




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

Danielle Domingos da Silva Marques¹ , Marcelo de Souza Marques² , André Luiz Lopes Toledo³ 

¹Mestre em Ciências Ambientais, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Brasil. (*Autora correspondente: d.danielle@escolar.ifrn.edu.br)

²Doutor em Engenharia Mecânica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Brasil.

³Doutor em Planejamento Energético, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Brasil.

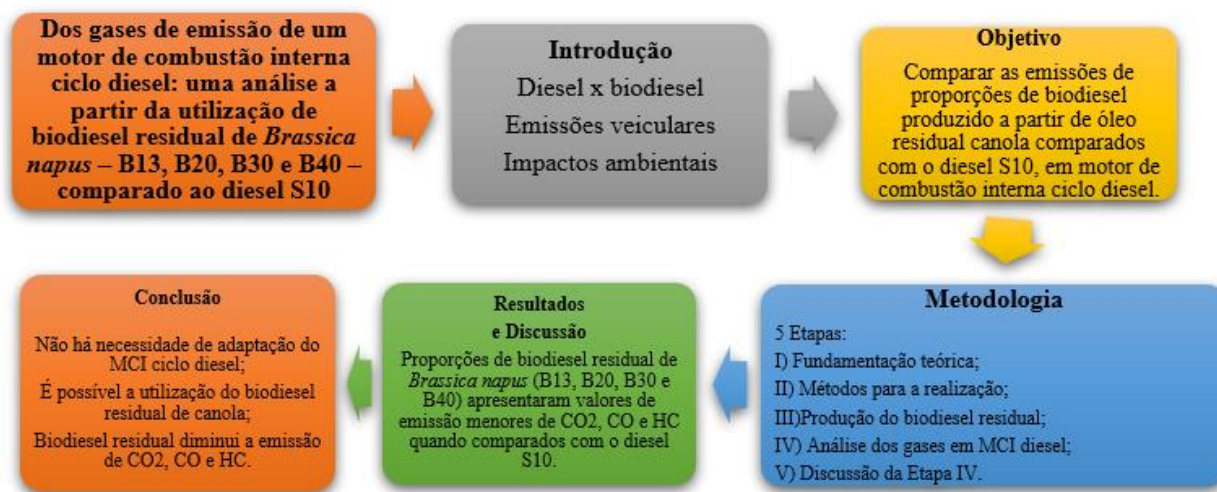
Histórico do Artigo: Submetido em: 23/01/2023 – Revisado em: 12/03/2023 – Aceito em: 15/04/2023

RESUMO

Diante das intensas chamadas globais em torno das excessivas e mais frequentes mudanças climáticas, se faz de fundamental importância a adoção de práticas e ações que possam atuar na minimização desses efeitos e impactos, além de contribuir para um futuro mais equilibrado ambientalmente. O presente artigo aborda os efeitos quantitativos que proporções de biodiesel produzido a partir de óleo residual de *Brassica napus* causam nos gases de emissão oriundos de um motor de combustão interna (MCI) ciclo diesel comparados com o combustível comercial diesel S10 – como modelo base de combustível. Foi utilizado o motogerador MDGT 6500 da Motomil conectado a um dinamômetro elétrico. As análises dos gases (O₂, CO, CO₂ e HC) foram realizadas através do Analisador de gases da Tecnomotor TM 131. Foram desenvolvidas misturas de biodiesel nas seguintes proporções: 13% (B13), 20% (B20), 30% (B30) e 40% (B40). Observou-se que à medida que a proporção da mistura no biodiesel se elevava, o teor de oxigênio se elevava. As emissões dos demais gases – monóxido de carbono, dióxido de carbono e hidrocarbonetos – diminuíram consideravelmente com o crescimento das proporções de biodiesel quando comparados com o registro das emissões emitidos pelo combustível diesel S10. Indicando e podendo afirmar que o biodiesel residual de *Brassica napus* pode atuar em MCI ciclo diesel e contribuir para a diminuição de gases que favorecem a intensificação do efeito estufa, por consequência, do aquecimento global.

Palavras-Chaves: Gases de emissão, Biodiesel, Óleo de Fritura, Meio Ambiente, Sustentabilidade.

