

**ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE O CONSUMO E AS EMISSÕES DE GASES DE AMOSTRAS B30 E B40 DE BIODIESEL RESIDUAL DE BRASSICA NAPUS COMPARADAS AO S10 EM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA (MCI) CICLO DIESEL**

*Analysis of the Relationship between Consumption and Emissions of Gases from B30 and B40 Samples of Brassica Napus Residual Biodiesel Compared to S10 in a Diesel Cycle Internal Combustion Engine (ICE)*

**Danielle Domingos da Silva<sup>1</sup>, André Luiz Lopes Toledo<sup>2</sup>, Marcelo de Souza Marques<sup>3</sup>, Álvaro Luis de Oliveira<sup>4</sup>**

**RESUMO**

O biodiesel derivado de resíduos oferece benefícios ambientais significativos. Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar a relação entre consumo e emissões de gases em blends de biodiesel residual de Brassica napus, nas proporções B30 e B40, em comparação com o diesel S10. O presente estudo integra uma pesquisa mais ampla sobre produção e uso de biodiesel. Assim, corresponde a resultados obtidos após a realização de uma sequência de ensaios de caracterização, obtenção, qualidade e uso do combustível. A pesquisa foi conduzida no Laboratório de Motores, do Instituto Federal do Rio Grande do Norte. Os resultados indicaram que a elevação da proporção de mistura do biodiesel resultou em um aumento nas emissões de oxigênio e redução significativa em todos os poluentes analisados. As duas amostras de biodiesel residual apresentaram redução na emissão dos gases. Contudo, o B40 foi a que apresentou a maior redução sendo respectivamente: de 16,66% para CO, 20,75% para CO<sub>2</sub>, 77,77% para HC e elevação de 40,33% para O<sub>2</sub>. No entanto, observou-se um maior consumo nas amostras de biodiesel refletindo as características e estequiometria do biocombustível.

**ABSTRACT**

Biodiesel derived from waste offers significant environmental benefits. In this context, the present study aims to analyze the relationship between consumption and gas emissions in blends of residual biodiesel from Brassica napus, in proportions B30 and B40, compared to S10 diesel. This study is part of a broader research project on the production and use of biodiesel. It reflects the results obtained after conducting a series of tests on characterization, production, quality, and fuel use. The research was conducted at the Engine Laboratory of the Federal Institute of Rio Grande do Norte. The results indicated that increasing the proportion of biodiesel blend led to an increase in oxygen emissions and a significant reduction in all pollutants analyzed. Both residual biodiesel samples showed a reduction in gas emissions. However, B40 showed the greatest reduction, respectively: 16.66% for CO, 20.75% for CO<sub>2</sub>, 77.77% for HC, and a 40.33% increase for O<sub>2</sub>. However, higher consumption was observed in the biodiesel samples, reflecting the characteristics and stoichiometry of the biofuel.

**Palavras-chave:**

Gases de Emissão,  
Consumo, Biodiesel.

**Keywords:**

Emissions of Gases,  
Consumption,  
Biodiesel.

<sup>1</sup>Mestre em Ciências Ambientais, Bióloga, Natal, RN, Brasil, e-mail: d.danielle@escolar.ifrn.edu.br.

<sup>2</sup>, Doutor em Planejamento Energético, Engenheiro de Fortificação e Construção/Professor - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil, e-mail: andre.lopes@ifrn.edu.br.

<sup>3</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte.

<sup>4</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

## 1. INTRODUÇÃO

À medida que um recurso natural é explorado de maneira excessiva, as gerações futuras certamente sentirão os impactos dessas explorações realizadas no presente. Um exemplo disso é a exploração do petróleo, que já é amplamente reconhecido como um recurso natural finito. Devido ao seu longo tempo de regeneração e formação, o petróleo é classificado como um recurso não renovável (KOIFMAN, 2022). Desde a sua descoberta e reconhecimento da sua importância para a sociedade, a exploração desse recurso tem sido cada vez mais intensificada.

A crescente preocupação com as mudanças climáticas e a busca por fontes de energia sustentáveis têm impulsionado a pesquisa e o uso de fontes de energia renováveis, sustentáveis e de baixo impacto ambiental, de acordo com Chiabi (2023). Produzido a partir de óleos vegetais ou gorduras animais, o biodiesel tem se mostrado uma alternativa eficaz para reduzir as emissões de gases poluentes em comparação com os combustíveis fósseis, além de contribuir para a diversificação da matriz energética, alinhando-se ao ODS 7 - Energia Acessível e Não Contaminante. Esse ODS tem como objetivo garantir o acesso universal a fontes de energia confiáveis, limpas e modernas, e o biodiesel, ao substituir os combustíveis fósseis, desempenha um papel importante na transição para uma energia mais limpa e sustentável.

Entende-se, dessa forma, de acordo com a Lei 14.993 de 2024, no capítulo VII, os biocombustíveis como sendo uma "substância derivada de biomassa renovável, tal como biodiesel, etanol, biometano e outras substâncias estabelecidas em regulamento pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, que pode ser empregada diretamente ou mediante alterações em motores a combustão interna ou para outro tipo de geração de energia, podendo substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil".

O biodiesel oferece benefícios ambientais significativos, como a redução das emissões de gases de efeito estufa, em comparação com os combustíveis fósseis tradicionais, segundo a Embrapa (2015). Além disso, seu uso contribui para a diminuição da poluição nas cidades, o que está diretamente relacionado ao ODS 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis. Ao reduzir as emissões de poluentes atmosféricos, o biodiesel melhora a qualidade do ar e, conseqüentemente, a saúde pública nas áreas urbanas, ajudando na construção de comunidades mais sustentáveis.

Em uma situação ideal, a queima completa dos combustíveis, tanto em motores de ciclo Diesel quanto em ciclo Otto (movido a gasolina), resulta exclusivamente na produção de água (H<sub>2</sub>O) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). No entanto, conforme afirma Bosch (2005), na prática ocorre a queima incompleta dos combustíveis, gerando como subprodutos: hidrocarbonetos não queimados (como parafinas, olefinas e hidrocarbonetos aromáticos), hidrocarbonetos parcialmente queimados (tais como aldeídos, cetonas, ácidos carboxílicos e monóxido de carbono), e produtos de craqueamento térmico (como acetileno, etileno, hidrogênio, fuligem e hidrocarbonetos policíclicos).

Leal e Consoni (2021) afirmam que, entre os principais poluentes gerados pelas emissões dos motores a combustão veicular, como o dióxido de enxofre e os óxidos de nitrogênio, são os mais responsáveis pela formação e agravamento da chuva ácida, com impactos significativos a nível regional. Os autores explicam que esses poluentes, transportados pelas correntes de ar, contribuem para a formação de ácidos que diminuem o pH da água das chuvas, tornando-a mais ácida e provocando danos, corrosão em estruturas e vegetações danificadas.

É importante mencionar também sobre o ozônio troposférico, no qual, de acordo com Bales, Silva & Honório (2015), o poluente é oriundo de uma série de reações químicas que ocorrem sob condições meteorológicas específicas, nas quais a radiação solar apresenta papel fundamental. Salienta-se também, segundo os autores, que se trata de um poluente secundário da queima de combustíveis. Onde seus precursores são os um dos principais poluentes emitidos pelo escapamento veicular: os óxidos

de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), determinados hidrocarbonetos (HC), além, também, de específicos Compostos Orgânicos Voláteis (COV).

No contexto brasileiro, o biodiesel derivado de resíduos, como o óleo residual de *Brassica napus*, surge como uma alternativa promissora, contribuindo não apenas para a redução de resíduos, consoante com Ferreira *et al.* (2024), porém também para o fortalecimento da economia circular, alinhando-se ao ODS 12 - Produção e Consumo Responsáveis. O uso de matérias-primas que, de outra forma, seriam descartadas reflete práticas de produção mais responsáveis e sustentáveis, além de promover a reutilização de recursos e reduzir o desperdício.

Em 2020, o Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA) publicou uma matéria sobre as emissões de gases de efeito estufa (GEE) referentes ao ano de 2019, revelando que o Brasil foi responsável por 2,2 bilhões de toneladas de GEE naquele ano. Desses, o setor de transporte respondeu por cerca de 196 milhões de toneladas, o que correspondeu a 38% das emissões totais de 2019, conforme os dados da plataforma. Dentro do setor de transporte, os veículos de carga — como caminhões, ônibus e locomotivas — foram responsáveis por 52% das 196 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>, ou seja, 102 milhões de toneladas.

Já em novembro de 2024, o IEMA divulgou novas informações sobre as emissões de GEE no Brasil referentes ao ano de 2023. Nos dados foi possível evidenciar que o ano de 2023 foi marcado por configurar o ano de maior consumo de combustíveis fósseis na história do país, tendo destaque para os combustíveis diesel e gasolina no setor de transportes. Que representou 44% das emissões totais, correspondendo a 223,8 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e. Todavia, notou-se também, de acordo com as informações do Instituto, que o mesmo ano também se destacou na crescente participação das fontes renováveis de energia na matriz energética brasileira de transportes. Indicando assim a tendência e preocupação com a transição por alternativas mais sustentáveis no setor de transporte.

Desde a implementação do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) em 2005, o Brasil tem se destacado como líder na produção de biodiesel, com legislações que estabeleceram percentuais obrigatórios de mistura de biodiesel com o diesel convencional. A Lei nº 13.263/2016, por exemplo, determinou a introdução gradual de biodiesel nas misturas, com a meta de alcançar 13% de biodiesel no diesel (B13) até 2023. Em dezembro de 2023, em cumprimento com o Conselho Nacional de Política Energética, o diesel passou a ser comercializado com 14% de biodiesel. Sendo previsto na Lei nº 14.993 de 08 de outubro de 2024, no artigo 33, a alteração relacionado aos artigos 1º e 1º-C da Lei nº 13.033 de 24 de setembro de 2014, no qual estabelece as seguintes metas de adição obrigatória de biodiesel no diesel, em todo o território nacional: I) 15%, a partir de 1º de março de 2025; II) 16%, a partir de 1º de março de 2026; III) 17%, a partir de 1º de março de 2027; IV) 18%, a partir de 1º de março de 2028; V) 19%, a partir de 1º de março de 2029; e VI) 20%, a partir de 1º de março de 2030.

