagentes. Ou seja, podendo originar na formação de um composto intermediário instável, que reage com o outro reagente, originando o produto final. Já a catálise heterogênea é a que envolve a presença do catalisador em fase diferente ao dos reagentes.

As reações que ocorrem através do meio catalítico, podem ser realizadas por meio de, segundo Gomes (2009): bases (Hidróxido de Sódio, Hidróxido de Potássio ou alcóxidos), ácidos (ácido clorídrico, ácido sulfúrico ou ácidos sulfurosos) ou enzimas (através das lipases). O autor também acrescenta também os benefícios da utilização de catalisador que ocorrem por intermédio do meio alcalino, sendo este capaz de apresentar maior rendimento da reação, seletividade e menores riscos quanto à corrosão de equipamentos e manipulação. Salienta-se, também, que comercialmente, são mais usualmente utilizadas o KOH e o NaOH, correspondendo a catalisadores alcalinos.

Já as reações que podem ser realizadas para a produção do biodiesel são: a reação de transesterificação, esterificação e hidroesterificação. Incluindo-se também o processo térmico de craqueamento térmico, que também é capaz de produzir o biodiesel. Que a título de maior aplicabilidade no mercado, a reação de transesterificação é a mais comum.

Graças a sua versatilidade de uso, a reação de transesterificação, também conhecida como alcóolise, apresenta bastante uso em diversos procedimentos industriais, além da produção de biodiesel, pode ser utilizada também para se obter o tereftalato de polietileno (PET) e, ainda, resinas alquídicas, de acordo com MENEGHETTI et al. (2013). Esse processo consiste na reação entre dois reagentes, um éster associado a um álcool, na presença de um catalisador, obtendo-se, dessa maneira, como produtos da reação, outro éster e outro álcool.

Observa-se nos reagentes da reação, que o éster que pode ser utilizado para a reação, pode ter aquele de origem vegetal, animal ou até mesmo óleo residual. De modo majoritário, são mais comumente usados o óleo de soja e o óleo bovina para a obtenção de biodiesel. Todavia, também pode ser utilizado óleos residuais ricos em

triacilglicerídeos – que são conhecidos por serem qualquer tipo de triéster – que podem ser mencionados, como exemplo, os óleos de fritura e/ou os resíduos industriais ou urbanos.

Por sua vez, os álcoois mais comumente utilizados na transesterificação são o etanol ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ) ou o metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ). De acordo com MENEGHETTI et al. (2018), a reação de transesterificação que utiliza o metanol como álcool, é capaz de proporcionar maior eficácia.

VIOMAR (2013) acrescenta também que a reação de transesterificação pode ser enxergada como um processo em que um triglicerídeo na presença de álcoois, é capaz de originar, como resultado, ésteres de ácidos graxos, denominados também de biocombustíveis, e, também, o glicerol.

Segundo KNOTHE et al. (2005), a reação de transesterificação é composta por várias variáveis que são capazes de alterar no produto final a ser obtido. Dentre os fatores que podem interferir no produto, menciona-se, por exemplo: as proporções a serem inseridas na reação – isso inclui devidas as quantidades proporcionais de óleo, água e o catalisador; o tipo de catalisador a ser utilizado; além também, da maneira e o equipamento em que a mistura vai ser agitada; a temperatura que a mistura será submetida e, por fim, o tempo total para a realização da reação.

Por exemplo, ao mencionar um dos exemplos dados por KNOTHE et al. (2005), as quantificações das devidas proporções a serem utilizadas na reação de transesterificação são fundamentais. Isso porque quantidades não ideais, podem sugerir na produção de efeitos conhecidos como “saponificação”, conhecido também como “sabão”, ou até mesmo a não reação da mistura, ou seja, a não obtenção do biodiesel. Correspondendo a formação de carboxilatos (sabões) durante a reação de transesterificação.

Já a esterificação consiste em um processo químico utilizado com o intuito de se obter éster a partir de uma reação entre um ácido carboxílico e um álcool. O método mais utilizado para se obter um óleo, por intermédio dessa reação, é por meio da esterificação de Fischer, no qual se é possível um rendimento de em torno de 60%, segundo Feltre (2004).

A esterificação de Fischer é configurada como sendo a obtenção de ésteres por intermédio do aquecimento de um ácido carboxílico com um álcool, na presença de um catalisador de via ácida (MCMURRY, 1997). Atualmente, depois da transesterificação, a esterificação é um dos métodos de produção de óleo mais utilizados comercialmente.

A reação de esterificação, diferentemente da reação de transesterificação, pode ser caracterizada como sendo um processo em que um éster associado a um álcool, na presença de um catalisador ou sob aquecimento, é possível produzir como produto, outro éster e água.

A reação de esterificação é marcada por um processo reversível. Isso quer dizer que, de acordo com Fogaça, um processo reversível é aquele que pode se deslocar nos dois sentidos simultaneamente. Sendo a reação inversa à esterificação, conhecida como hidrólise, segundo Brito (2008).

Para que haja a formação de água durante a reação de esterificação, é fundamental salientar que o grupo hidroxila a reagir com o hidrogênio, ele vem justamente do ácido carboxílico, presente em um dos reagentes da reação. Reagindo com o hidrogênio do álcool.

Semelhantemente à transesterificação, a esterificação também possui suas peculiaridades e necessidade de atenção ao procedimento. Uma vez que inúmeras variáveis são capazes de alterar ou prejudicar o desenvolvimento da reação, podendo-se mencionar, em concordância com Brito (2008): o excesso ou a pouca quantidade dos álcoois, no início da reação, e a utilização de determinados tipos de catalisadores – como o ácido sulfúrico e o ácido clorídrico.

Brito (2008) acrescenta também que a obtenção de éster por intermédio da conversão de ácidos graxos, através da esterificação, pode ser influenciada por fatores como a elevação da temperatura durante o processo e o tempo de realização da reação.

Na esterificação, é comumente utilizado os álcoois – metanol ou etanol, como um dos reagentes na reação. Dentre as diferenças de utilização entre o etanol e metanol, é possível destacar vantagens consideráveis do etanol sob o etanol, entre as quais, de acordo com Jaeger et al. (1999): renovável, baixa toxicidade, baixo impacto ambiental além de proporcionar a geração de renda e empregos durante a sua produção.

Já no que se refere ao catalisador a ser usado reação, utilizado com o objetivo de acelerar o tempo de reação, é importante destacar que, de acordo com Rodelli (2016), atualmente tem sido intensificado o uso de catalisadores heterogêneos, ao invés dos homogêneos. Isso ocorre devido ao fato de que os catalisadores homogêneos, mesmo que mais economicamente viáveis e eficientes, podem causar danos nos equipamentos de manipulação além de ser dificultar o processo de separação, ou seja, proporcionar inúmeras lavagens. Já os heterogêneos, têm sido incentivados graças aos baixos impactos ambientais, menor toxicidade, possibilidade de reutilização e a simplificação do processo.

Brito (2008) acrescenta também que nas reações de esterificação também podem ser realizadas sem a presença de um catalisador. Contudo, o tempo de reação passa a ser bem extenso, ou seja, a esterificação torna-se extremamente lenta. Sendo necessário vários dias para que ocorra o equilíbrio da reação.

De acordo com Martinelli (2008), a reação de esterificação somente é finalizada após a retirada de um dos produtos finais obtidos, ou o éster ou a água. Barcza (2007) acrescenta que, caso os reagentes ou os produtos da reação de esterificação sejam insolúveis em água, é necessário a utilização de mecanismos de decantação objetivando a separação das substâncias.

A hidroesterificação ou, também conhecida como hidrólise, está relacionado, de acordo com a língua portuguesa, com a decomposição realizada por meio da água. Todavia, pouquíssimos são os registros em que a água por si só conseguiu realizar uma hidrólise completa. Sendo necessária a associação de agentes catalisadores, em quaisquer mecanismos da reação.

A sua utilização não se limita a determinadas matérias-primas, todavia, pode ser utilizada em qualquer teor de ácidos graxos e umidade, de acordo com Gomes (2009), considerando que todos os triacilglicerídeos existentes no óleo utilizado na reação, serão transformados por intermédio da hidroesterificação.

Leão (2009) acrescenta ainda que as matérias-primas utilizadas na reação de hidroesterificação podem ser totalmente transformadas em biodiesel, independentemente de suas características de acidez e umidade presentes no óleo renovável bruto. O que acaba tornando uma qualidade diferenciada da hidroesterificação em relação à transesterificação e esterificação.

A hidroesterificação, pode ser denominada também como sendo a reação inversa da esterificação – ou a própria hidrólise – é o processo químico que ocorre entre um triacilglicerídeo e a água, obtendo-se como produtos ácidos graxos e glicerol. Implicando dizer que, caso a hidrólise ocorra em meio ácido, serão originados um ácido e álcool. Todavia, caso o meio seja básico, os produtos formados serão um sal de ácido carboxílico e álcool.

Segundo Santos (2015), a reação de hidrólise pode ocorrer na presença ou não de catalisadores. Sendo os agentes aceleradores da reação mais comuns: as enzimas e os catalisadores heterogêneos. E quando não realizada com a presença de catalisadores, são necessárias condições reacionais sub ou supercríticas. Assim, Pandey et al. (2011) assertam que a utilizam de matérias-primas com elevado teor de acidez e umidade não

interferem na qualidade da reação, muito pelo contrário, abrangem a utilização da reação considerando que seu intuito é a obtenção de ácidos graxos, fazendo uso da água como um dos reagentes da hidrólise.

De acordo com Martinelli (2008), pode-se classificar a hidroesterificação, ou a hidrólise, de 5 maneiras, são elas: I) hidrólise pura; II) hidrólise em via ácida em solução aquosa diluída ou concentrada; III) hidrólise em via alcalina em solução aquosa diluída ou concentrada; IV) fusão alcalina a elevada temperatura sem ou com a presença de água; e V) hidrólise enzimática.

Gomes (2009) acrescenta que a hidrólise, a partir da esterificação, é capaz de apresentar um elevado nível de pureza do biodiesel, sem que haja a necessidade da realização de várias lavagens, como na reação de esterificação e transesterificação, além de evitar a contaminação do óleo com resíduos de glicerina.

Como já mencionado anteriormente, uma das maiores vantagens da utilização da reação de hidroesterificação é que tanto a acidez e a umidade presente nos ácidos graxos não se tornam fatores determinantes na qualidade do biodiesel a ser formada. Ou seja, é possível a utilização de matérias-primas sem um tratamento prévio para a redução da acidez ou eliminação da água existente inicialmente.

Teixeira (2011) inclui também como uma das principais vantagens da utilização da hidrólise para a produção de biodiesel é o fato de que é possível obter os produtos desejados em um curto período, ou seja, a promoção de uma maior capacidade produtiva; além de não ser necessária a utilização de muitos equipamentos durante a realização da reação; incluindo também do fato de se tratar de uma operação simples e de fácil ampliação da capacidade produtiva.

Ramos et al. (2011) salienta outra vantagem considerável da hidroesterificação, tratando-se dos produtos formados na reação, o glicerol, em específico, trata-se de um resíduo livre de quaisquer vestígios de álcool e sais, uma vez que se opte o uso de catalisadores heterogêneos.

Todavia, Lima (2007) inclui que mesmo diante dos inúmeros benefícios que o uso da reação de hidroesterificação pode trazer para a produção de um biodiesel, o autor traz que a reação envolve elevados custos de investimento inicial. Isso pois se trata de uma técnica nova e no Brasil, particularmente, há poucos estudos relacionados à temática. Entretanto, apresenta custos de operação mais baixos, além de fazer uso de uma menor quantidade de insumos para a reação.

De modo geral, o craqueamento trata-se de um processo que envolve a quebra de moléculas devido a exposição a elevadas temperaturas. Isso quer dizer que, através do aquecimento superior a 450 °C da substância a ser analisada, sem o contato do ar ou oxigênio, é possível a formação de compostos químicos apresentando características semelhantes aos do diesel fóssil.

Prado (2009) acrescenta ainda que o processo de craqueamento térmico de um triacilglicerídeo acontece na ausência do uso de um agente acelerador, ou catalisador. De modo que, a exposição a temperaturas na faixa de 300-500 °C são capazes de resultar na quebra das cadeias carbônicas iniciais, originando, conseqüentemente, em uma mistura constituída de, em grande parte, hidrocarbonetos e, em uma pequena parcela, de substâncias oxigenadas.

O craqueamento térmico, conhecido também como pirólise de triglicerídeos, pode ocorrer, como nas demais reações apresentadas, também na presença ou não de um catalisador. Quando usado, além de acelerar o processo, é utilizado também com o intuito de auxiliar na quebra das ligações químicas, objetivando obter moléculas de tamanho menor. E na presença do catalisador, o craqueamento passa a ser denominado de catalítico.

Salienta-se, também, que a depender das condições que a substância oleaginosa for submetida, será possível também alterar a velocidade da reação, sendo ou de forma lenta ou rápida, alterar também o tempo de permanência da amostra e até mesmo a velocidade de condensação dos produtos que se desejam obter com o processo de craqueamento.

MA e HANNA (1999) conceituam também o processo como sendo uma reação que proporciona a quebra dos triésteres, podendo ser de origem tanto animal como vegetal, através da elevação de temperatura do sistema. De modo a resultar em uma determinada mistura de compostos composta, em grande parte, por hidrocarbonetos lineares com dessemelhantes massas moleculares.

ALSBOU e HELLEUR (2013) acrescentam ainda que a partir do craqueamento térmico é possível a obtenção de uma mistura composta por gases leves não condensáveis, além dos produtos líquidos condensados e compostos sólidos (bio-carvão). Sendo os gases leves não condensáveis caracterizados gás carbônico, monóxido de carbono, metano, hidrogênio e hidrocarbonetos leves (COSTA, et al. 2020). Os produtos líquidos condensados, no caso, seriam os bio-óleos formados com as características semelhantes aos óleos derivados do petróleo.

A pirólise ocorre em etapas distintas, de acordo com Almeida (2015), sendo elas: I) craqueamento primário, no qual se originam duas moléculas de ácidos carboxílicos – sendo uma de cetano e outra acroleína; II) degradação dos ácidos graxos produzidos no craqueamento primário, resultando na origem de hidrocarbonetos com características parecidas aos dos produtos originados do petróleo, todavia, sem a presença do elemento químico enxofre.

De acordo com o informativo da página virtual Produção de Biodiesel (2018), a utilização do processo de craqueamento térmico para a obtenção de biodiesel é recomendada para produções em pequena escala, para se obter maior viabilidade. Isso porque, durante o procedimento há elevados gastos de energia térmica para se fazer a quebra das substâncias.

Nesse contexto, no tocante a utilização do biodiesel em motores de ciclo diesel, a Embrapa (2021) menciona que o principal fato pela busca aos combustíveis limpos em MCI se dá devido a necessidade da substituição do uso exacerbado dos combustíveis de origem fóssil, além também de considerar que não se faz necessária quaisquer adaptações no motor a receber esse tipo de biocombustível. No Brasil, é utilizado através de misturas com diesel, sendo a atual taxa de mistura - diesel e biodiesel – de 10% (B10) para o ano de 2022, segundo Agência Brasil Brasília (2021).

### 2.3 DOS EFEITOS DA EMISSÃO DE GASES E MATERIAL PARTICULADO PROVENIENTES DA QUEIMA DOS COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS – DIESEL

Segundo SANTOS (2012), desde os anos 70, debates relacionados aos impactos que as atividades e subprodutos relacionados ao petróleo, têm ganhado força e intensidade em meio aos debates e conferências nacionais e internacionais. A preocupação com os efeitos do petróleo tem sido registrada com frequência notória. A autora menciona algumas dessas consequências ambientais, dentre elas: o aquecimento global, a intensificação do efeito estufa, poluição de todos os recursos naturais (hídrico, solo, ar), aumento da frequência das chuvas ácidas e até degradação ambiental (fauna e flora). Isso quer dizer que, todos os elementos bióticos e abióticos que compõem o meio ambiente são impactados de alguma maneira, seja direta ou indiretamente, pelas consequências da utilização do petróleo e seus derivados. Nisso é incluindo o homem.

O impacto ambiental, de acordo com a PETROBRAS (2017), pode ser compreendido como sendo a consequência de uma dada atividade ou ação antrópica.

Nesse sentido, considerando o homem como parte de um ecossistema, ou seja, um elemento que também compõe o meio ambiente, uma vez que este – o meio ambiente – encontra-se em desequilíbrio, a qualidade de vida do homem, por consequência, também é impactada. O impacto pode ser observado em todos os aspectos da vida do homem, desde a saúde até os fatores econômicos, sociais, políticos e ambientais.

Todavia, a sociedade, como um todo e de maneira geral, está inserida em um contexto de exploração. A exploração dos recursos naturais, de maneira exagerada sem que haja o pensamento das devidas necessidades, ou não, a utilização dos recursos explorados. Um exemplo disso, é o desmatamento desenfreado da maior floresta do mundo, a Floresta Amazônica.

À medida que se é explorado excessivamente um recurso natural, lá na frente, futuramente, as gerações futuras irão sentir o impacto dessas explorações realizadas nos tempos de hoje. Pode-se mencionar também o caso da exploração do petróleo. O petróleo já é sabido que corresponde a um recurso natural finito. Que devido ao seu longo prazo de regeneração e formação, é considerado como não renovável. E desde o seu descobrimento e importância para a sociedade, a sua exploração só foi intensificada.

A partir do petróleo é possível a obtenção de diversos subprodutos com inúmeras aplicabilidades. E seus impactos podem se apresentar tanto de forma instantânea como também de maneira a longo prazo. O derramamento de óleo em mar é capaz de interferir em toda a cadeia ecológica - impactando diretamente na fauna, flora, na qualidade da água, impedimento de trocas gasosas e até a morte de diversas espécies, seja direta ou indiretamente - do local e redondezas, refletindo até o homem, através da possível proliferação de doenças, impedimento da realização de atividades de sustento, como a pesca, gerando, também, o impedimento de acesso ao local contaminado.

Isso por ser confirmado através do Relatório de Impacto Ambiental da PETROBRAS (2017) afirmando e acrescentando que também que todas as fases envolvendo as atividades petrolíferas podem causar impactos ambientais. Resumindo que pode ocorrer tanto no meio físico, biológico e socioeconômico.

Idealmente os produtos provenientes da queima dos combustíveis fósseis tratando-se do diesel, em específico, são apenas a água (H<sub>2</sub>O) e o gás carbônico (CO<sub>2</sub>). Incluindo a não interação do nitrogênio (N<sub>2</sub>) durante o processo de combustão, sendo eliminado pelo sistema de escapamento da mesma maneira que entrou na câmara de combustão do motor através do ar para compor a mistura ar/combustível. Esse processo é conhecido como uma queima ideal ou completa, conforme afirma PUSTELNIK (2019).

Todavia, o que ocorre na prática é diferente do que se é idealizado. De acordo com a BOSCH (2005), a queima do diesel, em uma situação real, raramente ocorre de maneira completa, sendo mais comumente realizada a queima incompleta, originando, desse modo, produtos como: parafinas, oleofinas, hidrocarbonetos, aldeídos, cetonas, ácidos carboxílicos, monóxido de carbono, acetilenos, etilenos, hidrogênio e fuligem.

Nessas condições, Albuquerque (2020) complementa que a reação completa dos hidrocarbonetos, o hidrogênio associado ao oxigênio (na forma do ar atmosférico), gera como produtos o dióxido de carbono, a água e o gás nitrogênio. Sendo esse último elemento, não interagindo com a reação de combustão. Já na queima incompleta, o que ocorre é a interação das impurezas com a combustão da mistura envolvida. O hidrocarboneto, independente da sua origem, associado ao oxigênio, o ar atmosférico, produz compostos e substâncias muito além dos produzidos na queima completa, sendo a maioria deles tóxicos e poluentes.

Albuquerque (2020) acrescenta que os principais poluentes do ar que podem ser emitidos através das emissões antrópicas podem ser classificados em poluentes convencionais e não convencionais. Sendo os convencionais mais comuns os óxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio, monóxido de carbono, ozônio, materiais particulados e o chumbo. Já os não convencionais sendo caracterizados pelos GEE – dióxidos de carbono, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos, CFCs E HCSs – além também de materiais particulados ultrafinos, compostos de enxofre, compostos orgânicos voláteis, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, amônia, metais, sais inorgânicos e, ainda, as dioxinas e furanos.

Silva et al. (2021) também menciona outra forma de classificar os poluentes, como sendo primários e secundários. Os primários correspondem aos poluentes que são emitidos diretamente em atmosfera, através de indústrias, termelétricas e motores de combustão interna. Podendo-se mencionar como exemplo de poluentes primários, os seguintes: dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio, material particulado, monóxido de carbono e compostos orgânicos voláteis. Já os poluentes secundários são caracterizados por aqueles oriundos de reações químicas provocadas pelo processo de oxidação fotoquímica de compostos orgânicos voláteis, sendo catalisados pelos óxidos de nitrogênio, na presença dos raios ultravioleta da luz solar.

Leal e Consoni (2021) acrescentam no tocante aos principais poluentes decorrentes das emissões veiculares – emissões oriundas dos motores a combustão – considerando o dióxido de enxofre e os óxidos de nitrogênio, os principais responsáveis pelo

desencadeamento e intensificação da chuva ácida e suas consequências, a nível regional. Consequência, que os autores, descrevem como a formação de ácidos, através das correntes de ar, que são capazes de reduzir o pH – tornando, dessa maneira, a água das chuvas mais ácidas – gerando a provação de danos, corrosão de estruturas e queimaduras nas vegetações.

Há vários fatores que podem alterar na queima do combustível, conforme afirma a BOSCH (2005), resultando em uma combustão incompleta, pode-se mencionar, por exemplo, a própria composição do óleo, a existência de gotículas de combustível líquido sobre a parede da câmara de combustão. E ainda, o Laboratório de pesquisa em Refrigeração e Termofísica da Universidade Federal de Santa Catarina (2016) acrescenta também representam variáveis responsáveis em ocasionar a combustão incompleta, os seguintes: oxigênio insuficiente e a mistura insuficiente, referindo esse último ao curto tempo de contato entre o combustível e o oxidante.

Em 2020, o Instituto de Energia e Meio Ambiente lançou uma matéria relacionada às emissões de gases de efeito estufa (GEE) referentes ao ano de 2019 e foi constatado que somente o Brasil foi responsável por 2,2 bilhões de toneladas de GEE no ano em questão. E só o setor de transporte comportou cerca de 196 Mt de toneladas, o que correspondeu a 38% das emissões apenas em 2019, conforme os dados disponibilizados pela plataforma. Somente os veículos de carga - caracterizados pelos caminhões, ônibus e locomotivas - no setor de transporte, nesse mesmo ano, emitiram 52% dos 196 Mt CO<sub>2</sub> totais, constituindo 102 Mt de CO<sub>2</sub>.

Segundo Santos et al. (2021), é estimado que, em 2017, mais de 5 milhões dos óbitos registrados foram decorrentes da falta de qualidade do ar, sendo 70% dos casos provenientes da poluição do ar ambiente externo. Em outras palavras, em decorrência da poluição atmosférica. A Organização Mundial da Saúde estima que mais de 90% da população mundial está exposta a níveis superiores aos recomendados pela organização, de concentração de poluentes atmosféricos.

Através do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores, por intermédio da Resolução CONAMA nº 18 de 1986, já era notório a preocupação com a redução dos níveis de emissão emitidos por veículos com o intuito de atender os padrões de qualidade do ar, em especial se tratando dos centros urbanos. De acordo com o IBAMA (2021), após a implementação de programas e resoluções mais atuais que atuam justamente na fiscalização, limitações, restrições e estabelecimento de padrões máximos de níveis de emissão, notou-se a redução drástica da emissão de poluentes atmosféricos.

Um exemplo é o monóxido de carbono emitido por veículos leves, que antes da implementação dos programas representava 54 g/Km e atualmente está de 0,4 g/Km.

A busca pela proteção da qualidade do ar, no Brasil, está prevista tanto na Constituição Federal de 1988, como também, na legislação ordinária Lei nº 6.938 de 1981 que estabelece acerca da manutenção do meio ambiente ecologicamente equilibrado, uma vez considerando o meio ambiente como sendo um patrimônio público, que condiz a todos os indivíduos, necessitando ser protegido e assegurado, intencionando o uso coletivo do mesmo.

Atualmente, também inserida na legislação brasileira, há a Resolução CONAMA nº 491 de 19 de novembro de 2018 que dispõe acerca dos padrões de qualidade do ar. Determinando nela os valores de concentração de um determinado poluente inserido na atmosfera, acompanhado de um período de tempo de exposição, de modo que não interfira no meio ambiente e na saúde da população e sejam preservados dos possíveis riscos que podem ocasionar.

Albuquerque (2020) indica que condições inadequadas da qualidade do ar, proveniente de fonte poluidoras como as emissões naturais e antrópicas – através dos veículos, indústrias, obras públicas, lixões e queimadas ilegais – são capazes de trazer impactos à saúde humana, a qualidade do bem estar público, possíveis alterações nas estruturas (por meio da mistura dos componentes poluidores existentes no ar com a chuva, ocasionando a chuva ácida), além também de ocasionar prejuízos aos ecossistemas, mudanças climáticas, por consequência, intensificação do efeito estufa e aquecimento global.

De forma local, as emissões de poluentes podem trazer efeitos que impactam desde a qualidade do ar, gerando a poluição atmosférica, por consequência o fenômeno *smog*, até a qualidade de vida e a saúde humana, conforme afirma DRUMM et al. (2014). De modo regional ou continental, os autores alertam que as emissões estão relacionadas com a formação das chuvas ácidas, acidificação de solo, alterações ambientais e danos às agriculturas. E a nível global, os efeitos das emissões de poluentes estão voltados diretamente para a intensificação do efeito estufa e, conseqüentemente, o aquecimento global. Que acaba por elevar a temperatura global, originando, nesse sentido, inúmeros impactos em todas as esferas ambientais e ecológicas.

O monóxido de carbono, CO, como sendo um poluente convencional das emissões antrópicas, é um gás que apresenta a isenção de coloração, inodoro e ainda insípido. Leal e Consoni (2021) adicionam que esse gás, resultado da queima incompleta dos

combustíveis, a depender da concentração pode ocasionar efeitos diferentes na saúde humana. Em baixas concentrações, o monóxido de carbono tem potencial de causar fadiga e dores no peito. Em altas concentrações, é capaz de levar à asfixia e até a morte. A SUMMIT (2020) ainda acrescenta que a exposição ao monóxido de carbono é capaz de provocar alterações sanguíneas e a redução de oxigenação.

Já o dióxido de carbono, CO<sub>2</sub>, segundo Silva et al. (2016), demonstraram que a emissão desse gás, em nível global, independente da realidade que todos os países – sejam desenvolvidos ou subdesenvolvidos – estão inseridos, é produzido de diversas maneiras, incluindo a queima por intermédio dos derivados de petróleo. Incluindo que a exposição a elevadas concentrações é responsável pelo desencadeamento de internações por crises asmáticas e as mais diversas doenças respiratórias, inclusive óbitos.

Os aldeídos, conforme afirma Leal e Consoni (2021), são originados através da queima de combustíveis em motores de combustão interna, principalmente os que fazem uso do biocombustível etanol. Esse poluente pode proporcionar irritação das mucosas, dos olhos, das narinas e suas vias respiratórias, além, também, de provocar crises asmáticas e influenciar no desenvolvimento de possível câncer (LEAL e CONSONI, 2021).

O ozônio, O<sub>3</sub>, diferentemente de todos outros gases que convencionais e não convencionais produzidos a partir das emissões, tem sua formação relacionada principalmente com o processo fotoquímico, por intermédio da radiação solar, sobre os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis. Para Albuquerque (2020), a exposição a esse gás, pode ocasionar efeitos ambientais, tais como impactos às vegetações naturais, plantações agrícolas e até às ornamentais.

De acordo com Leal e Consoni (2021), o ozônio pode ser considerado como um poluente secundário e originado a partir de outras substâncias existentes na atmosfera. Se presente nas camadas mais baixas da atmosfera terrestre, conforme afirma a CETESB (2020), apresenta-se na forma mais oxidante e nociva desse gás. Os autores acrescentam que longos períodos de exposição ao ozônio podem acarretar a redução da capacidade pulmonar, desenvolvimento de asma e diminuição na expectativa de vida.

O dióxido de nitrogênio, NO<sub>2</sub>, fruto principalmente da reação de combustão incompleta de combustíveis fósseis, além de processos industriais é caracterizado por Albuquerque (2020) como sendo um gás de coloração avermelhada, de odor forte que pode dar origem à formação do ácido nítrico, nitratos e compostos orgânicos tóxicos. Ao

ser emitido na atmosfera, esse gás é capaz de ocasionar a formação da chuva ácida, danos às vegetações e colheitas.

O dióxido de enxofre,  $\text{SO}_2$ , oriundo de processos que, também, envolvem a queima de combustíveis fósseis e a utilização de subprodutos do petróleo, é designado como sendo um gás de odor intenso, que pode dar origem a outros tipos de óxidos de enxofre, além de, na presença de vapor d'água, originar o chamado ácido sulfúrico. Semelhantemente ao dióxido de nitrogênio, segundo Albuquerque (2020), o dióxido de enxofre também pode desencadear a formação de chuvas ácidas, promover a corrosão de estruturas urbanas, além de causar danos às vegetações, prejudicar o crescimento e desenvolvimento vegetal e, ainda, contaminar o solo. Na saúde humana, a exposição ao dióxido de enxofre é capaz de agravar crises asmáticas e problemas respiratórios (LEAL e CONSONI, 2021).

Os hidrocarbonetos, HC, correspondem a parte do combustível que não foi devidamente queimado durante o processo de combustão e que, por sua vez, são expelidos através do sistema de escapamento ou na forma de vapor, através do tanque. Em contato com a atmosfera, segundo a CETESB (2022), são capazes de promover a formação do fenômeno “*smog*” fotoquímico. Que corresponde a formação de “neblina” ou “fumaça” decorrente da poluição do ar visível – em decorrência da queima incompleta dos combustíveis fósseis –, sendo notada, principalmente, nos grandes centros urbanos em dias secos e quentes (TUA SAÚDE, 2021).

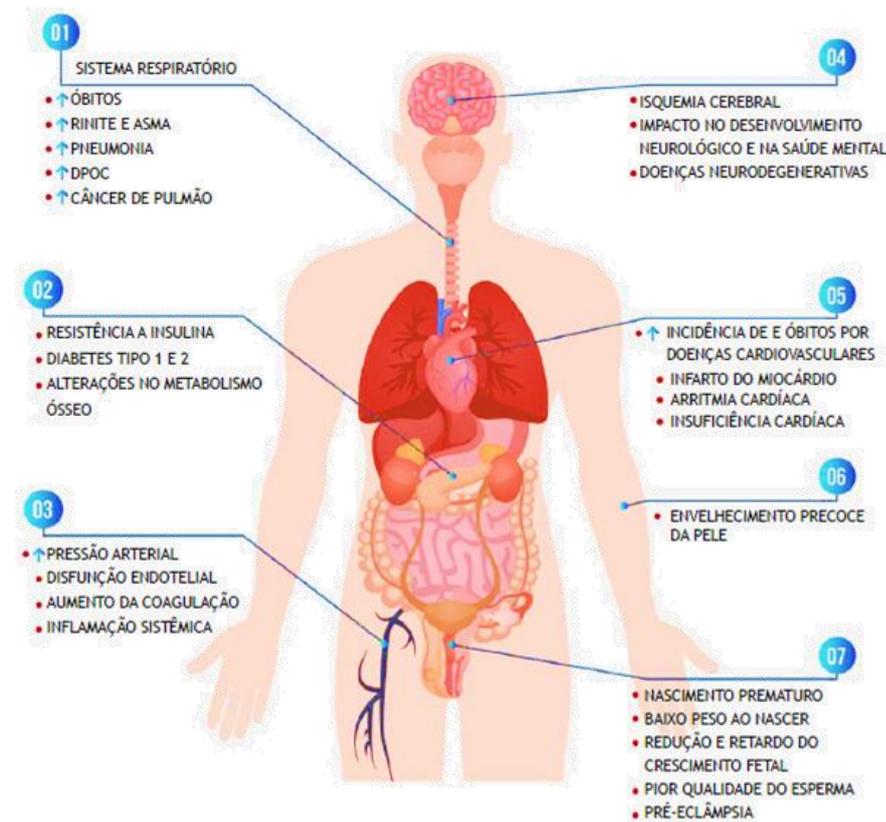
O material particulado, MP, conhecido também como fuligem, é definido por Heywood (1998 apud LEHMANN, 2015) como sendo um material oriundo da combustão do carbono que absorveu parte de compostos orgânicos. É sabido que MP é fruto da queima incompleta dos hidrocarbonetos existentes no combustível e, também, oriundo do óleo lubrificante do motor. É originado por meio de temperaturas superiores a  $500\text{ }^\circ\text{C}$ , constituído, principalmente, por carbono (C) e hidrogênio (H), além de apresentar o diâmetro variando entre 15 e  $30\text{ }\mu\text{m}$  (LEHMANN, 2015). Que pode causar efeitos ambientais como danos às vegetações, deterioração da visibilidade, além, também, da contaminação do solo (ALBUQUERQUE, 2020).

Leal e Consoni (2021) complementam que o MP, emitido mormente através da queima do combustível diesel, consiste em uma mistura de substâncias sólidas que apresentam o diâmetro reduzido, constituídos das demais características físicas e químicas. Os autores acrescentam que a devida classificação do material particulado é decorrente do tamanho da partícula. Sendo a classificação diretamente relacionada entre

o tamanho da partícula e a sua capacidade de penetração, principalmente em vias respiratórias. Completam ainda que o MP representa uma das principais fontes de perigoso e nocivo poder nos centros urbanos, podendo provocar câncer, arteriosclerose, inflamação e intensificação dos sintomas relacionados à asma.

Braun et al. (2004), afirmam que uma das maiores problemáticas em torno da utilização dos motores a ciclo diesel está relacionado às suas emissões, em específico, aos óxidos de nitrogênio e ao material particulado, quando comparados com motores ciclo otto – a gasolina ou a etanol. Surgindo nesse contexto o incentivo ao uso dos óleos vegetais, residuais e gorduras animais, que propõe justamente a redução das emissões de particulados, monóxidos de carbono, gás carbônico e, inclusive, o óxido de nitrogênio e enxofre.

Santos et al. (2021) desenvolveram um esquema dinâmico que demonstra os efeitos na saúde humana relacionados à qualidade inadequada do ar decorrente de poluição, conforme apresentado na Figura 2. Publicado na Revista Brasileira de Pneumologia, os efeitos mencionados por Santos et al. (2021) podem se apresentar agudos (relacionado à exposição recente) e crônicos (pertinente às exposições prolongadas) resultantes da poluição do ar.



**Figura 2** – Representação das possíveis doenças e alterações corporais que estão relacionadas à qualidade do ar. (Fonte: PETERS et al. 2019, apud SANTOS et al., 2021)

Um estudo realizado por Rodrigues et al. (2015) demonstrou uma projeção do total de mortes, internações hospitalares da rede pública de saúde além dos gastos com internações considerando a exposição aos poluentes atmosféricos, inclusive ao material particulado, como causa dos impactos à saúde, levando em conta o cenário do Estado de São Paulo, os autores evidenciaram que ao se manter os mesmos níveis de poluição emitidos no ano de 2011, até 2030 seriam registrados mais de 246 mil óbitos, mais de 953 mil internações e, ainda, um gasto público superior a R\$ 1,6 bilhões.

Quanto aos efeitos na saúde humana, Albuquerque (2020) disserta que a exposição aos poluentes atmosféricos oriundos das emissões antrópicas pode excitar na geração de impactos de maior e menor severidade. Os de maior severidade sendo caracterizado por danos irreversíveis, que são capazes de debilitar o indivíduo além de comprometer a vida, isso quer dizer, podendo até provocar a morte. Por sua vez, os impactos de menor severidade são os danos reversíveis, não tendo capacidade de debilitar e, nem tampouco, comprometer a vida do indivíduo. Cabendo salientar que o que determina, principalmente, a severidade dos efeitos à saúde é o tempo de exposição aos poluentes atmosféricos.

RODRIGUES et al. (2015 apud ALBUQUERQUE, 2020) evidenciam que tem se tornado cada vez mais comum a associação dos efeitos à saúde dos poluentes convencionais, oriundos das emissões antrópicas. Uma vez que estes têm se apresentado eficientes na redução de expectativa de vida, na elevação dos riscos aos distúrbios cardíacos, infartos do miocárdio, desenvolvimento de doenças respiratórias, bronquites crônicas, obesidade, câncer de pulmão e até a provocação de depressão.

## 2.4 MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA: CONCEITOS INTRODUTÓRIOS E CICLO DIESEL

Um motor de combustão interna (MCI) representa uma fonte de energia mais utilizada em veículos automotivos, de modo geral. Os MCI são aqueles que, de acordo com a BOSCH (2005), são capazes de gerar energia por intermédio da energia química contida no combustível em calor. E o calor assim produzido, originando o trabalho mecânico. Sendo essa conversão, realizada através da combustão do combustível. Para que haja a combustão, é necessária a presença das seguintes condições: o combustível, o oxigênio e o calor (a energia).

Os motores de combustão interna podem ser classificados levando em consideração várias variáveis (BOSCH, 2005): o tipo de processo (combustão interna ou externa); tipo de combustão (cíclica ou contínua); tipo de máquina (motor/máquina contendo uma câmara de serviço - Diesel, híbrido, ignição por centelha, Rohs, Stiling e vapor; turbina/turbina de gás - gás, vapor quente e vapor); e o tipo de mistura (homogênea e heterogênea). Sendo os motores Diesel e a ignição por centelha (conhecidos também como ciclo Otto) os mais utilizados comercialmente.

Os motores ciclo Diesel podem ser caracterizados como máquinas capazes de transformar energia térmica em energia mecânica. De modo que, a queima de um combustível é realizada através do movimento de compressão dos componentes móveis de uma câmara de combustão (VARELLA & SANTOS, 2010).

Isso quer dizer que, de acordo com a BOSCH (2005), os motores a Diesel são aqueles que durante a fase de admissão, comprimem o ar a uma pressão de aproximadamente de 35-55 bar (em motores aspirados de forma natural) e 80-110 bar (em motores sobrealimentados), de modo a elevar a temperatura do ar, uma vez comprimido, em 700-900 °C. Assim, como consequência, induzindo a autoignição no combustível que é injetado nos cilindros momentos antes que ocorra a compressão, uma vez que o pistão vai se aproximando do Ponto Morto Superior (PMS). Isso ocorre porque a velocidade linear do pistão é superior a velocidade de propagação da queima da mistura ar-combustível.

Até 2010, de acordo com Varella e Santos (2010) os combustíveis que até então utilizados por motores de ciclo diesel eram: o óleo diesel, o biodiesel e o álcool. Considerando que até os dias de hoje, o óleo diesel ainda corresponde ao combustível mais utilizado nesse tipo de motor, a realidade exposta anteriormente, de 2010, vem se alterando cada vez mais com o passar dos anos e surgindo novas opções para a substituição ao óleo diesel.