RESUMO VISUAL – GRAPHICAL ABSTRACT



Marques, D. D. S., Marques, M. S., Toledo, A.L. (2023). 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. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v.11, n.2, p.129-139

Of the emission gases of a diesel cycle internal combustion engine: an analysis from the use of residual biodiesel from *Brassica napus* – B13, B20, B30 and B40 – compared to diesel S10

ABSTRACT

Faced with the intense global calls around excessive and more frequent climate changes, it is of fundamental importance to adopt practices and actions that can act to minimize these effects and impacts, in addition to contributing to a more environmentally balanced future. This article aims to address about biodiesel blends produced from waste oil of *Brassica napus* and their effects when tolerated in an internal combustion engine (ICE) diesel cycle compared with the commercial diesel fuel S10 - as a base fuel model. Motomil's MDGT 6500 motor generator was electrically connected to a resistive load bank. Gas analyzes (O₂, CO, CO₂ and HC) were performed using the Tecnomotor TM 131 gas analyzer. The biodiesel mixtures were improved in the following proportions: 13% (B13), 20% (B20), 30% (B30) and 40% (B40). Note that as biodiesel blending rates rose, the oxygen content rose. Emissions of other gases – carbon monoxide, carbon dioxide and hydrocarbons – decreased considerably with the growth of biodiesel emissions when compared to the record of emissions emitted by diesel fuel S10. Indicating and being able to affirm that the residual biodiesel from *Brassica napus* can act in MCI diesel cycle and contribute to the reduction of gases that helped to intensify the greenhouse effect, as a result of global warming.

Keywords: Emission gases, Biodiesel, Frying oil, Environment, Public Health.

1. Introdução

Discussões relacionadas aos impactos que as atividades antrópicas têm causado no meio ambiente ganham cada vez mais intensidade nas últimas décadas. Dentre os setores de maior nocividade, evidencia-se o petrolífero. A preocupação com os efeitos que este recurso natural pode ocasionar, uma vez utilizado de maneira desenfreada, são inúmeros. Gerando reflexos no presente e futuro, no equilíbrio do meio ambiente e na qualidade de vida das novas gerações.

É sabido que a utilização e aplicabilidade dos subprodutos originados a partir da destilação fracionada do petróleo estão presentes nos mais variados âmbitos da vida de um indivíduo. Todavia, impactos e efeitos podem ser originados desde a exploração do óleo até a maneira que o subproduto originado é utilizado/descartado. Como exemplo, uma falha no processo de exploração pode gerar um derramamento de óleo e impactar direta e indiretamente todo o ecossistema e equilíbrio de uma região (EUROPA, 2019). Outro exemplo, conforme afirma a BOSCH (2005), é a utilização dos subprodutos, os combustíveis, que quando submetidos ao processo de combustão, podem gerar a emissão de gases intensificadores do efeito estufa – óxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio, dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrocarbonetos, além de vários outros gases – por consequência, o aquecimento global.

Em circunstâncias ideais, o processo de combustão dos combustíveis, tanto em MCI de ciclo Diesel como em ciclo Otto, originam como resultado da queima tão-somente a água (H₂O) e o dióxido de carbono ou gás carbônico (CO₂). Todavia, de acordo com a Bosch (2005), o que advém na prática é diferente do esperado em uma situação ideal. De acordo com dados publicados pelo Instituto de Energia e Meio Ambiente (2020) referente a emissão de gases de efeito estufa (GEE) emitidos no ano de 2019, no Brasil, foi constatado a emissão de 2,2 bilhões de toneladas de GEE apenas no ano em questão. E só o setor de transporte comportou cerca de 196 Mt, o que correspondeu a 38% das emissões em 2019, conforme as informações disponibilizadas pela plataforma. Somente os veículos de carga - caracterizados pelos caminhões, ônibus e locomotivas, àqueles movidos ao combustível diesel - no setor de transporte emitiram 52% dos 196 Mt CO₂ totais, constituindo 102 Mt de CO₂.

A Organização Mundial da Saúde estima que cerca de 90% da população mundial está exposta a níveis superiores, aos recomendados, de concentração de poluentes atmosféricos. Albuquerque (2020) acrescenta que condições inadequadas da qualidade do ar, ocorridos através de fontes antrópicas ou naturais, são capazes de trazer impactos à saúde humana, qualidade do bem-estar público, alterações nas estruturas (por intermédio da

interação entre os gases atmosféricos e a chuva, resultando na formação da chuva ácida), prejuízos aos ecossistemas, agravamento das mudanças climáticas, por consequência, intensificação do efeito estufa e aquecimento global.