Essas políticas públicas buscam reduzir a dependência de combustíveis fósseis, estimular a economia regional e promover a segurança energética do país, além de estarem alinhadas com compromissos internacionais, como o Acordo de Paris, e com o ODS 13 - Ação Contra a Mudança Global do Clima, que busca combater o aquecimento global e suas consequências por meio da redução das emissões de gases de efeito estufa. Além disso, conforme a Lei nº 14.993 de 08 de outubro de 2024, essas medidas também atuam com o intuito de mitigar as emissões de gases causadores do efeito estufa e de poluentes nos setores de energia e de transportes, inclusive com o uso de biocombustíveis e da captura e da estocagem geológica de dióxido de carbono.

O incentivo às análises das emissões desses poluentes é relevante principalmente ao considerar o levantamento realizado pela Partnership of Clean Fuels and Vehicles, em 2024, ao indicar que no Brasil, os níveis de teor de enxofre encontram-se entre 50 até 500 ppm. O que é considerado elevado, quando comparado com os níveis de países desenvolvidos que reduziram as emissões desse poluente para 10 ppm.

O aumento da proporção de biodiesel nas misturas tem mostrado resultados promissores na redução das emissões de poluentes atmosféricos, mas também pode influenciar o consumo de combustível. A legislação brasileira, por meio da ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis), estabelece normas que regulam a qualidade do biodiesel e sua mistura com o diesel, além de incentivar a inovação e o desenvolvimento de novas tecnologias. No entanto, é necessário aprofundar o conhecimento sobre a relação entre a proporção de biodiesel e o impacto nas emissões de gases, especialmente no contexto do biodiesel residual, que ainda tem um potencial pouco explorado.

Sabe-se que a eficiência do motor depende diretamente de diversas características e parâmetros. Por exemplo, de acordo com Palani *et al.* (2020) propriedades do combustível, o ponto de fulgor, o ponto de fluidez, número de cetano, densidade, viscosidade cinemática e poder calorífero podem causar interferências no bom funcionamento da máquina.

Segundo Palani *et al.* (2020) que as vantagens que mais destacam o biodiesel do combustível fóssil, diesel, é a presença do elevado número de cetanos e, ainda, a ausência do enxofre. Silva *et al.* (2023) também destaca que além de diminuir a emissão de gases poluentes responsáveis pelo aquecimento global, também serve como um meio de inclusão de pequenos agricultores na economia nacional.

Gongora *et al.* (2022) acrescenta que a combustão do biodiesel libera emissões com baixos níveis de material particulado e monóxido de carbono, contribuindo para a melhora da qualidade do ar e do bem-estar da população em grandes cidades, onde a poluição veicular é um problema de saúde pública. Além disso, em oposição ao diesel, o biodiesel puro não emite óxidos de enxofre, substâncias que causam a chuva ácida.

Todavia, o principal desafio está em substituir completamente o diesel convencional. Diante desse fato, vários pesquisadores desenvolvem estudos que buscam misturar proporções de biodiesel no diesel. De acordo com Sharp *et al.* (2005), pode-se mencionar também que, dentre as desvantagens do biodiesel, os valores de viscosidade e densidade cinemática são altos para biodiesel com baixo poder calorífico.

Soudagar *et al.* (2018) destacaram algumas desvantagens do uso de biodiesel, incluindo o aumento das emissões de óxidos de nitrogênio, a incompatibilidade com baixas temperaturas e a necessidade de substituição frequente de componentes do motor, como filtros, tanques e linhas de combustível, devido ao risco de entupimento.

A relação entre o uso de biodiesel e a descarbonização da matriz energética é cada vez mais relevante. Diversos estudos demonstram que a transição para combustíveis limpos, como o biodiesel, pode ser crucial para a redução das emissões de carbono e a mitigação dos impactos ambientais associados ao uso de combustíveis fósseis, conforme indica a Organização Green Building Council Brasil (2024). Isso está diretamente relacionado ao ODS 13 - Ação Contra a Mudança Global do Clima, que busca reduzir a pegada de carbono, e à construção de um futuro energético mais sustentável. No entanto, a continuidade das pesquisas e a implementação de regulamentações mais rigorosas são fundamentais para maximizar os benefícios ambientais e sociais do biodiesel, contribuindo para a redução da pegada de carbono e o avanço das metas climáticas globais.

A justificativa em se adotar um óleo residual, no caso do estudo o de canola, é baseado no fato de que o uso do óleo residual de Brassica napus e óleos residuais, de forma geral, como matéria-prima para a produção de biodiesel tem se mostrado uma alternativa promissora e sustentável, conforme afirma (SOUSA *et al.* 2021). A canola, amplamente cultivada em diversas regiões, especialmente no Brasil, (EMBRAPA, 2022) é uma fonte rica em óleos que, quando utilizados de forma residual, apresentam vantagens importantes, tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico.

Primeiramente, o óleo residual de canola representa uma fonte de biomassa renovável que, ao invés de ser descartada de maneira inadequada, pode ser aproveitada de forma eficiente na produção de biodiesel. Isso contribui para a redução do impacto ambiental causado pelo desperdício de óleo, que

poderia, de outra forma, resultar em poluição do solo e das águas. Ao utilizar o óleo residual, evita-se a sobrecarga de aterros sanitários e a contaminação de ecossistemas locais, agregando valor a um subproduto da cadeia produtiva de alimentos.

Do ponto de vista econômico, o uso de óleo residual tem o potencial de reduzir o custo de produção de biodiesel, já que o óleo residual é frequentemente disponível a preços mais baixos ou até mesmo gratuitamente, em comparação com o óleo vegetal virgem, conforme afirma Saltarin *et al.* (2023). Além disso, a utilização de óleos residuais contribui para a diminuição da competição com a produção de alimentos, o que é um ponto crítico em contextos de escassez de recursos naturais e aumento da demanda por matérias-primas para bioenergia, em concordância com Almeida *et al.* (2024).

Dessa forma, tecnicamente, o óleo residual de canola apresenta características químicas e físicas que permitem sua transesterificação para a produção de biodiesel, resultando em uma mistura de boas propriedades combustíveis. Dessa forma, o uso do óleo residual de canola em pesquisas sobre biodiesel não apenas contribui para a diversificação das fontes de biomassa renovável, como também apoia a transição para uma matriz energética mais sustentável e menos dependente de combustíveis fósseis, alinhando-se com os objetivos globais de redução das emissões de gases poluentes e mitigação das mudanças climáticas, segundo Lewandowski *et al.* (2022).

Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar a relação entre consumo e emissões de gases em misturas de biodiesel residual de *Brassica napus*, nas proporções B30 e B40, em comparação com o diesel S10. Salienta-se que o presente estudo faz parte de uma pesquisa que já vem sendo realizada (MARQUES, 2023) e trata-se de uma complementação de outro artigo já publicado (MARQUES; MARQUES; TOLEDO, 2023). Dessa forma, corresponde a resultados que já foram obtidos após a realização de uma bateria de ensaios, incluindo ensaios de qualidade de óleo. Contudo, para fins da pesquisa é abordado apenas dois tópicos, a relação entre o consumo e as emissões produzidas.

## **2.MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 Sobre a produção do Biodiesel Residual de *Brassica napus***

O óleo residual de *Brassica napus* utilizado na pesquisa tem origem doméstica. Foram obtidos aproximadamente 2,3 L de óleo residual para o estudo com o objetivo de desenvolver o biodiesel. O óleo utilizado nesta pesquisa é o óleo de canola (*Brassica napus*), de origem doméstica, obtido de maneira colaborativa em um condomínio localizado no município de Parnamirim, no estado do Rio Grande do Norte. Durante o período de um mês, moradores de aproximadamente 40 apartamentos do condomínio contribuíram com pequenas quantidades do óleo residual utilizado em suas residências, predominantemente para fritura de alimentos.

Este óleo é caracterizado por ser residual, ou seja, já foi utilizado e, como tal, contém impurezas em suspensão devido ao contato com alimentos durante o processo de fritura. A coloração do óleo, em sua maior parte, apresenta tonalidades escuras, variando entre marrom e preto, o que reflete as alterações físicas e químicas que ocorrem durante o uso repetido. O óleo coletado é, portanto, uma mistura enriquecida de resíduos e impurezas, oferecendo um interessante campo de estudo sobre seu potencial de reaproveitamento ou efeitos ambientais.

A escolha do óleo de canola residual para esta pesquisa está intimamente ligada aos princípios da economia circular e à gestão de resíduos. A economia circular visa promover a reutilização, reciclagem e redução do desperdício, transformando materiais que seriam descartados em novos recursos. No contexto do óleo residual, o reaproveitamento do óleo de fritura usado se alinha diretamente com esses conceitos, uma vez que a utilização de óleos usados representa uma oportunidade para minimizar o descarte inadequado e aproveitar um recurso que poderia contribuir para a poluição ambiental.

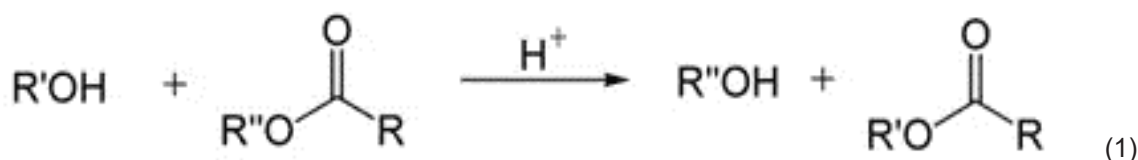


Além disso, ao coletar pequenas quantidades de óleo de canola residual de diversos moradores de um condomínio, esta prática não só colabora com a gestão local de resíduos, mas também reforça a importância de uma abordagem comunitária no manejo de resíduos domésticos. A reutilização do óleo, seja em processos industriais, como biodiesel, ou em outros ciclos produtivos, reduz a necessidade de extração de novos recursos, minimizando o impacto ambiental. Dessa forma, a pesquisa contribui para a discussão sobre alternativas sustentáveis para o gerenciamento de resíduos de óleo, alinhando-se aos objetivos da economia circular, como a redução da poluição e a maximização da vida útil dos materiais.