É sabido que o óleo diesel corresponde a um dos subprodutos da destilação do petróleo. Sendo obtido em uma temperatura média de 260 °C, o Diesel é constituído de uma cadeia de hidrocarbonetos composta de átomos de carbono, hidrogênio e porções de nitrogênio, enxofre e oxigênio. Ao ser submetido em elevadas temperaturas na câmara de combustão de um motor, é capaz de emitir diversos gases, como CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, óxidos de enxofre, hidrocarbonetos e até mesmo Materiais Particulados (MP).

Em condições perfeitas de uma reação de queima de hidrocarbonetos, os produtos ideais são: gás carbônico e água. Contudo, devido às características transientes e

dinâmicas dos motores de combustão interna (MCI), a realidade é bem diferente. Tratando-se de uma queima não completa surgem produtos como: monóxido de carbono, carbono elementar, dióxido de carbono, óxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio, gás sulfídrico, hidrocarbonetos e fuligem ou material particulado, de acordo com Pustelnik (2019).

A BOSCH (2005) segue reafirmando, em condições ideais, a queima de um combustível fóssil originaria produtos como a água e o dióxido de carbono. Todavia, na prática o que acontece é uma queima incompleta, correspondendo a emissão de outros gases além do CO<sub>2</sub>, como os hidrocarbonetos não queimados (parafinas, olefinas, hidrocarbonetos aromáticos), parcialmente queimados (como os ácidos carboxílicos, cetonas, monóxidos de carbono, aldeídos) e ainda os acetilenos, etilenos, hidrogênio, a fuligem e, ainda, hidrocarbonetos policíclicos.

Cabe discorrer também que a formação de óxidos de enxofre só é existente devido o combustível ser de origem fóssil. Ao considerar o ponto de vista do mecânico, o enxofre atua como um excelente lubrificante de modo a proporcionar um melhor funcionamento dos componentes móveis do motor, de acordo com o Grupo Sá (2016). Com tudo, ao reagir na mistura entre ar e combustível na câmara, originando os óxidos de nitrogênio, passa a causar impactos, como por exemplo, a acidez das chuvas e a redução da camada de ozônio, em concordância com SILVA et al. (2013).

É cabível mencionar que, em uma reação estequiométrica ideal, a formação de óxidos de nitrogênio não deveria acontecer. Todavia, há formação desses produtos devido às elevadas temperaturas dentro de uma câmara de combustão, fazendo com que o nitrogênio, submetido a temperaturas acima de 1600 °C, reaja com a mistura, segundo a Bosch (2005).

O óleo diesel corresponde a um combustível de estado líquido e origem fóssil, petróleo, aplicado com motores que apresentam o ciclo Diesel, ou seja, que seja motores de combustão interna e de ignição por compressão, segundo a PETROBRAS (2021). É aplicado em veículos com características de gerar energia e movimentar máquinas e motores de grande porte, de acordo com Gonçalves (2010), mencionando-se como exemplo: tratores, caminhões, ônibus e embarcações marítimas, locomotivas, navios, além de máquinas estacionárias.

Como forma de agregar informação, é importante falar sobre os veículos rodoviários, movidos à óleo diesel. Esses veículos são representados como sendo aqueles

de grande porte e que transportam cargas pelas rodovias do país. São classificados de acordo com o Peso Bruto Total (PBT), o número de eixos e a classe à qual correspondem.

Segundo a Confederação Nacional do Transporte (2020), conhecida também como CNT, em 2020, a frota no Brasil representou cerca de 107,2 milhões de veículos. E foi responsável pela emissão atmosférica de 102 milhões de toneladas de gás carbônico, representando 52% das emissões no setor de transportes no ano de 2019, conforme afirma o Instituto de Energia e Meio Ambiente (2020).

Motores diesel são aplicados e classificados de 4 maneiras básicas de acordo com Boulanger e Adam (1978): estacionários, industriais, veiculares e marítimos. Os estacionários correspondem por máquinas estacionárias, podendo-se mencionar, por exemplo, geradores, máquinas de solda além de máquinas que operam em rotação constante. Os industriais, por sua vez, são os que representam as máquinas voltadas para a construção civil, como é o caso de guindastes, compressores de ar e veículos de operação fora-de-estrada. Já os veiculares fazem referência ao acionamento de veículos de transporte como os caminhões e ônibus. E por fim, os marítimos representam aqueles que são destinados à propulsão de barcos além de máquinas de utilização naval.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS GERAIS**

A pesquisa em análise se estabelece como um procedimento racional cujo intuito se baseia em fornecer respostas às problemáticas expostas anteriormente. Desenvolvida, nesse sentido, com base nos conhecimentos disponíveis, fazendo uso, cautelosamente, de métodos e técnicas para a realização da investigação científica (GIL, 2018). Isso quer dizer que, se deu através da busca às respostas, aquiescer de princípios, normas e técnicas referentes à temática (ALYRIO, 2009).

Considerando que as pesquisas podem ser classificadas de diversas formas, se faz de suma importância definir os critérios que foram adotados para a realização do estudo, conforme afirma Gil (2018). Assim, a produção e a elaboração do estudo se configuram como sendo uma pesquisa de cunho experimental, onde há a presença do objeto de estudo determinado, a manipulação das variáveis capazes de sugestioná-lo e ainda a observação dos fenômenos e ocorrências a serem observadas.

A metodologia e os procedimentos adotados no estudo presente se deu através da divisão bem definida do trabalho no tocante aos métodos referentes à: fundamentação

teórica, a produção do biodiesel, os ensaios e análises realizados nos combustíveis em observação, além, também, dos produtos técnico tecnológicos finais (PTT).

Com o intuito de se obter avaliações e pesquisas acerca do que tem sido desenvolvido na área da pesquisa analisada, foi realizada a revisão de literatura com a apreciação para constituir a fundamentação teórica da pesquisa, síntese e interpretação dos diagnósticos existentes e relacionados à temática estudada, objetivando agrupar informações de fundamental importância à pesquisadora por intermédio do levantamento de conhecimentos teóricos, do mesmo modo que, estabelecer ao leitor um ponto de partida acerca do estudo trabalhado (BENTO, 2012).

Nesse sentido, foram adotadas 123 publicações relacionadas à temática da pesquisa. Sendo os critérios para a adoção e exclusão de estudos para a composição da fundamentação da pesquisa, seguiram da seguinte maneira:

- I) Utilização de referências envolvendo a temática, dando ênfase a publicações entre os anos de 2012 e 2022;
- II) Explícita abordagem das normas e regulamentações no que diz respeito às características e especificações para o desenvolvimento de biodiesel;
- III) Inclusão de pesquisas científicas e estudos no idioma inglês e português;

Foi realizada uma busca nas bases de dados digitais do âmbito das energias renováveis alternativas aos combustíveis fósseis. Além de referências pertinentes ao assunto em outras plataformas científicas, tais como: Scielo, Biblioteca Virtual, *Science Direct*, Capes Periódicos, ELSEVIER, Google Acadêmico, além de livros e sites para a sustentação do referencial teórico abordado e, principalmente, aos dados pertinentes às alternativas ao petróleo e gás natural que podem ser utilizadas como combustíveis.

Salienta-se que o uso dos meios digitais para integrar a sustentação teórica da pesquisa se deu pelo fato de que elas correspondem aos principais meios de publicação e compilação de artigos científicos pertinentes às energias renováveis como alternativa para serem aplicadas como combustíveis automotivos.

Os unitermos utilizados para a busca que compôs a base bibliográfica do presente estudo foram as seguintes: “Diesel”; “características do Diesel”; “biodiesel”, “produção de biodiesel”, “transesterificação”, “combustíveis renováveis”, “combustíveis renováveis para motores Diesel”, “emissão de biodiesel”, “emissão de Diesel”; “petróleo”; “derivados de petróleo”; “subprodutos do petróleo”; “características do petróleo”; “efeitos das emissões veiculares”; “efeitos ambientais das emissões”; “efeitos das emissões na saúde humana”.

### 3.2 DO PRÉ-ENSAIO: APARATO ELÉTRICO FUNDAMENTAL

Para que o motor utilizado na realização da pesquisa, reproduzisse condições próximas das encontradas em testes dinamométricos – isso quer dizer, realize algum tipo de trabalho – foi desenvolvido o que se denomina de aparato elétrico fundamental (AEF). O AEF consiste, basicamente, em um banco de carga resistivo responsável em gerar, como o próprio nome diz, resistência ao modo de operação do motogerador.

Esse aparato foi pensado para permitir, durante o ensaio do MCI com as proporções de misturas do biodiesel, que a máquina elétrica rotativa produza conjugado resistente e atue como dinamômetro do MCI acoplado ao gerador elétrico, facilitando a determinação da potência mecânica para cálculo do consumo específico de combustível.

A potência do AEF é resultado do somatório composto por 3 resistências de 1,5 kW de potência per capita, totalizando 4.500 W. Isso representa 81,81% da potência máxima de trabalho do equipamento utilizado no estudo, o motogerador MDGT – 6500 CLE. - A tensão está distribuída nas três fases - R, S e T do gerador para uma tensão de fase 220 V.

A configuração de ligação entre as resistências seguiu o padrão em Y ou estrela, em virtude de a tensão máxima de cada resistência suportar o mesmo valor da tensão de fase fornecida pelo gerador. A escolha proposital desse valor de potência ocorreu para evitar possível ocorrência de sobrecarga da máquina elétrica que prejudicasse o andamento do ensaio, minimizando o desequilíbrio elétrico na saída do gerador.

O Banco de Carga Resistivo (BCR) antes de ser acoplado no motogerador, já devidamente montado com as resistências e o componente elétrico pode ser visualizado por intermédio da Figura 3. Na figura, também é possível observar que as resistências foram instaladas sob um suporte que apresenta como funções a sustentação das resistências além também de permitir e facilitar o manuseio do BCR. Salienta-se que toda a estrutura que compôs o ARF foi desenvolvida no Laboratório de Motores (LabMotor) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte *campus* Natal Central (CNAT).



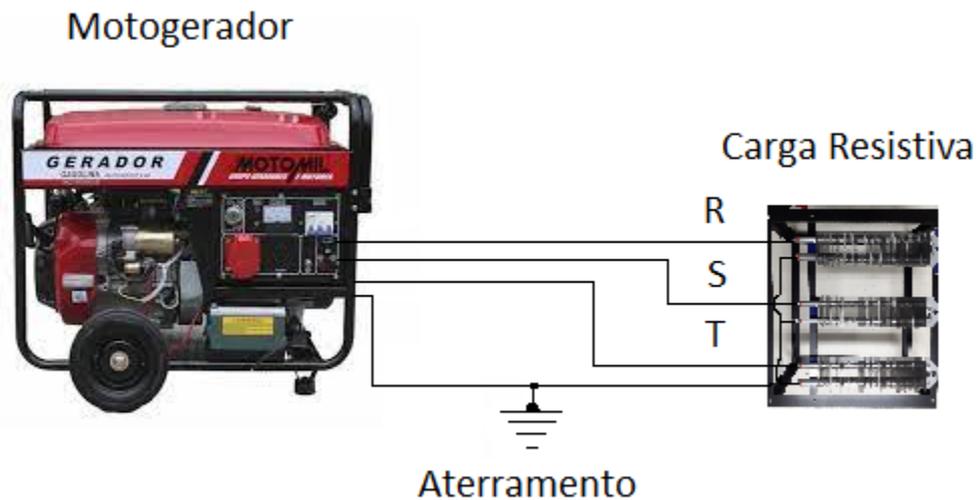
**Figura 3** – Aparato elétrico BCR – Banco de Carga Resistiva. (Fonte: Autor, 2022)

Após sua confecção, o aparato foi conectado eletricamente ao gerador do equipamento modelo MDGT – 6500 CLE da Motomil (Figura 4). A razão em optar por essa máquina se deu pelos seguintes fatores: trata-se de um modelo Diesel real de motor que mais se aproxima a um veículo movido às mesmas condições; da disponibilidade de uso da máquina – a existência da mesma como objeto de estudo existente no Laboratório de Motores (LabMotor) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, *campus* Natal Central; e, ao fato de não haver necessidade de quaisquer alteração no motor para o recebimento do biodiesel.



**Figura 4** – Motogerador (Fonte: Autor, 2022)

Dessa maneira, a ligação elétrica motogerador-carga resistiva seguiu a seguinte representação esquemática, demonstrado através da Figura 5:



**Figura 5** – Representação da ligação elétrica motogerador-carga resistiva. (Fonte: Autor, 2022)

A potência mecânica  $P_{mec}$  [W] fornecida ao eixo do gerador segundo PETRY et al. (2006), é definida pela Equação 1, onde  $\tau$  [N.m] o torque resistente no gerador e  $\omega$  [rad/s] sua velocidade angular.

$$P_{mec} = \tau \times \omega \quad (1)$$

ALEXANDER e SADIKU (2013), estabelece que a potência elétrica real  $P_{\text{elet}}$  é a potência média dissipada por uma carga, sendo a única potência útil para cargas. As outras duas potências que completam o triângulo de potência, potência aparente e potência reativa, equivalem a zero para uma carga puramente resistiva, e, portanto, não interferem no resultado final. Os autores acrescentam que para circuitos trifásicos equilibrados a potência elétrica  $P_{\text{elet}}$  [W] é descrita pela Equação 2.

$$P_{\text{elet}} = 3 \times V \times I \quad (2)$$

Onde  $V$  é a tensão de fase [V] e  $I$  a corrente de fase [A].

O princípio da conservação de energia estabelece que para uma máquina ideal a potência mecânica  $P_{\text{mec}}$  é igual a potência elétrica  $P_{\text{elet}}$ , KLASSMANN et al. (2018). conforme Equação 3.

$$P_{\text{mec}} = P_{\text{elet}} \Rightarrow \tau \times \omega = 3 \times V \times I \quad (3)$$

É oportuno apontar as características e as especificações do motorgerador modelo MDGT – 6500 CLE, ciclo Diesel de combustão interna, utilizado para a realização do presente estudo, conforme estabelecido na Tabela 2:

**Tabela 2** – Características do motorgerador MDGT-6500CLE Motomil.

**Características e especificações do motorgerador MDGT-6500CLE Motomil**

Sistema de partida	Manual/Elétrica
Combustível	Diesel
Potência máxima	10 HP
Potência de partida	6.500 W
Potência de trabalho	5.500 W
Sistema de Combustão	Interna
Tipo	4T
Nº de fases	Trifásico
Frequência	60 Hz
Tensão (Corrente Alternada)	220 V (127 V mono) / 380 V (220 V mono)
Sistema de lubrificação	Bomba de óleo
Capacidade de óleo	12,5 L

Consumo	2,5 Litros por hora
Peso	94 kg
Dimensões (AxLxC)	59 x 47,5 x 74 cm

Fonte: Manual motogerador MDGT-6500CLE Motomil.

O conhecimento acerca das características e das especificações do motor utilizado é de fundamental importância. Pois, é a partir desses atributos que é possível evitar o gasto financeiro excessivo, fazendo alterações sem que haja prejuízos no equipamento respeitando suas condições. Enfatiza-se que a utilização de um motor a ciclo diesel, o motogerador, para o estudo, se deu principalmente ao fato de ser se fazer necessário qualquer modificação no motor para o recebimento do biodiesel.

### 3.3 PRODUÇÃO DO BIODIESEL RESIDUAL

O óleo residual de *Brassica napus* utilizado na pesquisa é de origem doméstica. Foi obtido cerca de 2,3 L de óleo residual para o estudo visando o desenvolvimento do biodiesel. Haas et al. (2006 apud CHRISTOFF, 2006) afirma que para um produzir um biodiesel de resultado positivo, ou seja, um óleo que obtenha sucesso em todos os seus processos de produção e desenvolvimento é fundamental que a sua matéria-prima seja preparada antes de submissão à reação escolhida para a produção do biodiesel. O preparado indica etapas como: I) análise da matéria-prima; II) remoção de impurezas suspensas; III) remoção da umidade existente no óleo; IV) preparo do catalisador, considerando as quantidades adequadas de reagentes conforme a quantidade a ser utilizado de óleo.

Feito o tratamento da matéria-prima, inicialmente, este foi submetido à reação de transesterificação. Reação que transforma um éster, associado a um álcool e na presença de um catalisador, em outro éster e outro álcool. Sendo o éster produto da reação, o biodiesel. O método adotado para a produção do biodiesel residual seguiu o mesmo método adotado por Christoff (2006).

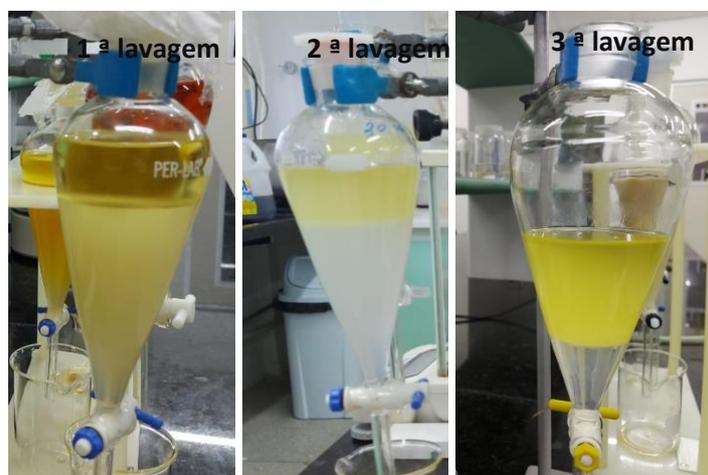
O momento dessa etapa que consistiu na definição das quantidades adequadas, com seus devidos cálculos, de catalisador e álcool utilizados durante a reação de transesterificação estão descritos no Apêndice 1.

A transesterificação ocorreu através da rota etílica, devido ao fato da maior facilidade de acesso e disponibilidade desse álcool no ambiente em que se foi produzido, no Laboratório de Petróleo e Gás do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia

do Rio Grande do Norte, *campus* Natal Central. Observou odor expressivo de álcool ao fim da reação. O motivo da emissão do cheiro se deu pelo uso de excesso de álcool, na proporção de 1:18. A motivação para o excesso de álcool é decorrente do aumento do rendimento da reação, conforme afirma Christoff (2006).

Após isso, a mistura foi colocada em descanso, em temperatura ambiente, para a separação das fases (biodiesel e glicerol). O processo de separação das fases ocorreu de um dia para o outro (24 horas). Diferentemente de Christoff (2006) que adotou o período de 4 horas para a separação. O aumento do tempo de descanso foi consequência do horário em que foi realizado o procedimento, no período noturno, e ao horário que se teria acesso à Instituição novamente.

No dia seguinte, foi removido o álcool produzido na reação de transesterificação e realizada as lavagens na mistura. As lavagens ocorreram com a utilização de água destilada. Em média, foram realizadas de 3 a 4 lavagens no biodiesel. As lavagens são necessárias para a remoção do excesso de catalisador (hidróxido de potássio), do etanol (álcool reagente) e da glicerina existente. É por meio das lavagens que se pode remover as impurezas presentes no biodiesel produzido. Os efeitos das lavagens do biodiesel com o fim de remover as impurezas existentes no óleo produzido podem ser observados através da Figura 6 seguinte:



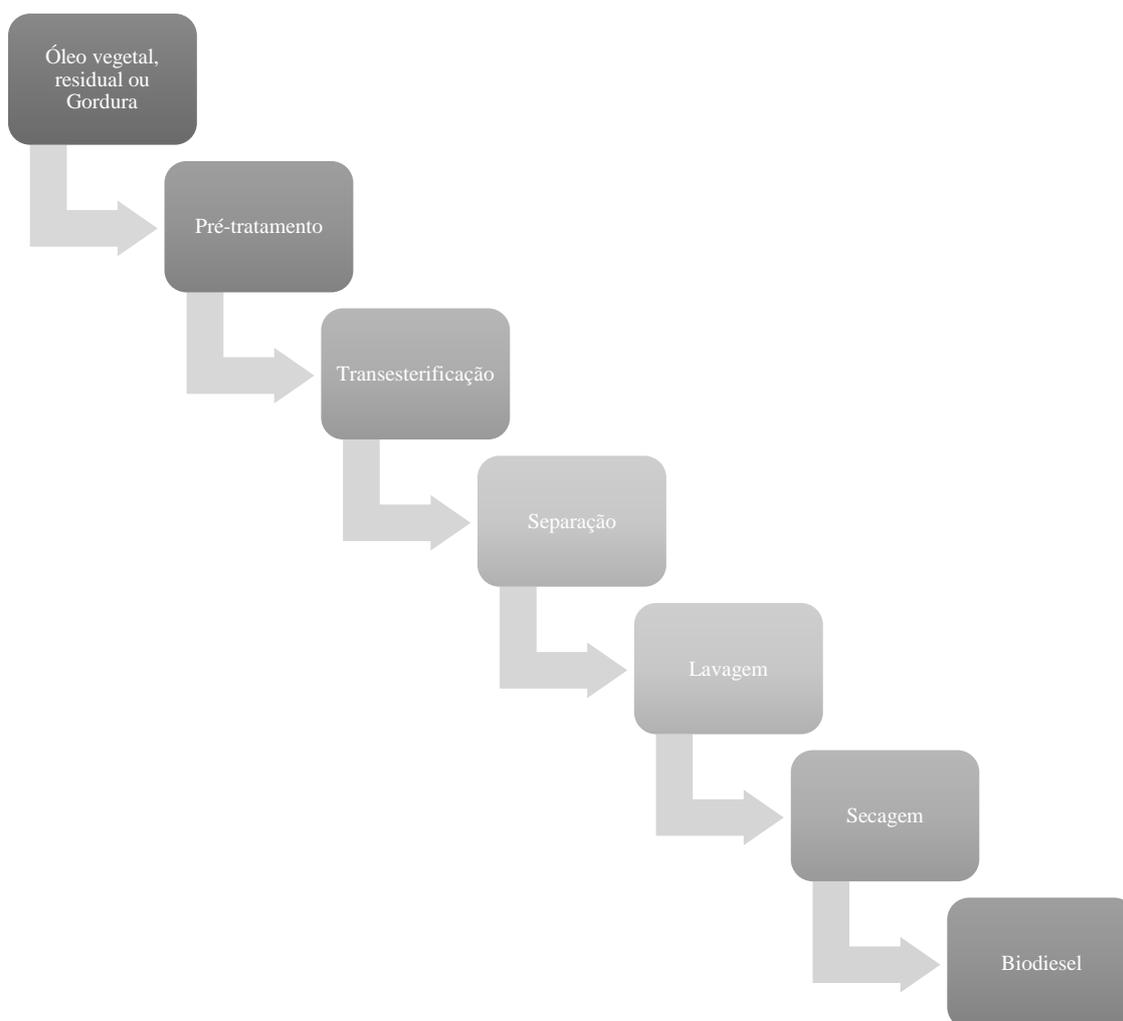
**Figura 6** – Processo de lavagem do biodiesel. (Fonte: Autor, 2022)

É possível observar na Figura 6 que o processo de lavagem do biodiesel ocorreu em um funil de destilação com o intuito de facilitar a remoção das impurezas, do excesso de catalisador e o glicerol formado durante a reação de transesterificação. Nota-se que na primeira lavagem, após a inserção de 100 mL de água destilada, a formação de produto de coloração amarela esbranquiçada e turva. À medida que se remove o produto das

lavagens e se realiza uma lavagem no óleo produzido, o produto tende a atingir a coloração transparente e límpida, conforme demonstra a terceira lavagem. Indicando que a inexistência e remoção completa de impurezas no biodiesel.

Feita a lavagem do biodiesel de *Brassica napus* residual, o óleo foi transferido para um Becker para a realização da secagem. O processo de secagem visa a remoção de resíduos de álcool e água ainda existentes no biodiesel. Dessa maneira, nesse momento o óleo foi submetido a uma temperatura máxima de 102 °C, através da chapa aquecedora, durante 30 minutos. Foi considerada essa temperatura levando em conta a temperatura de ebulição do etanol e da água, sendo, 78,37 °C e 100 °C, respectivamente. Após a secagem, o óleo foi armazenado e liberado para uso e para a realização das devidas misturas com o Diesel S10.

De modo simplificado, as etapas do processo de produção do biodiesel são caracterizadas pelas seguintes, conforme a Figura 7:



**Figura 7** – Fluxograma do processo de formação do biodiesel. (Fonte: EMBRAPA, 2021, Adaptado)

As fases são descritas conforme o método utilizado por Christoff (2006) para a obtenção de biodiesel a partir de óleo residual de fritura:

- A fase de pré-tratamento é configurada pela remoção de filtração e remoção de impurezas que possam estar presentes na matéria-prima. Nessa fase é recomendada o aquecimento em até 40 °C do óleo para melhor manuseio durante a filtragem e remoção das impurezas;
- Após a filtração e remoção das impurezas na fase de pré-tratamento, o óleo obtido é aquecido a uma temperatura de 40 a 55 °C, sob agitação mecânica, durante o período de 1 hora, na presença de NaCl;
- Seguidamente, o óleo é filtrado para a retirada de excessos de NaCl do óleo residual;
- Feito isso, é realizado a pesagem e quantificação necessária de catalisador (KOH) e álcool (Etanol 99,9%) a serem utilizados na mistura conforme a quantidade de óleo filtrado obtido; as quantidades exatas foram obtidas através dos cálculos inseridos no Anexo 1;
- Como sequência, a mistura inicial entre o álcool e o catalisador (KOH) com suas devidas quantidades é adicionada ao óleo filtrado previamente aquecido, sendo aquecidas em temperatura constante de 40 a 55 °C, durante 1 hora;
- Em seguida, a mistura é levada para balão de fundo chato onde é conectado ao evaporador, com o intuito de eliminar o álcool que ainda possa ter; essa fase dura cerca de 20 minutos;
- Após isso, a mistura é transferida para o funil de decantação, onde é permitida a separação espontânea das fases da mistura; normalmente dura de 12-24 horas para que as fases possam estar visíveis, são elas: a fase menos densa e clara, rica em etil ésteres de ácidos graxos; e a fase mais densa e escura, constituída ricamente por glicerina;
- Após a decantação completa; a glicerina removida é transferida para Becker, no qual, posteriormente, é realizada a medição de sua massa através de balança analítica;
- Feito isso, caso necessário ainda tirar o álcool, catalisador e sabão que ainda possam existir no biodiesel, é recomendada consecutivas lavagens com água destilada. Esse processo é feito em funil de separação, com a adição ao biodiesel de água destilada, agitadas suavemente e deixado em descanso para a devida

separação do biodiesel e das impurezas (excesso de catalisador, resíduos e álcool). Este procedimento é repetido várias vezes até completa remoção dos contaminantes que foi monitorada pela coloração da fase inferior, que no início da lavagem se apresentava branca e no decorrer, com a remoção dos contaminantes, torna-se incolor;

- Após o processo de lavagem do óleo, o biodiesel é encaminhado para a chapa aquecedora, a uma temperatura de até 102 °C, durante 30 minutos, para a remoção de resíduos de água e álcool ainda existentes no biodiesel;
- Ao final, é recomendado a adição de antioxidante no biodiesel final com o intuito de garantir a estabilidade ao produto, considerando que biodiesel derivado de óleo residual de fritura é mais susceptível à oxidação do que o obtido com óleo virgem.

Considerando a maior facilidade de acesso ao diesel fóssil, S10 comercial, é utilizado este para as posteriores misturais, adicionando-se apenas a diferença do que já existe no combustível. Para melhor entendimento das proporções utilizadas na pesquisa, em 1L de combustível é usado as seguintes quantidades de diesel e biodiesel.

Quanto à quantidade de combustível utilizada para a realização de todos os procedimentos e ensaios da pesquisa, foi adotado um total de 2 L por combustível. Com as proporções de B13, B20, B30, B40, B100\* (\*em determinadas situações e em quantidade menor) e ainda com a utilização do S10 comercial. Com contrações de 13%, 20%, 30%, 40% e 100%, como indicado na Tabela 3. Onde se faz necessário o entendimento que para o combustível B13, a proporção de mistura é de 13%, ou seja, em 1L de combustível B13, haverá 13% (ou 130 mL de diesel) em 87% (870 mL). O mesmo raciocínio vale para as demais proporções. Simultaneamente, na mesma tabela, é exposto as quantidades de biodiesel que são adicionados ao óleo caso seja adicionado o diesel S10 comercial à mistura diesel/biodiesel.

**Tabela 3** – Tipos e proporções de combustíveis observadas e analisadas no estudo.

Tipo de Combustível	Proporção			
	Diesel	Biodiesel	Diesel S10 comercial	Biodiesel com a diferença a ser adicionada
S10*	900 mL	100 mL	-	-

B13	870 mL	130 mL**	970 mL	30 mL***
B20	800 mL	200 mL**	900 mL	100 mL***
B30	700 mL	300 mL**	800 mL	200 mL***
B40	600 mL	400 mL**	700 mL	300 mL***
B100	0	1000 mL	0	1000 mL

\*S10 comercial, combustível já misturado obrigatoriamente com 10% de biodiesel conforme o Conselho Nacional de Política Energética para o ano de 2022.

\*\* Valores que seriam adicionados de biodiesel caso o diesel na mistura fosse puro.

\*\*\* Valores que são adicionados de biodiesel caso o diesel utilizado seja o S10 comercial.

É cabível salientar também que o combustível de origem fóssil utilizado, o S10 faz referência ao combustível comercial. No qual, já é comercializado com o teor de mistura obrigatória de 10% de biodiesel no óleo fóssil, conforme a resolução do Conselho de Política Energética (CNPE) para o ano de 2022.

### 3.4 PREPARAÇÃO DO MOTOGERADOR PARA A REALIZAÇÃO DOS TESTES

Por ser o motogerador um equipamento comercial pronto para uso, algumas adequações foram necessárias para mensurar determinados efeitos produzidos pelo ensaio. Entretanto, a funcionalidade e características internas ou ajustes do motor de combustão interna não sofreram alterações.

Em decorrência dos tipos de medições empregadas no ensaio faz-se necessário uma subdivisão do tópico de modo a organizar e facilitar a reprodutibilidade da pesquisa.

#### 3.4.1 Medição do Consumo de Combustível

O consumo do combustível foi calculado através da relação entre o peso do combustível consumido e o tempo gasto para consumi-lo, conforme Equação 4, onde “ $Q$ ” é a vazão [g/s], “ $W$ ” o peso de combustível [g] e “ $t$ ” o tempo [s] gasto para consumir a massa de combustível em estudo.

$$Q = \frac{W}{t} \quad (4)$$

Para a medição do peso do combustível foi empregado uma balança semi analítica modelo AD500S (Figura 8), fabricada pela Marte Científica, com o fim de mensurar a força peso do combustível antes do teste e após a sua devida conclusão. Para tanto,

bombonas comerciais de 5 Litros (Figura 9) foram empregadas como recipientes dos combustíveis.



**Figura 8** – Balança de precisão modelo AD500S. (Fonte: Autor, 2022)



**Figura 9** – a) Bombona polimérica de 5L utilizada na pesquisa; b) registro adaptado à bombona para saída do combustível. (Fonte: Autor, 2022)

O fabricante do motogerador, MDGT-6500 CLE, atesta que a frequência elétrica e a tensão elétrica na saída do gerador variam com tolerância de 10 %, sendo rigidamente controlada por dispositivo regulador automático de voltagem. A rotação nominal do MCI durante o ensaio é fixada em 3600 CPM através de dispositivo de controle próprio funcionando em modo automático, denominado regulador de acionamento mecânico. Essa rotação é condição mínima para que a máquina elétrica rotativa mantenha tensões elétricas estáveis independente das cargas aplicadas ao gerador elétrico.

Antes do início do ensaio o combustível de teste foi pesado na balança, no mínimo 5 vezes, para reduzir a dispersão da série de medições visando obter menor incerteza de

medição. Em seguida, a bombona contendo combustível foi interligada à linha de alimentação de combustível do motogerador devidamente instrumentalizado, iniciando-se a sequência do experimento em regime permanente sob registro da cronometragem do tempo de duração ao qual o ensaio foi submetido.

Após o tempo de duração do ensaio o combustível remanescente do teste foi reconduzido à balança e conferido o peso do óleo para compor o peso final, seguindo o mesmo procedimento da pesagem antes do início do procedimento. Cabe ressaltar que antes do próximo combustível ser testado no motogerador toda a linha de alimentação era esvaziada, lavada e o combustível em seu interior pesado e adicionado ao peso final para determinar o consumo. Salienta-se que as amostras de combustível no ensaio foram utilizadas logo após o processo de produção dos mesmos.

### 3.4.2 Medição dos Gases de Combustão e Material Particulado

A determinação e avaliação dos gases emitidos e a captura do material particulado através do sistema de escapamento se deu através da montagem de um sistema para a realização dos presentes testes.

A análise dos gases emitidos pelo sistema de escapamento ocorreu através da utilização do equipamento denominado Analisador de Gases, da Tecnomotor, modelo TM 131 (Figura 10). O Analisador de Gases foi disponibilizado através do Laboratório de Energia, localizado no Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Nele é possível captar as emissões de monóxido de carbono, hidrocarbonetos, dióxido de carbono, oxigênio e a presença de óxidos de nitrogênio. Tendo os padrões de referência estabelecidos no manual do equipamento.



**Figura 10** – Analisador de Gases, da Tecnomotor, TM 131. (Fonte: Autor, 2022)

Na pesquisa, o Analisador de Gases foi utilizado com o objetivo de coletar os padrões obtidos de oxigênio, hidrocarbonetos, dióxido de carbono e monóxido de carbono emitidos através das amostras de biodiesel (B13, B20 B30 e B40) e diesel S10 – como objeto de comparação - em estudo. A leitura dos valores emitidos foi possível devido ao acessório fundamental pertencente ao Analisador de Gases, a chamada Sonda Coletora de Gases.

O equipamento antes de ser propriamente utilizado para os fins da pesquisa, foi devidamente calibrado e habilitado para as funções necessárias ao estudo. A sonda de coleta de gases foi inserida no escapamento do motogerador MDGT-6500 CLE, Motomil. Assim, um tempo estimado de 15 minutos foi aguardado para o Motor de Combustão Interna atingir o regime permanente de funcionamento. Seguidamente, as informações obtidas pelo Analisador de Gases, TM 131, foram gravadas a cada 3 minutos. Ao final, todos os dados obtidos poderiam ser impressos pelo próprio equipamento.

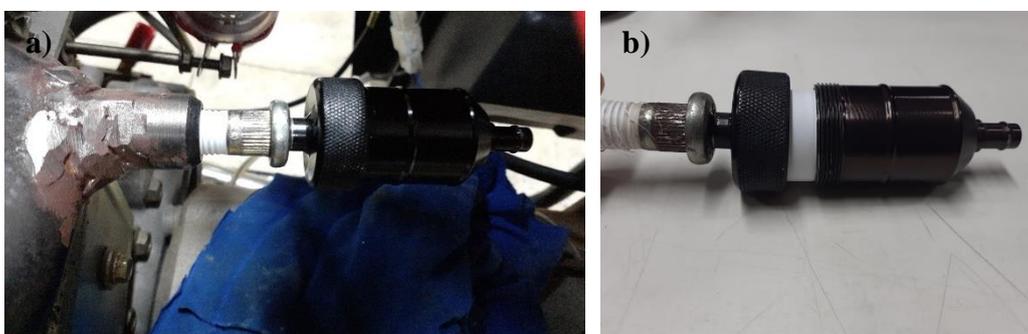
A análise do Material Particulado (MP) retido nas amostras ocorreu através da utilização de um elemento têxtil. Como forma de avaliar a quantificação do peso dos voláteis existentes no material têxtil, nove espécimes foram usados contendo as mesmas dimensões, comprimento e largura das amostras empregadas no ensaio de material particulado. Todos os espécimes foram pesados na balança analítica, modelo AUY220, fabricada pela Shimadzu, sendo etiquetadas em Placas de Petri e submetidos simultaneamente em estufa microprocessada (Figura 11), modelo Q317M-23, fabricada pela Quimis Aparelhos Científicos LTDA. A temperatura da estufa foi ajustada para 260°C, sob condições semelhantes à câmara de desaceleração no início do coletor de escapamento, e o tempo de permanência em 17 minutos – sendo o mesmo tempo adotado para o ensaio de MP.



**Figura 11** – Estufa modelo Q317M-23, fabricada pela Quimis. (Fonte: Autor, 2022)

O apoderamento do material particulado MP ocorreu por meio de uma câmara de desaceleração no início do coletor de escapamento, Figura 12 (a). Se teve o cuidado em maximizar a captura do MP evitando reduzir a pressão de saída dos gases no coletor de escapamento, o que influencia na medição dos gases de combustão ao final do tubo de escapamento.

Um elemento têxtil no interior da câmara de desaceleração, conforme Figura 12 (b) foi empregado para reter o MP, esse elemento era pesado antes de ser posicionado na câmara e após o término do ensaio com o combustível era retirado e novamente pesado. Após o procedimento de pesagem foi efetuada a identificação para o tipo de combustível ensaiado para em seguida ser armazenado protegido da luz em recipiente hermético.



**Figura 12** – a) Detalhe da fixação da câmara de desaceleração no início do coletor de escapamento; b) Posicionamento do material têxtil no interior da câmara de desaceleração.

(Fonte: Autor, 2022)

É cabível mencionar que a câmara de desaceleração, utilizada como coletora de material particulado na pesquisa, foi advinda da carcaça metálica de um filtro de combustível para motor ciclo Otto, já existente no Laboratório de Motores do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Rio Grande do Norte, que, inclusive, estava em desuso. Demonstrando um exemplo de material que foi adaptado e reutilizado para novos fins no estudo. Consistindo em uma maneira de incentivar a política de reutilização de materiais que aparentemente não possuem mais emprego devido à falta de serventia.

As análises que estariam voltadas para a observação morfológica do material particulado retido no elemento têxtil ocorreram, por intermédio da utilização de um microscópio eletrônico de varredura (Figura 13), conhecido também como MEV, existente no Laboratório de Caracterização de Minerais/Materiais - DIAREN do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte.



**Figura 13** – MEV (Fonte: Autor, 2022)

As observações das amostras de elemento têxtil contendo o MP referente aos combustíveis diesel S10 e as misturas de biodiesel/diesel B13, B20, B30 e B40 retido após a combustão ocorreram sob aumento de 500x, 4000x e 10000x.

### 3.4.3 Medição da Vibração Mecânica

Utilizou-se um sensor de detonação da marca NTK modelo - KNE05 para coletar os sinais de vibração, por ser dispositivo de aplicação corrente em motores de combustão interna. Originalmente esse dispositivo sensor é empregado para que a central de comando eletrônico da injeção corrija o ponto de ignição através do monitoramento da vibração no bloco de cilindros do motor. A Figura 14 reproduz o sensor empregado no ensaio.



**Figura 14** - Sensor de detonação NTK. (Fonte: Autor, 2022)

Conforme sugestão de Júnior (2018), o acelerômetro foi instalado em localização próxima à parte superior do cilindro, em posição que prevaleça captar vibrações verticais

que estão relacionadas ao efeito da combustão. Evitando-se assim vibrações horizontais, mais direcionadas ao efeito da rotação nos elementos móveis.