Nesse contexto, surgem os biocombustíveis. De acordo com a Petrobras (2021), o biodiesel, no Brasil, só pode chegar ao consumidor por meio de misturas. Isso quer dizer que o biodiesel é comercializado através da mistura diesel/biodiesel. E que atualmente, a proporção de mistura é de 10% (B10). É sabido que o biodiesel pode ser produzido a partir de óleo vegetal, gordura animal e óleos residuais. Sendo a oleaginosa mais comum para a produção do biodiesel, a soja.

Contudo é manifesto que a depender da matéria-prima a ser utilizada como base para a produção de biodiesel, este pode se apresentar com características bem distintas. *Exempli gratia*, os óleos residuais diferentemente dos óleos virgens vegetais ou as gorduras animais - que são produzidas com o intuito de constituir um biodiesel – comportam teores de degradação e oxidação mais elevados que os demais. Sendo necessários procedimentos mais cautelosos e rígidos para que não seja produzido um óleo fora dos padrões estabelecidos nas normas e que possa ter o potencial de causar danos ao motor e seus componentes.

Dentre as vantagens da utilização do biodiesel em motores de combustão interna ciclo diesel pode-se destacar que além de representar uma alternativa mais sustentável e renovável ao combustível de origem fóssil, o diesel, esse biocombustível também está ligado diretamente com a diminuição da emissão de gases intensificadores do efeito estufa e a redução de material particulado (MP), de acordo com a BOSCH (2005). Subbaiah (2010) atribui a diminuição de emissão desses gases ao fato de que à medida que a taxa de mistura do biodiesel é elevada, maior é o teor de oxigenação do óleo produzido, resultante na maior emissão de oxigênio e a redução da emissão de gases como o monóxido de carbono, dióxido de carbono e os hidrocarbonetos.

Awang (2022) acrescenta também que em seu estudo – ao observar os efeitos em questão de desempenho, emissão e lubrificidade dos óleos residuais misturados ao óleo diesel – notou que a utilização das amostras de biodiesel apresentou ótimos potenciais no desempenho do motor, revelando ainda que o coeficiente médio de atrito da mistura (biodiesel/diesel) de combustível diminuiu consideravelmente com a elevação da taxa de mistura. Indicando, nesse sentido, menores impactos em termos de danos aos componentes móveis do motor.

No entanto, apesar dos benefícios ambientais, a utilização de biodiesel de óleo residual em motores diesel pode contribuir para o desgaste do motor. Um estudo realizado por Kempf et al. (2014) concluiu que o uso de biodiesel de óleo residual pode resultar em maior desgaste no motor, especialmente nos elementos do sistema de combustível, devido à presença de impurezas e de água no biodiesel. Além disso, outro estudo realizado por Lopes et al. (2016) apontou que a utilização de biodiesel de óleo residual pode aumentar a formação de depósitos de carbono nos injetores de combustível, o que pode levar a problemas de eficiência e de durabilidade do motor.

Buscando 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) – o presente estudo tem o 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, além, também, da não necessidade de adaptação do MCI para o recebimento do combustível renovável.

Nesse contexto, a pesquisa tem como finalidade avaliar os gases de emissão a partir da utilização de um biodiesel produzido a partir de óleo residual de canola, denominado cientificamente como *Brassica napus*, de origem doméstica, comparando-o com o combustível convencional diesel S10. Incentivando a reutilização de resíduos que, majoritariamente, são descartados de maneira incorreta ocasionando impactos ambientais. Como objetivos específicos da pesquisa, têm-se os seguintes: a) análise quantitativa dos gases de emissão (CO, CO₂, HC e O₂) das misturas de biodiesel – B13, B20, B30 e B40 – relacionando os resultados com o diesel S10; b)

demonstrar a possibilidade de aplicação do biodiesel residual de *Brassica napus* em MCI ciclo diesel; e, c) incentivar a utilização de biocombustíveis como alternativa sustentável, renovável e limpa sob os combustíveis de origem fóssil, tendo como viés seus efeitos positivos ambientais e mecânicos.

Em concordância com Silva et al. (2021), é fundamental o incentivo de políticas públicas eficazes na otimização da relação entre a sociedade e seu meio. Isso implica dizer que, o estímulo à adoção de práticas e ações mais sustentáveis nos dias de hoje, são capazes de trazer reflexos e resultados no futuro para o meio ambiente e as gerações futuras.

2. Material e Métodos

2.1 Metodologia e procedimentos gerais

O desenvolvimento da pesquisa tem como finalidade se estabelecer em uma análise de caráter racional cujo intuito está ancorado no fornecimento de respostas às problemáticas apresentadas anteriormente. Sendo aprofundada com base nos conhecimentos e pesquisas já disponíveis no tocante à temática, além de se fazer uso, de maneira cautelosa, de métodos e técnicas para a investigação proposta (Gil, 2018).