Haas *et al.* (2006 apud CHRISTOFF, 2006) afirmam que, para a produção de um biodiesel de qualidade, ou seja, um óleo que seja bem-sucedido em todos os processos de produção e desenvolvimento, é essencial que a matéria-prima seja devidamente preparada antes de ser submetida à reação escolhida para a fabricação do biodiesel. O preparo envolve etapas como: I) análise da matéria-prima; II) remoção de impurezas suspensas; III) eliminação da umidade presente no óleo; IV) preparo do catalisador, levando em conta as quantidades adequadas de reagentes conforme a quantidade de óleo a ser utilizada.

Após o tratamento da matéria-prima, o óleo foi inicialmente submetido à reação de transesterificação, que é a transformação de um éster, na presença de um álcool e de um catalisador, em outro éster e outro álcool, sendo o biodiesel o produto resultante dessa reação. O método utilizado para a produção do biodiesel residual seguiu o procedimento proposto por Christoff (2006).

A transesterificação foi realizada por meio da rota etílica, devido à maior facilidade de acesso e disponibilidade desse álcool no ambiente em que o processo foi conduzido, no Laboratório de Petróleo e Gás do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, campus Natal Central. A reação geral química de transesterificação aplicada para a obtenção do biodiesel seguiu da seguinte forma (Equação 1):



A transesterificação foi realizada utilizando a rota etílica, devido à facilidade de acesso e disponibilidade do etanol no ambiente de produção, no Laboratório de Petróleo e Gás do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, campus Natal Central. Ao final da reação, foi perceptível o odor de álcool.

Após a reação, a mistura foi deixada em repouso, à temperatura ambiente, para permitir a separação das fases (biodiesel e glicerol), processo que durou 24 horas. No dia seguinte, o álcool gerado durante a transesterificação foi removido e a mistura foi lavada com água destilada. Em média, foram realizadas de 3 a 4 lavagens para remover o excesso de catalisador (hidróxido de potássio), etanol (álcool reagente) e glicerina. As lavagens são essenciais para a eliminação das impurezas presentes no biodiesel.

Após as lavagens, o biodiesel de *Brassica napus* residual foi transferido para um Becker para o processo de secagem, que visa remover qualquer resíduo de álcool e água remanescente. O óleo foi submetido a uma temperatura máxima de 102 °C, utilizando uma chapa aquecedora, durante 30 minutos, considerando as temperaturas de ebulição do etanol (78,37 °C) e da água (100 °C). Após a secagem, o biodiesel foi armazenado e ficou pronto para o uso, bem como para ser misturado com o Diesel S10.

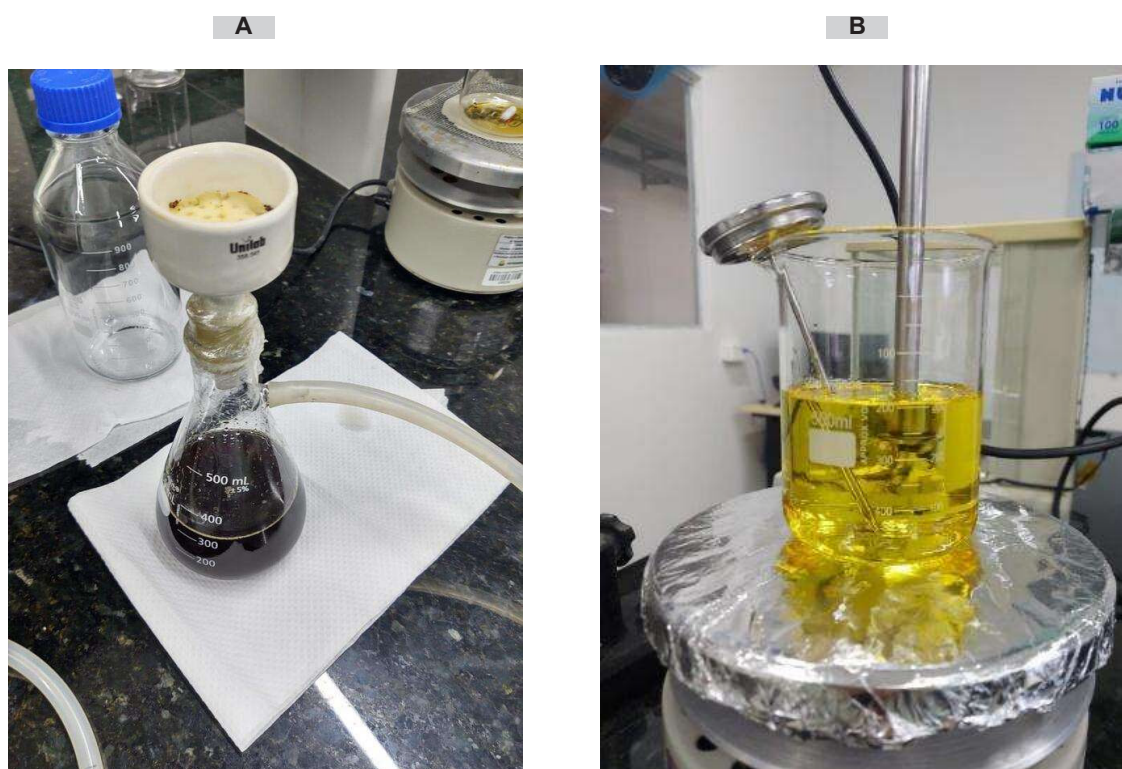
As Figuras 1A e 1B representaram exatamente o processo de produção do biodiesel utilizado no estudo. A Figura 1A indica o óleo residual, em seu estado bruto, com coloração escura, passando pelo

pré-tratamento. Onde, na imagem, o que ocorre é a retirada das impurezas existentes no óleo residual. Já a Figura 1B expõe o biodiesel pronto, após todas as etapas para a sua produção. Nota-se a coloração diferente de seu estado inicial, na tonalidade amarelo, límpido e sem impureza. Acrescenta-se que essa observação vem de acordo com a ASTM D4176. No qual, é através da avaliação dos aspectos do combustível em análise que se é possível a identificação, visualmente, da presença de impurezas, turbidez, sedimentos ou quaisquer outros materiais que possam estar em suspensão no biodiesel.

É cabível mencionar que o processo adotado para a filtração dos resíduos sólidos contidos no óleo de fritura residual bruto, com o intuito de se obter o biodiesel, foi através da filtração a vácuo. Esse método consiste na utilização, de acordo com Silveira e Viera (2011), de um funil de Buchner acoplado a um compressor. Neste procedimento, utiliza-se um papel filtro contendo as seguintes características: I) gramatura de 80 g/m<sup>2</sup>; II) espessura de 205 micrometros.

Dessa forma, para a realização da filtração a vácuo, o processo se deu da seguinte maneira: um Erlenmeyer de 250 mL é acoplado ao funil de Buchner que, por sua vez, é acoplado ao compressor, ou bomba de vácuo, através de uma mangueira; é inserido o papel filtro no funil de Buchner; liga-se o compressor; verifica-se o funcionamento do sistema como um todo; é inserido o óleo residual no funil de Buchner; e por fim, a remoção do óleo contido no Erlenmeyer.

**Figura 1 – A) Óleo residual de origem doméstica em seu estado bruto, de coloração escura, passando pela etapa de pré-tratamento. B) Biodiesel de óleo residual de Brassica napus.**



Fonte: Autores, 2025

Salienta-se que para o estudo foram realizados os ensaios em amostras B30 e B40 de biodiesel comparadas com o combustível S10. Isso quer dizer que uma amostra B30 contém 30% de biodiesel na mistura diesel e biodiesel. Já a amostra B40, contém 40 % de biodiesel na mistura. Dessa forma, a Tabela 1 indica as quantidades utilizadas – para a mistura biodiesel e diesel – a cada 1L de biodiesel analisado. E a Figura 2 demonstra, de forma simbólica, como ocorreu a mistura biodiesel/diesel para cada 1L de biocombustível.

Tabela 1 – Tipos e proporções de combustíveis analisadas.

Tipo de Combustível	Diesel	Biodiesel	Diesel S10 comercial	Biodiesel com a diferença a ser adicionada
S10*	900 mL	100 mL	-	-
B30	700 mL	300 mL**	800 mL	258 mL***
B40	600 mL	400 mL**	700 mL	344 mL***

\*S10 comercial, combustível já misturado obrigatoriamente com 14% de biodiesel conforme a PETROBRAS.

\*\* 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.

Figura 2 - Exemplo de separação das porções necessárias para a mistura biodiesel/diesel para cada 1L de biodiesel.



Fonte: Autores, 2025

Se faz necessário mencionar que o diesel S10, combustível de origem fóssil utilizado no estudo para comparação com as amostras de biodiesel produzidas, se refere ao combustível comercial. Isso quer dizer que, já é comercializado com mistura obrigatória (14%) em sua composição, conforme a PETROBRAS (2024).

## 2.2 Sobre o Consumo e Consumo Específico

O consumo do combustível foi determinado por meio da relação entre o peso do combustível utilizado e o tempo necessário para seu consumo, conforme indicado na Equação 2, onde “Q” representa o fluxo [g/s], “W” é o peso do combustível [g] e “t” é o tempo [s] empregado para consumir a massa de combustível em análise.

$$Q = \frac{W}{t} (2)$$



Para a medição do peso do combustível, foi utilizada uma balança semi-analítica (Figura 3) com o objetivo de medir a força do peso do combustível antes do teste e após o término do mesmo. Para isso, foram utilizadas garrafas comerciais de 5 litros como recipientes para os combustíveis.