A conexão do sinal elétrico fornecido pelo acelerômetro até o módulo de gravação foi efetivada através de cabo coaxial, próprio para reduzir interferências eletromagnéticas. O sinal foi coletado do sensor acelerômetro até o dispositivo de tratamento de sinal, Figura 15 osciloscópio automotivo HANTEK 1008C, sendo conectado ao computador por intermédio da entrada USB para análise do sinal empregando o software proprietário do fabricante.



**Figura 15** – Osciloscópio, computador e interface utilizada durante o ensaio. (Fonte: Autor, 2022)

O sensor é fixado ao bloco de cilindros através de parafuso com torque de sujeição de 20 Nm seguindo recomendação do fabricante, para viabilizar máximo rendimento do sinal criado no transdutor. A captura dos sinais durante o ensaio dos combustíveis ocorreu após a estabilização da rotação do MCI e do acoplamento da carga elétrica ao gerador.

O ensaio iniciou com o combustível de controle S10 e seguiu a sequência da quantidade de biodiesel adicionado, B13 até o B40. Os dados foram armazenados no computador através do *software* comercial da própria HANTEK.

### 3.5 DOS ENSAIOS REALIZADOS NO BIODIESEL RESIDUAL E DIESEL S10

As especificações necessárias para a obtenção de óleo combustível são realizadas através de ensaios normativos no qual apresentam como intuito as seguintes viabilidades para o controle de qualidade, conforme afirma Farah (2013): I) representatividade do desempenho do equipamento; II) execução fácil, de baixo custo, rápida, com a obtenção

de resultados na frequência necessária; e III) precisão, definida pela reprodutividade e repetibilidade.

De acordo com a Embrapa (2021), a realização dos ensaios de qualidade no biodiesel tem como finalidade identificar os aspectos, variáveis, especificações, controle e caracterização necessárias que, dessa maneira, possa certificar a qualidade do combustível produzido.

Nesse sentido, para o estudo voltado para a análise da aplicabilidade de um biodiesel residual de *Brassica napus*, conhecido também como óleo de canola, utilizado em motores de combustão interna de ciclo Diesel, foram realizados 7 ensaios. É cabível ressaltar que a quantidade de ensaios realizados no biodiesel residual produzido está relacionada diretamente com a disponibilidade de equipamentos necessários para a realização de cada teste. Frisando, dessa maneira, que os demais não foram realizados devido a indisponibilidade dos mesmos no ambiente em que os procedimentos ocorreram. Esses ensaios tiveram como o escopo a observação, que é fundamental para análise de biodiesel, e verificação da qualidade do óleo produzido e com potencial de utilização em motores de combustão interna ciclo diesel, conforme constata a Tabela 4:

**Tabela 4** – Dos ensaios realizados, suas respectivas normas e descrições.

<b>Ensaio</b>	<b>Norma</b>	<b>Descrição</b>
Aspectos	ASTM D4176	Inspeção visual do óleo produzido. Observação de aspecto, cor e contaminantes.
Massa específica à 20 °C	ASTM D1298	Observação da massa específica do óleo sob temperatura de 20 °C.
Ph	-	Verificação da acidez, alcalinidade e neutralidade do óleo.
Corrosão em Lâmina de Cobre	ASTM D130	Submissão, em lâmina de cobre, do óleo à 50 °C, durante um 3 horas seguidas.

Ponto de Fulgor	ASTM D6751	Estabelece o valor mínimo para o biodiesel em 130 °C.
Ponto de Combustão	ASTM D93	Indica a temperatura em que o vapor do biodiesel entra em combustão.

(Fonte: Autor, 2022)

Com o intuito de abordar a temática central da pesquisa que se trata da avaliação da emissão dos gases e material particulado produzido pelo biodiesel, quando comparado com o diesel, foram realizados três ensaios conforme a Tabela 5:

**Tabela 5** – Descrição das análises também realizadas durante a pesquisa e suas respectivas descrições.

Análises	Descrição
Análise de Emissões de GEE	Avaliar os padrões emitidos de CO, CO <sub>2</sub> , HC e O <sub>2</sub> .
Análise Morfológica de MP	Analisar as características visuais do material particulado emitido.
Análise de vibrações pela ignição	Estabelecer os padrões de comportamento vibracionais do motor, pela ignição, ao adotar determinado tipo de combustível.
Análise do Consumo do Combustível	Verificar quanto foi consumido de combustível em determinado período de tempo.

(Fonte: Autor, 2022)

Para a análise de emissões do monóxido de carbono, dióxido de carbono, oxigênio e os hidrocarbonetos emitidos nas diferentes misturas de biodiesel produzido de *Brassica napus* residual e, também, considerando o diesel S10 comercial, utilizando o Analisador de Gases da Tecnomotor de modelo TM131. Em seu manual, já são estabelecidos os padrões mínimos e máximos que o combustível deve, ou não deve, atingir, conforme demonstra a Tabela 6:

**Tabela 6** – Especificações mínimas e limites para as variáveis a serem analisadas no Analisador de Gases Tecnomotor TM131

<b>Faixa de Medição</b>			
	Mínima	Máxima	
<b>HC</b>	0	20.000 ppm vol	Hexano
	0	40.000 ppm vol	Propano
<b>CO</b>	0	10% VOL	-
<b>CO<sub>2</sub></b>	0	20% VOL	-
<b>O<sub>2</sub></b>	0	25% VOL	-
<b>NO<sub>x</sub></b>	0	5.000 ppm vol	NO
<b>Rotação</b>	200 CPM	10.000 CPM	-
<b>Temperatura</b>	-10 °C	140 °C	-

(Fonte: Manual de Instruções – Analisador de Gases TM 131)

Todavia, para a verificação da qualidade do biodiesel produzido é necessária recorrer a realização das seguintes especificações, de acordo com a Tabela 7 (KULGELMEIER, 2017):

**Tabela 7** – Especificações necessárias para avaliação da qualidade do biodiesel.

**Especificações necessárias para avaliar a qualidade do biodiesel**

<b>Característica</b>	<b>Unidade</b>	<b>Limite</b>	<b>Método</b>		
			ABNT NBR	ASTM D	EN/ISO
Aspecto	-	Límpido e isento de impurezas	-	4176	-
Massa específica a 20° C	kg/m <sup>3</sup>	850 a 900	7148	1298	3675
Viscosidade cinemática a 40°C	mm <sup>2</sup> /s	3,0 a 6,0	10441	445	3104
Teor de água, máx	mg/kg	200	-	6304	12937
Teor de éster	% massa	96,5	15764	-	14103

Enxofre total, máx	mg/kg	10	15867	5453	20846
Corrosividade ao cobre, 3h a 50°C	-	1	14359	130	2160
Número de cetano	-	-	-	613	5165
Índice de acidez, máx	mg/KOHg	0,5	14448	664	14104
Glicerol livre, máx	% massa	0,02	15771	6584	14105
Glicerol total, máx	% massa	0,25	15344	6584	14105
Monoacilglicerol, máx	% massa	0,7	15342	6584	14105
Diacilglicerol, máx	% massa	0,2	15342	6584	14105
Triacilglicerol, max	% massa	0,2	15342	6584	14105
Metanol e/ou Etanol, máx	% massa	0,2	15343	-	14110
Índice de Iodo, max	g/100g	-	-	-	14111
Estabilidade à oxidação a 110°C, mín	h	8	-	-	14112

(Fonte: KULGELMEIER, 2017)

Ao total, para a verificação de uma análise de qualidade completa do óleo são especificados, de acordo com a Embrapa (2021), a realização de um total de 24 ensaios. Podendo-se afirmar que as especificações e exigências que competem ao biodiesel brasileiro corresponde a um dos mais rigorosos a nível mundial. De maneira a apresentar baixa variação. Acrescenta-se que o ensaio de aspecto corresponde a um método de controle de qualidade exclusivo do Brasil. Além dos ensaios mencionados na Tabela 7, a Embrapa (2021) também estabelece a realização dos seguintes: teor de sedimentos (máx),

contaminação total (máx), ponto de fulgor, temperatura de destilação 90% recuperado (máx), teor de éster linolênico, teor de éster poli-insaturado, resíduo de carbono (máx), cinzas sulfatadas (máx), teor de sódio e potássio (máx), teor de cálcio e magnésio (máx), ponto de entupimento a frio (máx), ponto de névoa e filtrabilidade a frio.

A motivação em realizar ensaios que visem caracterizar físico e quimicamente o biodiesel está na busca ao rigor da qualidade do óleo produzido, considerando que o esse tipo de biocombustível é suscetível a reações de oxidações e, por consequência, degradação, dessa maneira, requer cuidados tanto na produção como em sua constituição. Por se tratar, principalmente, do fato de que a matéria-prima utilizada para a produção de um biodiesel é referente a óleo residual. Um óleo que não apresenta as mesmas características de um óleo virgem, todavia, o reaproveitamento de um óleo já utilizado e que teve suas características alteradas devido ao uso que foi submetido.

### 3.6 FASES DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA

A presente pesquisa foi desenvolvida e estrutura conforme as seguintes etapas:

- I. Organização da fundamentação teórica;
- II. Verificação e adoção dos métodos mais adequados para a parte experimental da pesquisa;
- III. Realização dos ensaios e práticas experimentais e laboratoriais;
- IV. Análise dos resultados obtidos;

A Etapa I da pesquisa, referindo-se à organização da fundamentação, compreendeu a fase mais longa da pesquisa. Onde o levantamento bibliográfico para compor a fundamentação teórica da pesquisa se deu desde o início do trabalho até a última etapa. Nela foi buscado abordar temas que abordassem o necessário para compor o desenvolvimento do estudo no que se refere a petróleo, biodiesel e os motores de combustão interna (MCI). Nessa etapa buscou-se construir uma base teórica que apresentasse de maneira clara o estudo proposto.

A Etapa II e Etapa III representaram o momento em que foram avaliados os métodos mais adequados e utilizados, na rede científica, para a composição da parte experimental da pesquisa e a aplicação de fato desses procedimentos, respectivamente. Ou seja, para a produção do biodiesel, propriamente dito, se fez uso de um método que já é utilizado e reutilizado desde 2006, na comunidade acadêmica. Todavia, o método foi aplicado

através de rotas que não desenvolvessem riscos relevantes durante a manipulação dos reagentes. Já no tocante aos ensaios realizados com o biodiesel, todos estiveram em concordância com suas respectivas normas e especificações. Almejando-se a obtenção de resultados relevantes e de acordo com o padrão já estabelecido. A Etapa III foi realizada nos seguintes laboratórios do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte: Petróleo e Gás (LaPeG) e Motores de Combustão de Interna (LabMotor).

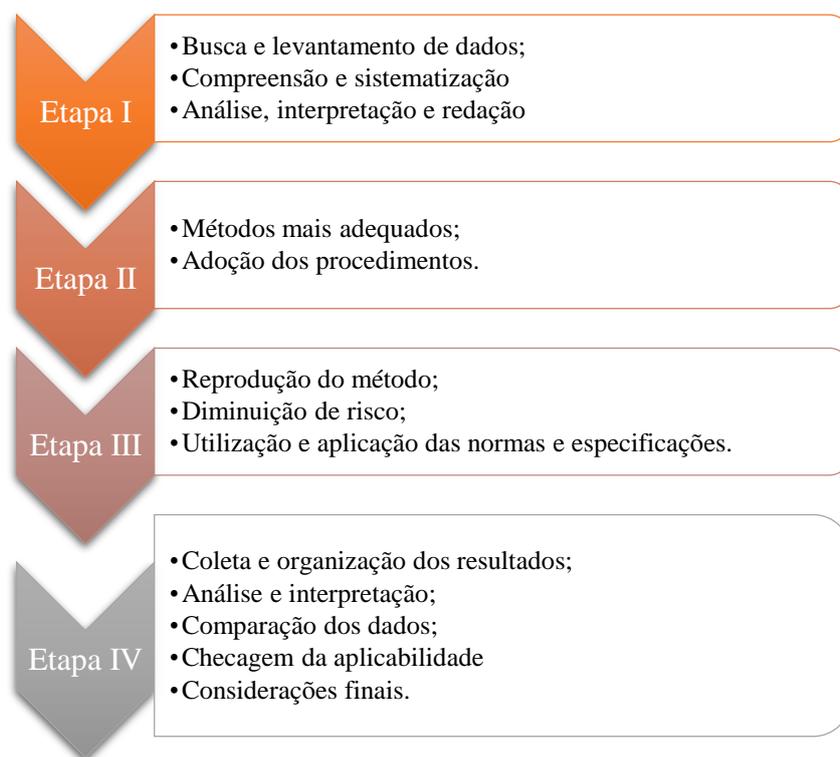
Por fim, a Etapa IV consistiu no momento em que os resultados obtidos através da Etapa III foram, por fim, analisados e interpretados. As análises nesta etapa levaram em consideração os padrões já estabelecidos nas normas, além também, de comparações superficiais com trabalhos semelhantes que abordassem a mesma temática em estudo, e, ainda, teve como escopo a utilização do diesel comercial S10 como base, ou seja, como objeto base já aplicado em mercado e comparado com os resultados obtidos por intermédio das misturas (B13, B20, B30 e B40) de biocombustível residual produzido.

Objetivando propiciar o desenvolvimento do estudo, as fases para o desenvolvimento e realização do trabalho foram subdivididas da seguinte maneira:

- **Etapa I** – Organização da fundamentação teórica:
  - a. Busca e levantamento da base bibliográfica do estudo;
  - b. Compreensão e sistematização dos conteúdos;
  - c. Análise, interpretação e redação do referencial teórico da pesquisa.
- **Etapa II** – Verificação e adoção dos métodos mais adequados para a parte experimental da pesquisa:
  - a. Busca pelos métodos mais adequados, relevantes e já reproduzidos na comunidade acadêmica no que refere ao biodiesel;
  - b. Adoção dos procedimentos;
  - c. Levantamento das normas e especificações relacionados aos ensaios produzidos em biodiesel para a verificação de qualidade e aplicabilidade do óleo.
- **Etapa III** – Realização dos ensaios e práticas experimentais e laboratoriais:
  - a. Reprodução do método mais utilizado cientificamente para produção do biodiesel residual;
  - b. Realização de possíveis alterações no método visando a diminuição de risco quanto a manipulação dos reagentes;
  - c. Utilização e aplicação das normas e especificações nos ensaios nas amostras de biodiesel produzido (B13, B20, B30, B40 e B100\*);

- d. Utilização apenas de determinados ensaios em amostra de B100.
- **Etapa IV – Análise dos resultados obtidos:**
    - a. Coleta e organização dos resultados obtidos na Etapa III;
    - b. Análise e interpretação dos dados adquiridos na Etapa III;
    - c. Comparação dos dados das amostras de biodiesel residual com as amostras de diesel comercial S10;
    - d. Interação dos dados obtidos com estudos já relacionados à temática;
    - e. Checagem da aplicabilidade do biocombustível produzido com os padrões estabelecidos em normas e especificações.
    - f. Considerações finais da pesquisa.

A Figura 16 consiste em um fluxograma que faz referência, de maneira simplificada, as etapas e suas respectivas ações durante a pesquisa:



**Figura 16** – Fluxograma simplificado das fases de produção da pesquisa. (Fonte: Autor, 2022)

É cabível mencionar que todos os procedimentos para a realização do estudo ocorreram em um período de 1 (um) ano. Além das etapas necessárias para compor a dissertação, é incluído nesse mesmo período de pesquisa desde a conclusão dos requisitos obrigatórios – as disciplinas tanto obrigatórias como optativas, além também da realização do exame de proficiência na língua estrangeira e qualificação – como também

o desenvolvimento do Produto Técnico Tecnológico (PTT) e as produções técnicas necessárias – sendo a realização de um evento em escola pública, o desenvolvimento de um minicurso abordando as temáticas em torno do combustível biodiesel além também de um panfleto educativo – e elaboração de artigos científicos para a publicação. Todas as atividades foram realizadas em paralelo umas com as outras em um período de 1 ano e 2 meses.

### 3.7 DAS PRODUÇÕES TÉCNICAS

A partir do desenvolvimento da presente pesquisa foi possível a realização de 2 produtos técnicos. O primeiro produto foi desenvolvido e entregue à coordenação de pós-graduação de Uso Sustentável de Recursos Naturais logo no ano de 2022. Tratou-se de uma extensão de 18 horas, intitulada de “Meio Ambiente em Foco: Poluição x Sustentabilidade” cujo intuito era abordar questões ambientais, climáticas e sustentáveis pautadas em nossa sociedade atual e nas gerações futuras.

O local escolhido para abordar as questões pautadas no Meio Ambiente em Foco: Poluição e Sustentabilidade foi a Escola Estadual Berilo Wanderley. A escola está localizada na Rua Governador Valadares, no bairro de Neópolis do município de Natal – Rio Grande do Norte. A Escola Estadual Berilo Wanderley é voltada para o ensino médio, sendo o 1º, 2º e 3º respectivamente.

Cada ano – 1º, 2º e 3º ano do ensino médio na escola – é constituído por três turmas (A, B e C) contendo em média 40 alunos cada turma. A expectativa é que pelo menos 315 alunos tenham acesso às palestras e atividades que serão realizadas no local. A realização do Meio Ambiente em Foco: Poluição x Sustentabilidade ficou datado para os dias 01, 02 e 03 de junho de 2022. Coincidindo com o período em que é comemorada a Semana do Meio Ambiente e fazendo alusão ao dia 5 de junho, que representa o Dia Mundial do Meio Ambiente. Sendo realizadas durante 3 horas por dia, (1 hora por turma) assim, 9 horas no total acrescido de 1h para a preparação do ambiente.

Foi adotada a estratégia de apresentar uma temática diferente por ano, ou seja, para as turmas de 1º, o tema escolhido foi de poluição, para o 2º ano, sustentabilidade e, por fim, para o 3º, a Política dos 3R's. Sendo realizada também, para todos os anos, uma atividade no modelo de QUIZ (Apêndice 2), contendo 5 questões, através do Google Forms. Com o intuito de testar conhecimentos acerca do tema ministrado. Para se ter

acesso à atividade, os alunos terão que “ler”, através do *smartphone*, o QR Code disponibilizado durante a palestra.

Após a realização das palestras e do QUIZ, serão realizadas diferentes dinâmicas com as turmas. As dinâmicas apresentarão como objetivo o despertar da consciência ambiental acerca das problemáticas vivenciadas por cada indivíduo da sociedade. Sendo problemáticas tanto local como nacional e/ou internacional. A partir disso, estimular o despertar de soluções e atitudes que poderão refletir e alterar esse cenário.

Por fim, é feita a entrega de mudas, frutíferas e/ou nativas para cada turma. Foi disponibilizado 9 mudas com aproximadamente 1 metro cada uma. Sendo mudas de: abacate (*Persea americana*), graviola (*Annona muricata*), cajá-manga (*Spondias dulcis*), manga (*Mangifera indica*), jambo (*Syzygium jambos*), jabuticaba (*Plinia cauliflora*) e caju (*Anacardium occidentale*). É explicado a importância do plantio de mudas para sociedade, o meio ambiente e as gerações futuras durante a entrega. Ainda, é indicada à turma a eleição de um representante para poder fazer o plantio na própria escola.

É cabível mencionar e salientar, que todas as palestras serão realizadas pautadas na pesquisa “Produção de biodiesel residual a partir de *Brassica napus* e análise de aplicabilidade considerando testes comparativos com proporções de mistura – B13, B20, B30 e B40 – e diesel S10 em motor de combustão interna ciclo diesel” orientada pelo professor André Luiz Lopes Toledo. Isso quer dizer que todos os temas abordados (poluição, sustentabilidade e política dos 3R’s) estiveram relacionados diretamente com a pesquisa central.

Outro produto desenvolvido a partir da pesquisa, foi a realização do curso de curta duração intitulado “Biocombustível – Biodiesel: conceitos, características, normas e aplicações”. Nesse sentido, o minicurso foi realizado com o intuito de abranger como público-alvo alunos do curso técnico de nível médio em Mecânica, Petróleo e Gás; e curso de nível superior em Engenharia de Energias do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, com a duração de 3 horas. Sendo aceito também a participação de alunos interessados na temática do minicurso.

O principal intuito da realização do curso de curta duração está na importância que a adoção de combustíveis alternativos como meio de substituição aos combustíveis de origem fósseis pode trazer considerando o ponto de vista ambiental, socioeconômico e político. Realizando também um levantamento de conceitos e características relacionados ao biodiesel.

A principal justificativa para a realização e desenvolvimento de um minicurso que abordasse justamente a temática dos biocombustíveis surgiu a partir do fato de que a degradação ambiental e o forte impacto ambiental que os combustíveis fósseis são capazes de provocar no equilíbrio ecológico é fundamental o incentivo e promoção às medidas alternativas ao uso exacerbado do petróleo. Além de incentivar e impulsionar a sustentabilidade, preservação, conscientização ambiental, proporcionar condições de qualidade de vida e meio ambiente equilibrado, conforme configurar um direito fundamental de qualquer indivíduo de acordo com o artigo 225, do título VIII, capítulo VI da Constituição Federal de 1988, motivando também a gestão e utilização consciente dos recursos naturais, para o presente, sem interferir na qualidade das gerações futuras.

A metodologia de aplicação do minicurso segue conforme as seguintes etapas: ministração do curso, aplicação de Quiz interativo, Apêndice 3, (através do Google Forms) – realizado logo após o curso – composto por 5 questões, sendo 4 objetivas e 1 discursiva. E, ainda, ao final, a entrega de panfletos educativos abordando a temática a respeito do incentivo e a utilização de óleo doméstico residual como matéria-prima para a produção de biodiesel.

O desenvolvimento de panfletos educativos (Apêndice 4) para os alunos que tiverem acesso ao minicurso foi elaborado com o intuito de incentivar a reutilização de óleos domésticos como base para a produção de biodiesel. Além disso, como consequência, promover a política da gestão adequada de resíduos e a promoção da reutilização de substâncias, que na maioria das vezes são descartadas de maneira inadequada.

É cabível salientar que o minicurso desenvolvido esteve em concordância com as seguintes ODS/ONU: ODS 7, ODS 12 e ODS 13. No qual, abordam, respectivamente, a respeito da estimulação a utilização de energias limpas e acessíveis, a garantia e produção sustentável – e ainda a estimulação a redução dos resíduos (3 R's), e, por fim, a promoção de práticas que contribuem para a diminuição das mudanças climáticas.

Após a realização do evento, durante a Semana do Meio Ambiente, na Escola Estadual Berilo Wanderley, em junho de 2022, foi possível o desenvolvimento de um artigo científico tratando-se de uma das temáticas abordadas, a sustentabilidade.

O artigo trata-se de um estudo de caso levando em consideração as turmas do 2º ano do Ensino Médio da escola onde as palestras ocorreram. Trata-se de uma pesquisa intitulada como “Análise da percepção ambiental a partir de conceitos de sustentabilidade com alunos do 2º ano do ensino médio em escola estadual de Natal, Rio Grande do Norte

- Brasil”. Nele foi realizado o levantamento de informações, a partir do Quiz interativo (aplicado por intermédio do Google Forms), com a finalidade de analisar a percepção ambiental dos alunos no que se refere aos conceitos e aplicabilidades de sustentabilidade.

Acrescenta-se que fazer menção da temática, foi desenvolvido também a importância da adoção de práticas sustentáveis que visam impactos, positivos, para as gerações futuras e o meio ambiente, além de abordar a respeito das principais problemáticas ambientais que estão em torno e presentes na sociedade, inclusive as mudanças climáticas, suas principais atividades e fontes causadores de poluição e seus efeitos.

Com o estudo, foi possível indicar que grande parte dos discentes, participantes do questionário, apresentam boa percepção ambiental, principalmente quanto à sustentabilidade. Podendo-se dizer que os alunos da escola em questão, de modo geral, são comprometidos com temas ambientais não apenas de modo teórico, como também através da prática de atitudes e comportamentos sustentáveis.

O artigo foi submetido à Revista Brasileira de Educação Ambiental, da Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP), em setembro de 2022, apresentando o extrato Qualis A3 conforme a nova atualização da CAPES. Salienta-se que o estudo foi aceito para a publicação na edição de 01 de abril de 2023 da revista mencionada.

Outra produção técnica desenvolvida ocorreu durante a disciplina de Biodiversidade, energia e sustentabilidade. Refere-se a um artigo de revisão bibliográfica designada como “Alternativas para a substituição de combustíveis fósseis em motores de ciclo diesel: uma revisão a partir de conceitos, características e possíveis tendências”. Nele foi possível abordar dados, informações, publicações e o que há de mais moderno e recente na indústria automotiva, dando ênfase a produções difundidas principalmente nos últimos 10 anos.

O desenvolvimento da revisão produzida optou em abordar as principais formas de biocombustíveis que são utilizadas como alternativa para a substituição de combustíveis diesel. Foi incluído a abordagem sobre 7 tipos de combustíveis e 1 tendência, sendo eles: biodiesel, óleo vegetal hidrogenado (HVO), biometano, biogás, bioetanol, hidrogênio, gás natural veicular (GNV) e os veículos híbridos (fazendo menção aqueles que veículos que compartilham tanto de características de motores Diesel como também elétrico).

A revisão bibliográfica foi submetida como capítulo do livro que será lançado pelo Programa de Pós-graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais (PPgUSRN) do

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. Apresentando a previsão de lançamento apenas em 2023.

O terceiro artigo desenvolvido é resultante da presente pesquisa. Intitulado como ‘Dos gases de emissão de um motor de combustão interna ciclo diesel: uma análise a partir da utilização de biodiesel residual de *Brassica napus* – B13, B20, B30 e B40 – comparado ao diesel S10’, buscou-se estar em sintonia com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Organizações das Nações Unidas – ODS 7 (energia limpa e acessível), ODS 12 (consumo e produção sustentáveis) e ODS 13 (ação contra a mudança global do clima) – com o um intuito de incentivar o uso de biocombustíveis, o biodiesel, em motores de combustão interna (MCI) ciclo diesel como alternativa real ao uso do combustível convencional diesel S10.

O estudo teve como finalidade abordar a respeito das emissões de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), hidrocarbonetos (HC) e oxigênio (O<sub>2</sub>) emitidos pelas misturas de biodiesel e diesel S10 (como modelo base de combustível) quando submetidos em um motor de combustão interna (MCI) ciclo diesel.

### 3.8 DO PRODUTO TÉCNICO TECNOLÓGICO (PTT)

Como produto final apresentado para o PPgUSRN/IFRN foi adotado a seguinte tipologia: manual/protocolo. A elaboração de um manual/protocolo (Apêndice 5) surgiu durante a fase da pesquisa em que se estava desenvolvendo o biodiesel residual de canola, cuja nomenclatura científica é *Brassica napus*, com a finalidade de traduzir os passos para a produção de biodiesel, através de uma via tradicional, e apresentar uma rota de elevação de rendimento do óleo produzido.

O desenvolvimento de um manual/método vem com o objetivo de estabelecer, de acordo com a CAPES (2019), um conjunto de informações, decisões, normas e regras que se aplica a determinada atividade, que encerra os conhecimentos básicos de uma ciência, uma técnica, um ofício, ou procedimento. Acrescentando que pode se apresentar como um guia de instruções que serve para a utilização de um determinado dispositivo, para correção de problemas ou para o estabelecimento de procedimentos de trabalho.

O manual/método consistiu em proporcionar, principalmente, uma rota, uma alternativa de aumento de rendimento de produção de biodiesel residual produzido por intermédio da reação de transesterificação por via etílica/alcalina. Isso quer dizer que, através do método já existente para a geração de biodiesel, foi possível a realização de

adaptações que resultam no melhor aproveitamento do óleo utilizado como matéria-prima para o biocombustível a ser produzido.

Intitulado como “Manual: Rota para elevação de rendimento de produção do biodiesel residual originado a partir da reação de transesterificação etílica por via alcalina” apresenta sua importância baseada na elevação do rendimento de produção do óleo está relacionada principalmente com o fato de evitar desperdícios e perdas antes, durante e após a reação de transesterificação do biodiesel. Nesse sentido, como consequência, obtendo-se o melhor aproveitamento do óleo base utilizado.

## **4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

### **4.1 DOS ASPECTOS VISUAIS DO BIODIESEL RESIDUAL PRODUZIDO**

O óleo doméstico até ser transformado em biodiesel, passa por algumas fases de pré-tratamento, que consiste na limpeza da matéria-prima até a submissão às fases que consistem na reação de transesterificação. A reação que é capaz de transformar o óleo em biodiesel. Assim, a Figura 17, demonstra como o óleo de *Brassica napus*, em seu estado inicial e após 2 lavagens a vácuo se apresentou antes de ser levado para a reação.

O pré-tratamento do óleo de *Brassica napus* foi realizado com o auxílio de uma bomba de vácuo para realizar a retirada das impurezas contidas no óleo. De modo que, um sistema em que um Erlenmeyer de 250 mL acoplado com funil de Buchner e filtro de papel, associado à bomba de vácuo, objetivava a facilidade e rapidez para a retirada das impurezas presentes na matéria-prima.

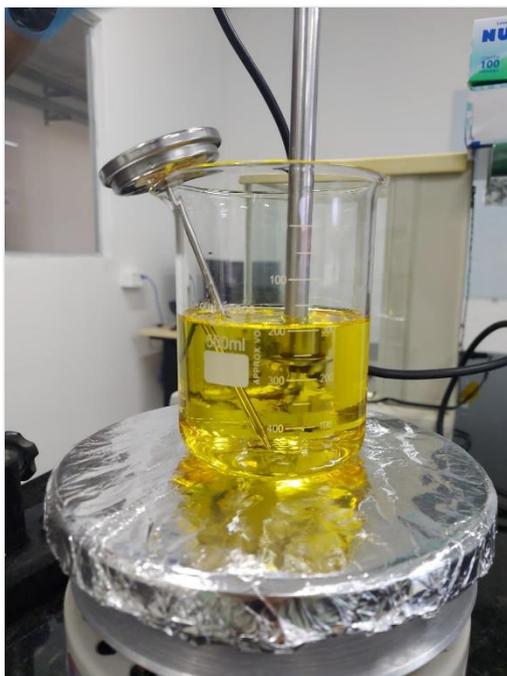
É possível constatar, na Figura 17, que o óleo apresentava, inicialmente, uma coloração mais escura e ainda, mesmo considerando que no registro não se é evidenciado, havia a presença de contaminantes e impurezas que estavam tanto de forma saturada como em suspensão no óleo. A finalidade de se colocar uma imagem que demonstra como o óleo estava, inicialmente, e como ficou posteriormente, após a reação, serve de comparativo das características visuais a serem analisadas. Menciona-se que na Figura 17, o óleo de canola foi submetido a pelo menos 2 limpezas de pré-tratamento.



**Figura 17** – Óleo residual, submetido a filtragem inicial, antes de ser submetido a reação de transesterificação. (Fonte: Autor, 2022)

Com isso, o ensaio de aspecto consiste em um parâmetro de observação da qualidade do biodiesel produzido com o fim de analisar, de modo preliminar, as características visuais do óleo, considerado pela Resolução ANP nº7 de 19 de março de 2008. Ou seja, é através dos aspectos que se é possível a identificação, visualmente, da presença de impurezas, turbidez, sedimentos ou quaisquer outros materiais que possam estar em suspensão no biodiesel. Esse ensaio também está previsto na ASTM D4176, que determina a inspeção visual do óleo produzido. Levando em conta a observação de aspecto, cor e contaminantes.

Através do ensaio de aspectos é possível indicar a presença ou não de água no biodiesel produzido, conforme afirma Lôbo et al. (2009). E ainda, pode apontar a existência, ou não, de contaminantes e impurezas. Na Figura 18, após a realização de todos os procedimentos para a produção do biodiesel residual de *Brassica napus*, por intermédio da reação de transesterificação, foi possível obter um óleo sem nenhum vestígio de contaminantes visuais, a inexistência de turbidez do óleo. Demonstrando o desenvolvimento de um óleo, analisado aparentemente, límpido e isento de impurezas.



**Figura 18** – Biodiesel residual produzido após etapa de secagem do óleo. (Fonte: Autor, 2022)

Se faz necessário a menção de que o resultado obtido na Figura 18 é referência a todas as outras amostras de biodiesel residual produzido. Considerando que todas foram produzidas através do mesmo método, levando em conta todas as especificações para a produção do biodiesel, obtendo-se, dessa maneira, o mesmo resultado da figura. Assim, não havendo a necessidade de repetição de imagens que comprovasse o mesmo efeito.

Salienta-se que o ensaio de aspecto pode apresentar seu resultado alterado a partir do momento em que se considera o grau de saturação das cadeias carbônicas presentes no biodiesel, levando em conta a matéria-prima utilizada, além também das condições no qual os produtos foram estocados e manuseados, e a presença, ou não, de contaminantes na amostra.

#### 4.2 MASSA ESPECÍFICA À 20°C E PH

A determinação da massa específica do óleo produzido ocorreu de maneira bem simples. Por intermédio da divisão entre a massa (g) e o volume (mL) que este ocupa. A massa do óleo foi verificada em balança analítica através da utilização do Becker. Já o volume do biodiesel foi observado por meio de uma proveta graduada. A Equação 5 da massa específica do biodiesel foi a seguinte:

$$\mu = \frac{M}{V} \quad (5)$$

As massas obtidas do biodiesel produzido variaram entre 89,601 g e 258,5 g. O valor variou devido à quantidade de óleo utilizado para produzir o biodiesel no dia em que o mesmo foi submetido à reação de transesterificação.

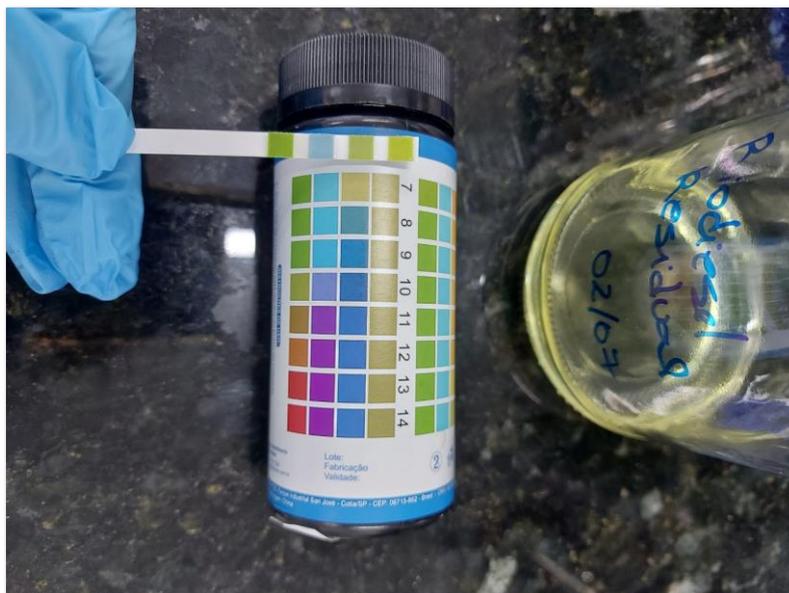
A massa específica foi obtida através da balança analítica de precisão. Utilizou-se Becker de 250 ml para conter a amostra de biodiesel. Tarou-se a balança com a carga do Becker utilizado e foi possível obter, dessa maneira, o valor da massa do óleo. A unidade de medida da massa do óleo é o grama (g). Para as amostras analisadas, a massa específica do óleo residual de *Brassica napus*, ocorreu através da Equação 5, foi no valor de 0,896 g/mL.

Tendo em vista que a massa específica pode afetar, de modo direto, o desempenho do motor, através da interferência na relação entre ar/combustível injetados na câmara, através da Resolução ANP nº 45 de 2014 é recomendado que esta propriedade não sofra grandes variações de maneira a comprometer a massa ideal a ser injetada na câmara de combustão do motor.

A Resolução mencionada também comenta que a distribuição por comprimento da cadeia molecular do biodiesel, assim como, as condições de estocagem, manuseio e presença de produtos de degradação, incluindo, também, a variação de matéria-prima que irá originar o biodiesel consistem em variáveis que são capazes de afetar diretamente na análise da massa específica do biodiesel.

Por sua vez, a determinação do pH das amostras de biodiesel - B13, B20, B30, B40 e B100 – foram determinadas através da utilização das fitas de pH. Essa verificação surge com o intuito de avaliar o potencial hidrogeniônico de uma solução. Indicando, nesse sentido, se a mesma se trata de uma solução ácida ( $\text{pH} < 7$ ), neutra ( $\text{pH} = 7$ ), ou básica ( $\text{pH} > 7$ ).

Para todas as amostras de biodiesel produzidas, segundo a Figura 19, o resultado foi unânime. O pH obtido foi igual a 7. Não havendo a necessidade nem de basificar ou acidificar a mistura produzida. Podendo-se considerar que a qualidade do óleo inicial, a estabilidade do teor de ésteres e o tipo de oleaginosa correspondem a características que podem alterar o pH final da amostra produzida.



**Figura 19** – pH neutro do biodiesel residual produzido. (Fonte: Autor, 2022)

Ao produzir biodiesel residual de soja, oleaginosa mais utilizada como matéria-prima, todavia, o óleo residual de soja apresenta-se como um dos mais oxidativos, por consequência, apresentam a maior facilidade de se degradar, conforme afirmam Sena et al. (2015), Dib (2010) notou que mesmo durante o processo de produção e, ainda, neutralizando a amostra que obteve, o pH resultante foi de 6. Indicando um biodiesel levemente ácido.

Auth et al. (2008) intensificam que com o intuito de evitar prejuízos no motor e em seus respectivos componentes metálicos é fundamental que o pH do biodiesel seja neutro, ou caso básico ou ácido, ser neutralizado.

Sena et al. (2015) indicam que analisar o tipo de oleaginosa visando a produção de biodiesel é de extrema importância. Mencionam que a diferença quanto ao poder oxidativo da matéria-prima pode ser marcante, exemplificando a soja como a mais oxidativa e a canola como sendo a que apresenta o menor poder oxidativo.

#### 4.3 DO RENDIMENTO DAS MISTURAS DE BIODIESEL RESIDUAL PRODUZIDO A PARTIR DE ÓLEO DE FRITURA

A observação do rendimento final obtido, através da reação de transesterificação, de um biodiesel tem como intuito analisar o aproveitamento do óleo inicial após a reação química. Para isso, é importante a verificação de quanto foi utilizado antes da transesterificação e após a transesterificação. Sendo esse procedimento realizado através

de proveta graduada, para a medição do volume inicial e final obtido. Rossi et al. (2018) acrescenta que é possível calcular, também, o rendimento do biodiesel por intermédio do cálculo representado pela Equação 6 da seguinte maneira:

$$\% \text{ rendimento} = \frac{m_{\text{real}}}{m_{\text{teórica}}} \times 100 \quad (6)$$

As amostras de óleo residual de canola foram submetidas, inicialmente, para a produção do biodiesel através do método Christoff (2006). Sendo seguidas de maneira rigorosa de acordo com o método. No qual, verificou-se que, após a produção de 5 amostras de biodiesel, o rendimento obtido para as respectivas amostras foi de, 60%, 70%, 72%, 66% e 63%, conforme exposto na Tabela 8. A análise laboratorial do rendimento do biodiesel residual ocorreu entre o período de 30 de junho de 2022 até 15 de julho de 2022. O rendimento médio total para o método Christoff (2006) foi de 66,2%.