Sendo assim, a metodologia e os procedimentos adotadas para a pesquisa ocorreu por meio da divisão bem definida do estudo, nos quais se refere às seguintes etapas: I) embasamento teórico do estudo; II) adoção de métodos e procedimentos; III) produção do biodiesel residual de *Brassica napus*; IV) análise dos gases emitidos durante o processo de queima dos combustíveis em um motor de combustão interna ciclo diesel; e V) discussão das informações e dados obtidos na etapa IV.

Os critérios de adoção de pesquisas para compor a fundamentação e embasamento teórico do estudo se deu através dessa forma: a) utilização de referências que abordassem a temática em estudo, enfatizando-se publicações mais recentes – de 2012 a 2022; b) inclusão de pesquisas, estudos e dados informativos no idioma português e inglês; e c) explícita abordagem de normas, regulamentações e especificações relacionadas ao processo de produção e análise do biodiesel produzido.

Enfatiza-se que a inserção de referências bibliográficas se deu principalmente por intermédio de bases de publicação digitais, por corresponder, atualmente, a principal forma de publicação de estudos e pesquisas. Os principais unitermos utilizados na busca para a composição da pesquisa foram: “biodiesel”, “produção de biodiesel”, “características do diesel”, “emissões do biodiesel”, “emissões do diesel”, “diesel” e “efeitos das emissões veiculares”.

2.2 Produção do biodiesel

A matéria-prima utilizada para a produção do biodiesel foi o óleo residual doméstico cuja oleaginosa é a *Brassica napus*, denominada como Canola. Foi obtido cerca de 2,3 litros de óleo residual para a produção do biodiesel e suas misturas. O diesel utilizado para a mistura biodiesel/diesel foi o S10, como indica a Petrobras (2021). As proporções adotadas para as misturas de biodiesel foram as seguintes: 13% (B13), 20% (B20), 30% (B30) e 40% (B40).

O biodiesel foi produzido no Laboratório de Petróleo e Gás (LabPeG) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, através da reação de transesterificação por via alcalina e rota etílica. O método de produção seguiu o mesmo adotado por Christoff (2006), no qual pode ser resumido da seguinte forma: I) escolha da matéria-prima para a produção do biodiesel; II) pré-tratamento da matéria-prima; III) reação de transesterificação; IV) separação das fases; V) lavagem do biodiesel; VI) secagem do biodiesel; V) biodiesel pronto para a utilização. Acrescenta-se que o biodiesel produzido com óleo residual foi submetido por 7 ensaios de qualidade, obtendo resultados favoráveis e dentro dos padrões das normas vigentes, antes de ser submetido em MCI ciclo diesel.

2.3 Motor de combustão interna (MCI) ciclo diesel

Como modelo de MCI ciclo diesel foi adotado o motogerador modelo MDGT – 6500 da Motomil, disponibilizado pelo Laboratório de Motores (LabMotor) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. Salientando-se que não houve a necessidade de alterações ou modificações no motor para o recebimento do biocombustível produzido. Levando em consideração que a ocorrência de desgaste no motor não é visualizada em MCI diesel, com misturas (diesel/biodiesel) de até 50%, conforme afirma INOUE et al. (2009).

Acrescenta-se que objetivando que o MCI ciclo diesel atuasse sob condições próximas à realidade, em condições semelhantes às encontradas em testes dinâmicos, foi confeccionado um aparato elétrico fundamental (AEF), delineando a produção de trabalho e torque para o motor. A potência do AEF corresponde a 81,81% da potência máxima de trabalho do motogerador MDGT – 6500.

2.4 Análises dos gases de emissão das misturas de biodiesel e diesel S10

A análise dos gases emitidos pelo sistema de escapamento do motogerador adotado para pesquisa ocorreu por intermédio do equipamento denominado Analisador de Gases, da Tecnomotor, modelo TM 131. O analisador de gases foi propiciado pelo Laboratório de Energia, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Sendo possível a verificação das emissões de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrocarbonetos e oxigênio (O₂), com os padrões de referência de emissões estabelecidos no manual do equipamento.