**Figura 3 - Analisador de Gases, da Tecnomotor, modelo TM 131**



Fonte: Autores, 2025

Antes de iniciar o ensaio, o combustível de teste foi pesado na balança, realizando-se a pesagem pelo menos cinco vezes, com o objetivo de reduzir a dispersão das medições e, assim, minimizar a incerteza do processo. Em seguida, o recipiente que continha o combustível foi conectado à linha de alimentação do motogerador, que estava devidamente instrumentalizado. O experimento foi então iniciado em regime permanente, com o tempo de duração sendo monitorado e registrado.

Após a finalização do ensaio, o combustível remanescente foi novamente pesado na balança para verificar o peso final do óleo, seguindo o mesmo procedimento utilizado para a pesagem inicial.

### **2.3 Sobre as Emissões de Gases**

A análise dos gases emitidos pelo sistema de escape foi realizada por meio do uso do equipamento denominado Analisador de Gases, da Tecnomotor, modelo TM 131 (Figura 4). Este equipamento permite captar as emissões de monóxido de carbono, hidrocarbonetos, dióxido de carbono e oxigênio. 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.

O TM 131 é um instrumento estratégico destinado ao setor de Emissões. Esse equipamento aprimora operações e diagnósticos, monitorando a emissão de poluentes de veículos alimentados por gasolina, diesel, etanol ou Gás Natural Veicular. É sabido que, em conformidade com as normas internacionais e homologado pelo INMETRO, o TM 131 também contribui para a melhoria do consumo de combustível, pois, por meio da análise dos gases emitidos, é possível identificar falhas no sistema de ignição e irregularidades na queima do combustível.

Figura 4 - Analisador de Gases, da Tecnomotor, modelo TM 131



Fonte: Autores, 2025

Para fins do presente estudo, ocorreu a análise de emissões dos gases de 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. No manual do equipamento são estabelecidos os padrões mínimos e máximos que o combustível deve, ou não deve, oferecer.

Antes de ser utilizado propriamente para os fins da pesquisa, o equipamento foi devidamente calibrado e habilitado para as funções necessárias ao estudo. No estudo, o Analisador de Gases foi utilizado com o propósito de coletar os padrões obtidos de oxigênio, hidrocarbonetos e monóxido de carbono emitidos através das amostras de biodiesel (B30 e B40) e diesel S10 – como objeto de comparação – no estudo. A leitura dos valores emitidos foi possível graças ao acessório fundamental do Analisador de Gases, a chamada Sonda Coletora de Gases.

Durante o ensaio para obtenção dos dados de emissão, utilizando o Analisador de Gases TM 131 da Tecnomotor, foram realizadas 6 medições ao longo de 15 minutos. Após o tempo necessário para o motor atingir seu regime permanente, as medições foram feitas a cada 3 minutos, totalizando 6 medições durante o período de atividade do motogerador. Esse procedimento foi repetido para todas as amostras da pesquisa: S10, B30 e B40.

Salienta-se que a análise de emissão de NOx e de óxidos de enxofre (SOx) não foi realizada nesta pesquisa devido às limitações técnicas do equipamento utilizado. O sensor específico para a análise de NOx apresentou danos, impossibilitando sua utilização para a detecção desse gás. Além disso, o equipamento não possui sensor para a medição de óxidos de enxofre, o que impediu a análise dessa substância. Em contrapartida, foi possível realizar as medições dos demais gases mencionados no estudo, como CO<sub>2</sub>, hidrocarbonetos e oxigênio, que não dependem dos sensores danificados ou ausentes. Essas limitações técnicas afetaram a análise completa das emissões, mas os resultados para os outros gases foram obtidos com sucesso.

#### 2.4 Das Características do Motor Ciclo Diesel Utilizado

Para o estudo, utilizou-se o motogerador modelo MDGT - 6500 CLE da Motomil (Figura 5). Foi disponibilizado pelo Laboratório de Motores (LabMotor) do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do

Rio Grande do Norte campus Natal Central. Adotou-se o equipamento devido os seguintes fatores: I) apresenta-se como um modelo Diesel real de motor que assemelha-se a um veículo com as mesmas condições e características; II) pela disponibilidade de utilização da máquina já no ambiente em que ocorreu o estudo; e III) ao fato de não ser necessário qualquer adaptação ou alteração no motor para o recebimento do biodiesel utilizado.

Figura 5 - Motogerador MGD - 6500



Fonte: Autores, 2025

Se faz de suma importância mencionar as características e especificações do motogerador ciclo diesel utilizado para a pesquisa, conforme a Tabela 2 seguinte:

Tabela 2 - Características e especificações do Motogerador MDGT - 6500CLE Motomil.

Características gerais e especificações do Motogerador ciclo diesel MDGT - 6500CLE utilizado na pesquisa	
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	4 T
Número 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

**Tabela 2 - Características e especificações do Motogerador MDGT - 6500CLE Motomil. Continuação...**

Capacidade de óleo	12,5 L
Consumo	2,5 L por hora
Peso	94 kg
Dimensões (AxLxC)	59 x 47,5 x 74 cm

Fonte: Manual motogerador MDGT - 6500 CLE Motomil

É fundamental conhecer as características e especificações do motor utilizado na pesquisa. Pois considera-se o fato de que a partir dos atributos apresentados é possível evitar ou minimizar possíveis gastos excessivos durante o estudo, realizando adaptações sem que ocorra danos ou prejuízos na máquina, respeitando, dessa forma, as suas condições. Salienta-se que a utilização de um motor ciclo diesel, para fins da pesquisa o motogerador, se deu, majoritariamente ao fato de que não se é necessário fazer alterações significativas no motor para o recebimento do combustível biodiesel.

É válido mencionar também que para que o motor ciclo diesel utilizado na pesquisa fosse capaz de reproduzir condições semelhantes a uma situação real, isso quer dizer, fosse capaz de realizar algum tipo de trabalho, foi desenvolvido um aparato elétrico (Figura 6). Que, por sua vez, consiste em um banco de carga resistivo responsável em gerar resistência ao modo de operação do motor utilizado no estudo.

**Figura 6 - Aparato elétrico desenvolvido e acoplado ao motogerador.**

Fonte: Autores, 2025

O aparato desenvolvido para permitir que, durante os ensaios realizados no motogerador com as proporções analisadas de biodiesel, a máquina elétrica rotativa produzisse conjugado resistente e

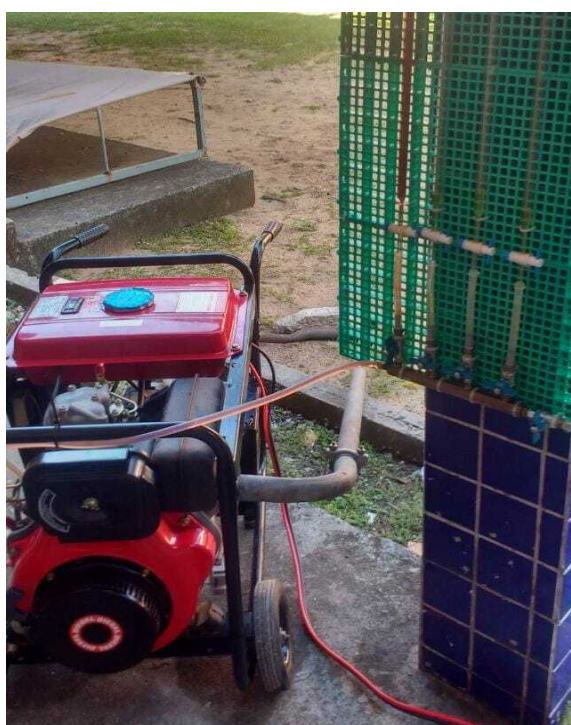


atuasse como um dinamômetro do motor de combustão interna acoplado ao gerador. Desse modo, facilitando a determinação da potência mecânica para o cálculo do consumo específico do combustível.

Como forma de descrição do aparato elétrico utilizado, é importante mencionar que a potência do mesmo representa o resultado do somatório constituído por 3 resistência, como demonstrado na Figura 6, cada uma com 1,5kW de potência, totalizando 4.500W. Sendo a tensão distribuída nas três fases – R, S e T do gerador para uma tensão de fase 220V.

A Figura 7 representa, parcialmente, o sistema em funcionamento na área externa do Laboratório de Motores do Instituto Federal de Tecnologia, Ciência e Educação do Rio Grande do Norte campus Natal Central. É possível notar na Figura o motogerador já em exercício da prática atuando com a utilização de uma amostra em estudo.

**Figura 7 - Parte do sistema já em funcionamento. Na imagem o motogerador está em pleno funcionamento, acoplado ao aparato elétrico, e fazendo uso das amostras de combustível em análise.**



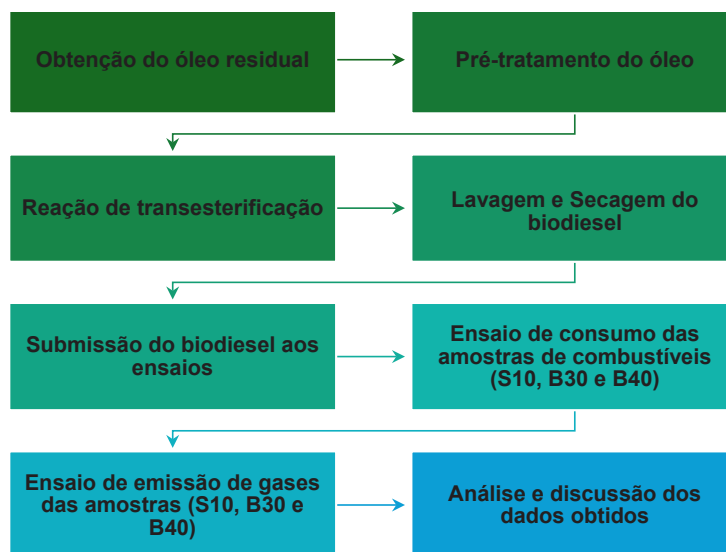
Fonte: Autores, 2025

## **2.5 Simplificação da Metodologia da Pesquisa**

Nesse sentido, de forma breve e resumida, o processo metodológico para a análise da relação entre consumo e emissões do biodiesel residual de Brassica napus, em misturas B30 e B40, comparadas com a amostra de diesel S10 pode ser descrito de acordo com o seguinte Fluxograma 1:



**Fluxograma 1: Diagrama simplificado do processo metodológico para a análise do consumo e emissões da amostra de S10 e das amostras de biodiesel residual.**



Fonte: Autores, 2025

### 3.RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dessa forma, para avaliar o consumo das amostras, é importante verificar a potência mecânica através da utilização de um dinamômetro. Nesse sentido, a Tabela 3 representa as potências consumidas durante o experimento por cada combustível analisado – B30 e B40.