Esse rendimento obtido se deu, principalmente, ao fato de que durante o processo de produção do biodiesel, por intermédio das etapas em que ocorreram as separações das fases (o biodiesel e a glicerina) e as seguintes lavagens do óleo final.

**Tabela 8** – Caracterização do rendimento obtido para a produção do biodiesel residual através do método Christoff (2006).

<b>AMOSTRAS – Canola (data)</b>	<b>Rendimento obtido (%)</b>
<b>MÉTODO Christoff (2006)</b>	
30/06/2022	60
01/07/2022	70
06/07/2022	72
13/07/2022	66
15/07/2022	63
<b>RENDIMENTO MÉDIO TOTAL</b>	<b>66,2%</b>
<b>DESVIO PADRÃO</b>	<b>4,92%</b>

(Fonte: Dados da pesquisa, 2022)

Na literatura, observa-se que Dias et al. (2014) também ao adotar a Christoff (2006) para a produção de biodiesel, todavia através da via ácida, onde se faz uso de catalisadores ácidos durante a reação de transesterificação, para se obter o biodiesel, em suas amostras,

obteve o rendimento de 77%. Resultado que se assemelhou ao rendimento de uma das amostras realizada durante a pesquisa, cujo rendimento obtido foi de 72%, por intermédio da via básica, cabendo salientar.

Ramiro (2013) ao realizar a reação de transesterificação através da rota básica, com o uso de metanol e hidróxido de potássio para a obtenção de biodiesel com óleo residual obteve o rendimento da reação de 55%. Todavia, a autora justifica que a baixa no rendimento se deu devido a formação de sabão durante a reação, o que tornou a separação do éster e da glicerina mais dificultosa, resultando no baixo aproveitamento do óleo.

Objetivando o aumento do rendimento da produção do biodiesel residual de canola foram adotados procedimentos e alterações que pudessem resultar no melhor aproveitamento do óleo. O método foi denominado de Silva Marques (2022). Salienta-se que não houve modificação nos volumes e quantidades necessárias – de álcool e catalisador necessários – para a reação de transesterificação.

Através do método Silva Marques (2022) foram realizadas 5 amostras de biodiesel, onde foi possível alcançar o rendimento final de 97%, 98%, 84%, 93% e 91%, respectivamente, de acordo com a Tabela 9. A análise laboratorial do rendimento do biodiesel residual ocorreu entre o período de 16 de julho de 2022 até 13 de agosto de 2022. O rendimento médio total para o método Silva Marques (2022) foi de 92,6%.

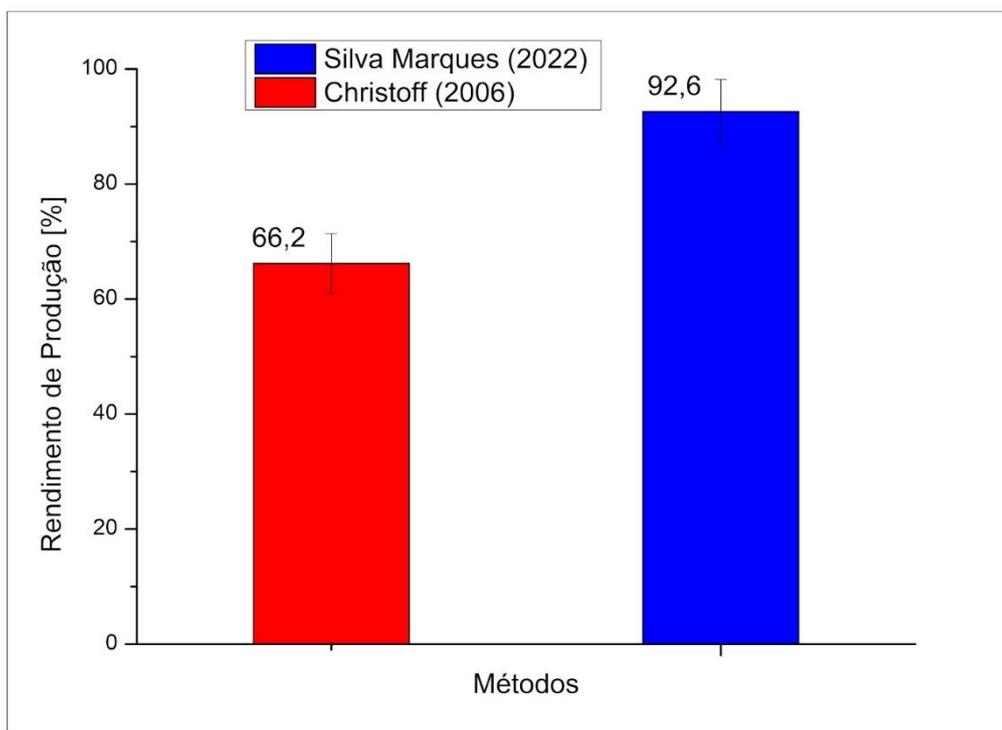
**Tabela 9** – Caracterização do rendimento obtido para a produção do biodiesel residual através do método Silva Marques (2022).

<b>AMOSTRAS – Canola (data)</b>	
<b>MÉTODO SILVA MARQUES</b>	<b>Rendimento obtido (%)</b>
<b>(2022)</b>	
16/07/2022	97
20/07/2022	98
30/07/2022	84
06/08/2022	93
13/08/2022	91
<b>RENDIMENTO MÉDIO TOTAL</b>	<b>92,6%</b>
<b>DESVIO PADRÃO</b>	<b>5,59%</b>

(Fonte: Dados da pesquisa, 2022)

De modo mais visual para demonstrar os resultados obtidos através da observação do rendimento do biodiesel produzido após a reação de transesterificação, representado

pelo Gráfico 1, observa-se a elevação do aproveitamento do óleo após realizada adaptações no Método Christoff (2006) para a produção do biodiesel. As modificações no método que já vem sendo utilizado desde 2006, resultaram na elevação evidente do rendimento e aproveitamento do óleo.



**Gráfico 1** – Análise visual dos rendimentos das amostras de biodiesel residual através do método Christoff (2006) e o método Silva Marques (2022). (Fonte: Dados da pesquisa, 2022)

Uchôa (2017) relata que a elevação do rendimento da produção de biodiesel, normalmente, é saliente quando se encontra na presença de meio ácido, isso quer dizer que, durante a reação de transesterificação se é utilizado catalisadores ácidos ao invés de básicos. Todavia, configuram reações lentas e que exigem a exposição a elevadas temperaturas, tornando-se, comercialmente, inviável.

Nesse sentido, ao se almejar obter melhor aproveitamento, por consequência, melhor rendimento do óleo, é de essencial importância a observação e adoção de instrumentos que possam ser utilizados com este fim, principalmente quando se trata do catalisador utilizado durante a reação. Salienta-se que quanto maior o parâmetro analisado, comercialmente torna-se melhor (PEREIRA et al., 2015).

#### 4.4 DA CORROSÃO EM LÂMINA DE COBRE DAS AMOSTRAS DE BIODIESEL COMPARADAS COM O DIESEL S10

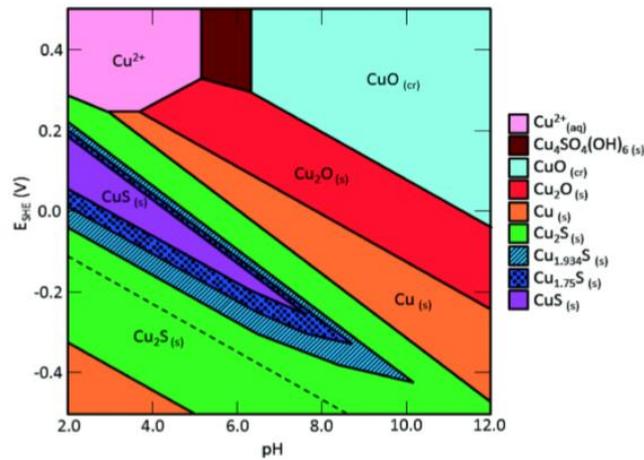
A corrosão pode ser entendida, de acordo com a Bosch (2005), como sendo a perda de material da superfície de um metal como consequência de uma reação eletroquímica a partir do contato com substâncias do ambiente. Ou seja, os átomos metálicos se oxidam, originando, dessa maneira, compostos não-metálicos.

Objetivando a verificação da possível ocorrência de desgastes e corrosão das peças fundamentalmente metálicas de um motor, avaliando, dessa maneira, a reação entre o contato do óleo sob a lâmina de cobre, submetidas sob temperatura e duração de tempo estabelecidos através da norma ASTM D130. A Resolução ANP nº 45/2014 também acrescenta que possíveis danos aos componentes metálicos do motor podem estar associados à presença de ácidos ou de compostos de enxofre na constituição do óleo combustível utilizado.

Nesse sentido, o ensaio de corrosividade em lâmina de cobre corresponde a um parâmetro estabelecido que tem como finalidade a determinação da capacidade potencial do combustível analisado – no caso, o diesel convencional (comercial) e o biodiesel residual de *Brassica napus* (B13, B20, B30, B40 e B100) – em provocar a corrosão em peças metálicas. Essas peças podem tanto ser componentes do motor a receber esse combustível como também ao local em que este será armazenado, como o caso do tanque.

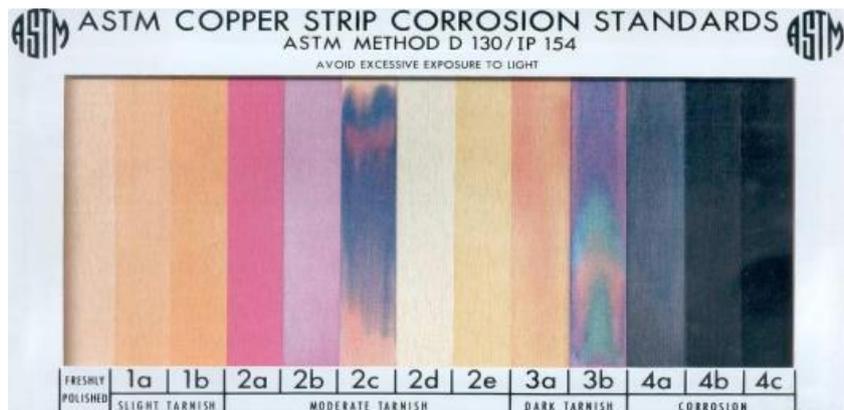
De acordo com Lôbo et al. (2009), a corrosividade em cobre está relacionada diretamente com a presença de ácidos ou de compostos de enxofre na composição do combustível observado.

O objetivo da realização do ensaio de corrosividade se deu pela necessidade da observação da variação de cores e diferentes produtos que podem ser originados sob condições diferentes de sulfetização e pH, conforme mostra o Diagrama de Pourbaix, na Figura 20. É sabido que a presença, após o ensaio, de quaisquer uma das cores presentes no diagrama é sinônimo do produto - substâncias ou compostos - da reação entre a lâmina e o óleo observado.



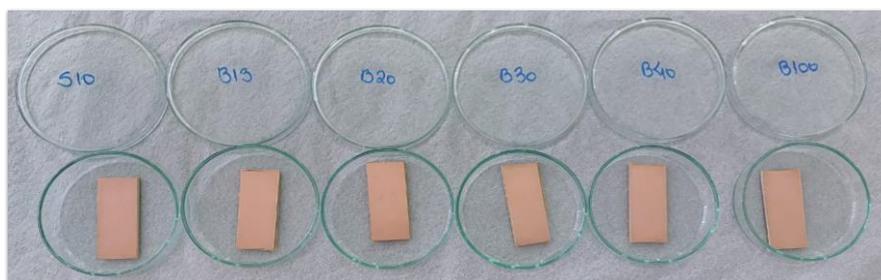
**Figura 20** – Diagrama de Pourbaix do sistema Cu-O-S. (Fonte: MA et al., 2014)

A norma ASTM D130 estabelece um padrão de resultados (Figura 21) que podem ser obtidos após a realização dos ensaios seguindo as especificações estabelecidas. No qual também é possível notar os níveis de corrosão e o grau de corrosividade em lâminas de cobre.



**Figura 21** – Padrão de lâminas que podem ser obtidas após ensaio em lâmina de cobre. (Fonte: ASTM D130)

Assim, para fins de registros iniciais foi retratado o estado em que as lâminas estavam antes de serem submetidas à presença dos óleos em estudo (diesel, B13, B20, B30, B40 e B100). Salienta-se que para esse ensaio, foi produzido amostra de biodiesel B100 apenas para fins comparativos com as demais amostras analisadas. As lâminas de cobre possuíam as seguintes dimensões: 30 mm x 20 mm (3 cm de comprimento por 2 cm de largura). Foram polidas, limpas e logo após, inseridas em placas de Petri, separadamente, antes de serem submersas em óleo combustível. Conforme aponta a Figura 22.



**Figura 22** – Lâminas de cobre antes de serem inseridas em óleo para a realização do ensaio conforme ASTM D130. (Fonte: Autor, 2022)

Após realizados todos os procedimentos pré-ensaios, as lâminas de cobre foram submetidas às condições estabelecidas na norma ASTM D130. Onde, as lâminas de cobre foram mergulhadas em 10 ml de óleo, enviadas para estufa sob temperatura de 50 °C, constante, durante um período de 3 horas. É sabido, conforme a norma utilizada, que a análise do biodiesel no tocante à corrosividade trata-se, basicamente, do fornecimento de parâmetros visuais. Isso quer dizer que, por meio da observação, é possível avaliar as aparências obtidas após a realização do ensaio, se ocorre ou não o processo corrosivo na lâmina de cobre em contato com óleo analisado.

Seguidamente, de acordo com a Figura 23, observou-se que nenhuma das amostras apresentou nenhum tipo de sinal de corrosividade após a realização do ensaio, seguindo todas as exigências impostas. Indicando um claro sinal positivo para os biocombustíveis produzidos, considerando que apresentaram a mesma resposta para o ensaio comparadas com o diesel convencional.



**Figura 23** – Lâminas de cobre após a realização do ensaio conforme ASTM D130 e ainda mergulhadas em óleo. (Fonte: Autor, 2022)

Após realizado o ensaio, ainda em referência à Figura 23, conforme especificações estabelecidas pela ASTM D130, notou-se que não houve o registro de ataque agressivos e notórios às lâminas de cobre, em nenhuma amostra dos combustíveis analisados. O resultado obtido para tal ensaio foi unânime para o diesel comercial como também para todas as amostras de biodiesel residual de *Brassica napus*.

Na Tabela 10, é observado o nível de corrosividade das lâminas de cobre após a realização do ensaio estabelecido pela norma ASTM D130. É contemplado que as amostras não apresentaram níveis superiores a 1 após a realização do ensaio e ao limite estabelecido pela Resolução nº 14 de 2012 da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.

**Tabela 10** – Níveis de corrosão conforme das amostras, após o ensaio de corrosividade, conforme a norma ASTM D130.

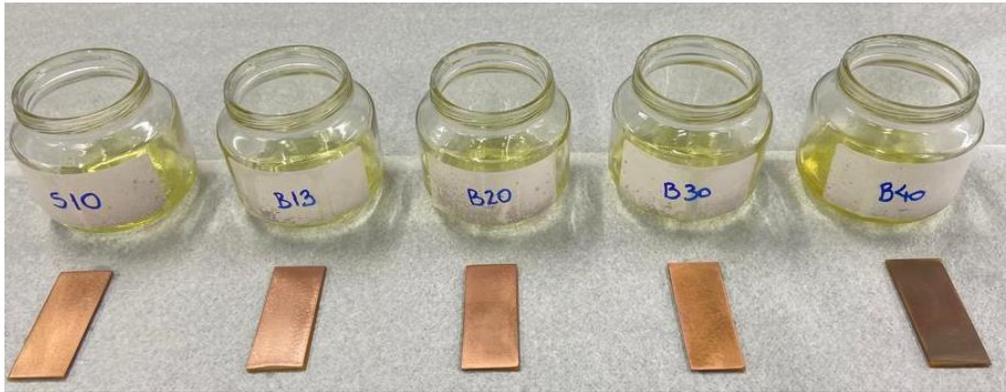
Amostras	Grau de Corrosividade à lâmina de cobre
S10	1
B13	1
B20	1
B30	1
B40	1
B100	1

Fonte: Dados da pesquisa, 2022

Kugelmeier (2017) ao realizar o mesmo ensaio em biodiesel com mistura B7 (7% biodiesel e 93% diesel) e B100 (100% biodiesel), observou, também, não houve alterações nas lâminas que estiveram em contato com óleo após 3h à 50 °C.

Viana (2013) em sua pesquisa com misturas de 4% (B6) e 5% (B5) além do biodiesel 100% (B100), ao adotar as especificações estabelecidas pela norma ASTM D130, observou que foi obtido o nível de corrosão igual a 1 para todas as suas amostras avaliadas. Resultado que se mantém de acordo com o valor limite, conforme a Resolução nº 14 de 2012 da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.

E ainda, com o propósito de agregar valor ao ensaio de corrosividade, foi observado a corrosão espontânea das lâminas de cobre, em temperatura ambiente, após a realização do ensaio ASTM D130, em um período de 30 horas, conforme a Figura 24. Notou-se que após esse tempo de descanso das lâminas, foi possível constatar o escurecimento, na tonalidade amarronzada da lâmina mergulhada no combustível B40, indicando, dessa maneira, a possível presença do sulfato mineral  $Cu_4SO_4(OH)_6$ .



**Figura 24** – Amostras de cobre submetidas às diferentes taxas de biodiesel e diesel após 30h imersas, sob temperatura ambiente. (Fonte: Autor, 2022)

Também foi verificado, conforme a Figura 24, que a amostra referente ao biocombustível B30 apresentou sinal de corrosão exibindo a coloração mais alaranjada que as demais amostras. Apontando, nesse sentido, o ataque ao cobre. Já as demais amostras – S10, B13 e B20 – não apresentaram nenhum sinal de corrosividade após o período de 30h de descanso. Ostentando, todas essas, do mesmo resultado.

#### 4.5 DO CONSUMO DAS AMOSTRAS DE BIODIESEL E DIESEL S10 APLICADAS NO MOTOGERADOR

De acordo com a Bosch (2005), a realização de testes, ou ensaios, que envolvem a análise do consumo objetivam verificar o rendimento do combustível no motor. A potência consumida pelo banco de carga resistivo apresentou valores próximos, o que era esperado sobretudo pela utilização de um dinamômetro elétrico puramente resistivo cujo fator de potência é unitário. A Tabela 11 representa as potências consumidas durante o experimento por cada combustível.

**Tabela 11** – Potência mecânica consumida por combustível ensaiado.

Combustível	S10	B13	B20	B30	B40
<b>Potência (W)</b>	4485 ± 21	4486 ± 19	4488 ± 14	4492 ± 16	4487 ± 22

Fonte: Dados da pesquisa, 2022

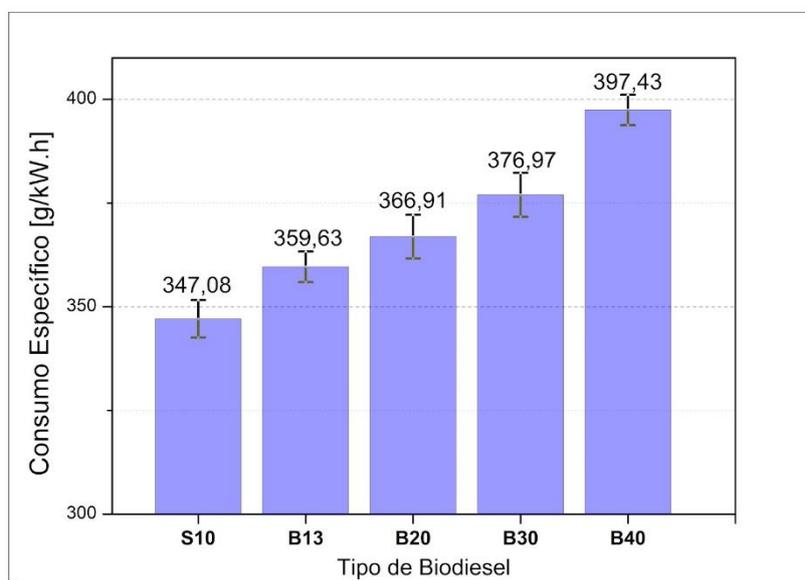
Na Tabela 12 estão registradas além das massas consumidas de combustíveis e do tempo de duração do ensaio, o consumo médio para cada espécime de combustível em estudo.

**Tabela 12** – Caracterização do consumo através da massa consumida e o tempo.

Tipo de Combustível	Massa cons. (g)	Tempo (min e s)	Consumo (kg/h)
S10	443,434	17min e 02 s	1,562
B13	451,707	17 min	1,594
B20	468,368	17 min e 05 s	1,655
B30	486,961	17min e 10s	1,702
B40	510,059	17min e 11s	1,781

Fonte: Dados da pesquisa, 2022

Através dos resultados da potência mecânica consumida e do consumo horário foram obtidos os valores do consumo específico que estão representados por intermédio do Gráfico 2. A análise do consumo específico visa indicar qual a massa de combustível necessária para dissipar uma unidade de energia. Ocorrendo por meio da razão entre a massa de combustível consumida pela potência média dissipada em determinado período de tempo.



**Gráfico 2** – Consumo específico obtido no motogerador com a utilização de cada tipo de biodiesel residual. (Fonte: Autor, 2022)

Percebe-se no Gráfico 2 que o combustível que mais se apresentou econômico foi o diesel S10, registrando o consumo específico de 347,08 g/kW.h. Nota-se que à medida

que a taxa de mistura do biodiesel é aumentada, o consumo específico, para todas as amostras do biocombustível, também cresceu. Sendo a amostra B40 detentora do maior consumo. Quando comparada com o diesel S10, o B40 teve um aumento equivalente a 11,45% a mais do que o combustível fóssil. Já as demais amostras do biodiesel residual de *Braassica napus* – B13, B20 e B30 – apresentaram elevação do consumo em 3,61%, 5,46% e 8,61%, respectivamente. Verifica-se que Carvalho (2014) ao analisar o desempenho do consumo específico do óleo diesel e biodiesel B20 e B100, aplicados também em motor de combustão interna de ciclo diesel, obteve valores semelhantes ao da pesquisa realizada.

Ao considerar o viés econômico, o combustível oriundo do petróleo, diesel S10, é melhor no que se refere ao consumo, apresentando-se como uma rota mais moderada. A razão do fato está relacionada principalmente à estequiometria do combustível. Considerando que para a relação estequiométrica do diesel (kg de combustível / kg de ar) equivale a 14,5 de acordo com Hoffmann (2016). À medida que a concentração de oxigênio se eleva na mistura, ocorre, proporcionalmente, o aumento da concentração do combustível. Cabendo mencionar, que a composição do biodiesel é mais rica em oxigênio do que o diesel à proporção que a mistura biodiesel/diesel é acrescida, conforme afirma Subbaiah (2010). Implicando dizer que para se manter a estequiometria, um combustível mais oxigenado irá aumentar o consumo.

#### 4.6 DO PONTO DE FULGOR E PONTO DE COMBUSTÃO DO DIESEL S10 E DAS AMOSTRAS DE BIODIESEL

O ensaio de ponto de fulgor é responsável por avaliar a temperatura em que se é observada a liberação de vapores de uma substância em estado líquido, de modo que o vapor liberado forme uma mistura inflamável em contato com o ar. Normalmente, de acordo com Lôbo et al. (2009), o ponto de fulgor para o biodiesel puro (B100) costuma atingir temperaturas superiores a 170 °C.

O ponto de fulgor (PF) está diretamente relacionado com o parâmetro de segurança do óleo. Isso quer dizer que elevadas temperaturas de fulgor implicam dizer que o óleo apresenta maior segurança em armazenamento e transporte. Para a ocorrência de riscos, explosões, é necessário o alcance de temperaturas superiores ao ponto de fulgor. A Comissão Tripartite Permanente de Negociação do Setor Elétrico no Estado de São Paulo

(2017) acrescenta ainda que, no ponto de fulgor a ocorrência da produção da chama, todavia esta não consegue se manter devido a insuficiência dos gases produzidos.

Já o ensaio de ponto de combustão está voltado para a análise da temperatura mínima que proporcione o desprendimento de vapores ou gases do combustível em estudo, que uma vez em contato com o ar produz uma chama de durabilidade maior que 5 segundos, de acordo com a Comissão Tripartite Permanente de Negociação do Setor Elétrico no Estado de São Paulo (2017).

A norma que prevê as temperaturas de PF para o biodiesel está estabelecida na ASTM D6751. Nela é estabelecido o valor mínimo de 130 °C para o biodiesel puro. Por sua vez, a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis indica o valor mínimo de 100°C, para o B100. Já para o ponto de combustão (PC) é referente a temperatura que o vapor do biodiesel entra em combustão por mais de 5 segundos. Ocorrendo apenas após a elevação de alguns graus Celsius depois da indicação da temperatura do Ponto de Fulgor.

No ensaio do PF foi realizado através do método do vaso aberto ou chamado também de *open cup*. O método consiste em aquecer o óleo, a partir de condições controladas, a temperaturas específicas, fazendo uso do vaso aberto (COELHO, 2016). Com o fim de simular possíveis condições de armazenamento do óleo em locais de trabalho.

O ensaio para avaliar o PF e o PC dos óleos observados – S10, B13, B20, B30, B40 e B100 – ocorreram entre os dias 30 de julho e 13 de agosto de 2022. Através do medidor de Ponto de Fulgor e Combustão, de vaso aberto, Q292, da marca Cleveland. Nele é possível determinar o chamado de “*flash point*” (PF) e “*fire point*” (PC) dos produtos que são derivados de petróleo.

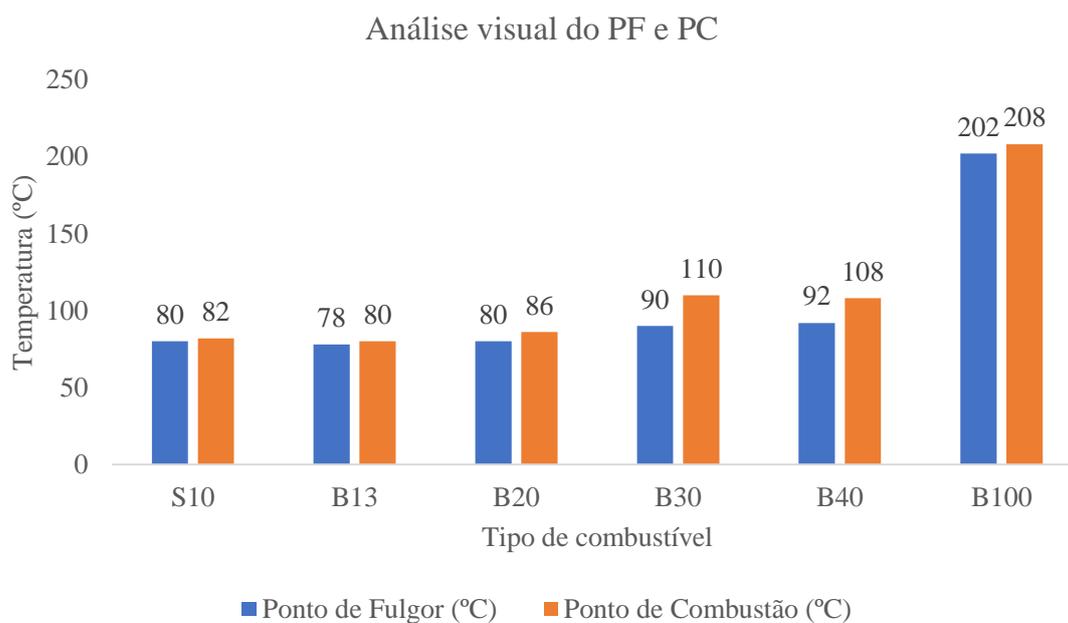
Salienta-se que para este ensaio foi utilizado, também, o biodiesel puro com a finalidade de comprovar que a o Ponto de Fulgor do biodiesel tende a subir à medida que a mistura diesel/biodiesel aumenta. Foi possível obter, nesse sentido, os seguintes resultados para o ensaio de Ponto de Fulgor e Ponto de Combustão, em °C, de acordo com a Tabela 13:

**Tabela 13** – Temperaturas obtidas para o Ponto de Fulgor e Ponto de Combustão após a realização do devido ensaio. (Fonte: Dados da pesquisa, 2022)

Tipo de Combustível	Ponto de Fulgor (°C)	Ponto de Combustão (°C)
S10	80	82
B13	78	80
B20	80	86
B30	90	110
B40	92	108
B100	202	208

Fonte: Dados da pesquisa, 2022

Para fins visuais, é demonstrado no Gráfico 3 as comparações entre os valores obtidos dos combustíveis analisados - S10, B13, B20, B30, B40 e B100 - para os ensaios de Ponto de Fulgor e Ponto de Combustão:



**Gráfico 3** – Análise visual das temperaturas obtidas para PF e PC utilizando cada tipo de combustíveis observado. (Fonte: Autor, 2022)

É evidenciado a elevação de temperatura, na Tabela 13 e no Gráfico 3, que à medida que a taxa de mistura de biodiesel é aumentada, as temperaturas referentes ao Ponto de Fulgor e Ponto de Combustão também vão crescendo. Indicando, dessa maneira a maior segurança do manuseio, armazenamento e possível transporte que o biodiesel produzido pode proporcionar.

Fato também evidenciado através de Queiroz (2016) que também encontra valores superiores a 100°C, previstos minimamente pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, ao caracterizar realizar análise físico-química de biodiesel produzido a partir de soja. A mesma autora, embasada na fala de Moraes (2008), afirma que dentre as variáveis que podem alterar no Ponto de Fulgor, está o tipo de álcool – etanol ou metanol – utilizado durante a reação de transesterificação. Que para o biodiesel puro, o valor de PF pode chegar a ser superior a 170 °C.

Santos et al. (2006) também ao analisarem o Ponto de Fulgor e o Ponto de Combustão de vários tipos de óleos potenciais para biodiesel, além do próprio biodiesel comparados ao diesel, observou que o tipo de oleaginosa matéria-prima utilizada para a produção do combustível pode alterar diretamente no PF e no PC, incluindo também, quando há adição, ou não, do diesel para compor uma mistura combustível, além da presença de pontes de hidrogênio na composição do óleo.

MORAES (2008) ao verificar o Ponto de Fulgor de misturas de biodiesel – B0, B20, B40, B60, B80 e o próprio B100 – constatou que a presença de diesel, em todas as misturas de diesel/biodiesel, influenciou diretamente na diminuição da temperatura do PF. Tendo as misturas alcançado temperaturas inferiores a 60 °C e o B100 atingindo mais de 150 °C.

A Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, por intermédio da Resolução ANP nº de 2014, estabelece que valores baixos para o Ponto de Fulgor, e por consequência do Ponto de Combustão, tem potencial de se apresentar prejudicial para a bomba de combustível, aos selos e, inclusive, ocasionar o processo de queima de combustível de maneira irregular ou incompleta.

A norma mencionada anteriormente também faz alusão aos processos produtivo – ao tipo de álcool utilizado – e também às condições de estocagem e manuseio dos materiais utilizados para a produção do biodiesel, fazendo alusão da possível existência de contaminação dos produtos, correspondendo estes as principais variáveis que afetam o resultado do ensaio realizado.

#### 4.7 DO REGISTRO DOS GASES DE EMISSÃO DAS AMOSTRAS DE BIODIESEL E DIESEL S10

Em uma situação ideal, a queima completa de combustíveis, tanto em motores de ciclo Diesel como em ciclo Otto (sendo este, movido a gasolina), produzem como

produtos da queima apenas a água (H<sub>2</sub>O) e o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Segundo a Bosch (2005), na prática o que ocorre é a queima incompleta dos combustíveis. De maneira a produzir: hidrocarbonetos não queimados – representados por parafinas, olefinas, hidrocarbonetos aromáticos – além de, hidrocarbonetos parcialmente queimados – aldeídos, cetonas, ácidos carboxílicos, monóxido de carbono – e, produtos de craqueamento térmico – acetileno, etileno, hidrogênio, fuligem e hidrocarbonetos policíclicos.

É sabido que alguns desses produtos de uma queima não completa são configurados como poluentes atmosféricos, podendo-se mencionar, por exemplo, o caso do monóxido de carbono, o dióxido de carbono e até mesmo a fuligem. Em determinadas proporções, são capazes de causar impactos desde a esfera ambiental, em todos seus aspectos, até a danos à saúde pública.

É notório que o monóxido de carbono é fruto da combustão incompleta do combustível. Esse gás apresenta as características de se apresentar sem coloração, sem odor, todavia, altamente tóxico. A exposição a essa substância pode provocar diversos efeitos, inclusive a morte dos seres vivos a depender do tempo em que estes tiverem o contato com o CO.

Autores como Li (2014) e Subbaiah (2010), afirmam que a emissão de oxigênio está relacionada diretamente com a composição do combustível, de maneira que, os combustíveis derivados de petróleo, como o diesel, emitem mais compostos de hidrocarbonetos e gases poluentes do que os biocombustíveis e suas misturas e proporções. Implicando dizer que, ao passo que o teor da mistura biodiesel/diesel é elevado, as emissões de oxigênio também crescem e, por consequência, os hidrocarbonetos e gases poluentes causadores da intensificação do efeito estufa, diminuem.

Durante o ensaio, para a obtenção dos dados de emissão, através do Analisador de Gases TM 131 da Tecnomotor, foram realizadas 6 medições durante 15 minutos. Ou seja, após o tempo inicial estabelecido para o motor atingir seu regime permanente, foram realizadas 6 medições a cada 3 minutos durante os 15 minutos de atividade do motor. O procedimento foi repetido para todas as amostras analisadas – S10, B13, B20, B30 e B40.

Por intermédio das informações obtidas, foi desenvolvida a Tabela 14 objetivando facilitar e simplificar a leitura dos dados através das médias adquiridas das emissões

analisadas em cada amostra. Enfatiza-se que a média de cada variável observada é resultado das 6 medições realizadas durante o ensaio de emissões.

**Tabela 14** – Média obtida dos gases analisados e temperatura após batelada de 5 análises com cada amostra de combustível.

Combustível	Média Obtida dos Gases Analisados			
	O <sub>2</sub> (vol – 25% máx)	CO <sub>2</sub> (vol – 20% máx)	CO (vol – 10% máx)	HC (ppm vol – 20.000 máx)
<b>S10</b>	9,57	5,3	0,018	4,5
<b>B13</b>	11,7	4,58	0,016	2,6
<b>B20</b>	12,80	4,52	0,016	1,3
<b>B30</b>	13,43	4,2	0,016	1
<b>B40</b>	13,45	4,2	0,015	0,16

Fonte: Dados da pesquisa, 2022.

Fica evidenciado, mediante as informações expressas na Tabela 14, que alguns dos resultados obtidos das amostras de biodiesel residual apresentam diferença mínima quando comparados com as emissões de poluentes do diesel. Todavia, outros se mostraram claramente reduzidos à medida que a taxa de mistura é elevada.

É facilmente notado a elevação, conforme exposto na Tabela 14, que a emissão registrada de oxigênio, O<sub>2</sub>, à medida que a taxa de mistura foi aumentada. Apresentando, respectivamente, um crescimento de 122,2% (B13), 133,7% (B20), 140,3% (B30) e 140,5% (B40). Portanto as amostras de B30 e B40 das melhores emissões de oxigênio comparadas ao diesel e as demais amostras analisadas. A elevação da emissão de oxigênio é prevista por Li (2014), considerando que ao passo que a taxa de mistura do biodiesel é aumentada, é ocorrido o acréscimo do teor de oxigênio no combustível, resultando na maior emissão dessa substância após a combustão.

No que se refere às emissões de CO<sub>2</sub>, gás carbônico ou dióxido de carbono, os ensaios demonstraram que, o MCI ciclo diesel ao ser submetido a 4.500 W de potência – o que representa 81,81% de sua potência máxima – alcançou seu melhor resultado nas amostras B40 e B30. Salientando, dessa maneira, em concordância com Araújo (2019), que as emissões de gás carbônico dos combustíveis de origem renovável são reabsorvidas pelas fontes vegetais através do processo de fotossíntese. Diferente do que ocorre com a emissão do CO<sub>2</sub> emitido pela queima dos combustíveis fósseis que causam impacto diretamente no efeito estufa.

Em referência ao monóxido de carbono, CO, não é visualizado diferença significativa entre as amostras analisadas. As reduções observadas nas emissões de

monóxido de carbono, por parte de todas as amostras de biodiesel, representaram apenas de 11,1% (para as amostras B13, B20 e B30) e 16,6% (para a amostra B40). Salienta-se que as emissões de CO estão diretamente relacionadas com o processo de combustão incompleta, conforme afirma Silva (2014). O que poderia explicar os valores baixos registrados é a possível queima completa das amostras de combustível utilizadas no estudo.

Quanto aos hidrocarbonetos é notória a diminuição da emissão do poluente por ppm/volume. Apresentando uma redução de 96,5%, 77,8% e 71,2% nas amostras de B40, B30 e B20, respectivamente, quando comparadas com as emissões de hidrocarbonetos emitidos pelo diesel S10. Sendo essas amostras citadas de biodiesel com redução destaque superior a 70% nas emissões de hidrocarbonetos. De acordo com Subbaiah (2010), a diminuição da emissão desse poluente se dá pelo fato da adição do biodiesel no diesel, na elevação do teor da mistura biodiesel/diesel. Por consequência, gerando uma combustão com menor quantidade de poluentes emitidos.