O analisador de gases foi devidamente calibrado e habilitado para a realização dos ensaios de análise de gases emitidos pelas misturas de biodiesel – B13, B20, B30 e B40 – e o diesel comercial S10. A coleta dos gases ocorreu por meio da sonda de coleta inserida ao fim do sistema de escapamento do motogerador. Os ensaios ocorreram em um período de 15 minutos, após o MCI ciclo diesel atingir seu regime permanente de funcionamento. Os dados foram coletados a cada 3 minutos. Totalizando 6 dados coletados (0 min, 3 min, 6 min, 9 min, 12 min e 15 min) por combustível analisado. O procedimento foi repetido, de maneira idêntica, para todas as amostras em estudo.

3. Resultados e Discussão

Sabe-se que alguns desses produtos oriundos de uma queima não completa são caracterizados como poluentes atmosféricos, por exemplo, é possível mencionar o monóxido de carbono, o dióxido de carbono e até mesmo a fuligem. E que em determinados delineamentos, esses contaminantes são eficientes em promover impactos e efeitos na esfera ambiental, em todos seus aspectos, até a danos à saúde pública.

Li (2014) e Subbaiah (2010) declaram que a emissão de oxigênio, durante o processo de queima do combustível, é associada, de maneira direta, com a composição do combustível, de jeito que, os combustíveis derivados de petróleo, mencionando-se o diesel, liberam mais compostos provenientes de hidrocarbonetos e gases poluentes quando comparados com os biocombustíveis e suas misturas e proporções. Acarretando exprimir que conforme o teor da mistura biodiesel/diesel é crescido, as emissões de oxigênio, como consequência, também se elevam e os hidrocarbonetos e gases poluentes, resultante dos combustíveis fósseis, diminuem.

Mediante as informações obtidas no ensaio, foi possível o desenvolvimento da Tabela 1 que apresenta a média dos dados adquiridos relacionados às 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 1 – Média obtida dos gases analisados e temperatura após batelada de 5 análises com cada amostra de combustível.

Table 1 - Average obtained from the analyzed gases and temperature after batch of 5 analyzes with each fuel sample.

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

Fonte: Dados da pesquisa, 2022

Source: Survey data, 2022

É possível observar diante dos registros expostos na Tabela 1, que determinados resultados alcançados através das amostras de biodiesel residual, no que se refere às informações obtidas ao monóxido de carbono, apresentaram pouca variação uma vez comparados com as emissões registradas do mesmo poluente emitido pelo diesel S10. Entretanto, outros gases se comportam de maneira a expor uma clara redução ao passo que a proporção de mistura do biodiesel crescia, conforme demonstra os dados alusivos ao dióxido de carbono e hidrocarbonetos.

É cabível notar que, conforme demonstrado na Tabela 1, as emissões registradas referentes ao oxigênio, O₂, elevaram à proporção que a mistura de biodiesel/diesel foi crescendo. Denotando, na devida ordem, um aumento de 122,2% para a amostra B13, 133,7% (B20), 140,3% (B30) e 140,5% (B40). Sendo as amostras de biodiesel B30 e B40 as portadoras dos melhores registros de emissão de oxigênio quando comparadas com as emissões de diesel S10 e as demais amostras de biodiesel analisadas. A elevação da emissão de oxigênio é prevista por Li (2014), uma vez que considera que ao passo que a taxa de mistura do biodiesel é aumentada, é ocorrido o acréscimo do teor de oxigênio no biocombustível, resultando, nesse sentido, a maior emissão dessa substância após o processo de combustão.

Em relação às emissões de dióxido de carbono, denominado também de gás carbônico ou simplesmente CO₂, os testes mostraram que o MCI ciclo diesel – salientando que atuou sob 4.500 W de potência, o que constituiu 81,81% da potência máxima do motor – obteve seus melhores rendimentos com a utilização das amostras de biodiesel residual B30 e B40. A diminuição observada pelos dados capturados de CO₂ é destacada por Araújo (2019) que reforça que esse gás emitido pela queima de combustíveis renováveis são reabsorvidos pelo processo realizado por organismos autotróficos fotossintetizantes, a denominada fotossíntese. Diferentemente do que ocorre com a queima dos combustíveis de origem fósseis, como o diesel S10 em estudo, ocasionando a intensificação do fenômeno efeito estufa.