**Tabela 3 – Potência mecânica consumida por combustível ensaiado.**

Combustível	S10	B30	B40
Potência (W)	4485 ± 21	4492 ± 16	4487 ± 22

Fonte: Dados da pesquisa, 2025

Na Tabela 4 foram registradas além das massas consumidas de combustíveis e do tempo de duração do ensaio, o consumo médio para cada amostra de combustível analisado no estudo, sendo respectivamente, S10, B30 e B40.

Tabela 4 – Caracterização do consumo do combustível.

Tipo de Combustível	Massa cons. (g)	Tempo (min e s)	Consumo (kg/h)
S10	443,434	17min e 02 s	1,562
B30	486,961	17min e 10s	1,702
B40	510,059	17min e 11s	1,781

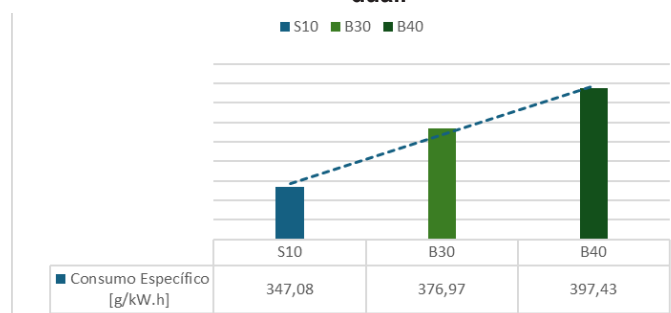
Fonte: Autores, 2025

Com base nos resultados da potência mecânica consumida e do consumo horário, foram calculados os valores do consumo específico, os quais estão representados no Gráfico 1. A análise do consumo específico tem como objetivo indicar a quantidade de combustível necessária para gerar uma unidade de energia, sendo obtida pela razão entre a massa de combustível consumida e a potência média dissipada ao longo de um determinado período de tempo.

Observa-se no Gráfico 1 que o combustível que resultou mais econômico, com o menor consumo indicado no estudo, foi o diesel S10, registrando um consumo específico de 347,08 g/kW.h. O consumo de combustível tende a aumentar à medida que a proporção de biodiesel no combustível também aumenta. O B30 apresenta um consumo de 366,91 g/kW.h, que é superior ao S10, com 347,02 g/kW.h. Esse aumento no consumo pode ser atribuído à menor eficiência energética do biodiesel em comparação com o diesel convencional, pois o biodiesel geralmente possui menor poder calorífico, conforme indica Palani (2022). Já o B40 tem o maior valor de consumo, com 376,97 g/kW.h, mostrando que, à medida que a porcentagem de biodiesel aumenta, a tendência de maior consumo se mantém.

Carvalho (2014), ao estudar o desempenho do consumo específico de óleo diesel e biodiesel B20 e B100 em motores de combustão interna de ciclo diesel, obteve resultados semelhantes aos encontrados na pesquisa realizada.

Gráfico 1 – Consumo específico obtido no motogerador com a utilização de cada tipo de biodiesel residual.



Fonte: Autores, 2025

Ao levar em consideração o ponto de vista econômico, a amostra de diesel S10 é a melhor opção, conforme o estudo. No Gráfico 1, observa-se que, à medida que aumenta a proporção de biodiesel na mistura, o consumo específico de todas as amostras de biocombustível também cresce. Essa tendência está principalmente relacionada à estequiometria do combustível. De acordo com Hoffmann (2016), a relação estequiométrica do diesel (kg de combustível / kg de ar) é de 14,5.

Vale ressaltar que, conforme afirma Subbaiah (2010), a composição do biodiesel é mais rica em

oxigênio do que o diesel, e essa diferença aumenta à medida que a proporção de biodiesel na mistura biodiesel/diesel cresce. Isso implica que, para manter a estequiometria, um combustível com maior teor de oxigênio resulta em um aumento no consumo.

No Gráfico 2, é exposto os dados obtidos referente ao ensaio de emissões do diesel S10 e das amostras de B30 e B40 do biodiesel residual de óleo de canola. Desse modo, observa-se que as emissões de O<sub>2</sub> aumentam à medida que se incrementa a proporção de biodiesel na mistura com diesel. Em contrapartida, todos os poluentes analisados apresentaram uma redução.

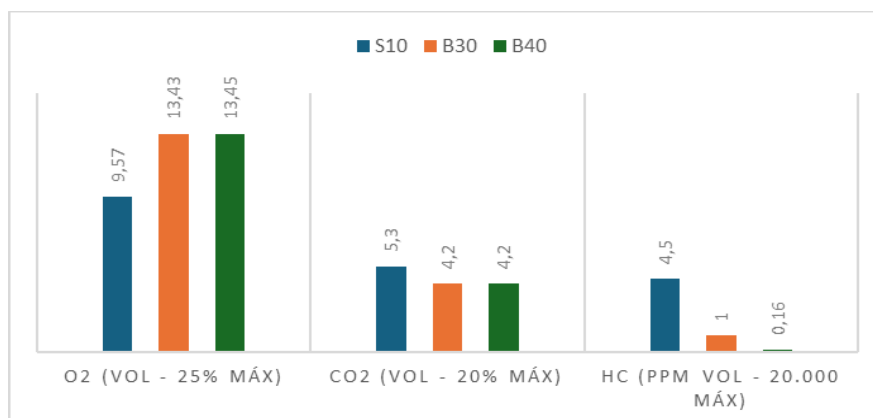
Quanto às emissões de CO<sub>2</sub> (gás carbônico ou dióxido de carbono), os ensaios mostraram que o MCI de ciclo diesel obteve os melhores resultados nas amostras B40 e B30. Isso corrobora, conforme afirmado por Araújo (2019), que as emissões de CO<sub>2</sub> provenientes de combustíveis renováveis são reabsorvidas pelas fontes vegetais por meio do processo de fotossíntese. Esse processo é diferente da emissão de CO<sub>2</sub> resultante da queima de combustíveis fósseis, que contribui diretamente para o efeito estufa.

De acordo com o Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa, da ELETROBRAS (2018), devido ao fato de que, no Brasil, é obrigatório a adição de uma fração de etanol, tanta na gasolina como no biodiesel, os combustíveis derivados de petróleo oferecem menor potencial poluidor do que os que são utilizados internacionalmente. Nesse sentido, conforme indica o Inventário, as emissões de dióxido de carbono, advindos do consumo dos biocombustíveis – como o caso do biodiesel, o etanol adicionado à gasolina, e até o próprio etanol – são reabsorvidos por meio da fotossíntese nos cultivos de cana-de-açúcar e soja, além de outras espécies vegetais que são cultivadas e destinadas para a produção de biocombustíveis.

E Souza (2013) também salienta que devido os biocombustíveis apresentarem baixos impactos ambientais, se comparados com os combustíveis de origem fóssil, parte das emissões de dióxido de carbono é reabsorvido no desenvolvimento de plantações utilizadas como matéria-prima para a produção dos biocombustíveis, fazendo com que as emissões desse gás sejam parcialmente compensadas. E ainda a EMBRAPA (2014), acrescenta que os biocombustíveis, as emissões de dióxido de carbono não são contabilizadas como emissões de combustível, isso quer dizer que devido ao fato desses combustíveis apresentarem origem renovável, esses não geram emissões líquidas.

É importante destacar que, conforme apresentado no Gráfico 2, à medida que a proporção de biodiesel na mistura com diesel aumenta, observa-se uma diminuição nas emissões de hidrocarbonetos. Esse comportamento pode ser atribuído à composição do combustível, pois, com o aumento da quantidade de **biodiesel na mistura**, há uma redução gradual na emissão de hidrocarbonetos.

**Gráfico 2 – Análise visual da média dos gases emitidos através da combustão das amostras analisadas.**



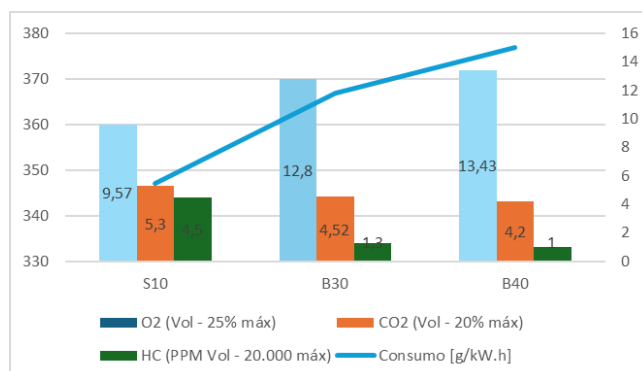
Fonte: Autores, 2025

À medida que aumenta a concentração de oxigênio na mistura, também aumenta proporcionalmente a concentração da taxa de mistura do combustível. Vale destacar que o biodiesel tem uma composição mais rica em oxigênio em comparação com o diesel, especialmente à medida que aumenta a proporção de biodiesel na mistura, como afirma Subbaiah (2010). Isso implica que, para manter a estequiometria, um combustível com maior conteúdo de oxigênio resultará em um aumento no consumo.