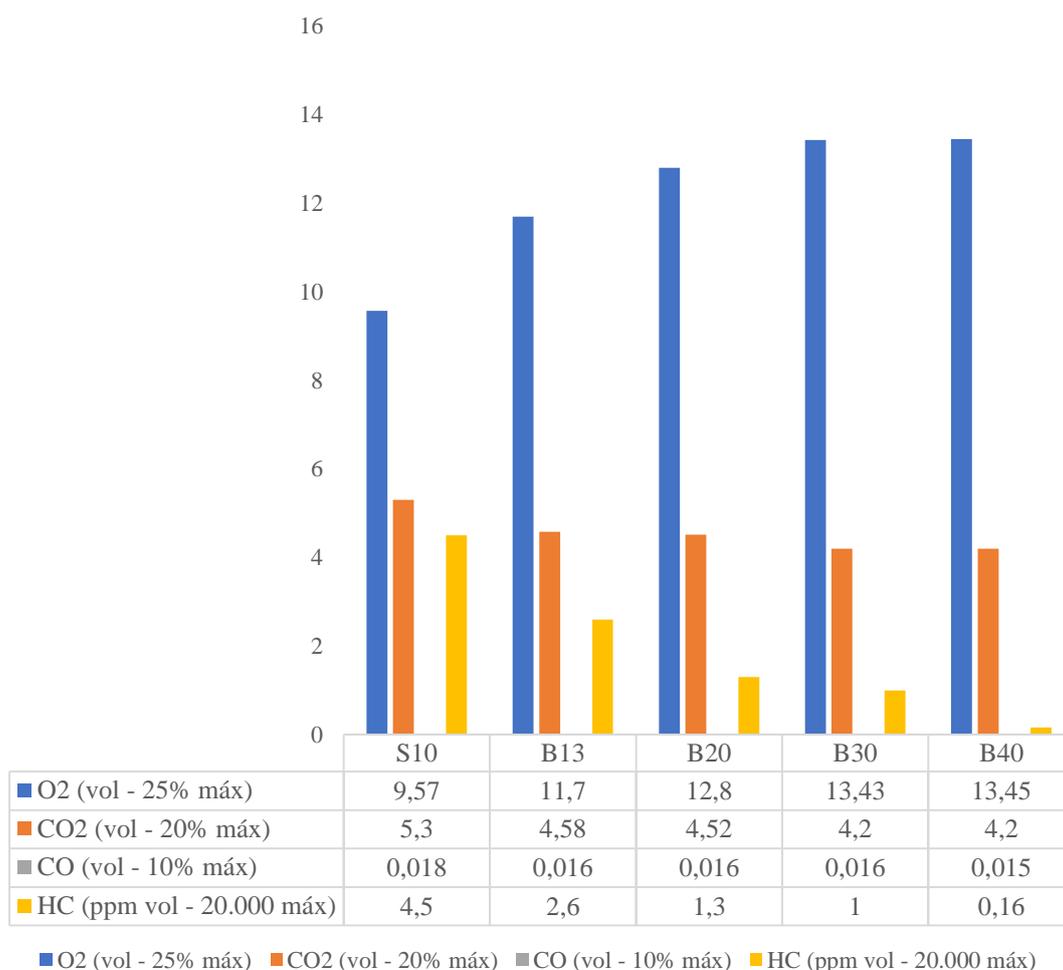
Menciona-se também que as emissões de hidrocarbonetos, por meio da Tabela 14, é possível notar que à medida que a taxa de mistura diesel/diesel é elevada, a tendência das emissões de hidrocarbonetos vai diminuindo. Essa diminuição pode ser explicada devido à composição do óleo combustível. Ao passo que se aumenta a proporção de biodiesel no diesel, na mistura do combustível, a quantidade de hidrocarbonetos vai reduzindo, por consequência. Tendo em vista que os hidrocarbonetos estão presentes nos combustíveis de origem fóssil, nisso é incluído o diesel, a gasolina, o gás natural além dos demais combustíveis derivados do petróleo.

Araújo (2019) ao analisar o desempenho de várias proporções de biodiesel – B15 e B100 – além do diesel S10, em MCI de ignição por compressão – Chevrolet S10 – também observa que os poluentes emitidos pelo biodiesel, durante a queima do biocombustível, tiveram considerável redução quando comparados com gases de exaustão emitidos pela utilização do diesel.

Silva (2014) ao estudar as emissões produzidas pelas misturas de biodiesel B10 ao B100 e diesel B5, também observou que foram diminuídas as emissões de dióxido de carbono e óxidos de nitrogênio. Contudo, ao avaliar os dados que obteve em relação ao monóxido de carbono, notou que essas emissões se apresentaram superior, em todas as amostras, do que as do diesel B5. Todavia, foi observado também que o comportamento das emissões das misturas de biodiesel tendia a certa redução à medida que a potência do

motor era elevada, enquanto as emissões de CO do diesel B5 estavam mais propensas a aumentar.

Com o intuito de facilitar o desempenho das informações obtidas e contidas na Tabela 14, foi desenvolvido o Gráfico 4 para uma análise visual da média dos dados registrados durante o ensaio de emissões das amostras de S10, B13, B20, B30 e B40:

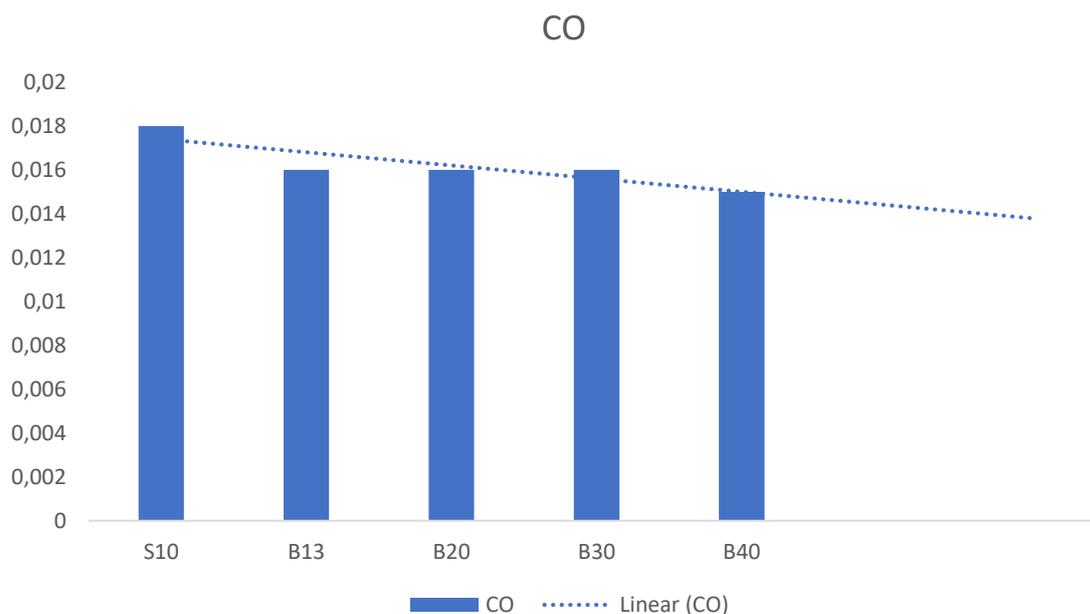


**Gráfico 4** – Análise visual da média dos gases emitidos através da combustão das amostras analisadas. (Fonte: Autor, 2022)

No Gráfico 4 também é notado que as emissões de O<sub>2</sub> são elevadas à medida que a taxa de mistura biodiesel/diesel é aumentada, em contrapartida, todos os poluentes verificados são reduzidos. Indicando um indício da eficiência que queima do combustível utilizado. Koslowski et al. (2014) indica, em suas análises de emissões de biodiesel e diesel, que quanto maior a quantidade de oxigênio liberada pelo escapamento do motor após o processo de combustão do óleo, mais completa e eficiente a reação tende a se

apresentar. Subbaiah (2010) acrescenta ainda que à medida que se elevada as taxas de mistura biodiesel/diesel dos biocombustíveis, é aumentada o teor de oxigênio presente no combustível, é possibilitado a queima completa do combustível que resulta na redução de monóxido e dióxido de carbono, e na liberação de oxigênio para a atmosfera.

Ao ampliar os dados do Gráfico 4 referente às emissões de monóxido de carbono, CO, evidenciada através do novo Gráfico 5, demonstra informações com valores bem baixos quando comparadas com os demais poluentes analisados, ao observar o valor obtido. Entretanto, observa-se que a linha de tendência expõe a clara redução das emissões de CO. Quando colocadas ao lado do registro emitido pelo diesel S10, é notório que todas as amostras de biodiesel residual obtiveram valores menores de emissão de monóxido de carbono. Contudo, nota-se que amostras B13, B20 e B30 registraram a mesma média para esse tipo de emissão de poluente. Implicando dizer, o B40 mesmo registrando o menor valor de emissão de CO, não foi averiguado uma diminuição significativa quando comparadas com as demais amostras de biodiesel.



**Gráfico 5** – Análise visual da emissão de monóxido de carbono nas amostras de combustível em estudo. (Fonte: Autor, 2022)

No Gráfico 5, ao realizar uma análise do ponto de vista do percentual reduzido, observa-se que as amostras referentes aos combustíveis B13, B20 e B30 obtiveram a redução, comparadas ao combustível diesel S10 utilizado durante o ensaio, de 11,1%. Sendo a amostra B40 dotada do maior percentual de diminuição de monóxido de carbono emitidos através da queima do combustível, representado por 16,7% a menos que o S10.

Paulo (2019) reafirma o que foi enxergado no Gráfico 5, de maneira geral, os estudos que avaliam as emissões de monóxido de carbono indicam que há pouca diferença ou emissão reduzida nos dados registrados para esse tipo de poluente quando ocorre a utilização das misturas de biodiesel comparadas ao combustível diesel. Enfatiza-se que, em concordância com o autor supracitado, a ocorrência da formação de CO está na reação em que a combustão é rica de combustível, ou seja, há a presença maior de combustível do que ar na mistura, liberando, por consequência, uma quantidade maior de poluentes atmosféricas do que oxigênio emitido.

É cabível acrescentar uma informação a cerca de um gás que mesmo não sendo analisado na pesquisa, é de essencial importância que seja mencionado. Tratando-se do óxido de enxofre. É sabido que o enxofre está presente em combustíveis de origem fóssil e que à medida que as misturas de biodiesel/diesel são elevadas, por consequência o percentual de diesel diminuído. E o que ocorre nas emissões de óxido de enxofre é semelhante ao que acontece com a emissão dos hidrocarbonetos, que são reduzidas. Considerando que há cerca “diluição” do enxofre existente nos combustíveis de origem fóssil, o diesel no caso do estudo, na presença do biodiesel. Sendo o biodiesel isento da existência de enxofre em sua composição.

#### 4.8 DAS VIBRAÇÕES PROVOCADAS PELA IGNIÇÃO

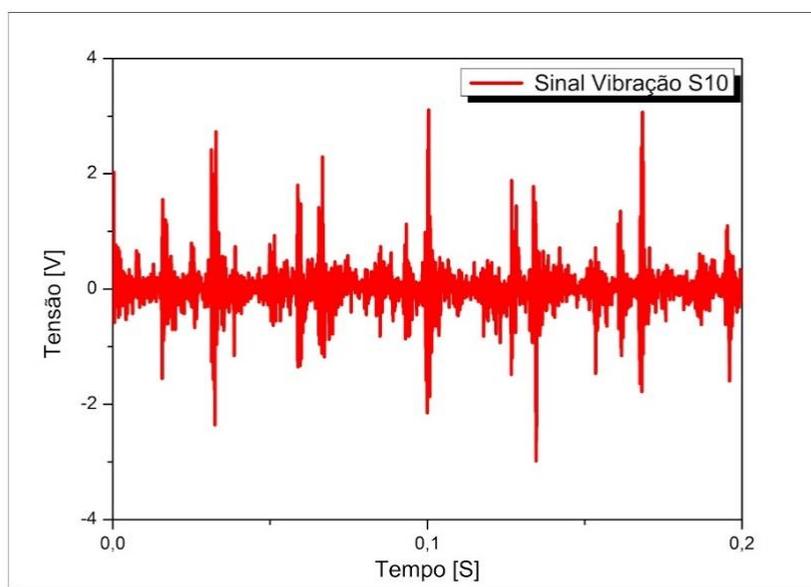
A análise de vibrações na pesquisa, provocadas por intermédio da ignição, surge com o propósito de demonstrar que a adoção de determinado tipo de combustível utilizado pelo MCI, pode ou não, seguir padrões de comportamento semelhantes ao combustível já tradicionalmente utilizado. Implicando, dizer, nesse sentido, que possíveis alterações na frequência principal de vibração, por consequência nos picos de amplitude, podem indicar variação quanto à utilização do determinado combustível analisado. Variação que pode alterar desde o rendimento, o consumo, como também, a qualidade de queima do combustível analisado.

De acordo com Gonçalves et al. (2021), parte da energia de expansão dos gases, no processo de combustão, é transmitida aos componentes mecânicos como energia de vibração, conhecida como força de excitação. Essa energia produz nos componentes do sistema diferentes formas de vibração. Uma modificação no tipo de combustível utilizado já altera a oscilação do sistema, podendo ser analisado separadamente os sinais de cada proporção de biocombustível com um outro combustível padrão de controle.

Segundo Firmino (2018), as excitações de impacto, encontradas nas vibrações de um motor alternativo, apresentam propriedades de transferência variáveis no tempo e resposta aleatória não estacionária. Portanto, é evidente que para a sua análise dinâmica a extração de uma assinatura espectral se torne mais complexa do que em uma máquina rotativa.

O combustível S10 foi adotado como controle, por ser comercializado livremente em postos e distribuído através da BR-Distribuidora. Dessa forma, as demais proporções de biocombustíveis tiveram seus sinais comparados por esse padrão.

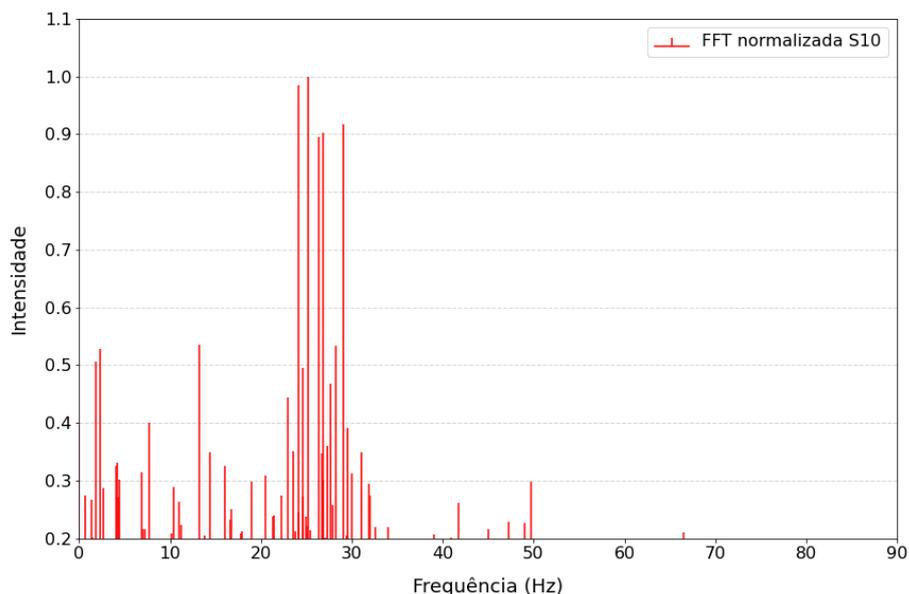
A taxa de aquisição do sistema de monitoramento foi 17.855 Hz, sendo obtidos 178.550 pontos por período de 10 segundos. O MCI monocilíndrico 4 tempos do motogerador, opera sob ciclo Diesel, com rotação nominal média do virabrequim de 3600 RPM controlada através do regulador de acionamento mecânico, o momento da explosão acontece precisamente a cada 2 voltas do virabrequim, resultando na frequência principal de vibração como sendo de 30 Hz. Portanto, essa é a frequência da explosão no cilindro. O Gráfico 6 representa o sinal do sensor piezoelétrico, tensão em função do tempo, para o motogerador consumindo combustível S10.



**Gráfico 6** – Sinal no domínio do tempo para o combustível S10. (Fonte: Autor, 2022)

O Gráfico 7 representa o comportamento da vibração obtida através do transdutor de vibração no domínio do tempo. Contudo, ressalta-se a dificuldade da análise de sinais no domínio do tempo, sendo mais simples obter informação sobre a potência espectral do

sinal no domínio da frequência. O método escolhido para análise do sinal no domínio da frequência foi através da Transformada Rápida de Fourier (FFT.) O Gráfico 7 representa o sinal FFT gerado a partir do oscilograma da Gráfico 6.

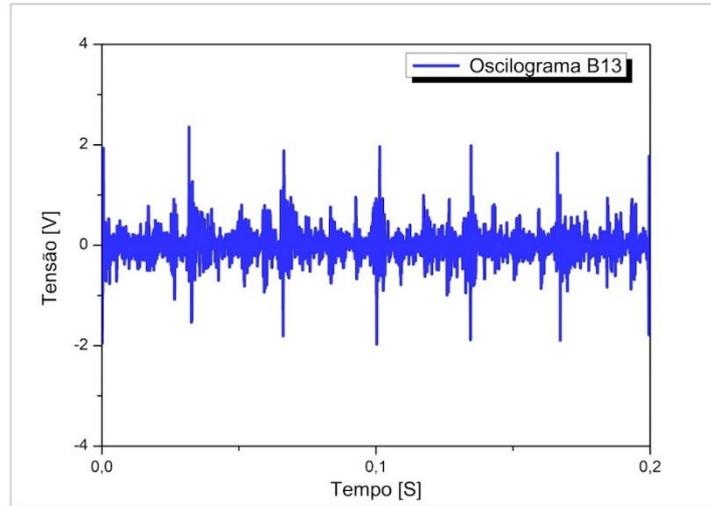


**Gráfico 7** – FFT do sinal no domínio do tempo para o motogerador consumindo combustível de controle S10. (Fonte: O autor, 2022)

Devido à característica transiente de um MCI e do reduzido período de amostragem do sinal, o módulo da frequência sofreu variações. Nota-se na Gráfico 7 o espalhamento compacto das frequências harmônicas, notadamente abaixo da amplitude correspondente a 0,4, o que sugere menor parcela da energia de combustão (força de excitação) se transformando em energia de vibração, e por conseguinte melhor aproveitamento da energia mecânica.

As frequências principais de explosão para o intervalo entre 23 Hz e 30 Hz ocorreram com amplitudes normalizadas entre 1,0 e 0,9 tendo somente 3 picos de harmônicas entre 0,4 e 0,6 de amplitude.

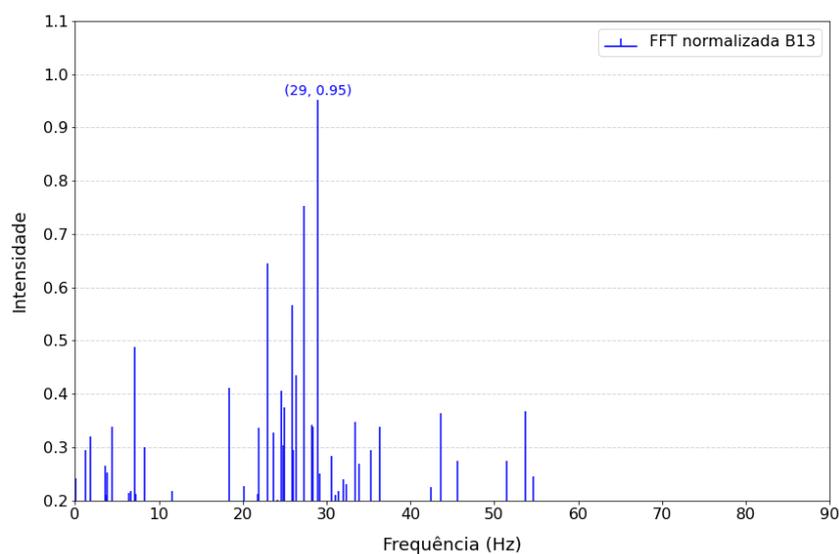
O oscilograma para o combustível B13 está representado no Gráfico 8. Entretanto, uma análise mais detalhada do sinal através da técnica FFT normalizada, comparando com o sinal do combustível de controle S10, representado pelo Gráfico 6, demonstra um sutil espalhamento no espectro de frequência para o sinal com o combustível B13.



**Gráfico 8** – Sinal do acelerômetro no domínio do tempo para combustão do combustível B13.

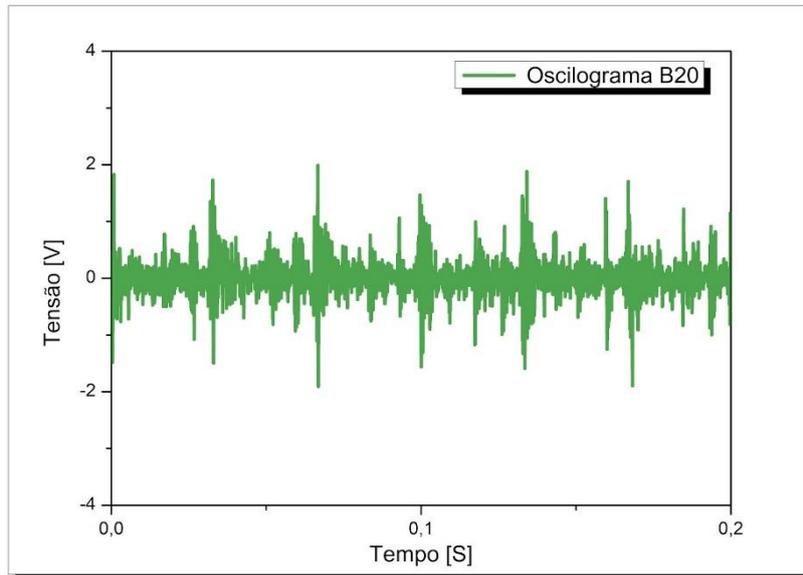
(Fonte: Autor, 2022)

Notadamente, conforme o Gráfico 9, a amostra B13 na frequência de explosão de 29 Hz a intensidade, atingiu 95% do máximo alcançado com o combustível de controle, S10. As máximas amplitudes da frequência de explosão concentraram-se no intervalo entre 0,6 e 1,0 e indicaram uma redução na força excitadora, gerada pela explosão na câmara de combustão, demonstrando um menor índice vibracional em relação ao S10 e com isso uma perda energética menor. Contudo, observou-se maior número de frequências harmônicas com amplitudes suplantando o nível de intensidade 0,3.



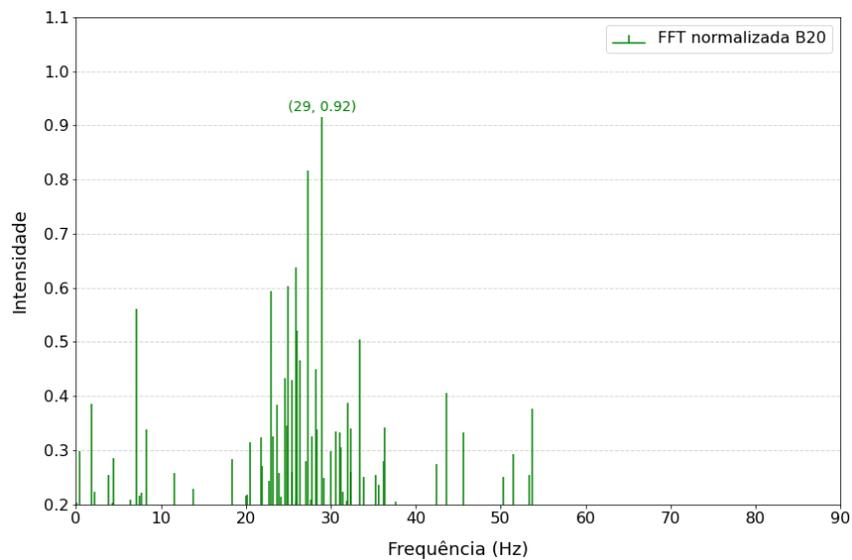
**Gráfico 9** - FFT para o motogerador consumindo combustível B13. (Fonte: Autor, 2022)

A assinatura espectral na Gráfico 10 também apresenta amplitudes da frequência principal de explosão abaixo de 1,0 como ocorreu com o B13, comparando-se ao combustível de controle S10, houve maior quantidade de frequências harmônicas com intensidade superior a 0,3.



**Gráfico 10** – Sinal do acelerômetro no domínio do tempo para combustão do combustível B20. (Fonte: Autor, 2022)

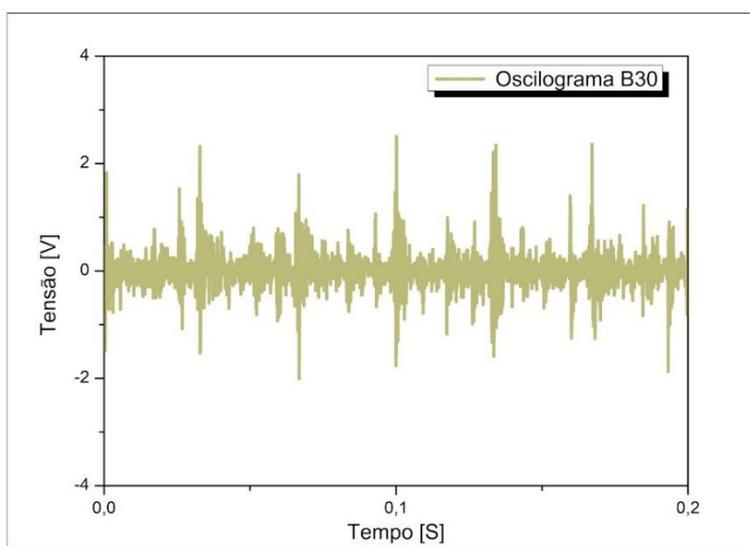
No Gráfico 11, a frequência de explosão de 29 Hz do B20 obteve intensidade menor que o B13 e representou 92% do máximo alcançado com o combustível de controle, S10.



**Gráfico 11** - FFT para o motogerador consumindo combustível B20. (Fonte: Autor, 2022)

Apesar das componentes harmônicas apresentarem potencial de prejudicar a integridade do sistema mecânico, quando reproduzidas em intervalos múltiplos ou submúltiplos inteiros da frequência principal, no estudo não foi tratado a especificidade do modo de falha provocada pelas harmônicas. Conforme explicita Souza (2011), a frequência de rotação do comando de válvulas ocorre na metade da frequência de rotação do virabrequim, sendo que a frequência de rotação coincide com a 2ª harmônica da frequência do virabrequim. Portanto, algumas frequências principais estão superpostas à 1ª ou 2ª harmônicas de outras.

O oscilograma da Gráfico 12, assim como os anteriores, não fornece muitos elementos para análise de uma comparação com o combustível de controle, assim os dados capturados foram empregados para a determinação da FFT da Gráfico 11 referente ao B20, tornando mais simples a análise do sinal.



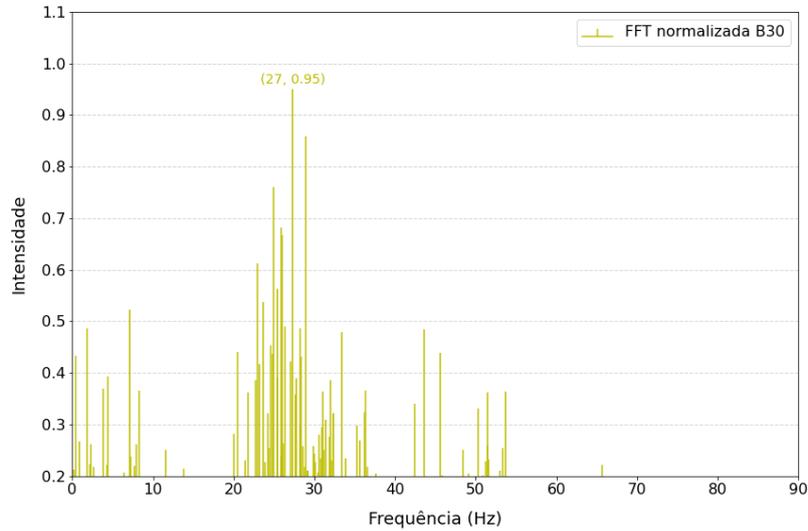
**Gráfico 12** – Sinal do acelerômetro no domínio do tempo para combustão do combustível B30.

(Fonte: Autor, 2022)

Em seu trabalho Júnior (2018), observou que a dissipação de energia em forma de vibração, entre o combustível comercial e o biodiesel, sofreu variação pequena entre os combustíveis, o biodiesel apresentou índice vibracional menor quando comparado ao diesel comercial e, conseqüentemente, uma perda energética menor.

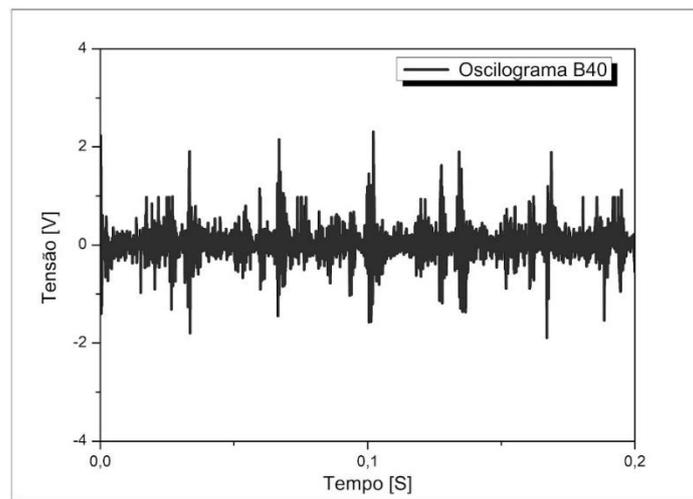
O espectro representado no Gráfico 13 é bem próximo do que foi observado para o combustível B20. A maior amplitude relativa ficou entre o patamar 1 e 0,9, não havendo outra frequência que tenha ultrapassado esse intervalo. A maior intensidade ocorreu para a frequência de explosão de 27 Hz, ficando 5% abaixo do valor máximo encontrado para

o combustível S10. Isso comprova que o B30 obteve perda de energia menor que o combustível S10, mas com pouca diferença em relação ao B20. Também surgiram mais frequências distribuídas com intensidade superior a 0,3 quando comparadas ao B20, notadamente nas frequências acima de 30 Hz até os 55 Hz.



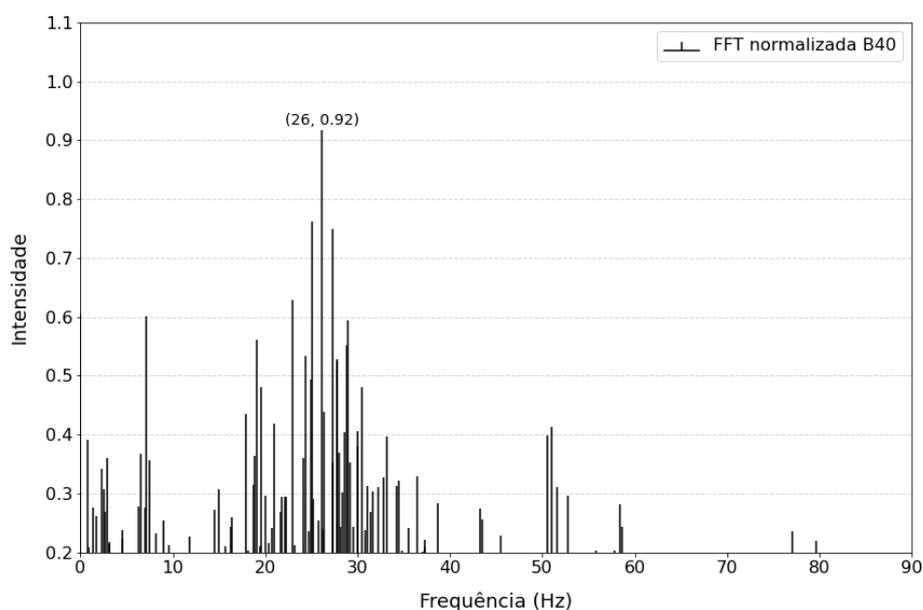
**Gráfico 13** - FFT para o motogerador consumindo combustível B30. (Fonte: Autor, 2022)

Assim como nas demais proporções de biodiesel, o perfil vibracional do B40 no domínio do tempo apresenta padrões definidos de ignição com intensidade que ultrapassam os 2 V, conforme demonstra o Gráfico 14. Contudo, essa análise ainda é insuficiente e superficial se fazendo necessário a observação da assinatura vibracional em frequência.



**Gráfico 14** – Sinal do acelerômetro no domínio do tempo para combustão do combustível B40. (Fonte: Autor, 2022)

No Gráfico 15 o espectro da frequência vibracional para o B40 demonstra que o pico de frequência de explosão ocorre em 26 Hz com a intensidade atingindo 92% do máximo valor alcançado no combustível de controle S10. Essa diferença de 8% foi a mesma observada para a frequência de explosão com o B20. Também se observa, como nos demais perfis de sinais das amostras das misturas de biodiesel, o aparecimento de mais frequências laterais distribuídas, em comparação ao perfil de frequência com o S10, com amplitude da intensidade acima de 0,3.



**Gráfico 15** - FFT para o motogerador consumindo combustível B40. (Fonte: Autor, 2022)

Em todos os casos de misturas, com o biodiesel de *Brassica napus* residual, a energia dissipada em forma de vibração, frequência de combustão, apresentou valores próximos entre si. Mas com intensidades menores que o apresentado com o combustível comercial S10. Isso corrobora a ideia de que um motor sem ajustes representativos em seu sistema de injeção de combustível ou adequações mecânicas pode funcionar com as proporções sugeridas no trabalho.

#### 4.9 DO MATERIAL PARTICULADO: PESAGEM DAS AMOSTRAS E ANÁLISE DA MORFOLOGIA

A observação do material particulado que pode ser emitido com o processo de queima do combustível surge com a finalidade de quantificar e demonstrar a formação de fuligem que pode ser obtida através da combustão. A fuligem, diferente dos gases de

emissão, pode ser quantificada e observada por meio da massa que fica contida no material têxtil utilizado para a captura dessa matéria.

Para avaliar a pesagem, inicial e final, do material têxtil empregado para a captura do material particulado contido após a queima do combustível, foi utilizado papel do estilo couchê. O papel foi inserido em um aparato de coleta adaptado e acoplado no sistema de escapamento do motogerador. A utilização do papel couchê se deu pelo mesmo motivo que, além do fato de que diversos estudos já fazem uso do método de retenção de particulados, o processo de obtenção do papel é fácil e apresenta baixo custo.

A quantificação do peso dos voláteis retirados do material têxtil foi determinada através da utilização de equipamento para secagem, estufa, e balança de precisão em ambiente laboratorial com a temperatura controlada. A temperatura de secagem e o tempo de exposição foram os mesmos encontrados nas condições a que estavam submetidos o aparato de coleta de material particulado.

Utilizou-se para o teste de quantificação do peso dos voláteis retirados do material têxtil, nove espécimes com as mesmas dimensões, comprimento e largura, empregadas nos ensaios de material particulado. Após identificados, todos os espécimes foram pesados na balança analítica, modelo AUY220, fabricada pela Shimadzu, sendo etiquetadas em Placas de Petri e submetidos ao mesmo tempo na estufa microprocessada, modelo Q317M-23, fabricada pela Quimis Aparelhos Científicos LTDA. A temperatura da estufa foi ajustada para 260°C e o tempo de permanência em 17 minutos, após esse tempo aguardou-se a redução da temperatura nas Placas de Petri até próximo da temperatura ambiente da sala para logo em seguida iniciar o processo de pesagem dos elementos têxteis (espécimes de 1 a 9). A Tabela 15 representa os valores obtidos pelo método para quantificar a perda de materiais voláteis nos elementos têxteis utilizados na câmara de desaceleração.

**Tabela 15** – Análise da pesagem das amostras de elemento têxtil virgem, antes e após submissão em processo de secagem.

<b>Espécime</b>	<b>Peso em T ambiente (g)</b>	<b>Peso depois da secagem (g)</b>	<b>Total de perdas em g</b>	<b>Percentual da perda</b>
<b>1</b>	0,3507	0,32047201	0,03022799	8,61933
<b>2</b>	0,3516	0,322636001	0,028963999	8,23777
<b>3</b>	0,3466	0,313136117	0,033463883	9,6549

4	0,3540	0,318940017	0,035059983	9,90395
5	0,3526	0,31809601	0,03450399	9,78559
6	0,3569	0,32392401	0,03297599	9,23956
7	0,3736	0,331856028	0,041743972	11,17344
8	0,3743	0,333328003	0,040971997	10,946299
9	0,3530	0,314280002	0,038719998	10,968838

Fonte: Dados da pesquisa, 2022

Com a determinação do percentil de perda do material têxtil, pelos componentes voláteis de cada elemento têxtil e dos resultados demonstrados pela Tabela 15, determinou-se a média e o desvio padrão do percentual de perda do material têxtil, conforme a Tabela 16 registra. Observa-se os compostos que volatilizaram sob as mesmas condições de temperatura e tempo de exposição dos elementos têxtil submetidos no aparato para desaceleração das partículas.

**Tabela 16** – Perda de peso do material têxtil por voláteis comparado ao seu peso inicial.

	<b>Peso do material têxtil em T ambiente</b>	<b>Perda de peso do material têxtil (%)</b>
<b>Média</b>	0,357033333	9,836630778
<b>Desvio Padrão</b>	0,009976347	1,044937154

Fonte: Dados da pesquisa, 2022

Nesse sentido, foi aferido a massa do material têxtil, já dimensionado nas devidas proporções a ser utilizado no ensaio, antes e após a captura do particulado emitido, conforme demonstra a Tabela 17:

**Tabela 17** – Análise da pesagem dos elementos têxtil, antes e após a queima dos combustíveis avaliados.

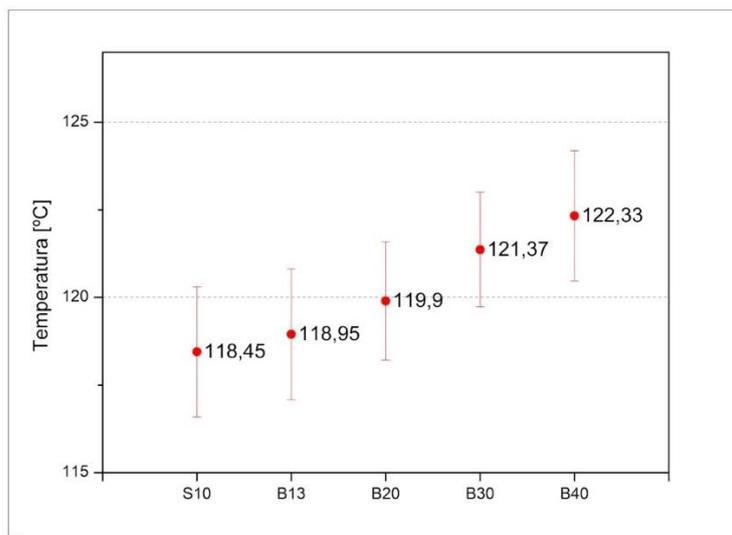
<b>Comb.</b>	<b>Antes (g)</b>	<b>Depois (g)</b>	<b>Total de perdas em g</b>	<b>Temp. média °C</b>	<b>Desvio Padrão da Temp.</b>
S10	0,361	0,350	0,011	118,45	1,86
B13	0,353	0,340	0,013	118,95	1,87
B20	0,365	0,346	0,019	119,9	1,69
B30	0,358	0,334	0,024	121,37	1,64

B40	0,363	0,335	0,028	122,33	1,86
-----	-------	-------	-------	--------	------

Fonte: Dados da pesquisa, 2022

De acordo com o que é averiguado na Tabela 15, se evidencia ocorrência da perda de massa do material têxtil após a queima das amostras de combustível avaliado. Esse evento caracteriza a vaporização de constituintes voláteis presentes no processo de produção do material têxtil, quando submetido às temperaturas dos gases de exaustão no sistema de escapamento do motogerador.

Tal fenômeno pode ser visualizado, conforme o Gráfico 16, através das temperaturas médias dos gases de escape durante a realização do ensaio.

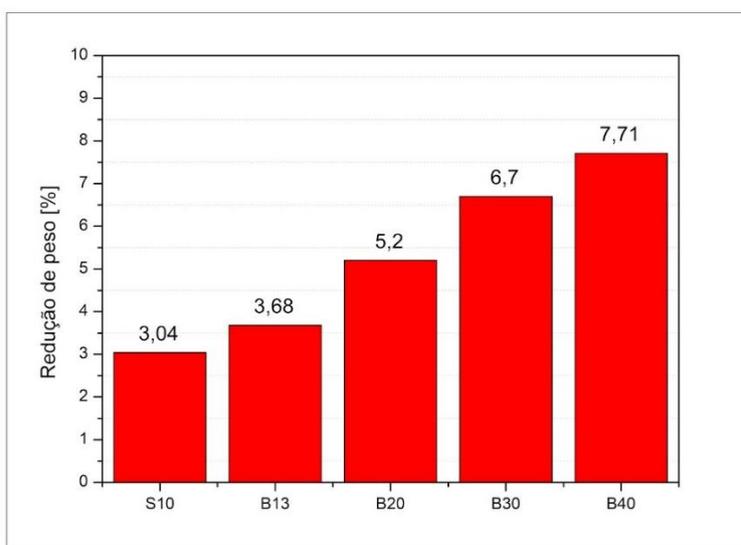


**Gráfico 16** - Temperatura dos gases de exaustão na saída do escapamento. (Fonte: Autor, 2022)

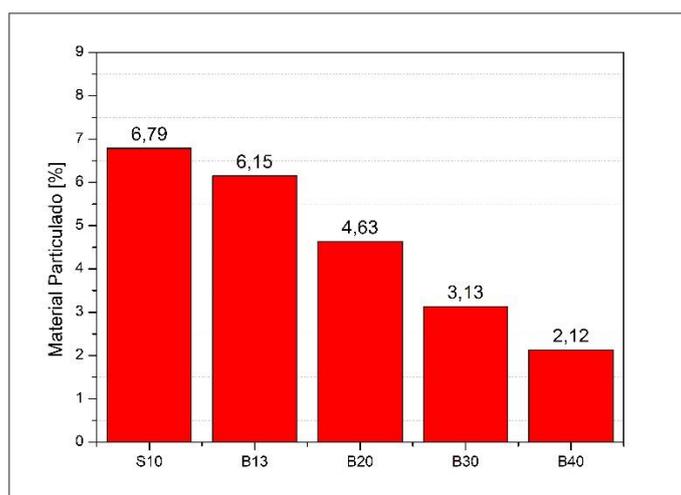
Já no Gráfico 17 observa-se que a maior perda no peso do elemento têxtil foi obtida para o ensaio com o combustível B40, cerca de 7,7% de seu peso original em relação aos outros biocombustíveis, S10, B13, B20 e B30. Em contrapartida, no elemento têxtil empregado em ensaio com o combustível S10 ocorreu a menor redução de peso, representando 60,6% menos do que foi perdido no ensaio com o B40. Neeft et al. (1996) explicita que a emissão de material particulado decorre do elemento enxofre que, em determinadas condições de funcionamento, torna-se reativo com o oxigênio do final da reação de combustão, compartilhando o oxigênio com o elemento carbono que não reagiu totalmente durante a combustão. A mensuração do valor quantitativo do peso de material particulado depositado no elemento têxtil é factível devido a diferença entre o peso do elemento têxtil encontrado após queima do combustível em avaliação, Gráfico 17, e o

peso do material têxtil perdido por voláteis, ao serem submetidos às temperaturas dos gases de exaustão, comparado ao seu peso inicial, Gráfico 18.

Constatou-se que houve pouca variação entre as temperaturas médias dos gases com a adição de biodiesel, a máxima diferença entre as temperaturas deu-se entre o combustível S10 e o B40 correspondendo a apenas 3,88 °C. Essa variação pequena de temperatura nos ensaios submeteu às mesmas condições os compostos voláteis do elemento têxtil em todas as amostras, permitindo inferir que houve maior deposição de particulado no S10 e menor no B40 conforme Gráfico 17.



**Gráfico 17** - Perda de peso do material têxtil. (Fonte: Autor, 2022)



**Gráfico 18** – Percentual de MP acumulado no elemento têxtil. (Fonte: Autor, 2022)

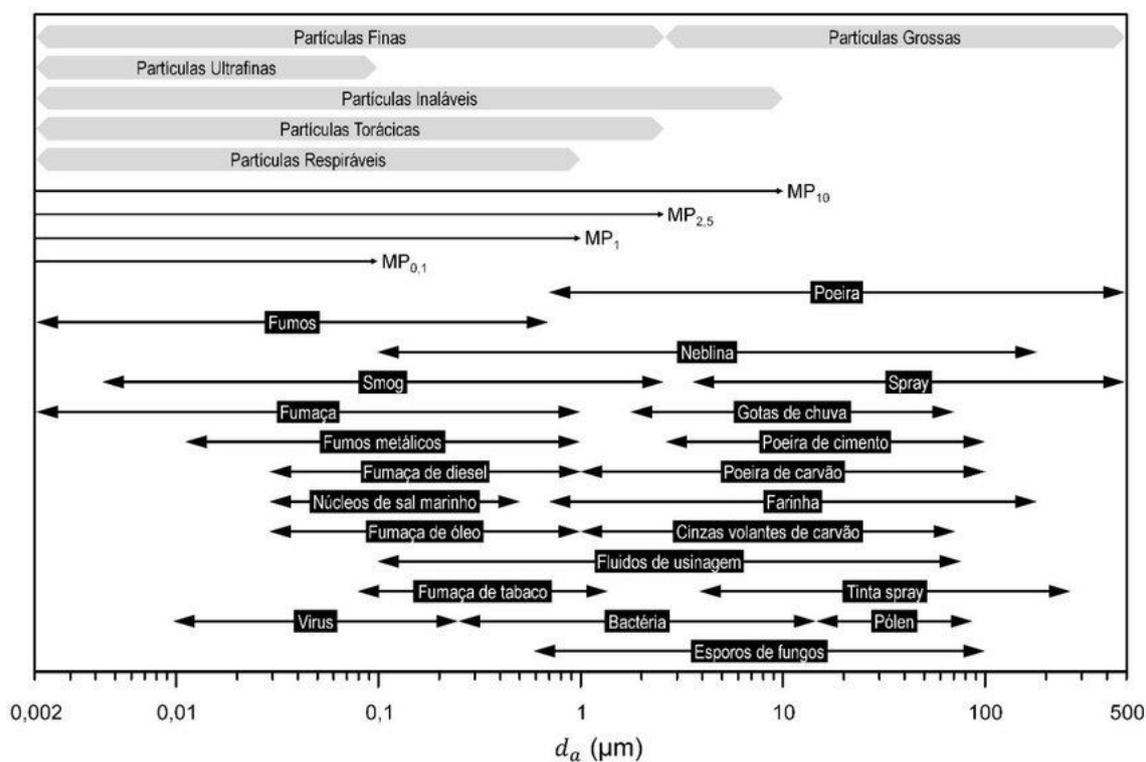
Após o ensaio de secagem das amostras de elemento têxtil, em estufa, notou-se que a média de redução padrão para todas as amostras, de 9,83%, como indicado na Tabela 16. Entretanto, durante a realização do ensaio para a verificação de MP, o resultado se mostrou diferente. Ao relacionar as perdas do material têxtil e os acúmulos de MP no elemento têxtil representados, respectivamente, pelos Gráficos 17 e 18, é possível que notar que as amostras sofreram perdas do material têxtil de modo crescente à medida a proporção da mistura biodiesel/diesel se elevava, explicitado pelo Gráfico 17. Entretanto, o percentual de MP acumulado nas amostras decresceu conforme a proporção de mistura biodiesel/diesel se aumentava. Salientando-se, quando comparadas com a amostra de diesel S10.

Percebe-se que, a redução de MP nas amostras B13, B20, B30 e B40 representou, nessa ordem, em relação ao registro obtido pelo diesel S10, os seguintes percentuais: 9,42%, 31,81%, 53,90% e 68,77%. Dessa maneira, configurando um indicativo claro da diminuição de emissão de particulados à proporção que a mistura de biodiesel se elevava.

A análise do material particulado contido no elemento têxtil utilizado para a captura do MP inicialmente, seria realizada por meio da observação morfológica e através do ensaio de EDS do que ficou contido. Todavia, foi possível apenas a realização do morfológico nas amostras de combustível S10 e biocombustível B13, B20, B30 e B40. Acrescenta-se que para a melhor visualização do material retido no elemento têxtil, foi necessária, também, a análise do papel couchê, utilizado para a captura do MP, em seu estado virgem. Isso quer dizer que, o procedimento de verificação morfológica realizado nas amostras estudadas, também foi repetido no elemento têxtil puro, sem a presença de quaisquer vestígios de matéria resultante da queima de combustível.

É cabível salientar que o material têxtil não foi usado com intuito de atuar como filtro de captura de MP – detendo partículas com dimensões intencionadas – no entanto, como retentor dos materiais particulados por deposição na estrutura têxtil durante o processo de combustão das amostras analisadas.

Para título de noção das dimensões, classificações e fontes que podem constituir o MP, Brito et al. (2018) apresenta, por intermédio da Figura 25, o seguinte:



**Figura 25** – Classificação, tamanho e fonte dos materiais particulados atmosféricos.

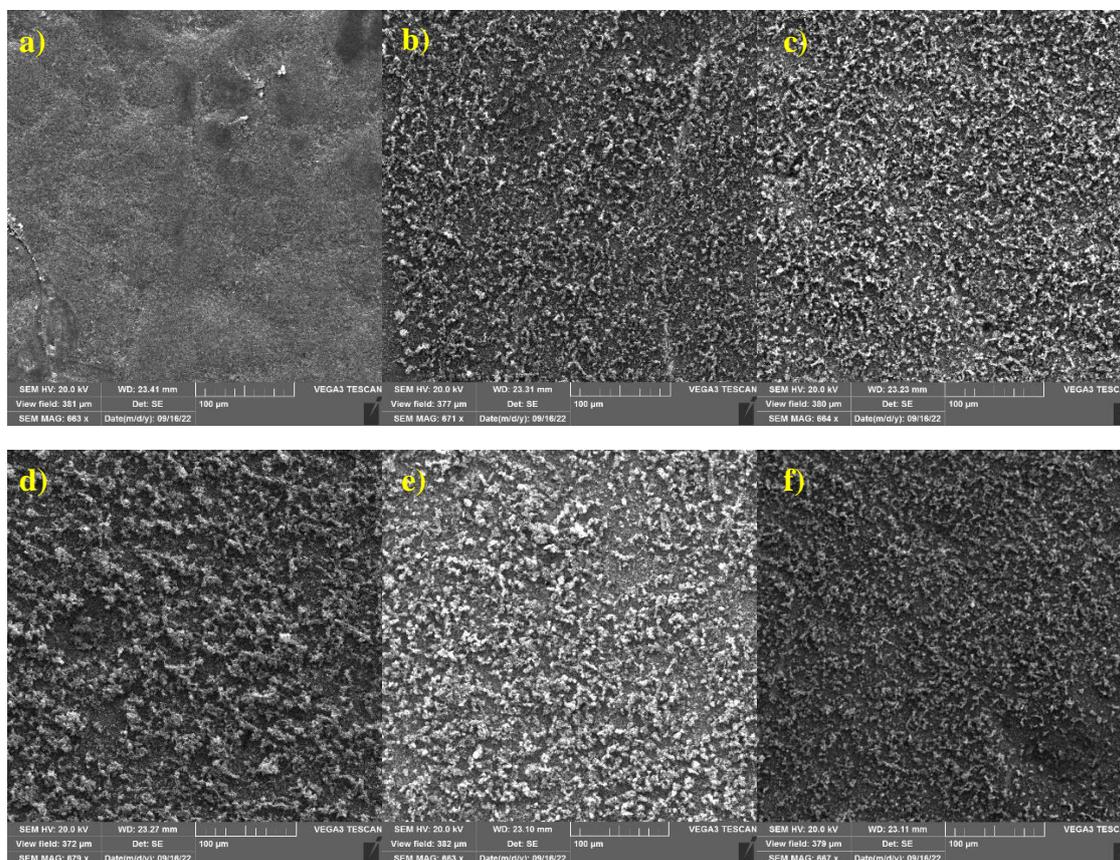
(Fonte: BRITO et al. 2018)

Dessa maneira, o ensaio morfológico de análise do material particulado retido no componente têxtil, realizado por intermédio do microscópio eletrônico de varredura (MEV), capturou registros das amostras observadas sob aumento de 500x e 10000x em relação ao seu tamanho original.

Nota-se na Figura 26 as amostras de material têxtil contendo o MP capturado após queima dos combustíveis S10, B13, B20, B30 e B40 sob aumento de 500x. É visualizado na Figura 25 que a amostra “a” referente ao elemento têxtil em seu estado virgem, apresenta uma superfície claramente lisa e límpida da presença de resíduos quando comparado com as demais amostras. As amostras “b” (S10), “c” (B13), “e” (B30), “f” (B40) apontam a retenção de material particulado de maneira agregada, bem próximos. Apenas a amostra, aparentemente, “d”, que diz respeito aos produtos de combustão do B20, se demonstraram pouco dispersas quando comparadas com as outras amostras. Indicando, dessa maneira, uma possível liberação em menor quantidade de MP.

Salienta-se que a observação morfológica do ensaio tem caráter parcialmente qualitativo – visando observar a morfologia, dimensões e tamanhos – sem poder indicar quais são os componentes, substâncias e quantidade – massa – existentes nas amostras. Levando em consideração que a quantidade de MP emitido durante o processo de queima

do combustível está relacionada com o tempo em que o MCI está em serviço. Na imagem não se pode mensurar acerca dos tamanhos e dimensões do material particulado, isso devido ao grau de ampliação da figura.



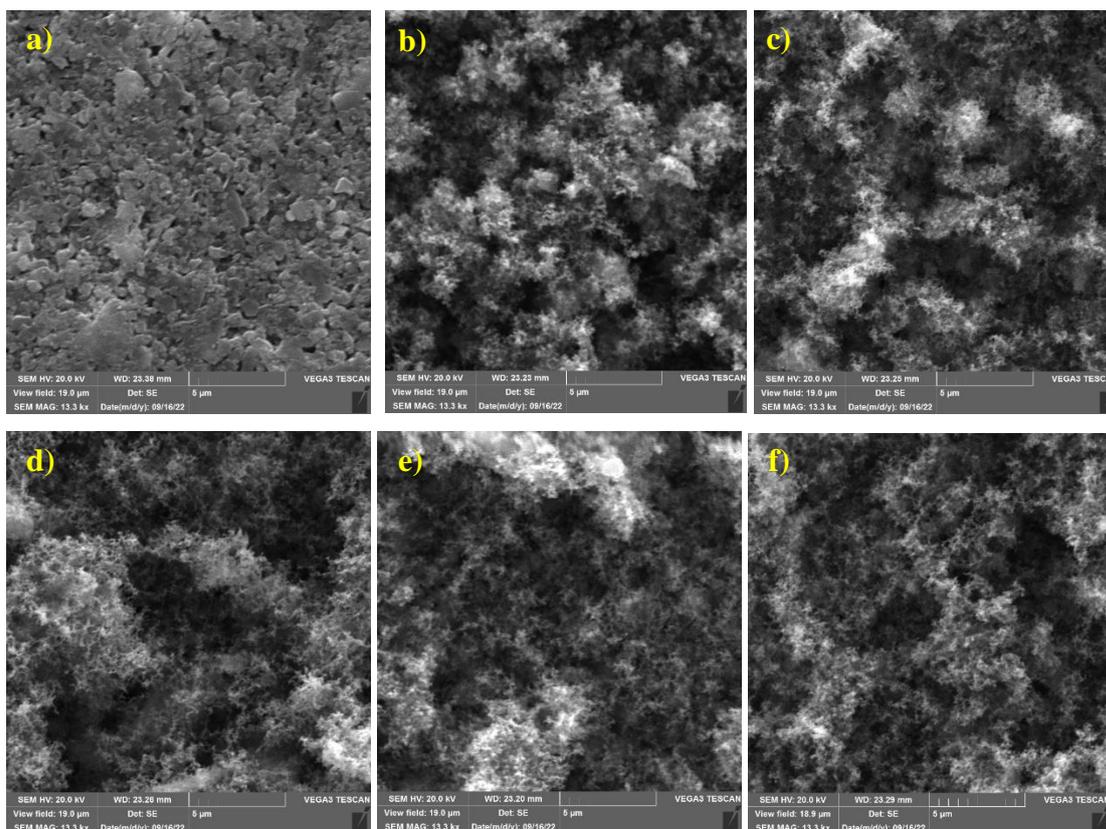
**Figura 26 – a)** Amostra morfológica do material têxtil virgem sob aumento de 500x; **b)** Amostra morfológica do material têxtil S10 sob aumento de 500x; **c)** Amostra morfológica do material têxtil B13 sob aumento de 500x; **d)** Amostra morfológica do material têxtil B20 sob aumento de 500x; **e)** Amostra morfológica do material têxtil B30 sob aumento de 500x; **f)** Amostra morfológica do material têxtil B40 sob aumento de 500x. (Fonte: Dados obtidos através da pesquisa, 2022)

Na Figura 26 notadamente nas amostras “b”, “c”, “d”, “e” e “f” percebe-se formação de estruturas de pequenas esferas agrupadas em cadeia com pouca separação entre as mesmas caracterizando partículas emitidas por biocombustíveis, conforme observado por Micic et al. (2003 apud Rosasco et al. 2011). Com a ampliação em 10000x, é notado que as características morfológicas das amostras “b”, “c”, “d”, “e” e “f” seguem o mesmo padrão. De maneira geral, nesse grau de ampliação, o MP apresenta dimensões indefinidas. E ao que estabelece Brito et al. (2018), ao mencionar sobre as dimensões do MP liberado pela emissão do diesel e afirmar que se trata de partículas finas e ultras finas,

sendo possível analisar seus formatos e dimensões através de grandes ampliações de imagem.

Também é averiguado na Figura 27, que o MP retido no componente têxtil se demonstrou espalhado de maneira singular para cada amostra de combustível submetido ao processo de combustão. Houve destaque para as amostras “c”, “d”, “e” e “f”, referente aos combustíveis B13, B20, B30 e B40 respectivamente, que se mostraram semelhantes. Onde observou-se o registro de algumas áreas de pico, em menor quantidade do que a amostra “b”, referenciada pelo S10, a maior presença de regiões na coloração cinza. Indicando depósito menor, nas amostras “c”, “d”, “e” e “f” de MP.

Por sua vez, a amostra “b”, da Figura 27, relativa ao combustível de origem fóssil diesel S10, expôs regiões de maior agrupamento de MP, indicando a ocorrência de maior depósito de material particulado. É cabível mencionar que as regiões que apresentam a coloração mais clara fazem referência a regiões onde ocorreram o maior acúmulo de material particulado. Considerando o fato de que a imagem registrada pelo MEV traz consigo a noção de profundidade do elemento analisado.



**Figura 27** – a) Amostra morfológica do material têxtil virgem sob aumento de 10000x; b) Amostra morfológica do material têxtil S10 sob aumento de 10000x; c) Amostra morfológica do

material têxtil B13 sob aumento de 10000x; **d**) Amostra morfológica do material têxtil B20 sob aumento de 10000x; **e**) Amostra morfológica do material têxtil B30 sob aumento de 10000x; **f**) Amostra morfológica do material têxtil B40 sob aumento de 10000x. (Fonte: Dados obtidos através da pesquisa, 2022)

Adicionalmente, Guimarães et al. (2018) indicam que a opacidade do material particulado emitido durante o processo de queima do combustível está relacionada com a impenetrabilidade da luz em um meio, isso quer dizer, ou outras palavras que, quanto mais opaca, ou mais escura a fumaça emitida, maior será a quantidade de material particulado liberado no processo, durante o processo de queima do combustível e emissão dos gases de combustão.

Diante da análise morfológica do material particulado retido no de elemento têxtil, resultante da queima dos combustíveis observou-se que as amostras de S10, B20 e B40, conforme a Figura 25, seriam, do ponto de visto macro e de acordo com o que Guimarães et al. (2018) indicam, as amostras que mais depositaram material particulado no elemento têxtil, levando em conta a coloração mais escura das amostras. Enquanto as amostras referentes ao B13 e B30, tonalidades mais claras.

Já no que se refere a uma ampliação maior da imagem, exibida por intermédio da Figura 26, diferentemente de uma visão mais macro vista na imagem anterior, notou-se que as amostras de B13, B20, B30 e B40 mostraram se apresentar semelhantes no agrupamento e espaçamento do material particulado retido no elemento têxtil analisado. Indicando a menor ocorrência de material particulado no elemento têxtil analisado.

Todavia, a amostra referente ao S10, na Figura 26 “a”, foi dotada da maior quantidade de picos de MP, indicados pela coloração cinza claro, e a ocorrência menor de regiões escuras, quando comparadas às amostras anteriores. Salientando-se o fato de que as análises dos agrupamentos e espaçamentos do material particulado no componente têxtil foi realizado por intermédio da projeção da imagem emitida através do MEV.

Ao relacionar a análise das temperaturas dos gases de exaustão com o depósito de material particulado no elemento têxtil é visualizado, através da ampliação em 10000x, o que já indicava o Gráfico 17, houve maior deposição de particulado no S10 na amostra do elemento têxtil e menor no B40 – ao comparar o biodiesel B40 com todas as demais amostras.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sob a perspectiva que busca alternativas para mitigar as mudanças climáticas que têm se acentuado após a intensificação da ação antrópica pós-revolução Industrial, nas últimas décadas discussões em torno de medidas que objetivam a diminuição das consequências dessas ações têm sido cada vez mais frequentes e fortemente acentuadas.

É um fato que a exploração do petróleo e seus derivados têm se apresentado como uma fonte determinante na acentuação de gases intensificadores do efeito estufa, aumentando a retenção de calor na atmosfera e, ainda, emitindo materiais particulados, de diferentes dimensões passíveis de impacto na flora, fauna, qualidade do ar, água e solo, além também da qualidade de vida dos seres humanos.

Dessa maneira, não é necessário, como diz o ditado popular “pagar para ver”, que consequências podem acontecer em um futuro não distante se não forem tomadas medidas preventivas nos dias de hoje. Isso quer dizer que, não se deve ser postergado pela falta de certezas científicas, a adoção de procedimentos que objetivam a prevenção, minimização ou, até mesmo, a possibilidade de evitar as causas das mudanças climáticas e seus efeitos negativos em todas as suas esferas.

Nesse contexto, estimula-se o uso responsável dos recursos que objetive a proteção e o equilíbrio do meio ambiente baseado no cumprimento de todas as obrigações, especificações e legislações legais para a colaboração a longo prazo de uma qualidade de vida e futuro melhor para as novas gerações e contribuindo para a manutenção de todas as formas de vida.

Seguindo o mesmo pensamento de Koslowski et al. (2014), cada combustível apresenta processos de queima diferenciados entre si. De modo que sua composição é capaz de interferir diretamente dos gases poluentes e materiais particulados emitidos durante o processo de combustão. Mencionando-se, por exemplo, os hidrocarbonetos que diminuem à medida que ocorre o aumento da taxa de mistura de um biodiesel/diesel. Contudo, é fundamental que ocorra regulagens no motor para a devida queima do combustível utilizado.

Notou-se que ao que refere aos ensaios que visavam a análise da qualidade do biodiesel de canola residual todos os resultados se demonstraram positivos e favoráveis. Todos considerando as especificações abordadas em suas respectivas normas e padrões que favorecem a aplicabilidade e uso do biocombustível residual.

No ensaio de aspectos, o óleo produzido se apresentou, visualmente, conforme a norma ASTM D4176 estabelece, um biodiesel límpido e isento de impurezas. A análise da massa específica também foi importante com o intuito de evitar que ocorram alterações no desempenho do motor, e, conseqüentemente, não sofra grandes variações de maneira a comprometer a massa ideal a ser injetada na câmara de combustão do motor. Salienta-se que o pH final obtido do biodiesel residual foi de 7,0, indicando neutralidade do óleo.

Outro ensaio de qualidade realizado no biodiesel residual de canola que apresentou resultados satisfatório foi o rendimento e corrosão à lâmina de cobre. O ensaio de rendimento seguiu conforme o método Christoff (2006) para a obtenção do biodiesel. Todavia, foi possível elevar o rendimento através de alterações realizadas no método utilizado. Salienta-se que as alterações estiveram relacionadas aos equipamentos utilizados e a maneira que as substâncias eram ministradas. Mas as quantidades adotadas, estiveram em de acordo com o método Christoff (2006).

A exposição do biodiesel residual produzido com óleo de canola ao ensaio de corrosão às lâminas de cobre demonstrou que ao ser submetido às especificações expostas pela norma ASTM D130 resultou em amostras de biodiesel com os resultados idênticos à amostra de diesel S10. E ainda, o grau de corrosão das amostras não apresentou níveis superiores a 1 após a realização do ensaio e ao limite estabelecido pela Resolução nº 14 de 2012 da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.

No tocante ao Ponto de Fulgor e o Ponto de Combustão do biodiesel, em todas as amostras – B13, B20, B30 e B30 – os resultados foram superiores ao combustível diesel S10. Indicando a produção de um óleo seguro, principalmente no seu armazenamento e transporte. E ainda, diminuindo a possibilidade de ocorrência de potencial dano para a bomba de combustível, aos selos e, inclusive, ocasionar o processo de queima de combustível de maneira irregular ou incompleta.

Ao analisar o consumo dos combustíveis estudados, avaliou-se que o combustível que mais econômico foi o diesel S10. Notou-se que à medida que a taxa de mistura do biodiesel é aumentada, o consumo específico, para todas as amostras do biocombustível, também cresceu. Sendo a amostra B40 detentora do maior consumo. Ao considerar o viés econômico, o diesel S10 é melhor no que se refere ao consumo. A razão do fato está relacionada principalmente à estequiometria do combustível.

Observou-se após os ensaios realizados com o biodiesel residual produzido a partir de óleo de *Brassica napus* – B13, B20, B30 e B40 – comparados com o combustível comercial diesel S10, aplicados diretamente no motogerador MDGT - 6500CLE, no que

se refere às vibrações provocadas pela ignição, em todas as amostras de misturas de biodiesel – B13, B20, B30 e B40 - de *Brassica napus* residual, a energia dissipada em forma de vibração apresentou valores semelhantes entre si. Corroborando com a ideia de que um motor sem ajustes representativo para o recebimento do biodiesel, no caso, em seu sistema de injeção de combustível ou adequações mecânicas pode funcionar com as proporções sugeridas no trabalho, sem que haja a ocorrência de danos ou falhas no motor.

Quanto à análise dos gases de emissões emitidos através do sistema de escapamento do motogerador, notou-se que à medida que a taxa de mistura do biodiesel se eleva, ou seja, era aumentada, a emissão de O<sub>2</sub> tendia a crescer, em paralelo, os gases de potencial nocivo ao efeito estufa, como o CO<sub>2</sub>, CO e os hidrocarbonetos, diminuíram. Tal fato, se deu pela ocorrência da inserção do biodiesel no diesel, ou seja, certa “diluição” do combustível de origem fóssil e rico com poluentes na presença de um óleo de biodegradável, renovável e de baixo impacto ambiental.

A análise do material particulado retido no elemento têxtil se deu através de observações macro e micro, 500x e 10000x. A imagem macro trouxe a ideia de que as amostras de S10, B20 e B40 apresentaria o maior depósito de MP no elemento têxtil, levando em conta a coloração mais escura das amostras. Enquanto as amostras referentes ao B13 e B30, tonalidades mais claras.

Já no que se refere a uma interpretação da imagem micro realizada no MEV, diferentemente de uma visão mais macro vista na imagem anterior, notou-se que as amostras de B13, B20, B30 e B40 portaram-se de maneira semelhante no elemento têxtil analisado. Indicando a menor ocorrência de material particulado no componente analisado. Ao considerar a interpretação através da ampliação de 10000x. Sendo a amostra referente ao S10 dotada da maior quantidade de picos de MP, indicados pela coloração cinza claro, e a ocorrência menor de regiões escuras.

Ao relacionar a análise das temperaturas dos gases de exaustão com o depósito de material particulado no elemento têxtil é visualizado, através da ampliação em 10000x, houve maior deposição de particulado no S10 na amostra do elemento têxtil e menor no B40. A redução de MP nas amostras B13, B20, B30 e B40 representou, nessa ordem, em relação ao registro obtido pelo diesel S10, ficou evidente os seguintes percentuais: 9,42%, 31,81%, 53,90% e 68,77%. Dessa maneira, configurando um indicativo claro da diminuição de emissão de particulados à proporção que a mistura de biodiesel se elevava.

Em síntese, através da pesquisa foi possível evidenciar a possibilidade utilização do biodiesel residual de *Brassica napus* em motores de combustão interna ciclo diesel. Sem

necessitar que o motor seja submetido a alterações para o recebimento do combustível e não demonstrando, de acordo com os resultados obtidos, a ocorrência de danos ao motor pela utilização do biocombustível produzido. Dessa maneira, havendo chances de utilização e aplicabilidade de um óleo combustível renovável e de baixo impacto ambiental, quando comparado com o combustível diesel S10. Todavia, é importante a realização dos demais ensaios para se avaliar a qualidade do biodiesel residual e seus efeitos nos componentes do motor.

Para uma melhor observação da qualidade do biodiesel residual produzido a partir de *Brassica napus* recomenda-se uma análise das especificações das demais características do óleo. Características como a viscosidade cinemática a 40 °C, o teor de água, éster, o enxofre total, o número de cetanos, índice de acidez, de iodo além também das propriedades envolvendo o glicerol presente, a estabilidade à oxidação considerando uma temperatura de 110 °C, teor de sedimentos (máx), contaminação total (máx), temperatura de destilação 90% recuperado (máx), teor de éster linolênico, teor de éster poli-insaturado, resíduo de carbono (máx), cinzas sulfatadas (máx), teor de sódio e potássio (máx), teor de cálcio e magnésio (máx), ponto de entupimento a frio (máx), ponto de névoa e filtrabilidade a frio. Além também, do estudo do óleo produzido aplicado em testes e ensaios em motores de ciclo diesel, considerando situações de empregabilidade reais.

Sugere-se também como proposta de futuros trabalhos e pesquisas a avaliação das emissões de óxidos de enxofre e óxidos de nitrogênio, além da correlação desses poluentes considerando a elevação das proporções de misturas e as temperaturas a que estão submetidos. Dando-se atenção que a formação de óxidos de nitrogênio durante a queima dos combustíveis está relacionada principalmente com a elevação e atingimento de determinada temperatura dentro da câmara de combustão. E, conforme estudos publicados, no tocante às emissões de óxidos de enxofre, é observado a diminuição desse poluente à proporção que a taxa de biodiesel/diesel é elevada.

Aconselha-se também como proposta de futuras pesquisas a avaliação a avaliação mais detalhada, isso quer dizer, em maior grau de ampliação, do material particulado emitido pelas amostras de biodiesel. Ampliações superiores a 10000x. Pelo fato de se tratar de partículas ultrafinas e serem visualizadas com maior detalhamento em ampliações maiores. Além, também, da análise através do ensaio de espectroscopia por dispersão de elétrons, conhecido também como EDS, visando a observação dos elementos químicos de uma determinada amostra.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASIL BRASÍLIA. **Presidente aprova mistura de % de biodiesel no óleo diesel.** EBC. 2021. Disponível em:

<<https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2021-12/presidente-aprova-mistura-de-10-de-biodiesel-no-oleo-diesel#:~:text=A%20soja%20%C3%A9%20a%20principal,%25%2C%20motivado%20pelo%20interesse%20p%C3%BAblico.>>. Acessado em: 30 de agosto de 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Resolução ANP nº 7, de 19 de março de 2008 – DOU 20.3.2008.** Disponível em: <[https://www.udop.com.br/download/legislacao/comercializacao/juridico\\_legiscalcao/res\\_7\\_comercializacao\\_biodiesel.pdf](https://www.udop.com.br/download/legislacao/comercializacao/juridico_legiscalcao/res_7_comercializacao_biodiesel.pdf)>. Acessado em: 24 de agosto de 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Resolução nº 14 de 11 de maio de 2012.** Publicado em 18 de maio de 2022. Disponível em:

<<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=274067#:~:text=Resolve%3A,em%20todo%20o%20territ%C3%B3rio%20nacional.>>. Acessado em: 05 de setembro de 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Resolução ANP nº 45 de 25 de agosto de 2014.** Publicado no DOU em 26 de agosto de 2014. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=274064>>. Acessado em: 14 de setembro de 2022.

ALBUQUERQUE, E. L. **Qualidade do ar urbano:** controle, monitoramento e impactos de poluição. 2020. Disponível em: <<http://www.saude.ba.gov.br/wp-content/uploads/2020/11/Apresentacao-Poluicao-Atmosferica.pdf>>. Acessado em: 04 de setembro de 2022.

ALEXANDER, C. K.; SADIKU, M. N. O. **Fundamentos de circuitos elétricos.** 5 ed. Porto Alegre: AMG editora, 2013.

ALMEIDA, H. S. **Produção de biocombustíveis via craqueamento térmico-catalítico de resíduos sólidos de caixas de gordura com carbonato de sódio e lama vermelha ativada termicamente.** 2015. Proderna. Tese de doutorado. Universidade Federal do Pará. Disponível em: <<https://proderna.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/teses/Helio.pdf>>. Acessado em: 15 de julho de 2022.

ALSBOU, E.; HELLEUR, R. **Whole sample analysis of bio-oils and thermal cracking fractions by Py-GC/MS and TLC–FID**. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, v. 101, p. 222-231, 2013.

ALYRIO, R. D. **Métodos e técnicas de pesquisa em administração**. Rio de Janeiro: Fundação CECIERJ, 2009.

ANTUNES, F. A. F.; TABUCHI, S. C. T.; MILESSI, T.; PINHEIRO, D. J. L. L.; ESTEVES, T. D.; SILVA, M. B.; SILVA, S. S. **Condições de pré-tratamento do glicerol proveniente da produção de biodiesel utilizando planejamento experimental *placknett burman***. 2011. Encontro Latino-Americano de Pós-graduação. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/271020517\\_condicoes\\_de\\_pre-tratamento\\_do\\_glicerol\\_proveniente\\_da\\_producao\\_de\\_biodiesel\\_utilizando\\_planejamento\\_experimental\\_placknett\\_burman](https://www.researchgate.net/publication/271020517_condicoes_de_pre-tratamento_do_glicerol_proveniente_da_producao_de_biodiesel_utilizando_planejamento_experimental_placknett_burman)>. Acessado em: 24 de março de 2022.

ARAÚJO, L. M. **Análise do desempenho e emissões de um motor de ignição por compressão utilizando várias proporções de biodiesel**. 2019. Dissertação de mestrado. Universidade Federal da Paraíba. Centro de Tecnologia. Programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica. Disponível em: <<https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/16870/1/Arquivototal.pdf>>. Acessado em: 22 de setembro de 2022.

ASSIS, T. F.; D'ÁGOSTO, M. A. **Guia para inventário de emissões – Gases de Efeito Estufa nas atividades logísticas**, 1ª ed., Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Transporte Sustentável – IBTS, 2020.

AUTH, M. A.; MARCHI, M. I.; OLIVEIRA, E. C.; REGINATTO, V. P.; MORS, M. F. **Estudo e preparação do biodiesel**. UNIVATES. Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências Exatas. 2008. Disponível em: <[https://www.univates.br/ppgece/media/docs/PT\\_Eniz1.pdf](https://www.univates.br/ppgece/media/docs/PT_Eniz1.pdf)>. Acessado em: 14 de setembro de 2022.

BARCZA, M. V. **Processos unitários orgânicos – esterificação**. 2007. Disponível em: <<http://www.dequi.eel.usp.br/~barcza/esterificacao.pdf>>. Acessado em: 02 de julho de 2022.

BARCZA, M. V. **Petróleo**. 2017. Universidade de São Paulo. Disponível em: <<https://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/1285870/313/Petroleo.pdf>>. Acessado em: 01 de agosto de 2022.

BENTO, A. **Como fazer uma revisão da literatura: Considerações teóricas e práticas**. Revista JA (Associação Acadêmica da Universidade da Madeira), nº 65, ano VII (pp. 42-44). ISSN: 1647-8975. 2012.

BIODIESEL BRASIL. **Produção do biodiesel: conheça as etapas do processo**. 2018. Disponível em: <<https://biodieselbrasil.com.br/producao-do-biodiesel/>>. Acessado em: 25 de setembro de 2019.

BOSCH. **Manual de Tecnologia Automotiva**. São Paulo: Blucher, 25 ed. 2005.

BOULANGER, P.; ADAM, B. **Motores Diesel**. 1978. São Paulo: Editora Hemus.

BRANCO, P. M. **Petróleo**. Serviço Geológico do Brasil – SGB. 2014. Disponível em: <[BRASIL. \*\*Constituição da República Federativa do Brasil de 1988\*\*. Planalto. Disponível em: <\[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\\_03/constituicao/constituicao.htm\]\(https://www.planalto.gov.br/ccivil\_03/constituicao/constituicao.htm\)>. Acessado em: 05 de setembro de 2022.](http://www.cprm.gov.br/publique/SGB-Divulga/Canal-Escola/Petroleo-1256.html#:~:text=O%20petr%C3%B3leo%20%C3%A9%20um%20%C3%ADquido, hidrocarbonetos%20alif%C3%A1ticos%2C%20alif%C3%ADlicos%20e%20arom%C3%A1ticos.></a>>. Acessado em: 17 de agosto de 2022.</p></div><div data-bbox=)

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e ampliação, e dá outras providências. Planalto. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm)>. Acessado em: 05 de setembro de 2022.

BRASIL. **Resolução CONAMA Nº 491 de 19 de novembro de 2018**. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Publicado no DOU em 21 de novembro de 2018. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=369516>>. Acessado em: 04 de setembro de 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Benefícios ambientais da produção e do uso do biodiesel**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria Executiva. – Brasília: MAPA/ACS, 2014.

BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. **Portaria nº 377**, de 29 de setembro de 2011. Disponível em:

<<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/rtac001739.pdf>>. Acessado em: 01 de agosto de 2021.

BRAUN, S.; APPEL, L. G.; SCHMAL, M. **A poluição gerada por máquinas de combustão interna movidas à diesel** – questão dos particulados. Estratégias atuais para a redução e controle das emissões e tendências futuras. Revista Química Nova, v. 27, nº 3, 2004. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/vG7RHJHrHTTcRnSCmHqvYCj/?lang=pt>>. Acessado em: 06 de setembro de 2022.

BRITO, Y. C. **Esterificação e transesterificação em presença de complexos de titânio e zircônio**. 2008. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Alagoas. Disponível em: <[http://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/1077/1/Dissertacao\\_YariadnerCostaBrito\\_2008.pdf](http://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/1077/1/Dissertacao_YariadnerCostaBrito_2008.pdf)>. Acessado em: 19 de julho de 2022.