Koslowski *et al.* (2014) indicam, em suas análises sobre as emissões de biodiesel e diesel, que quanto maior a quantidade de oxigênio liberada pelo escapamento do motor após o processo de combustão, mais completa e eficiente tende a ser a reação. Subbaiah (2010) acrescenta que, à medida que as taxas de mistura de biodiesel/diesel nos biocombustíveis aumentam, o teor de oxigênio presente no combustível também se eleva, o que favorece a queima completa do combustível, resultando na redução das emissões de monóxido e dióxido de carbono, além de contribuir para a liberação de oxigênio na atmosfera.

No Gráfico 3, fica evidente perceber que mesmo com o consumo maior comparado ao combustível S10, as amostras de biodiesel B30 e B40 obtiveram diminuição do gás CO<sub>2</sub> e dos hidrocarbonetos. Nota-se, claramente, também que devido a composição geral do biodiesel, de acordo com Subbaiah (2010), ocorre a notória elevação da emissão de oxigênio das amostras de biodiesel. Sendo ambas – B30 e B40 - apresentando ascendência de O<sub>2</sub> uma vez comparadas com o resultado obtido pela amostra de combustível diesel S10.

**Gráfico 3 – Percepção visual da relação consumo x emissões das amostras analisadas.**



Fonte: Autores, 2025

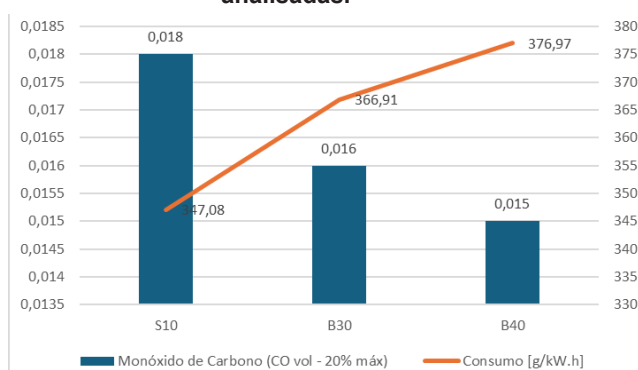
Com esse achado pode ser possível indicar que o biodiesel produzido com óleo residual de canola é capaz de contribuir para a minimização de gases de emissão de impacto para o efeito estufa. Segundo Li (2014) e Subbaiah (2010), a emissão de oxigênio está diretamente relacionada à composição do combustível. Nesse sentido, combustíveis derivados do petróleo, como o diesel, emitem uma quantidade maior de compostos de hidrocarbonetos e gases poluentes em comparação aos biocombustíveis e suas respectivas misturas e proporções.

No Gráfico 4 observa-se a tendência de redução de emissão do monóxido de carbono das amostras biodiesel quando comparadas ao combustível diesel S10. O combustível de origem fóssil, diesel S10, emite 0,018 g/kWh de CO, sendo o combustível com maior emissão entre as amostras analisadas. Por sua vez, a emissão de CO diminui para 0,016 g/kWh, o que pode indicar uma redução na formação de monóxido de carbono devido às propriedades de combustão do biodiesel. A emissão de CO chega a 0,015 g/kWh, sendo o valor mais baixo entre as amostras. Isso sugere que o aumento da proporção de biodiesel - B40 - pode ter algum efeito adicional na redução das emissões de CO.

No mesmo Gráfico 4 é possível notar que apesar do aumento no consumo de combustível com a maior adição de biodiesel - B30 e B40 - as emissões de CO diminuem à medida que a proporção de

biodiesel aumenta. Sendo assim, o S10 apresentando o menor consumo e a maior emissão de monóxido de carbono. A amostra B30 apresenta um aumento no consumo de combustível em comparação com o S10, todavia uma leve diminuição na emissão de CO, o que pode sugerir que a queima de biodiesel proporciona uma combustão mais limpa, com menores emissões de monóxido de carbono. Já a amostra B40 indica o maior consumo, porém a menor emissão de CO, o que reforça a ideia de que o biodiesel, mesmo em proporções mais altas, pode ter um efeito benéfico na redução das emissões de CO. A combustão parece ser mais eficiente em termos de emissões de monóxido de carbono, mesmo com o aumento do consumo.

**Gráfico 4 – Análise visual da relação consumo x emissões de monóxido de carbono das amostras analisadas.**



Fonte: Autores, 2025

Paulo (2019) confirma a tendência observada no Gráfico 5, onde, de forma geral, os estudos sobre as emissões de monóxido de carbono apontam para uma diferença mínima ou até redução nas emissões quando se utilizam misturas de biodiesel, em comparação ao diesel convencional. O autor destaca que a formação de CO está associada a situações de combustão rica em combustível, ou seja, quando há uma maior quantidade de combustível do que de ar na mistura, o que resulta na emissão de uma quantidade maior de poluentes atmosféricos em relação ao oxigênio liberado.

Na Tabela 5, é exposto, em porcentagem, as reduções, por amostra, das emissões dos gases analisados comparados com os resultados obtidos, anteriormente, ao diesel S10. Dessa forma, nota-se que a redução de 11,11% na amostra B30 do CO em relação ao diesel S10 é um indicativo de uma melhoria na qualidade da combustão. O CO é geralmente gerado em condições de combustão incompleta, e a redução sugere que a presença de biodiesel ajudou a otimizar esse processo, possibilitando uma queima mais eficiente, conforme afirma Souza (2013). Por sua vez, a redução de 16,66% para o B40 é maior do que no B30. Isso pode indicar que, com a concentração maior de biodiesel, a combustão se torna ainda mais eficiente, resultando em uma menor emissão de CO, o que indica Silva *et al.* (2015).

**Tabela 5 – Redução, em porcentagem, de emissão das amostras de biodiesel comparadas ao diesel convencional S10, conforme o dado consumo.**

	CO (vol – 20% máx)	CO <sub>2</sub> (vol – 20% máx)	HC (PPM vol – 20.000 máx)	O <sub>2</sub> (vol – 25% máx)
<b>B30</b>	-11,11%	-14,71%	-71,11%	+33,75%
<b>B40</b>	-16,66%	-20,75%	-77,77%	+40,33%

Fonte: Autores, 2025



Ainda na mesma Tabela 5, na amostra B30 A redução de 14,71% de CO<sub>2</sub> também é significativa. O CO<sub>2</sub> é um dos principais gases de efeito estufa e a redução sugere que, ao substituir uma parte do diesel por biodiesel, a emissão de gases com potencial de aquecimento global diminui. Isso pode estar relacionado ao fato de que o biodiesel é considerado uma fonte renovável de energia, com menores emissões líquidas de CO<sub>2</sub>, devido ao ciclo de carbono envolvido na produção do combustível, em concordância com a EMBRAPA (2014). Já na amostra B40, redução de 20,75% observada é ainda mais expressiva. Com o aumento da concentração de biodiesel, é esperado que haja uma maior redução na emissão de CO<sub>2</sub>. A maior parte do CO<sub>2</sub> emitido pelo combustível tradicionalmente derivado de combustíveis fósseis é compensada pelo ciclo de vida do biodiesel, que pode capturar carbono durante a sua produção, resultando em uma menor liberação de CO<sub>2</sub> no escape, conforme afirma Souza (2013).

No que diz à diminuição de hidrocarbonetos, na amostra B30, redução de 71,11% de HC é bastante significativa. Os hidrocarbonetos não queimados são um indicador de combustão incompleta e ineficiente, segundo Confor (2022), sendo emitidos quando com combustível utilizado não é totalmente queimado na fase da combustão, dessa forma, necessitando de manutenção no motor. A grande redução de HC no B30, quando comparado com o diesel S10, sugere que o biodiesel ajuda a reduzir a emissão de compostos orgânicos voláteis, que são prejudiciais à saúde e ao meio ambiente. Já na amostra B40, a redução de 77,77% no B40 é ainda maior, o que reforça a ideia de que uma maior proporção de biodiesel leva a uma melhora substancial na qualidade da combustão, conforme indica Martins (2022). O aumento da proporção do biodiesel pode ajudar a promover uma combustão mais completa e eficiência do combustível, reduzindo ainda mais a emissão de HC, de acordo com Nór (2025)

Em relação às emissões de oxigênio, ainda na Tabela 5, o aumento de 33,75% no O<sub>2</sub> para a amostra B30 pode ser explicativo pela maior presença de oxigênio no biodiesel, que contém uma maior quantidade de oxigênio em sua composição, facilitando a combustão. Esse aumento pode indicar uma combustão mais eficiente, onde o combustível é queimado de maneira mais completa, com menor formação de poluentes, o que Subbaiah (2010) já indica em seu estudo. Na amostra B40, o aumento de 40,33% no O<sub>2</sub> para o B40 é ainda maior, o que corrobora a ideia de que com maior concentração de biodiesel no combustível, o fornecimento de oxigênio na mistura aumenta, possibilitando uma combustão ainda mais eficiente e, conseqüentemente, resultando em uma menor geração de poluentes como CO, CO<sub>2</sub> e HC.

#### **4.CONCLUSÃO**

As análises das misturas B30 e B40 de biodiesel residual de Brassica napus, em comparação com o diesel S10, mostra que o aumento da proporção de biodiesel resulta em maiores emissões de O<sub>2</sub> e na redução de outros poluentes, evidenciando seu potencial para diminuir a poluição atmosférica, sendo esses resultados obtidos indo de concordância com a Associação dos Produtos de Biodiesel do Brasil (2016).

Os dados indicaram, também, que o consumo foi mais alto em ambas as amostras de biodiesel, com destaque para a amostra B40, refletindo, principalmente, a estequiometria do combustível. Isso é esperado, pois o biodiesel possui um menor poder calorífico do que o diesel convencional, conforme indica Palani (2022) em sua pesquisa.