BRITO, G.; SODRÉ, F. F.; ALMEIDA, F. V. **Impact of Particulate Matter on Air Quality**. Revista Virtual de Química, v. 10, n. 5, 1335-1354. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/328919041\\_Impact\\_of\\_Part particulate\\_Matter\\_on\\_Air\\_Quality](https://www.researchgate.net/publication/328919041_Impact_of_Part particulate_Matter_on_Air_Quality)>. Acessado em: 19 de setembro de 2022.

CAPES. **Produção Técnica** – Grupo de Trabalho. Ministério da Educação. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. Brasília, 2019. Disponível em: <<https://www.gov.br/capes/pt-br/centrais-de-conteudo/10062019-producao-tecnica-pdf>>. Acessado em: 03 de setembro de 2022.

CARVALHO, A. L. V. **Desempenho e emissões de gases de um MCI-diesel utilizando óleo diesel e mistura de biocombustível**. Universidade Federal de São João Del Rei. Programa de pós-graduação em Engenharia da Energia. São João Del Rei. 2014. Disponível em: <<https://www.ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/mestradoenergia/Dissertacoes/2012/Dissertacao%20Andre%20Luiz%20Vicente%20de%20Carvalho.pdf>>. Acessado em: 26 de setembro de 2022.

CETESB. **Ficha de Informação Toxicológica** – Diesel. 2020. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2020/07/Diesel.pdf>>. Acessado em: 26 de agosto de 2022.

CETESB. **Ozônio Troposférico** – Bioindicador vegetal para ozônio troposférico. Qualidade do Solo. Disponível em:

<<https://cetesb.sp.gov.br/solo/biomonitoramento/ozonio-troposferico/>>. Acessado em: 06 de setembro de 2022.

CHRISTOFF, P. **Produção de Biodiesel a partir do óleo residual de fritura comercial – Estudo de caso: Guaratuba, litoral paranaense**. 2006. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC. Disponível em: <<https://lactec.org.br/wp-content/uploads/2021/05/003-Dissertacao-Paulo-Christoff.pdf>>. Acessado em: 20 de janeiro de 2022.

CNT. **CNT lança painel com dados do transporte rodoviário no Brasil**. 2020. Disponível em: <<https://cnt.org.br/agencia-cnt/cnt-lanca-painel-com-dados-do-transporte-rodoviario-no-brasil>>. Acessado em: 12 de agosto de 2022.

COELHO, P. **O que é Ponto de Fulgor?**. Engenharia Química Santos, São Paulo. 2016. Disponível em: <<https://www.engquimicasantosp.com.br/2016/09/o-que-e-ponto-de-fulgor.html>>. Acessado em: 16 de agosto de 2022.

COMISSÃO TRIPARTITE PERMANENTE DE NEGOCIAÇÃO DO SETOR ELÉTRICO NO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de Combate a Incêndios**. 2017. Disponível em: <<http://www.sgc.goias.gov.br/upload/arquivos/2017-03/manualcombateincendio.pdf>>. Acessado em: 18 de agosto de 2022.

CONCEIÇÃO, M. S.; MUNIZ, E.; MENDES, T. **Impactos da mudança do clima para a gestão municipal – Mitigação**. Enap Escola Nacional de Administração Pública. Brasília. 2018.

COSTA, J. M. F. N. et al. **Influência da temperatura de pirólise nas emissões gasosas, rendimentos e densidade do carvão vegetal**. 2020. Ciência da Madeira. Brazilian Journal of Wood Science. Disponível em: <<https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/1083>>. Acessado em: 10 de julho de 2022.

DELGADO, D.; GAUTO, M. **Petróleo: Qualidade físico-químicas, preços e mercados**. Fundação Getúlio Vargas. 2021. Disponível em: <[https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/30199/manual\\_petroleo\\_qualidade-fq\\_precos\\_e\\_mercados\\_jan\\_21\\_aprovado.pdf](https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/30199/manual_petroleo_qualidade-fq_precos_e_mercados_jan_21_aprovado.pdf)>. Acessado em: 18 de agosto de 2022.

DEPARTAMENTO DE PESQUISAS E ESTUDOS ECONÔMICOS. **Petróleo, derivados e combustíveis**. BRADESCO. 2019. Disponível em: <[https://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset\\_petroleo\\_e\\_derivados.pdf](https://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset_petroleo_e_derivados.pdf)>. Acessado em: 02 de agosto de 2022.

DIAS, R. G.; SILVA, M. S.; MAGALHÃES, K. F.; SOUZA, E. F.; FIORUCCI, A. R.; CAVALHEIRO, A. A. **Síntese de biodiesel utilizando óleo residual de frituras**. ENEPEX – Encontro de Ensino, Pesquisa e Extensão da Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul. 2014. Disponível em: <<https://anaisonline.uems.br/index.php/enic/article/download/2516/2660>>. Acessado em: 05 de setembro de 2022.

DIB, F. H. **Produção de biodiesel a partir de óleo residual reciclado e realização de testes comparativos com outros tipos de biodiesel e proporções de mistura em um moto-gerador**. 2010. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Disponível em: <<https://condor.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariamecanica/nuplen/producao-de-biodiesel-a-partir-de-oleo-residual-reciclado-e-realizacao-de-testes-comparativos-com-outros-tipos-de-biodiesel-e-proporcoes-de-mistura-em-um-moto-gerador.pdf>>. Acessado em: 20 de janeiro de 2022.

DRUMM, F. C.; GERHARDT, A. E.; FERNANDES, G. D.; CHAGAS, P.; SUCOLOTTI, M. S.; KEMERICH, P. D. C. **Poluição atmosférica proveniente da queima de combustíveis derivados do petróleo em veículos automotores**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Digital. 2014.

EMBRAPA. **Biodiesel**. Embrapa Territorial. 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/biodiesel#:~:text=As%20principais%20mat%C3%A9rias%2Dprimas%20para,outras%20oleaginosas%20existentes%20no%20pa%C3%ADs>>. Acessado em: 30 de agosto de 2022.

FARAH, M. A. **Petróleo e seus derivados** – definição, constituição, aplicação, especificações, características de qualidade. PETROBRAS, Rio de Janeiro, LTC, 2013.

FELTRE, R. **Química: química orgânica**. 6ª ed. São Paulo: Moderna, 2004. P. 92-10; 301-316; 339p. 378p.

FIRMINO, J. V. L. C. **Identificação de defeitos em um motor de combustão interna ciclo otto a partir da análise de vibrações**. Monografia. Universidade Federal da Paraíba. 76f. 2018.

FOLGHER, H. S. **Elementos de engenharia das reações químicas**. LTC, 4ª ed. 2009.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6ª ed. São Paulo: Atlas, 2018.

GONÇALVES, F. S. **Petróleo e Combustíveis Industriais: mercado e aplicações**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2010. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/35181/000792972.pdf?sequence=>> . Acessado em: 10 de agosto de 2022.

GONÇALVES, G. H.; OUTA, R.; CHAVARETTE, F. R.; GONÇALVES, A. C.; GARCIA, A.; SANTOS, P. S. B. dos. **Analysis, processing and prognosis of faults in combustion engines (otto) through vibration: application of artificial immune systems**. Research, Society and Development, [S. l.], v. 10, n. 4, p. e5110413741, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i4.13741. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/13741>>. Acessado em: 4 de outubro de 2022.

GOMES, M. M. da S. **Produção de biodiesel a partir da esterificação dos ácidos graxos obtidos por hidrólise de óleo de peixe**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Tese de doutorado. 2009. Disponível em: <<http://tpqb.eq.ufrj.br/download/biodiesel-de-oleo-residual-de-peixe.pdf>>. Acessado em: 19 de julho de 2022.

GOMES, L. H. **Estudo do petróleo e suas principais técnicas analíticas**. Fundação Educacional do Município de Assis. 2013. Disponível em: <[GRUPO SÁ. \*\*Lubrificação do motor: conheça fatores que podem forçar a antecipação da troca\*\*. 2016. Disponível em: <<https://mecanicaonline.com.br/2016/07/lubrificacao-do-motor-conheca-fatores-que-podem-forcar-a-antecipacao-da-troca/>>. Acessado em: 05 de agosto de 2022.](http://www.cprm.gov.br/publique/SGB-Divulga/Canal-Escola/Petroleo-1256.html#:~:text=O%20petr%C3%B3leo%20%C3%A9%20um%20%C3%ADquido, hidrocarbonetos%20alif%C3%A1ticos%2C%20alic%C3%ADclicos%20e%20arom%C3%A1ticos.></a>>. Acessado em: 16 de agosto de 2022.</p></div><div data-bbox=)

GUIMARÃES, C. C.; SANTOS, V. M. L.; CORTEZ, J. W.; SANTOS, L. D. P. G. **Redução da emissão de material particulado em função da inserção de misturas do biodiesel de soja e mamona ao diesel.** Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal do Vale do São Francisco. 2018. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/325108539\\_Reducacao\\_da\\_emissao\\_de\\_material\\_particulado\\_em\\_funcao\\_da\\_insercao\\_de\\_misturas\\_do\\_biodiesel\\_de\\_soja\\_e\\_mamon\\_a\\_ao\\_diesel](https://www.researchgate.net/publication/325108539_Reducacao_da_emissao_de_material_particulado_em_funcao_da_insercao_de_misturas_do_biodiesel_de_soja_e_mamon_a_ao_diesel)>. Acessado em: 16 de setembro de 2022.

GUTIÉRREZ-OPPE, E. D. **Gestão de qualidade do biodiesel no Brasil comparada com modelos internacionais.** GEPROS. Gestão da Produção, Operação e Sistemas, Bauru, ano 8, nº2, 2013. Disponível em: <<https://revista.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/download/273/494>>. Acessado em: 11 de agosto de 2022.

HOBSON, G. D.; POHL, W. *Modern petroleum technology.* Essex: Applied Science, 1975.

HOFFMANN, F. **Diesel, um motor de muitas peculiaridades.** Auto Livraria – Best Cars. 2016. Disponível em: <[https://autolivrraria.com.br/bc/mais/tecnica/diesel-um-motor-de-muitas-peculiaridades/#:~:text=Rela%C3%A7%C3%A3o%20estequiom%C3%A9trica%20\(kg%20de%20comb%2Fkg%20de%20ar\)&text=Ou%20seja%2C%20o%20ar%20dentro,e%20se%20inicie%20a%20combust%C3%A3o.](https://autolivrraria.com.br/bc/mais/tecnica/diesel-um-motor-de-muitas-peculiaridades/#:~:text=Rela%C3%A7%C3%A3o%20estequiom%C3%A9trica%20(kg%20de%20comb%2Fkg%20de%20ar)&text=Ou%20seja%2C%20o%20ar%20dentro,e%20se%20inicie%20a%20combust%C3%A3o.)>. Acessado em: 26 de setembro de 2022.

IBAMA. **Programa de controle de emissões veiculares (PROCONVE).** 2021. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/emissoes/veiculos-automotores/programa-de-controle-de-emissoes-veiculares-proconve>>. Acessado em: 04 de setembro de 2022.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE. **As emissões brasileiras de gases de efeito estufa nos setores de Energia e de Processos Industriais em 2019.** 2020. Disponível em: <<https://energiaambiente.org.br/as-emissoes-brasileiras-de-gases-de-efeito-estufa-nos-setores-de-energia-e-de-processos-industriais-em-2019-20201201#:~:text=De%20acordo%20com%20dados%20rec%C3%A9m,do%20total%20emitido%20no%20pa%C3%ADs.>>. Acessado em: 10 de agosto de 2022.

JAEGER, K. E. et al. **Bacterial biocatalysts:** molecular biology, three-dimensional structures, and biotechnological applications of lipases. *Annu Ver Microbiol*, v. 53, p. 315-351, 1999.

JÚNIOR, José Lima. **Análise comparativa de vibração em motores ciclo diesel com combustível comercial e biodiesel**. 2018. 78 p. Disponível em: <DISSERTAÇÃO\_Análise comparativa de vibração em motores ciclo diesel com combustível comercial e biodiesel.pdf (ufla.br)>. Acessado em: 14 de outubro de 2022.

KNOTHE, G.; GERPEN, J. V.; KRAHL, J.; RAMOS, L. P. **Manual do Biodiesel**. São Paulo: Blücher, 2006. 352 p.

KNOTHE, G.; GERPEN, J. H. VAN; KRAHL, J. **The Biodiesel Handbook**. AOCS Publishing, 2005; Vol. 2.

KOSLOWSKI, L. A. D.; SCHROEDER, T.; JANTSCH, L. R.; MEDEIROS, S. H. W.; VAZ, C. **Estudo dos gases da combustão provenientes do diesel S10 e S50**. 4º Congresso Internacional de Tecnologia para o meio Ambiente. Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul. 2014. Disponível em: <[https://siambiental.ucs.br/congresso/getArtigo.php?id=228&ano=\\_quarto](https://siambiental.ucs.br/congresso/getArtigo.php?id=228&ano=_quarto)>. Acessado em: 19 de setembro de 2022.

KULGELMEIER, C. L. **Estudo dos efeitos do biodiesel e duas misturas com óleo diesel em materiais metálicos**. Universidade Federal de São Carlos. Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/9850/Cristie%20Luis%20Kugelmeyer%20-%20Disserta%20c3%a7%20c3%a3o.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acessado em: 16 de agosto de 2022.

LABORATÓRIO DE PESQUISA EM REFRIGERAÇÃO E TERMOFÍSICA. **Termoquímica**. 2016. Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <[https://polo.ufsc.br/fmanager/polo2016/materiais/arquivo10\\_1.pdf](https://polo.ufsc.br/fmanager/polo2016/materiais/arquivo10_1.pdf)>. Acessado em: 16 de agosto de 2022.

LEAL, T. A. C. B.; CONSONI, F. L. **Emissões poluentes dos veículos: impacto dos combustíveis utilizados e potencialidades da mobilidade elétrica**. Senado Federal. Textos para Discussão – Núcleo de Estudos e Pesquisas da Consultoria Legislativa. 2021. Disponível em: <<https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/587039/TD293.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acessado em: 05 de setembro de 2022.

LEÃO, L. S. **Estudo empírico e cinético da esterificação de ácidos graxos saturados sobre o ácido nióico**. 2009. 84f. Dissertação – Mestrado em Tecnologias de Processos Químicos e Bioquímicos – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

LEHMANN, F. G. **Análise da combustão e emissões em motores a biodiesel**. Universidade de São Paulo. Dissertação. 2015. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-07072016-145809/publico/FlavioGustavoLehmann2015.pdf>>. Acessado em: 28 de agosto de 2022.

LI, D-G.; ZHEN, H.; XING, CAI, L.; WU-GAO, Z.; JIAN-GUANG, Y. **Physic-chemical Properties of ethanol-diesel blend fuel and its effect to performance and emissions of diesel engines**. Renewable Energy, Issue 53, P 27634-28175, 2014.

LIMA, L. L. **Produção de biodiesel a partir da hidroesterificação dos óleos de mamona e soja**. 2007. 206 f. Dissertação de Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

LÔBO, I. P.; FERREIRA, S. L. C.; CRUZ, R. S. **Biodiesel**: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. Revisão. Química Nova, 32 (6), 2009. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/SbsL599jyMJbxxKpzbMdmZM/?lang=pt>>. Acessado em: 25 de agosto de 2022.

MA, R.; STEGEMEIER, J.; LEVARD, C.; DALE, J. G.; NOACK, C. W., YANG, T.; BROWN JR., G. E.; LOWRY, G. V. **Sulfidation of copper oxide nanoparticles and properties of resulting copper sulfide**. Environ. Science: Nano, abril, vol. 1, 2014,1, 347 - 357.

MA, F.; HANNA, M. A. **Biodiesel production. A review**. Bioresource technology, 1999, v. 70, p. 1-15.

MARIA E.R.; XAVIER, AMÉRICO A. F. S. KERR. **A análise do efeito estufa em textos paradidáticos e periódicos jornalísticos**, Anais do VIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Águas de Lindóia, SP, Brasil, 5 a 8 de junho de 2002.

MARIA, T. M. R.; et al.; **Argilas como catalisadores verdes na esterificação do colesterol. Caracterização Espectroscópica e Identificação de Polimorfos por Métodos de Análise Térmica**. Uma proposta laboratorial interdisciplinar para o 1º ciclo universitário. Química Nova, v. 32, n.8, 2009.

MARTINELLI, LÍGIA. **Produção de biodiesel etílico a partir da esterificação de ácidos graxos livre**. Universidade Federal de Pernambuco. 2008. Centro de Tecnologia e Geociências. Dissertação. Disponível em: <[https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/6405/1/arquivo2527\\_1.pdf](https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/6405/1/arquivo2527_1.pdf)>. Acessado em: 18 de junho de 2022.

MCMURRY, J. **Química orgânica**. Trad. J. A. e Souza. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1997, v.2.

MENEGHETTI, S. M. P.; MENEGHETTI, M. R.; BRITO, Y. C. **A reação de transesterificação, algumas aplicações e obtenção de biodiesel**. Revista Virtual de Química, v. 5, nº 1, p. 63-73. 2013. ISSN 1984-6835.

MENEGHETTI, S. M. P.; SILVA, F. L. S.; FREITAS, J. A. S.; SALGUEIRI, B.; MELO, L. N.; SILVA, W. W. L.; NASCIMENTO, J. R.; BORTOLUZZI, J. H. **Parâmetros físico-químicos para a reação de transesterificação: estudos envolvendo biodiesel etílico de soja**. 6º Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel. 2018. Disponível em: <<https://ubrabio.com.br/wp-content/uploads/2018/06/Livro-2-OFICIAL-Extrato-121-122.pdf>>. Acessado em: 15 de agosto de 2022.

MENEGHETTI, S. M. P.; MENEGHETTI, M. R.; BRITO, Y. C. **A reação de transesterificação, algumas aplicações e obtenção de biodiesel**. 2013. Revista Virtual de Química. ISSN 1984-6835. Disponível em: <<https://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/1285870/52/ReacaodeTransterificacao.BioDiesel.pdf>>. Acessado em: 24 de março de 2022.

MICIC, M., LEBLANC, R. M., MARKOVIC, D., STAMATOVIC, A., VUKE-LIC, N., POLIC, P. *Atlas of the tropospheric aerosols from Belgrade troposphere*. Fresenius Environmental Bulletin, v. 12, n. 9, p. 1-10, 2003.

MORAES, M. S. A. **Biodiesel de sebo: avaliação das propriedades e testes de consumo em motor a diesel**. 2008. 118f. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-graduação em Química. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRS, Porto Alegre, 2008.

NEEFT, J. P. A.; MAKKEE, M.; MOULIN, J. *A diesel particulate emission control*. Fuel Processing Technology, v. 47, p. 1-69, 1996.

NOGUEIRA, A. S. L.; PINHEIRO, F. D. P.; REIS, N. P.; LUCENA, K. O. C. **Etanol e metanol: vantagens e desvantagens quanto ao uso na produção de biodiesel no Brasil**. 2020. Disponível em: <[https://prpi.ifce.edu.br/nl/\\_lib/file/doc4341-Trabalho/ARTIGO%20-%20Delleon%20Sebasti%E3o%20e%20Nayara.pdf](https://prpi.ifce.edu.br/nl/_lib/file/doc4341-Trabalho/ARTIGO%20-%20Delleon%20Sebasti%E3o%20e%20Nayara.pdf)>. Acessado em: 17 de agosto de 2022.

OLIVEIRA, F. C. M. **Análise estocástica do material particulado emitido por motor diesel**. 2017. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Programa de pós-graduação em engenharia mecânica. 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/24730/1/FabioCesarMirandaDeOliveira DISSERT.pdf>>. Acessado em: 18 de agosto de 2022.

PANDEY, A. et al. **Biofuels: alternative feedstocks and conversion processes**. 2011. Amsterdam: Elsevier, 609p.

PAULO, A. A. **Análise das emissões de gases e consumo específico de um grupo motor-gerador abastecido com misturas diesel, biodiesel e etanol**. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais. Porto Alegre, 2019. Disponível em: <<https://repositorio.pucrs.br/dspace/bitstream/10923/15295/1/000495459-Texto%2bCompleto-0.pdf>>. Acessado em: 19 de setembro de 2019.

PETROBRAS. **Óleo Diesel - Informações Técnicas**. 2021. Disponível em: <[https://petrobras.com.br/data/files/04/93/72/4C/5A39C710E2EF93B7B8E99EA8/Manual-de-Diesel\\_2021.pdf](https://petrobras.com.br/data/files/04/93/72/4C/5A39C710E2EF93B7B8E99EA8/Manual-de-Diesel_2021.pdf)>. Acessado em: 10 de agosto de 2022.

PETROBRAS. **Curso de formação de operadores de refinaria - Processos de refino**. Centro Universitário Positivo. 2002. Disponível em: <[http://www.ifba.edu.br/professores/iarasantos/ENG%20504%20\\_%20Processos%20Qu%C3%ADmicos/literaturas/Apostilas%20Petrobr%C3%A1s/processosderefino.pdf](http://www.ifba.edu.br/professores/iarasantos/ENG%20504%20_%20Processos%20Qu%C3%ADmicos/literaturas/Apostilas%20Petrobr%C3%A1s/processosderefino.pdf)>. Acessado em: 02 de agosto de 2022.

PETROBRAS. **Relatório de Impacto Ambiental – RIMA – Atividade de produção e escoamento de petróleo e gás natural do polo pré-sal da Bacia de Santos – Etapa 3**. 2017. Disponível em: <[https://petrobras.com.br/data/files/F9/05/50/CB/200A27109E46AE07675391A8/RIMA\\_Bacia\\_Santos\\_Etapa%203\\_out\\_2017.pdf](https://petrobras.com.br/data/files/F9/05/50/CB/200A27109E46AE07675391A8/RIMA_Bacia_Santos_Etapa%203_out_2017.pdf)>. Acessado em: 03 de setembro de 2022.

PEREIRA, J. A. F. O.; SANTOS, G. R.; ESTANISLAU, R. R. R.; RAMOS, G. V.; SANTOS, D. F. **Produção de biodiesel a partir de óleo de soja via rota etílica por catálise básica**. I congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. 2015. Disponível em: <[https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/conepetro/2015/Modalidade\\_4datahora\\_02\\_02\\_2015\\_16\\_02\\_42\\_idinscrito\\_160\\_6f1ee308aa542f8cfd6e814dfbb355ce.pdf](https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/conepetro/2015/Modalidade_4datahora_02_02_2015_16_02_42_idinscrito_160_6f1ee308aa542f8cfd6e814dfbb355ce.pdf)>. Acessado em: 16 de setembro de 2022.

PHANKOSOL, S.; SUDAPRASERT, K.; KRISNANGKURA, K. *Estimation density and viscosity of ethyl-biodiesel from saponification number and iodine value*. Siam physics congress. 2015.

PRADO, C. M. R. **Produção e caracterização de biocombustíveis por craqueamento de óleos vegetais via catálise com bauxita**. 2009. Universidade Federal de Goiás. Goiânia. Disponível em: <<https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tde/1057/1/Dissertacao%20Mestrado-Cinara.pdf>>. Acessado em: 15 de julho de 2022.

PRODUÇÃO DE BIODIESEL. **Processos de produção de biodiesel: transesterificação e craqueamento térmico**. 2018. Matéria jornalística virtual. Disponível em: <<https://www.producaodebiodiesel.com.br/biocombustiveis/processos-de-producao-de-biodiesel-transesterificacao-e-craqueamento-termico>>. Acessado em: 15 de julho de 2022.

PUSTELNIK, M. **Combustíveis e Combustão**. Universidade Federal do Paraná. Departamento de Engenharia Mecânica. 2019. Disponível em: <[http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TMEC037/Prof\\_Marcelo\\_Pustelnik/combustiveis\\_combustao.pdf](http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TMEC037/Prof_Marcelo_Pustelnik/combustiveis_combustao.pdf)>. Acessado em: 02 de agosto de 2021.

QUEIROZ, C. G. **Análise do Ponto de Fulgor em um sistema de produção de biodiesel utilizando separação por membrana**. 2016. Universidade Federal da Bahia. Salvador. Programa de Pós-graduação em Engenharia Química. Disponível em: <[https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/20138/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20de%20Mestrado\\_CarolineQueiroz.pdf](https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/20138/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20de%20Mestrado_CarolineQueiroz.pdf)>. Acessado em: 15 de setembro de 2022.

RAMIRO, C. A. F. **Produção e caracterização do biodiesel: estudo e comportamento de antioxidantes**. Universidade Federal do Paraná. Trabalho de Conclusão de Curso. Setor Palotina. 2013. Disponível em:

<<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/35432/TRABALHO%20DE%20CONCLUSAO%20DE%20CURSO%20-%20CAMILLE%20AMANDA%20FERNANDEZ%20RAMIRO%20%28AGOSTO%202013%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acessado em: 15 de setembro de 2022.

RAMOS, et al. **Tecnologias de produção de biodiesel**. 2011. Revista Virtual de Química, v. 3, n. 5, p. 385-405.

RODELLI, M. C. **Produção de biodiesel a partir da transesterificação de óleo de palma**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2016. Trabalho de conclusão de curso. Disponível em: <[https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6599/3/CM\\_COEAL\\_2016\\_1\\_06.pdf](https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6599/3/CM_COEAL_2016_1_06.pdf)>. Acessado em: 20 de julho de 2022.

RODRIGUES, C. G. et al. **Projeção da mortalidade e internações hospitalares na rede pública de saúde atribuíveis à poluição atmosférica no Estado de São Paulo entre 2012 e 2030**. 2015. Revista Brasileira. Est. Pop. Rio de Janeiro, v. 32, p. 489-509. 2015. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbepop/a/rTK8kvKYpXcBy7SS5KWNVHR/?format=pdf&lang=pt>>. Acessado em: 15 de setembro de 2022.

ROSASCO, F. V.; MARIANI, R. L.; MARTINS, M. P. P.; PEREIRA, E. B. **Caracterização morfológica de partículas na atmosfera de São José dos Campos – SP, utilizando microscopia eletrônica de varredura (MEV)**. Geochimica Brasiliensis, Ouro Preto, 25 (1), p. 25-33, 2011.

SANTOS, P. V. **Impactos ambientais causados pela perfuração de petróleo**. Engenharia Ambiental. Cadernos de Graduação – Ciências Exatas e Tecnológicas. Sergipe, v. 1, nº 15, p. 153-163, 2012.

SANTOS, J. B. **Conversão catalítica de frutose e glicose em presença de catalisadores de Sn(IV)**. Universidade Federal de Alagoas. Programa de Pós-graduação em Química e Biotecnologia. Tese de Doutorado. 2015. Disponível em: <<https://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/1913/1/Convers%C3%A3o%20catal%C3%ADtica%20de%20frutose%20e%20glicose%20em%20presen%C3%A7a%20de%20catalisadores%20de%20Sn%28IV%29.pdf>>. Acessado em: 15 de agosto de 2022.

SANTOS, U. P.; ARBEX, M. A.; BRAGA, A. L. F.; MIZUTANI, R. F.; CANÇADO, J. E. D.; FILHO, M. F.; CHATKIN, J. M. **Poluição do ar ambiental**: efeitos respiratórios.

2021. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*. Disponível em: <<https://www.jornaldepneumologia.com.br/details/3483/pt-BR/poluicao-do-ar-ambiental--efeitos-respiratorios>>. Acessado em: 21 de agosto de 2022.

SANTOS, A. G. D.; NUNES, A. O.; SOUZA, L. D.; NETO, E. L. B. **Análise dos pontos de fulgor e pontos de combustão de óleo, biodiesel e diesel produzidos ou comercializados no RN**. XLVI Congresso Brasileiro de Química. Salvador, Bahia. 2006. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/cbq/2006/trabalhos2006/13/58-IC-791-974-13-T1.htm>>. Acessado em: 14 de setembro de 2022.

SENA, D. R.; SENA, G. L.; SILVA, T. L.; MARQUES, R. R. **Avaliação da degradação e da adulteração de biodiesel através da espectroscopia de fluorescência**. *Revista IFES Ciência*, nº 1, v. 1, 2015. Instituto Federal do Espírito Santo. Disponível em: <<https://ojs.ifes.edu.br/index.php/ric/article/view/240/218>>. Acessado em: 10 de setembro de 2022.

SILVA, M. J.; SOUZA, S. N. M.; SOUZA, A. A.; MARTINS, G. I.; SECCO, D. **Moto gerador ciclo diesel sob cinco proporções de biodiesel com óleo diesel**. 2011. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 3, p. 320-326. Campina Grande, Paraíba. UAEA/UFCG. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/gWvvgd8gkT7Q8xngYQjrsVRp/?lang=pt>>. Acessado em: 22 de janeiro de 2022.

SILVA, M. M. M.; SILVA, L. X.; SILVA, M. A.; DUARTE, T. G.; OLIVEIRA, A. C. A. **Efeitos do dióxido de carbono na saúde e no meio ambiente**. Faculdade Alfredo Nasser. 3º Seminário Pesquisar. 2016. Disponível em: <[http://www.faculdadealfredonasser.edu.br/files/Pesquisar\\_5/21-11-2016-21.34.56.pdf](http://www.faculdadealfredonasser.edu.br/files/Pesquisar_5/21-11-2016-21.34.56.pdf)>. Acessado em: 05 de setembro de 2022.

SILVA, T. E. P.; CARVALHO, D. O.; SILVA, M. J. P.; SANTOS, N. E. S.; COSTA, P. P. R. **Enxofre: um poluente em potencial na composição do óleo diesel brasileiro**. IV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. 2013. Disponível em: <<https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2013/XI-081.pdf>>. Acessado em: 10 de agosto de 2022.

SILVA, F. J. **Motor de combustão interna dual operando com diesel, biodiesel e gás natural: análises de desempenho e emissões**. Universidade Federal de Campina Grande. Centro de Ciências e Tecnologia. Doutorado em Engenharia de Processos. Campina

Grande, Paraíba. 2014. Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/1719/3/FERNANDO%20JOS%20c3%89%20DA%20SILVA%20-%20TESE%20%28PPGEP%29%20CCT%202014.pdf>>. Acessado em: 19 de setembro de 2022.

SOUZA, Gustavo Furtado de. **Análise do funcionamento de motores diesel utilizando wavelets**. 2011. 69 f. Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, SP. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12733/1616344>. Acesso em: 17 out. 2022.

SUAREZ, P. A. Z.; MENEGHETTI, S. M. P.; MENEGHETTI, M. R.; WOLF, C. R. 2007. **Quím. Nova**. 30, 667.

SUBBAIAH, G. V.; GOPAL, K. R.; HUSSAIN, S. A.; PRASAD, B. D.; REDD, K. T. *Ricebranoil biodiesel as a additive in diesel-ethanol blends or diesel engines*. International Journal of Research and Review Applied Science, IJRRAS Vol. 3 (3), 2010.

SUMMIT. **Automóveis são principais emissores de gases poluentes**. Mobilidade 2022. 2020. Disponível em: <<https://summitmobilidade.estadao.com.br/ir-e-vir-no-mundo/automoveis-sao-a-principal-fonte-de-emissao-de-gases-poluentes/#newsletter>>. Acessado em: 06 de setembro de 2022.

TEIXEIRA, E. L. **Produção de biodiesel através de hidroesterificação do óleo de andiroba (Carapa guianensis, Aubl.) via catálise heterogênea ácida**. 2011. 88 f. Dissertação de mestrado em Engenharia Química. Universidade Federal do Pará, Belém, PA, 2011.

TUA SAÚDE. **SMOG: o que é, principais riscos para a saúde e tipos**. 2021. Disponível em: <<https://www.escolavirtual.gov.br/catalogo#inicio-listagem-cursos>>. Acessado em: 06 de setembro de 2022.

UCHÔA, A. F. J. **Síntese de biodiesel por transesterificação do óleo da amêndoa da castanha do caju utilizando catálise heterogênea**. Universidade Federal do Ceará. Programa de Pós-graduação em Química. Fortaleza. 2017. Disponível em: <[https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/22397/3/2017\\_tese\\_afjuchoa.pdf](https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/22397/3/2017_tese_afjuchoa.pdf)>. Acessado em: 16 de setembro de 2022.

VARELLA; SANTOS. **Noções Básicas de Motores Diesel**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 2010. Disponível em: <[http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT154\\_motores\\_e\\_tratores/Literatura/No%E7%F5es%20B%E1sicas%20de%20Motores%20Diesel.pdf](http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT154_motores_e_tratores/Literatura/No%E7%F5es%20B%E1sicas%20de%20Motores%20Diesel.pdf)>. Acessado em: 25 de agosto de 2022.

VIANA, F. B. **Avaliação da corrosividade do biodiesel e misturas em espectroscopia de impedância eletroquímica**. Universidade Federal do Maranhão. Dissertação de Mestrado. 2013. Disponível em: <<https://tedebc.ufma.br/jspui/bitstream/tede/971/1/Dissertacao%20%20Fabiana.pdf>>. Acessado em: 06 de setembro de 2022.

VIOMAR, A. **Estudo das variáveis da produção de Biodiesel**. 2013 Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual do Centro-Oeste.

XAVIER, M. E. R.; KERR, A. A. F. **O efeito estufa e as mudanças climáticas**. 2008. Universidade de São Paulo. Disponível em: <[http://www.fap.if.usp.br/~akerr/efeito\\_estufa.pdf](http://www.fap.if.usp.br/~akerr/efeito_estufa.pdf)>. Acessado em: 28 de janeiro de 2022.

## APÊNDICE 1

### **Cálculo da massa de álcool necessária para transesterificação de 100 mL de óleo residual de fritura**

Para a reação de transesterificação foi utilizado um excesso de álcool na proporção de 1:18 (óleo:álcool). Baseado nesta proporção foi calculada a quantidade de álcool etílico a ser usada no processo.

$$n = \frac{m}{M}$$

Onde:

n = número de mols de óleo

m = massa de óleo

M = massa molar média do óleo

$$n_{\text{óleo}} = \frac{89}{874,8} = 0,102 \text{ mol de óleo}$$

Como a proporção do óleo:álcool é de 1:18, então:

$$n_{\text{álcool}} = 0,102 \cdot 18 = 1,836 \text{ mol de álcool}$$

$$m_{\text{álcool}} = 1,836 \times 46,07 = \mathbf{84,58 \text{ g}}$$

### **Cálculo da massa de catalisador necessária para transesterificação de 100 mL de óleo residual de fritura**

Para o catalisador (KOH), utilizou-se uma proporção de 4% m/móleo. Conforme equação seguinte:

$$m_{KOH} = \frac{4 \times m}{V}$$

$$m_{KOH} = \frac{4 \cdot 89}{100}$$

$$m_{KOH} = 3,56 \text{ g}$$

## APÊNDICE 2

Das questões relacionadas aos temas palestrados para as turmas de 1º ano, 2º ano e 3º ano do Ensino Médio da Escola Estadual Berilo Wanderley, durante a Semana do Meio Ambiente de 2022.

### **Quiz 1 – Poluição Atmosférica – 1º ano do Ensino Médio**

- 1) Diante do exposto, escreva o que você entende por poluição e quais são os tipos de poluição ambiental.**

Resposta:

---

---

---

---

---

---

---

---

- 2) A poluição atmosférica causa preocupação em todo o mundo, uma vez que provoca danos ao homem e ao meio ambiente. Ela pode ser desencadeada por fontes fixas, como indústrias, ou fontes móveis, como os veículos automotores. Analise as alternativas a seguir e marque aquela que não indica um poluente atmosférico:**

- a) Óxido de nitrogênio
- b) Dióxido de enxofre
- c) Gás nitrogênio
- d) Partículas em suspensão
- e) Monóxido de carbono

- 3) Nos últimos anos, observa-se um aumento crescente do percentual de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Entre outros efeitos, o excesso de CO<sub>2</sub> pode contribuir para:**

- a) Resfriamento global
- b) Diminuição da fotossíntese
- c) Aumento da camada de ozônio
- d) Aquecimento global
- e) Diminuição da camada de ozônio

**4) A poluição atmosférica tornou-se um problema de saúde pública em grandes capitais, principalmente durante o inverno. Os particulados presentes no ar inspirado estão associados ao surgimento de doenças como bronquite crônica e asma. A incidência dessas doenças durante o inverno é maior porque:**

- a) A corrente de convecção dispersa os particulados pelas camadas terrestre e intermediária de ar frio.
- b) A corrente de ar frio ascendente dispersa os particulados pela camada intermediária de ar quente
- c) O efeito estufa concentra os particulados na camada intermediária de ar quente.
- d) A inversão térmica concentra os particulados na camada terrestre de ar frio.

**5) A poluição atmosférica tem ligação direta com nossa saúde, uma vez que causa problemas respiratórios e até mesmo alguns tipos de câncer. Entre as alternativas abaixo, marque a única que não relata uma forma de diminuirmos esse tipo de poluição.**

- a) Maior rigor nas leis que regem as instalações de fábricas e indústrias.
- b) Diminuir a criação de áreas verdes nas cidades.
- c) Melhorar o sistema de transporte coletivo para a diminuição de carros nas ruas.
- d) Incentivar a criação de tecnologias menos poluentes.
- e) Manutenção dos veículos automotores.

## **Quiz 2 – Sustentabilidade – 2º ano do Ensino Médio**

**1) A Sustentabilidade e o Desenvolvimento Sustentável são termos de significado igual?**

- a) Sim, os dois termos apresentam o mesmo significado.
- b) Não, mas estão relacionados. O desenvolvimento que é baseado em princípios de sustentabilidade é chamado de desenvolvimento sustentável.
- c) Não, são conceitos diferentes de aplicações e princípios antagônicos.
- d) Sim, mas somente em determinadas situações estabelecidas em Lei.

**2) Quais são os pilares da sustentabilidade?**

- a) O ambiente, a cultura e a política.
- b) O ambiente, a economia e a sociedade.
- c) O ambiente, a internacionalidade e a saúde.
- d) O ambiente, a educação e a política.
- e) O ambiente, o mercado de trabalho e a sociedade.

**3) São exemplos de práticas sustentáveis do dia a dia, com exceção de:**

- a) O incentivo às energias renováveis, considerando que são naturais, infinitas e de baixo impacto ambiental.
- b) O uso exacerbado de combustíveis fósseis que além de ser utilizado a mais de um século é através deles que se tem a única forma de locomoção.
- c) A manutenção, preservação e até a criação de espaços verdes em ambientes urbanos.
- d) A instalação de postos de coleta seletiva em empresas e ambientes com muita movimentação de pessoas.
- e) O uso consciente da água e da energia elétrica, de maneira a evitar desperdícios.

**4) O que significa *greenwashing*?**

- a) Técnica de marketing para empresas que desejam criar estratégias e métodos de sustentabilidade e aplicá-la na prática.

- b) Técnica de marketing voltado para empresas com o intuito em desenvolver falsas aparências de sustentabilidade, sem necessariamente aplicá-la na prática.
- c) Consiste em uma estratégia de marketing e publicidade que aproveita a diminuição do interesse público nas questões ambientais e sociais para evitar afirmações falsas ou enganosas sobre as práticas e produtos de uma empresa.
- d) Técnica de marketing que prevê ética e sustentabilidade para a empresa.