Ainda, em termos de consumo, o diesel S10 é mais econômico do que as amostras B30 e B40 de biodiesel. A amostra B40 apresentou um desempenho ligeiramente superior ao B30 em termos de redução de poluentes, o que sugere que a maior concentração de biodiesel pode proporcionar benefícios ainda mais significativos para a qualidade do ar e a mitigação das mudanças climáticas.

A emissão de monóxido de carbono diminui à medida que a proporção de biodiesel aumenta (S10 > B30 > B40). Essa redução nas emissões de CO sugere que o uso de biodiesel pode ser mais eficiente para reduzir a poluição do ar em comparação com o diesel convencional. Apesar do maior consumo de combustível com as misturas de biodiesel (B30 e B40), a redução nas emissões de CO sugere que essas misturas podem ser uma opção mais limpa, com menores impactos ambientais em relação à qualidade do ar. Todavia, se faz necessária a avaliação de mais testes e análises para verificar até em que momento pode ser benéfico ambientalmente.

O uso de biodiesel, no caso da pesquisa utilizando-se como matéria-prima o óleo de canola residual, é uma alternativa promissora em termos de redução de emissões em comparação com o diesel S10. A redução de poluentes como CO, CO<sub>2</sub> e HC indica que o biodiesel pode contribuir significativamente para a diminuição dos impactos ambientais relacionados à emissão desses gases, que são prejudiciais à saúde humana e ao clima.

Embora o biodiesel de óleo de canola residual ofereça reduções significativas nas emissões, a análise também pode sugerir que a proporção de biodiesel na mistura - B30 e B40 - pode ter um impacto maior na redução de emissões de CO, CO<sub>2</sub>, HC e no aumento de oxigênio. Isso é relevante para determinar a viabilidade de diferentes misturas de biodiesel a fim de otimizar a eficiência dos motores e maximizar os benefícios ambientais.

É importante mencionar que a principal diferença no processo produtivo de um motor para operar com diesel S10 ou com misturas B30 e B40 está na adequação dos componentes e do sistema de combustão para lidar com as propriedades físico-químicas do biodiesel. Como o artigo avalia apenas consumo e emissões, os resultados encontrados fornecem uma base inicial para compreender as mudanças que o uso de biodiesel residual pode causar.

No entanto, é fundamental que estudos futuros aprofundem a análise de outros aspectos, como durabilidade dos componentes, desempenho a longo prazo e impactos na lubrificação e na injeção de combustível. Essas variáveis podem influenciar diretamente a viabilidade da aplicação dessas misturas em motores convencionais e a necessidade de adaptações no projeto dos motores para otimizar sua eficiência e minimizar possíveis impactos.

Como proposta para futuros estudos e pesquisas, sugere-se a avaliação das características físico-químicas dos biocombustíveis analisados e também as emissões de óxidos de enxofre e óxidos de nitrogênio, além da análise da relação entre esses poluentes com o consumo do combustível utilizado, levando em consideração o aumento das proporções das misturas e as temperaturas às quais estão expostos. Deve-se destacar que a formação de óxidos de nitrogênio durante a combustão dos combustíveis está principalmente associada ao aumento e à obtenção de uma temperatura específica na câmara de combustão.

## **5.AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Laboratório de Motores (LabMotor) e ao Laboratório de Petróleo e Gás (LaPeG) do Instituto Federal do Rio Grande do Norte pela infraestrutura e experiência essenciais para a realização deste estudo. Agradeço ao professor Marcelo de Souza Marques por todo apoio e dedicação também durante a pesquisa. Também sou grata ao Departamento de Engenharia Mecânica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte pela colaboração no trabalho. A contribuição dessas Instituições foi fundamental para a viabilidade deste projeto.

## 6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. J. S. P.; SILVA, D. R.; ZULIETTI, L. F.; SILVA, R. P.; MORAIS, R. S.; VIEIRA, R. P.; LUZIA, D. M. M.; SILVA, A. V.; SILVA, S. F.; REIS, A. R. **Logística reversa: impacto ambiental do descarte incorreto de óleo residual e como reutilizá-lo**. 2024. Revista FT. Ciências Sociais Aplicadas, v. 29, ed. 141. Disponível em: <<https://revistaft.com.br/logistica-reversa-impacto-ambiental-do-descarte-incorreto-de-oleo-residual-e-como-reutiliza-lo/>>. Acessado em: 25 de março de 2025.

ASSOCIAÇÃO AMERICANA DE TESTES E MATERIAIS (ASTM). **ASTM D4176: Standard Test Method for Free Water and Particulate Contamination in Distillate Fuels by the Clear and Bright Method**. 2004.

ASSOCIAÇÃO DOS PRODUTORES DE BIODIESEL DO BRASIL. **Biodiesel: oportunidades e desafios no longo prazo**. 2016. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/arquivos/abiove-aprobio-ubrabo-cenario-setorial-biodiesel-2030.pdf>>. Acessado em: 01 de março de 2025.

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 dezembro de 2024.

BALES, M. P.; SILVA, S. R.; HONÓRIO, R. M. **Metodologia de inventário de evaporação de combustível no abastecimento de veículos leves do Ciclo Otto**. 2015. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Programa de Gestão e Controle da Qualidade Ambiental. São Paulo, SP. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/veicular/wp-content/uploads/sites/6/2013/12/Metodologia-de-inventario-de-evaporacao-de-combustivel-no-abastecimento-de-veiculos-leves-Otto.pdf>>. Acessado em: 20 de março de 2025.

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

BRASIL. Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Estabelece a Política Nacional de Produção e Uso de Biodiesel e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 14 jan. 2005. Seção 1, p. 1. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/2005/l11097.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2005/l11097.htm). Acessado em: 30 de dezembro de 2024.

BRASIL. Lei nº 13.263, de 16 de março de 2016. Altera a Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, para modificar os percentuais obrigatórios de biodiesel nas misturas com o diesel e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 17 mar. 2016. Seção 1, p. 1. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/2016/l13263.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2016/l13263.htm). Acessado em: 30 de dezembro de 2024.

BRASIL. Lei nº 14.993 de 8 de outubro de 2024. Dispõe sobre a promoção da mobilidade sustentável de baixo carbono e a captura e a estocagem geológica de dióxido de carbono; institui o Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV), o Programa Nacional de Diesel Verde (PNDV) e o Programa Nacional de Descarbonização do Produtor e Importador de Gás Natural e de Incentivo ao Biometano; altera as Leis nºs 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999, 8.723, de 28 de outubro de 1993, e 13.033, de 24 de setembro de 2014; e revoga dispositivo da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2023-2026/2024/lei/L14993.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/L14993.htm)>. Acessado em: 16 de março de 2025.

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

dezembro de 2024.

CHIABI, M. **Políticas públicas para incentivar energias sustentáveis: uma análise das estratégias adotadas no Brasil**. 2023. Disponível em: <<https://blog.cicloorganico.com.br/sustentabilidade/politicas-publicas-para-incen-tivar-energias-sustentaveis/>>. Acessado em: 20 de março de 2025.

CHRISTOFF, P. **Produção de Biodiesel a partir do óleo residual de fritura comercial** – Estudo de caso: Gua-ratuba, litoral paranaense. 2006. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC. Disponível em <<https://lactec.org.br/wpcontent/uploads/2021/05/003-Dissertacao-Paulo-Christoff.pdf>>. Acessado em: 20 de janeiro de 2025.

CONFOR. **Informativo Técnico** – Maximizando o Desempenho de Caldeiras – Monitorando o Combustível não queimado e aumentando a eficiência e segurança. 2022. Disponível em: < <https://confor.com.br/wp-content/uploads/2022/08/Maximizando-o-Desempenho-de-Caldeiras.pdf> >. Acessado em: 01 de março de 2025.

ELETROBRAS. **Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa**. 2018. Disponível em: <[https://www.chesf.com.br/sustentabilidade/Documents/Invent%C3%A1rio%20Emiss%C3%B5es%20GEE%20-%20Ano%20base%202017\\_03092018.pdf](https://www.chesf.com.br/sustentabilidade/Documents/Invent%C3%A1rio%20Emiss%C3%B5es%20GEE%20-%20Ano%20base%202017_03092018.pdf)>. Acessado em: 30 de janeiro de 2025.

EMBRAPA. **Canola - Panorama atual e tecnologias de produção no Brasil**. 2022. Ministério da Agricultura, Pe-cuária e Abastecimento. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1140176/1/DOC40-.pdf>>. Acessado em: 28 de março de 2025.

EMBRAPA. **Biodiesel reduz em 70% a emissão de Gases do Efeito Estufa**. 2015. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2723697/biodiesel-reduz-em-70-a-emissao-de-gases-do-efeito-estufa> >. Acessado em: 20 de março de 2025.

EMBRAPA. **Balanço de emissões de CO<sub>2</sub> por biocombustíveis no Brasil: histórico e perspectivas**. 2014. Dispo-nível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/987401/1/Doc334online.pdf>>. Acessado em: 01 de março de 2025.

FERREIRA, J. F.; SANTOS, D. M.; MACIEL, V. M. T. **Novas fronteiras econômicas para o uso do biodiesel: de-safios e oportunidades**. 2024. Revista FT. V. 28, ED. 137. Disponível em: <<https://revistaft.com.br/novas-frontei-ras-economicas-para-o-uso-do-biodiesel-desafios-e-oportunidades/#:~:text=A%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20biodiesel%20a%20partir%20de%20%C3%B3leos,que%2C%20de%20outra%20forma%2C%20pode-riam%20causar%20danos%20ambientais.>>. Acessado em: 30 de março de 2025.

FRANÇA. Acordo de Paris: tratado internacional sobre mudanças climáticas. Adotado em 12 dez. 2015. Disponível em: [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cop21\\_auv\\_2f.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cop21_auv_2f.pdf). Acessado em: 30 de dezembro de 2024.