**5) O volume de matéria-prima recuperado pela reciclagem do lixo está muito abaixo das necessidades da indústria. No entanto, mais que uma forma de responder ao aumento da demanda industrial por matérias-primas e energia, a reciclagem é uma forma de reduzir o lixo no processo industrial. Scarla, F C., Pontin, J. Do nicho ao lixo. São Paulo: Atual, 1992 (adaptado).**

**A prática abordada no texto corresponde, no contexto global, a uma situação de sustentabilidade que:**

- a) Reduz o buraco na camada de ozônio nos distritos industriais.
- b) Ameniza os efeitos das chuvas ácidas nos polos petroquímicos.
- c) Diminui os efeitos da poluição atmosférica das indústrias siderúrgicas.
- d) Diminui a possibilidade de formação das ilhas de calor nas áreas urbanas.
- e) Reduz a utilização de matérias-primas nas indústrias de bens de consumo.

**6) Como você enxerga a sustentabilidade em seu dia a dia? Você costuma adotar práticas sustentáveis diárias? Cite exemplos caso a resposta seja sim.**

Resposta:

---

---

---

---

---

---

---

---

### **Quiz 3 – Política dos 3 R's – 3º ano do Ensino Médio**

**1) A respeito das ações contempladas na política dos 3Rs, assinale a alternativa incorreta.**

- a) A coleta seletiva nas residências, empresas, condomínios e cidades é de fundamental importância para a sistematização do processo de reciclagem.
- b) Doar revistas, jornais, livros, entre outros materiais de leitura, para escolas, creches ou instituições configura uma ação de reciclagem.
- c) Nas residências, pode-se optar por adquirir produtos mais resistentes e evitar ao máximo os produtos descartáveis para praticar o “R” de Reduzir.
- d) A política dos 3Rs é muito mais eficaz quando realizada de maneira articulada com as ações de redução de resíduos, a reutilização de materiais e a reciclagem dos produtos.
- e) O foco principal da política dos 3Rs é a redução do consumo e da utilização de produtos industrializados que gerem resíduos.

**2) Os 3 Rs da sustentabilidade – Reduzir, Reutilizar e Reciclar – são ações práticas que visam minimizar o desperdício de materiais e produtos, além de poupar a natureza da extração inesgotável de recursos. Considerando essa proposição, analise o que se diz a seguir.**

**I. A reutilização consiste em ações que visem à diminuição da geração de resíduos, seja por meio da minimização na fonte ou por meio da diminuição do desperdício.**

**II. A reciclagem é processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos.**

**III. Reduzir é processo de aproveitamento dos resíduos sólidos sem sua transformação biológica, física ou físico-química.**

**Está correto o que se afirma somente em:**

- a) Apenas a II
- b) I e II
- c) I e III

- d) Apenas a III
- e) Apenas a I

**3) No caso de óleo de fritura, qual o melhor procedimento que deve ser tomado com o intuito de evitar o descarte incorreto desse tipo de resíduo? Assinale a alternativa correta.**

- a) Descartar diretamente na pia da cozinha, em associação com outros tipos de resíduos
- b) Armazenar em um recipiente adequado para posterior descarte em local de coleta adequado do resíduo.
- c) Descartar no bueiro mais próximo da residência.
- d) Misturar o óleo de cozinha com algum tipo de substância apolar com cadeia polar para, dessa maneira, descartá-lo em ralo.
- e) Armazenar em recipiente, para que depois de cheio, descartá-lo de uma única vez em ralo ou pia de cozinha.

**4) Com relação a Política dos 3Rs, qual dos três você costuma mais aplicar em seu dia a dia? Mencione exemplos da aplicação.**

Resposta:

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**5) Você costuma adotar em seu dia a dia posturas em prol do meio ambiente? Você diria que adota os 3Rs nas suas atividades diárias?**

- a) Sim, me identifico com a Política dos 3Rs.
- b) Não, não costumo reparar nessas questões ambientais.

c) Às vezes, na maioria das vezes eu esqueço de adotar posturas ecológicas.

### APÊNDICE 3

Das questões relacionadas ao tema “Biocombustível – Biodiesel: conceitos, características, normas e aplicações” ministrado durante o curso de curta duração.

**1) (IFRS - 2015 - Adaptado) A cerca das características e conceitos relacionados ao biodiesel, é possível afirmar que:**

- I) O biodiesel é um combustível diesel derivado de fontes naturais e renováveis como sementes de girassol, soja, dendê, castanha, buriti, amendoim, mamona, algodão, entre outros vegetais. Pode ser obtido ainda a partir de gordura animal e de óleo vegetal já utilizado.
- II) Por ser uma fonte energética renovável baseada em biomassa, o biodiesel apresenta uma série de benefícios ambientais, como o aproveitamento dos resíduos agrícolas e industriais, a redução do volume de material enviado para os aterros sanitários e a redução da poluição atmosférica.
- III) A produção de biodiesel pode estimular a geração de trabalho e renda, principalmente nas fases de coleta de matéria-prima e de processamento, especialmente em áreas pouco desenvolvidas.
- IV) O biodiesel pode ser utilizado em motores diesel, porém contém enxofre e substâncias aromáticas, não é biodegradável e nem reduz a emissão de gases tóxicos no escapamento dos veículos.

- a) Apenas I e II
- b) Apenas II, III e IV
- c) Apenas III e IV
- d) I, II, III e IV
- e) Apenas I, II e III

**2) (FGV - 2022 - Adaptado) O biodiesel é um combustível renovável obtido a partir de um processo químico denominado transesterificação, sendo destinado principalmente à aplicação em motores de ignição por compressão (ciclo Diesel). Em todo o território brasileiro, o teor obrigatório de biodiesel no diesel é de 10%. Com relação ao processo de produção do biodiesel, analise as afirmativas a seguir e assinale (V) para a verdadeira e (F) para a falsa.**

- A reação de transesterificação também é conhecida como hidrólise.
- A transesterificação representa a reação mais utilizada comercialmente para a produção de biodiesel.
- A transesterificação consiste em transformar um éster e um álcool, na presença de um catalisador, em outro éster e outro álcool.

- a) V-V-V
- b) F-V-V
- c) F-F-V
- d) F-V-F
- e) V-F-V

**3) (FUVEST - 2009) O debate atual em torno dos biocombustíveis, como o álcool de cana-de-açúcar e o biodiesel, inclui o efeito estufa. Tal efeito garante temperaturas adequadas à vida na Terra, mas seu aumento indiscriminado é danoso. Com relação a esse aumento, os biocombustíveis são alternativas preferíveis aos combustíveis fósseis porque:**

- a) São renováveis e sua queima impede o aquecimento global.
- b) Retiram da atmosfera o CO<sub>2</sub> gerado em outras eras.
- c) Abrem o mercado para o álcool, cuja produção diminuiu o desmatamento.
- d) São combustíveis de maior octanagem e de menores taxas de liberação de carbono.
- e) Contribuem para a diminuição da liberação de carbono, presente nos combustíveis fósseis.

**4) (UFSC - 2014) Produção de biodiesel gerou mais de R\$ 2 bi para agricultura familiar (28/03/2013 11:25 – Portal Brasil)**

**A venda de matéria-prima para produção de biocombustíveis movimentou mais de R\$ 2 bilhões para a agricultura familiar brasileira na safra 2011/2012, de acordo com os dados informados pela indústria do biodiesel. O número equivale às transações realizadas por meio do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), executado pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA), que atende aproximadamente 105 mil famílias de agricultores em todo o País. [...] O incentivo às empresas produtoras de biodiesel para comprar matéria-prima do agricultor familiar amplia sua área de atuação. Segundo o último levantamento feito pela coordenação nacional do programa, quase dois milhões de toneladas de matérias-primas foram adquiridas da agricultura familiar para a produção de biodiesel. A soja é a oleaginosa mais comercializada, representando 96% das transações, seguida por mamona e dendê.**

**Disponível em: <[www.brasil.gov.br/noticias/arquivos/2013/03/28/producao-de-biodiesel-gerou-mais-de-r-2-bi-para-agricultura-familiar](http://www.brasil.gov.br/noticias/arquivos/2013/03/28/producao-de-biodiesel-gerou-mais-de-r-2-bi-para-agricultura-familiar)> [Adaptado]**

**Com base no texto e nos conhecimentos sobre origem e uso de combustíveis e biocombustíveis, assinale a(s) proposição(ões) CORRETA(S).**

- I) **No Brasil, a utilização de biodiesel ainda é considerada experimental e sua comercialização, pura ou em misturas, é proibida.**
- II) **O biodiesel consiste em uma mistura de ésteres produzidos a partir de ácidos graxos.**
- III) **A combustão de biocombustíveis em veículos automotores reduz a quantidade de gases com capacidade de originar a chuva ácida, como SO<sub>2</sub> e NO<sub>2</sub>.**
- IV) **O etanol pode ser obtido a partir da esterificação de óleos vegetais, como o óleo de soja ou o óleo de dendê.**
- V) **Biocombustíveis, como biodiesel, podem ser produzidos a partir de matéria-prima vegetal, como a soja.**
- VI) **A queima de combustíveis fósseis, como os derivados de petróleo e o carvão mineral, não produz quantidades significativas de gases associados ao efeito estufa, contrastando com o processo de queima de biocombustíveis como o biodiesel e o etanol.**

- a) Todas as alternativas estão corretas
- b) Apenas as alternativas II, III e IV
- c) Apenas as alternativas I, II, III e V
- d) Apenas as alternativas II, III e V
- e) Todas as alternativas estão incorretas

**5) O biocombustível surge com o intuito de se apresentar como uma alternativa mais sustentável, biodegradável, limpa e renovável quando comparados aos combustíveis de origem fóssil (por exemplo, o diesel, a gasolina e o gás natural). Nesse sentido, com suas palavras, descreva o que entende por biocombustível e as suas principais vantagens da utilização.**

Resposta:

---

---

---

---

---

---

## APÊNDICE 4

Panfleto desenvolvido para o curso de curta duração intitulado “Biocombustível – Biodiesel: conceitos, características, normas e aplicações”:



# NÃO DESCARTE SEU ÓLEO DE COZINHA, ELE PODE SER USADO PARA PRODUZIR BIODIESEL

A mudança de comportamentos e pensamentos acontece apenas e exclusivamente através da educação. Conhecer os impactos que o descarte incorreto de produtos e resíduos pode ocasionar no meio ambiente é fundamental quando se há preocupação com o futuro. Assim, através de pensamento cuidadoso e a necessidade de se adotar medidas alternativas ao uso dos subprodutos do petróleo, é possível estimular a produção de biocombustíveis por meio do óleo de cozinha doméstico residual. Isso mesmo, aquele que você usa em casa! Através de técnicas e reações químicas é possível produzir biodiesel para uso automotivo! Apoie esse ideia!

 **INSTITUTO FEDERAL**  
Rio Grande do Norte  
Campus Natal-Central

 **PPg USRN**  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
MESTRADO PROFISSIONAL

**Além disso, você pode contribuir para ações globais – as ODS/ONU - em prol do meio ambiente e das gerações futuras!**

**ODS 7 estimulando a utilização de energias limpas e acessíveis**

**ODS 12, referindo-se a garantia do consumo e produção sustentável – e, ainda, a estimulação da redução dos resíduos (3 R's)**

**ODS 13, através da promoção de práticas que contribuem para a diminuição das mudanças climáticas**

**DANIELLE D. S. MARQUES**

Parnamirim/RN, 59151-680

<http://lattes.cnpq.br/5512640003619448>

(84) 98127-5702

@danielledmarquess

## **APÊNDICE 5**

Manual/protocolo desenvolvido com a finalidade de traduzir os passos para a produção de biodiesel, através de uma via tradicional, e apresentar uma rota de elevação de rendimento do óleo produzido.

# Manual: Rota para elevação de rendimento de produção do biodiesel residual originado a partir da reação de transesterificação etílica por via alcalina

Danielle Domingos da Silva Marques

---

# SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO _____	3
INSTRUÇÕES PARA USO _____	4
BIODIESEL _____	5
REAÇÃO DE TRANSESTERIFICAÇÃO _____	6
ETAPAS PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL _____	7
RENDIMENTO DE PRODUÇÃO DO BIODIESEL _____	8
COMO ELEVAR O RENDIMENTO DE PRODUÇÃO DO BIODIESEL _____	9
CUIDADOS LABORATORIAIS _____	13
EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL _____	14
GLOSSÁRIO _____	15
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS _____	17

# APRESENTAÇÃO

Este manual foi desenvolvido tomando como premissa essencial a busca pela facilitação de entendimento e a exposição de uma alternativa a ser sugerida para o usuário. Sua principal finalidade está no oferecimento de uma rota capaz de elevar o rendimento de produção do biodiesel de origem residual produzido através da reação de transesterificação etílica por via alcalina.

Espera-se que, como resultado, a conferência de maior agilidade, transparência e síntese, de modo claro, aos detalhes durante o processo de produção do biodiesel que resultam em rendimentos melhores do óleo utilizado. Além de apresentar a sua necessidade pautada na pouca disponibilidade de materiais que abordem de maneira simples e objetiva a temática envolvida no manual.

Dessa maneira, a primeira forma de compreender como funciona a aplicação das estratégias fornecidas no manual é entender a respeito dos conceitos e aplicações que tangem o biodiesel, bem como suas respectivas etapas do processo de produção.

Com ele é possível atingir o público interessado em estudar e pesquisar questões relacionadas aos biocombustíveis - o biodiesel, em específico, e estratégias de como evitar perdas e desperdícios da matéria-prima utilizada durante o processo de produção do óleo combustível.

Assim, por meio desta publicação, a autora tem a intenção de salientar seu compromisso com a pesquisa e a divulgação do conhecimento adquirido, resultado do estudo, com o intuito de agregar valor para a comunidade acadêmica e científica preocupada, principalmente, com as questões ambientais e a qualidade das gerações futuras.

Danielle Domingos Da Silva Marques

# INSTRUÇÕES PARA USO

A estrutura do manual é capaz de possibilitar ao leitor uma visão geral acerca de diversos aspectos relacionados ao biodiesel e como funcionam suas etapas de produção, desenvolvendo, nesse sentido, uma ambientação, de maneira objetiva e simplificada, necessária para o perfeito entendimento do foco da obra.

O manual está dividido em abordagens e seus respectivos temas a serem desenvolvidos. Neles, são abordados os assuntos e conceitos essenciais da parte considerada.

A primeira abordagem do manual desenvolve, brevemente, acerca do conceito, as matérias-primas, as possibilidades e vantagens da utilização de biodiesel como uma alternativa ao diesel, um subproduto do petróleo.

A segunda abordagem apresenta acerca da principal reação utilizada comercialmente para a produção de biodiesel, trata-se da transesterificação. Abordando suas principais características e reagentes necessários.

A terceira abordagem refere-se, de modo dinâmico e bem simplificado, às etapas que devem ser seguidas para se obter o biodiesel. Levando em consideração a abordagem da Embrapa (2021).

A quarta abordagem está voltada para a análise pós-produção do biodiesel, no que se trata da avaliação do rendimento de produção obtido. Isso quer dizer, realizar a comparação de quanto foi aproveitado da matéria-prima utilizada para a realização do processo de produção do biodiesel até a obtenção do óleo final após todas as etapas estabelecidas no terceiro capítulo.

A quinta abordagem explana acerca de uma maneira desenvolvida, como alternativa, para se obter maior rendimento de produção de biodiesel. Objetivando, principalmente, a minimização de perdas durante o processo e o melhor aproveitamento da matéria-prima utilizada.

A sexta abordagem discorre sobre os cuidados laboratoriais que são necessários para a realização dos procedimentos citados no manual.

A sétima abordagem é enfocada nos Equipamentos de Proteção Individual – EPI, que devem ser utilizados ao longo de todo o procedimento, considerando o fato de que se é desenvolvido em ambiente laboratorial e que cuidados devem ser considerados tanto de maneira individual como coletiva.

A oitava e nona abordagem estão relacionadas, respectivamente, ao glossário que traz consigo termos e vocábulos alusivos ao que envolve o biodiesel e os processos que o manual menciona; e, suas principais bases bibliográficas utilizadas. Que de modo geral, o desenvolvimento e aplicação do presente manual busca facilitar o entendimento e apresentar uma rota alternativa de melhor aproveitamento do óleo base para a produção de biodiesel evitando desperdícios e perdas da matéria-prima.

# BIODIESEL

## O que é?

- Combustível alternativo renovável, não tóxico e biodegradável.

“O biodiesel pode ser conceituado, basicamente, como um combustível constituído de alquil ésteres de ácidos graxos de cadeia longa” (Resolução ANP nº 7 de 19 de março de 2008)

## Quais matérias-primas podem ser utilizadas para produzir biodiesel?

- Óleo vegetal
- Gordura animal
- Óleo residual

## Do que é capaz de proporcionar a sua utilização?

- Alternativa para a redução dos combustíveis derivados de petróleo, o diesel, por exemplo;
- Minimiza a emissão de gases de impacto ambiental;
- Desenvolve e fortalece as fontes energéticas renováveis;
- Representa um mercado em expansão;
- Possibilita a geração de empregos e rendas.

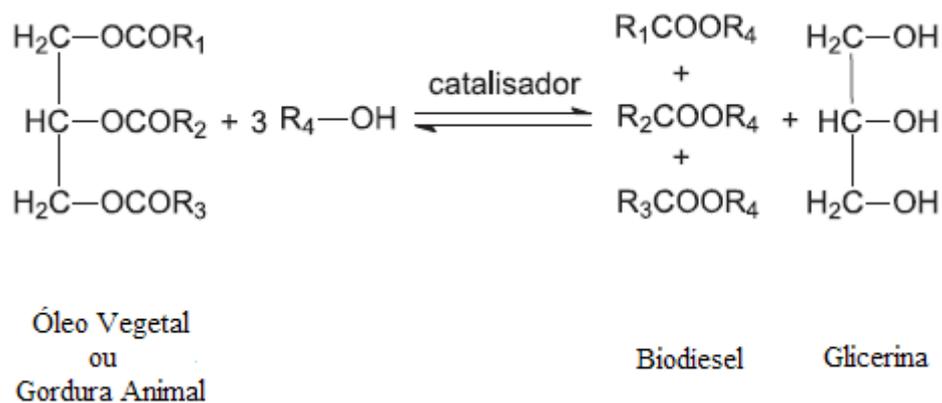
## Das principais vantagens do uso de biodiesel:

- Produzido com matéria-prima renovável;
- Baixo custo de produção;
- Pode aumentar a vida útil do motor de combustão interna (MCI) ciclo diesel;
- Baixo risco de explosão, graças ao elevado Ponto de Fulgor e Ponto de Combustão;
- Fácil armazenamento e transporte;
- Ausência de enxofre (B100);
- O MCI ciclo diesel não necessita de adaptações para o recebimento desse combustível alternativo;
- Baixa emissão de Material Particulado (MP).

# REAÇÃO DE TRANSESTERIFICAÇÃO

É a reação mais utilizada comercialmente para a obtenção de biodiesel.

Consiste no processo em que dois reagentes, um éster associado a um álcool, na presença de um catalisador, é capaz de originar outro éster e outro álcool (Equação 1).



**Equação 1** – Reação global da transesterificação para a obtenção de biodiesel. (Fonte: ANTUNES et al., 2011)

Para a realização da reação de transesterificação, utiliza-se como produtos os possíveis itens a seguir:

## Éster:

- Óleo vegetal
- Gordura animal
- Óleo residual

## Álcool

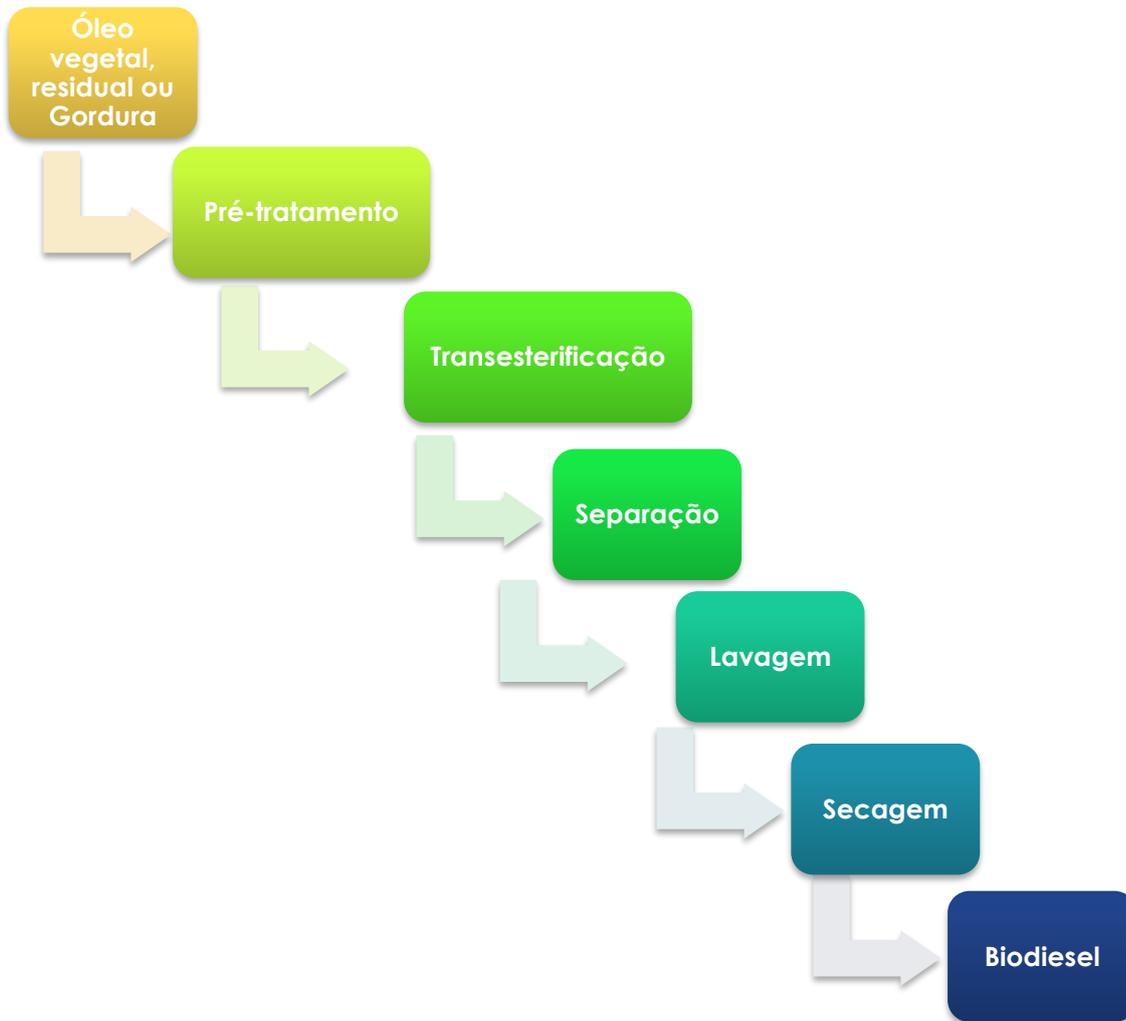
- Metanol
- Etanol

## Catalisadores

- Ácidos: Ácido Clorídrico (HCl); Ácido Sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>); ou Ácido Sulfuroso (H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>).
- Básicos: Hidróxido de Sódio (NaOH); Hidróxido de Potássio (KOH); ou alcóxidos.

# ETAPAS PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL

De maneira a simplificar o processo de produção do biodiesel, as etapas são caracterizadas da seguintes forma, conforme a Figura 1:



**Figura 1** – Fluxograma do processo de formação do biodiesel. (Fonte: EMBRAPA, 2021, Adaptado)

É fundamental que todas as etapas de produção do biodiesel sejam seguidas conforme é demonstrado no fluxograma para a obtenção do óleo desejado. Salientado-se que em cada fase, deve-se adotar todas as especificações e procedimentos padrões.

# RENDIMENTO DE PRODUÇÃO DO BIODIESEL

## O que é rendimento de produção do biodiesel?

Consiste na avaliação do aproveitamento da matéria-prima utilizada durante a reação para a obtenção do biodiesel. Analisando o quanto é perdido ou desperdiçado durante o processo de produção. O melhor rendimento é obtido através da utilização de excesso de álcool. E a diminuição do rendimento está relacionada com a etapa de pré-tratamento do óleo (índice de acidez) e o consumo do catalisador durante a reação de transesterificação, que pode levar a formação de sabão (ROSSI et al., 2018).

## Por que avaliar o rendimento de produção do biodiesel?

A resposta é simples. Evitar desperdícios e perdas durante e após a reação no qual o óleo será submetido.

## Como avaliar o rendimento do biodiesel produzido?

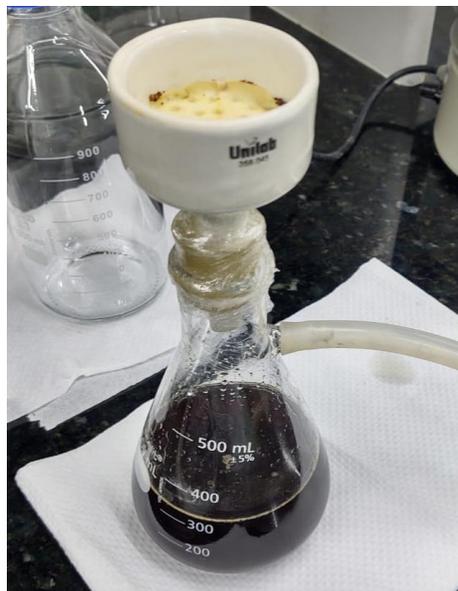
A avaliação do rendimento do biodiesel produzido ocorre entre a análise da massa de óleo (matéria-prima) utilizada inicialmente comparada com a massa de óleo final (biodiesel) produzido após todas as etapas do processo de produção. A observação das massas, inicial e final, pode ser medida através da utilização de provetas graduadas e balanças analíticas de precisão. Rossi et al. (2018) acrescenta que é possível calcular, também, o rendimento do biodiesel por intermédio do cálculo representado da seguinte maneira:

$$\% \text{ rendimento} = \frac{m \text{ real}}{m \text{ teorica}} \times 100$$

# COMO ELEVAR O RENDIMENTO DE PRODUÇÃO DO BIODIESEL

**O diferencial está nos equipamentos e temperaturas utilizados durante o processo de produção do biodiesel.**

Na realização do pré-tratamento do óleo, cuja finalidade consiste na remoção de impurezas que possam estar presentes na matéria-prima, faz-se uso da associação entre uma bomba de vácuo e um Erlenmeyer, interligados através de uma mangueira. É acoplado no Erlenmeyer um funil de Buchner com filtro de papel, conforme a Figura 2. Essa estratégia tem como intuito proporcionar a maior agilidade e rapidez do tratamento do óleo em seu estado inicial. Certificando-se, através da observação do pH, no nível de acidez do óleo base, verificando assim a necessidade de neutralização, ou não, e mantendo a qualidade da matéria-prima.



**Figura 2** – Erlenmeyer acoplado com funil de Buchner e mangueira ligada à bomba de vácuo em processo de pré-tratamento de óleo. (Fonte: Autora, 2022)

O outro diferencial para se elevar o rendimento está durante a fase de realização da reação de transesterificação. Após o óleo ser submetido à agitação mecânica durante 1h na presença de NaCl (cloreto de sódio), ao invés de submeter a mistura (óleo + álcool + catalisador), necessária para a reação de transesterificação, em

balão de fundo chato agitada através de uma barra magnética (conhecida também como “peixinho”), utiliza-se um bécker sob agitação mecânica, isso quer dizer, a agitação ocorre por intermédio de um agitador mecânico (Figura 3). Salienta-se que essa fase ocorre sob temperatura constante de 40 a 55°C.



**Figura 3** – Reação de transesterificação ocorrendo sob agitação mecânica em temperatura máxima de 55°C. (Fonte: Autora, 2022)

Realizada a etapa que consiste na reação, a mistura deve ser levada em funil de decantação para separação das fases. A separação ocorre na presença de água destilada com leve agitação manual. A separação das fases deve ocorrer em descanso de 8-24 horas para que as fases fiquem visíveis. Nela são formadas 2 fases: a fase menos densa e coloração clara, rica em etil ésteres de ácidos graxos (o biodiesel) e a fase mais densa e esbranquiçada, constituída de glicerina. Acrescenta-se que esta fase precisa ser repetida até que a coloração da fase mais densa e esbranquiçada atinja a coloração transparente ou incolor. Indicando a remoção total da glicerina e possível formação de saponificação (denominado também de sabão). Esse procedimento pode ser visualizado através da Figura 4 seguinte.



**Figura 4** – Separação das fases e lavagem do biodiesel. (Fonte: Autora, 2022)

Outro diferencial do método para se elevar o rendimento do óleo, está na etapa seguinte, que consiste na secagem do biodiesel. É adotada a secagem, em chapa aquecedora, durante 30 minutos até no máximo 102°C. É adotada essa temperatura considerando 2 vieses. O primeiro visa a remoção completa do álcool que ainda possa estar presente no biodiesel, considerando a temperatura de ebulição do etanol sendo 78,37°C. O segundo refere-se à temperatura de ebulição da água, como sendo 100°C. Resultando na obtenção de um óleo combustível isento da presença de álcool e água, conforme a Figura 5.



**Figura 5** – Biodiesel produzido. (Fonte: Autora, 2022)

Posto isso, é verificado o volume final do biodiesel comparado ao volume inicial de óleo utilizado para a submissão de todo o processo anteriormente mencionado. É

notória a elevação do rendimento com a adoção do método contendo as estratégias para a elevação do rendimento proposto no presente manual. É cabível acrescentar que todo o método foi aplicado em reação que fez uso de óleo vegetal residual, etanol e catalisador alcalino, o hidróxido de potássio, durante a transesterificação. Os procedimentos foram repetidos diversas vezes para a comprovação dos resultados obtidos. Diferentemente do método tradicional para a obtenção de biodiesel que resulta em um rendimento de aproveitamento do óleo em até 77-80%, a rota descrita no presente manual pode suceder em até 98%. Para a obtenção dos mesmo resultados, recomenda-se a adoção de características semelhantes às adotadas pelo método.

Assim como foi aproveitado durante a pesquisa e a realização do presente manual, é incentivado a reutilização de óleos residuais, os óleos de fritura, para a produção de biodiesel. Proporcionando um novo destino para esse tipo de óleo e minimizando o risco de possíveis descartes incorretos e impactos ambientais que podem ser originados.

***“O biodiesel é completamente biodegradável, não tóxico e essencialmente livre de compostos sulfurados e aromáticos, o que o torna um combustível 100% ecológico”.***

(Ministério De Minas e Energia, 2017)

# CUIDADOS LABORATORIAIS

**Qualquer laboratório que faz a manipulação de substâncias químicas, torna-se um local potencialmente perigoso.**

*Segurança é um dever e uma obrigação que deve ser seguida por todos.*

A manipulação e armazenamento de combustíveis e substâncias potencialmente inflamáveis deve apresentar local próprio e determinado no laboratório, evitando o risco de possíveis acidentes.



Dentre alguns dos cuidados e procedimentos em ambientes laboratoriais que fazem utilização de substâncias químicas e praticam a realização de ensaios envolvendo esses, estão os seguintes:

## Cuidados e Procedimentos Individuais

- Máxima atenção e concentração;
- Respeitar a segurança, rotina e normas do ambiente;
- Cuidado ao manipular substâncias químicas;
- Respeitar as regras de boa conduta;
- Nunca ignorar a utilização de equipamentos de proteção individual.

## Cuidados e Procedimentos Coletivos

- Respeitar a segurança, rotina e normas do ambiente;
- Nunca ignorar a utilização de materiais e equipamentos de proteção coletiva;
- Ao possível sinal de incidente, interromper imediatamente a prática.

# EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL

**Equipamentos de Proteção Individual – EPI – são todos os dispositivos ou produtos de uso individual destinados à proteção de riscos suscetíveis de ameaçar a segurança e a saúde no trabalho (NR 06). Seu uso é feito com o objetivo de eliminar os riscos do ambiente em que a atividade/prática é desenvolvida.**

Como em todo ambiente laboratorial, normas e cuidados precisam ser seguidos para a proteção individual e coletiva de todos aqueles que estão inseridos nesse meio. Essas medidas necessitam ser eficientes e eficazes para atenuar os riscos e doenças.

A utilização dos EPI's é obrigatória durante as práticas laboratoriais. E para a realização dos procedimentos descritos e mencionados no presente manual.

Nesse sentido, para a prática das estratégias reportadas em ambiente laboratorial é adotado os seguintes EPI's visando a segurança e saúde daquele que exercerá a rota alternativa:

**Proteção Respiratória:** Máscara

**Proteção visual:** Óculos

**Proteção das mãos:** Luvas

**Proteção dos pés:** Sapatos fechados

**Proteção do corpo:** Jaleco/bata de manga comprida

**Proteção de cabelo:** Touca ou cabelo preso

# GLOSSÁRIO

## Vocábulos e termos relacionados ao Biodiesel e Biocombustíveis

**Agitador mecânico** – Equipamento laboratorial que promove a agitação em fluido, líquidos semi-viscosos e material em suspensão por meio de movimento circular de hélices.

**Béquer/Bécker** – Recipiente cilíndrico parecido com um copo, utilizado para armazenar, fazer reações entre soluções, dissolver substâncias e aquecer líquidos.

**Biodegradável** – Que pode ser destruído por um agente biológico.

**Biodiesel** – Combustível renovável que é obtido através de processos químicos fazendo uso de éster (gordura animal, óleo vegetal ou óleo residual).

**Catalisador** – Substância que aumenta a velocidade de uma reação sem interagir ou ser consumida por ela.

**Chapa aquecedora** – Consiste em um equipamento laboratorial utilizado para o aquecimento de substâncias cuja temperatura pode ser controlada de acordo com a necessidade.

**Diesel** – Subproduto do petróleo, de aspecto oleoso, originado por intermédio da destilação fracionada (refino) do petróleo.

**Erlenmeyer** – Frasco cônico, de fundo plano, corpo cônico e gargalo cilíndrico, utilizado para misturar substâncias.

**Éster** – função orgânica derivada de ácidos carboxílicos.

**Etanol** – Substância química constituída por 2 átomos de carbono, 5 átomos de hidrogênio e 1 grupo hidroxila ( $\text{CH}_2\text{H}_6\text{O}$ ).

**Funil de Buchner** – Vidraria de laboratório semelhante a uma peneira, consiste em um funil em porcelanato com vários orifícios e dimensões.

**Funil de decantação** – Equipamento laboratorial utilizado para a separação de misturas.

**Lavagem** – Etapa durante o processo de produção do biodiesel que apresenta como intuito a remoção de glicerina, álcool, água e possíveis impurezas que possam existir no biodiesel.

**Material Particulado** – Partículas (ou poluentes), em estado sólido ou líquido, que podem ser encontradas em suspensão na atmosfera.

**Metanol** – Composto orgânico da família dos álcoois, com 1 átomo de carbono, 3 átomos de hidrogênio e 1 grupo hidroxila (CH<sub>3</sub>OH).

**Motor de Combustão Interna** – Máquina térmica que transforma energia química em energia mecânica.

**Óleo residual** – Óleo já utilizado para algum fim ainda apresenta potencial para se tornar matéria-prima originando novos produtos, incluindo biodiesel.

**Ponto de Combustão** – Representa a temperatura mínima necessária para que um determinado líquido combustível desprenda vapores, que em contato com o oxigênio do ar e uma fonte de calor, se inflame e se mantenha queimando.

**Ponto de Fulgor** – Consiste na menor temperatura na qual os vapores de um determinado líquido combustível inflama na presença de ar uma fonte externa de calor queimando apenas durante breves períodos de tempo. Ou seja, combustão suficiente para a mistura sustentar uma ignição momentânea (fulgor).

**Pré-tratamento** – Etapa em que é realizada o tratamento para a remoção de impurezas, acidez e filtração do óleo matéria-prima para a produção do biodiesel.

**Reagentes** – Composto, substância ou mistura adicionada a um sistema para causar uma reação química.

**Saponificação** – Processo que origina sabões. Reação química que origina a formação de um sal orgânico e um álcool, ocorrendo através de um éster e um álcool.

**Secagem** – Etapa em que o óleo é submetido a temperatura estabelecida para a remoção de possíveis resíduos de álcool ou água.

**Separação de fases** – Etapa que ocorre logo após a reação de transesterificação. Consiste em colocar a mistura em descanso para a separação das fases: óleo e glicerol.

**Transesterificação** – Processo químico de obtenção de um éster a partir de outro éster.

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Resolução ANP nº 7**, de 19 de março de 2008 – DOU 20.3.2008. Disponível em: <[https://www.udop.com.br/download/legislacao/comercializacao/juridico\\_legiscalcao/res\\_7\\_comercializacao\\_biodiesel.pdf](https://www.udop.com.br/download/legislacao/comercializacao/juridico_legiscalcao/res_7_comercializacao_biodiesel.pdf)>. Acessado em: 24 de agosto de 2022.

Antunes, Felipe A. F.; Tabuchi, Stephanie Caroline Tavares; Milessi, Thais; Pinheiro, Daniel J. L. L.; Esteves, Tayrone D.; Silva; Messias Borges; Silva, Silvio Silvério da. **Condições de pré-tratamento do glicerol proveniente da produção de biodiesel utilizando planejamento experimental placknett burman**. 2011. Encontro Latino-Americano de Pós-graduação. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/271020517\\_condicoes\\_de\\_pre-tratamento\\_do\\_glicerol\\_proveniente\\_da\\_producao\\_de\\_biodiesel\\_utilizando\\_planejamento\\_experimental\\_plackett\\_burman](https://www.researchgate.net/publication/271020517_condicoes_de_pre-tratamento_do_glicerol_proveniente_da_producao_de_biodiesel_utilizando_planejamento_experimental_plackett_burman)>. Acessado em: 24 de março de 2022.

BRASIL. **Norma Regulamentadora 06 (NR 06)**. Ministério do Trabalho e Previdência. 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/norma-regulamentadora-no-6-nr-6>>. Acessado em: 11 de setembro de 2022.

EMBRAPA. **Biodiesel**. Embrapa Territorial. 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/biodiesel#:~:text=As%20principais%20mat%C3%A9rias%2Dprimas%20para,outras%20oleaginosas%20existentes%20no%20pa%C3%ADs>>. Acessado em: 30 de agosto de 2022.

Ministério de Minas e Energia. **Biodiesel: o que é biodiesel**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/programas/biodiesel/menu/biodiesel/perguntas.html>>. Acessado em: 10 de setembro de 2022.

ROSSI, G. Z.; BORGES, I. R.; PEREGO, T. F.; TOLEDO, V. C. M. FERREIRA, L. F. P. **Análise técnica da produção do biodiesel a partir do óleo de fritura residual**. The Journal of Engineering and Exact Sciences. Vol. 04, nº 01, 2018.

### Qualquer dúvida, entre em contato:

Telefone: (84) 98127-5702 ou (84) 98142-5509

E-mail: [d.danielle@academico.ifrn.edu.br](mailto:d.danielle@academico.ifrn.edu.br)

Instagram: @danielledmarquess