GONGORA, B., SOUZA, S. N. M., BASSEGIO, D., SANTOS, R. F., SIQUEIRA, J. A. C., BARICCATTI, R. A., GUR-GACZ, F., SECCO, D., TOKURA, L. K., & SEQUINEL, R. **Comparison of emissions and engine performance of safflower and commercial biodiesels**. 2022. Industrial Crops and Products, 179, 114680. 10.1016/j.indcrop.2022.114680

GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. **O futuro dos combustíveis sustentáveis: diversificação e impacto na transição energética**. 2024. Disponível em: <<https://www.gbcbrasil.org.br/o-futuro-dos-combustiveis-susten-taveis-diversificacao-e-impacto-na-transicao-energetica/#:~:text=A%20transi%C3%A7%C3%A3o%20para%20uma%20matriz%20energ%C3%A9tica%20mais%20limpa,f%C3%B3sseis%20e%20mitigar%20os%20 impac-tos%20das%20mudan%C3%A7as%20clim%C3%A1ticas.>>. Acessado em: 30 de janeiro de 2025.

GUIDUCCI, R. C. N.; SABAINI, P. S.; CARDOSO, A. N.; LAVIOLA, B. G. **Tropicalização da canola (Brassica**

**napus L.) e inserção na cadeia produtiva de óleo vegetal:** análise de cenário. 2020. EMBRAPA. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1128730/1/Tropicalizac807a771o-da-canola-SO-BER-2020.pdf>>. Acessado em: 28 de março de 2025.

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 2024.

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://energiaeambiente.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.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE. **Entenda as emissões de gases de efeito estufa nos setores de energia e de processos industriais no Brasil em 2023.** 2024. Disponível em: <<https://energiaeambiente.org.br/entenda-as-emissoes-de-gases-de-efeito-estufa-nos-setores-de-energia-e-de-processos-industriais-no-brasil-em-2023-20241113>>>. Acessado em: 16 de março de 2025.

KOIFMAN, S. **Porque o petróleo não é um recurso renovável.** 2022. Disponível em: <<https://www.ideiasinteligentes.com/meio-ambiente/6-razoes-por-que-o-petroleo-nao-e-um-recurso-renovavel/>>>. Acessado em: 30 de janeiro de 2025.

LEWANDOSKI, C. F.; SANTOS, R. F.; CARNIATTO, E. T.; SIO, J. P. M. K. **Avaliação do óleo de canola para a produção de biodiesel.** 2022. International Journal of Environmental Resilience Research and Science. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/364530569\\_AVALIACAO\\_DO\\_OLEO\\_DE\\_CANOLA\\_PARA\\_PRODUCAO\\_DE\\_BIODIESEL\\_EVALUATION\\_OF\\_CANOLA\\_OIL\\_FOR\\_BIODIESEL\\_PRODUCTION](https://www.researchgate.net/publication/364530569_AVALIACAO_DO_OLEO_DE_CANOLA_PARA_PRODUCAO_DE_BIODIESEL_EVALUATION_OF_CANOLA_OIL_FOR_BIODIESEL_PRODUCTION)>. Acessado em: 20 de março de 2025.

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

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 dezembro de 2024.

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?i-d=228&ano=\\_quarto](https://siambiental.ucs.br/congresso/getArtigo.php?i-d=228&ano=_quarto)>. Acessado em: 19 de setembro de 2022.

MARQUES, D. D. S. **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.** 2022. Programa de Pós-graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais. Dissertação. Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. Disponível em: <[https://memoria.ifrn.edu.br/bitstream/handle/1044/2350/Danielle\\_Domingos\\_da\\_Silva\\_Marques.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://memoria.ifrn.edu.br/bitstream/handle/1044/2350/Danielle_Domingos_da_Silva_Marques.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acessado em: 16 de março de 2025.



MARQUES, D. D. S.; MARQUES, M. S.; TOLEDO, A. L. L. **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.** 2023. Revista Brasileira de Meio Ambiente. Disponível em: <<https://revistabrasileirademeioambiente.com/index.php/RVBMA/article/view/1446>>. Acessado em: 28 de março de 2025.

MARTINS, C. M. **Hidrocarbonetos não-queimados.** 2022. Disponível em: <<https://1library.org/article/hidrocarbonetos-n%C3%A3o-queimados-emiss%C3%B5es-de-poluente-em-mci.zwv788m0>>. Acessado em: 01 de março de 2025.

NÓR, B. Opção de ser potência verde: a estratégia brasileira para liderar a transição energética. 2025. Disponível em: <<https://veja.abril.com.br/economia/opcao-de-ser-potencia-verde-a-estrategia-brasileira-para-liderar-a-transicao-energetica/>>. Acessado em: 01 de março de 2025.

**ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS.** Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. 2015. Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>. Acessado em: 30 de dezembro de 2024.

**PARTNERSHIP FOR CLEAN FUELS AND VEHICLES. Global Sulphur Campaign.** 2024. Disponível em: <<https://www.unep.org/explore-topics/transport/what-we-do/partnership-clean-fuels-and-vehicles/sulphur-campaign>>. Acessado em: 16 de março de 2024.

PALANI, Y.; DEVARAJAN, C.; MANICKAM, D.; THANIKODI, S. **Performance and emission characteristics of biodiesel-blend in diesel engine: a review.** 2022. Environmental Engineering Research. Volume 27(1). Disponível em: <<https://www.eeer.org/journal/view.php?doi=10.4491/eeer.2020.338>>. Acessado em: 25 de março de 2025.

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/10923/15295/1/000495459Texto%2bCompleto-0.pdf>>. Acessado em: 19 de setembro de 2025.

**PETROBRAS.** Como são formados os preços do diesel. 2024. Disponível em: <<https://precos.petrobras.com.br/w/diesel/mt#:~:text=Em%20mar%C3%A7o%20de%202024%2C%20o,e%2086%25%20de%20diesel%20A.>>. Acessado em: 06 de dezembro de 2024.

SALTARIN, M. J.; SILVA, M. S.; MARTINS, L.; ROCHA, A. M. **A logística inversa dos óleos de gorduras residuais na produção de um biodiesel sustentável: uma revisão.** 2023. Revista de Gestão e Secretariado. V. 14 (1): 1170-1183. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/367395710\\_A\\_logistica\\_inversa\\_dos\\_oleos\\_de\\_gorduras\\_residuais\\_na\\_producao\\_de\\_um\\_biodiesel\\_sustentavel\\_uma\\_revisao](https://www.researchgate.net/publication/367395710_A_logistica_inversa_dos_oleos_de_gorduras_residuais_na_producao_de_um_biodiesel_sustentavel_uma_revisao)>. Acessado em: 30 de janeiro de 2025.

SHARP, C.A.; RYAN, T.W.; KNOTHE, G. **Heavy-Duty diesel engine emissions tests using special biodiesel fuels.** Transactions SAE. 2005; 114:1204–1212.

SILVA, T. M. G.; SANTOS, L. S.; ROCHA, L. S. Q.; CÂMARA, A. B. F.; COSTA, T. R. N. **Avaliação das propriedades físico-químicas do diesel após adição do biodiesel em diferentes proporções.** I congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. 2015. Disponível em: <[https://editorarealize.com.br/editora/anais/conepetro/2015/Modalidade\\_1datahora\\_31\\_03\\_2015\\_00\\_00\\_18\\_idinscrito\\_2014\\_68dbe4fb2a-7b09e95606d15ae5314593.pdf](https://editorarealize.com.br/editora/anais/conepetro/2015/Modalidade_1datahora_31_03_2015_00_00_18_idinscrito_2014_68dbe4fb2a-7b09e95606d15ae5314593.pdf)>. Acessado em: 01 de março de 2025.

SILVA, F. R.; SILVA, F. J. L. B.; SANTOS, R. S.; MENDES, M. L.; GONGORA, B.; LISBOA, F. S.; SEQUINEL, R. **O biodiesel no Brasil: uma análise da produção, consumo e perspectivas na transição energética.** 2023. Research Society and Development. V. 12 (11). Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publica->

tion/375369248\_O\_biodiesel\_no\_Brasil\_Uma\_analise\_da\_producao\_consumo\_e\_perspectivas\_na\_transicao\_energetica>. Acessado em: 01 de março de 2025.

SILVEIRA, D. A.; VIEIRA, G. E. G. **Processo de filtração a vácuo de óleo residual utilizado em fritura visando à produção de biodiesel**. 2011. 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Disponível em: <[https://abes-dn.org.br/analseletronicos/19\\_Download/TrabalhosCompletoPDF/VI-303.pdf](https://abes-dn.org.br/analseletronicos/19_Download/TrabalhosCompletoPDF/VI-303.pdf)>. Acessado em: 30 de janeiro de 2025.

SLOUDAGAR, M. E. M; NIK-GHAZALI N-N, ABUL KALAM M, BADRUDDIN IA, BANAPURMATH NR, AKRAM N. **The effect of nano-additives in diesel-biodiesel fuel blends: A comprehensive review on stability, engine performance and emission characteristics**. Energy Convers Manage. 2018;178:146–177.

SOLSA, G. C. M.; PINTO, C. O.; OLIVEIRA, C. S.; SANTOS, L. K. J.; QUEIROZ, M. S.; AZEVEDO, P. G.; CAVALCANTI, L. A. P. **Aplicações do óleo residual de fritura visando à mitigação de impactos ambientais: uma revisão integrativa**. 2021. Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade. v. 8 (20), 1441-1457. Disponível em: <<https://revista.ecogestaobrasil.net/v8n20/v08n20a12.pdf>>. Acessado em: 20 de março de 2025.

SOLZA, P. M. M. **Estudo das emissões de dióxido de carbono decorrentes do uso de biodiesel**. 2013. USP. Programa de educação continuada da escola politécnica. Disponível em: <<https://bdta.abcd.usp.br/directbitstream/5fb01a60-7174-4eda-85e1-819f9f041a19/PauloM%C3%A1rcioMenezesdeSouza.pdf>>. Acessado em: 01 de março de 2025.

WSUBBAIAH, 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.