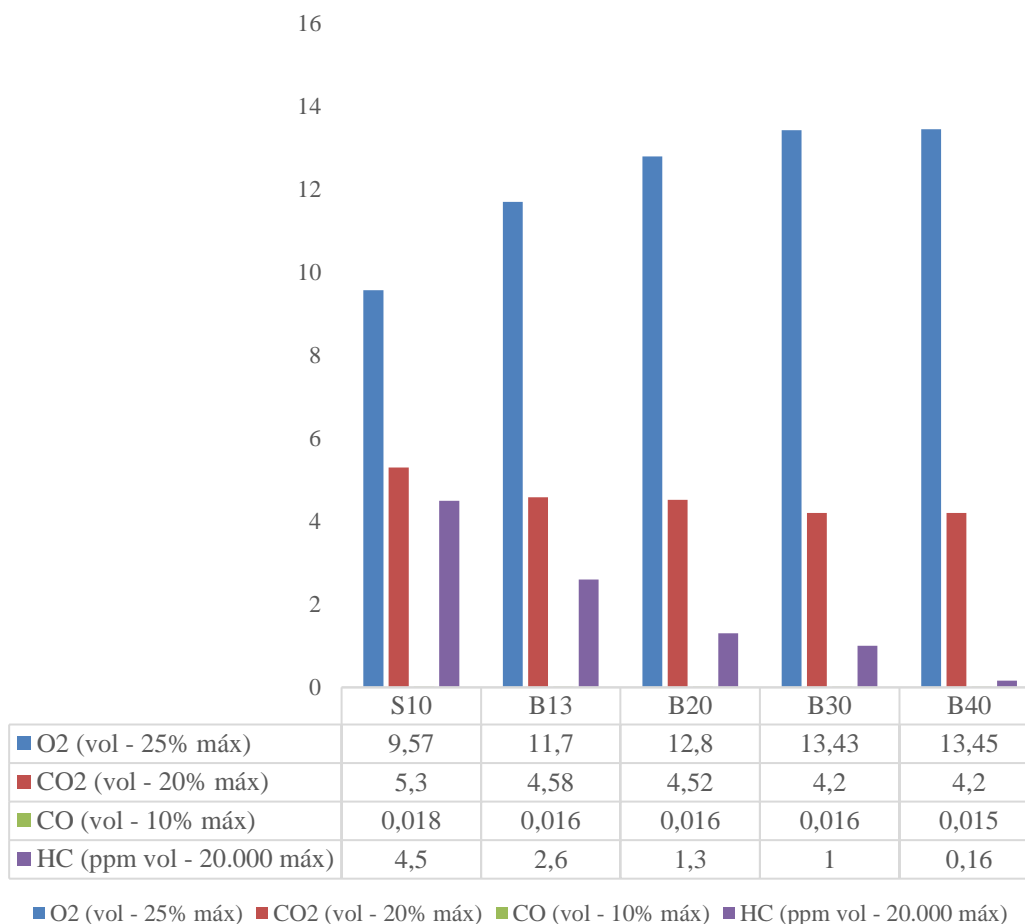
No tocante às emissões de monóxido de carbono, CO, nota-se que ao analisar os dados, de maneira quantitativa, não se percebe diferenças expressivas entre as amostras. Todavia, ao realizar a verificação do ponto de vista do percentual diminuído, é constatado que para as amostras de biodiesel B13, B20 e B30 foi equivalente à 11,1% de redução de CO e a amostra de B40 a 16,6%, quando comparadas com as emissões provenientes do diesel S10. Silva (2014) ressalta que as emissões de monóxido de carbono estão relacionadas de maneira indireta com a qualidade de queima do combustível na câmara de combustão. Ou seja, quanto maior for a ocorrência de emissões desse gás, maior é a indicação de queima incompleta do combustível durante o processo de combustão. Relacionando assim com os dados, percebe-se que à medida que a proporção de biodiesel foi elevada, houve o registro da diminuição da emissão desse poluente.

Ao tratar dos hidrocarbonetos emitidos, é evidente a redução em ppm/volume desse poluente. As amostras de biodiesel apresentaram uma diminuição, na seguinte ordem, de 71,2%, 77,8% e 96,5% nas

amostras de B20, B30 e B40 em relação às emissões registradas pelo combustível diesel S10. Representando, essas amostras, uma redução superior a 70% das emissões de HC quando comparadas com as emissões emitidas pelo diesel. Subbaiah (2010) explana que a redução da emissão desse poluente está relacionada devido ao fato da adição do biodiesel no diesel, em outras palavras, no aumento da proporção do teor da mistura biodiesel/diesel. O que conseqüentemente, originaria em um processo de combustão do biocombustível com menores quantidades de hidrocarbonetos emitidos, levando-se em consideração também o fato da composição do óleo renovável ser livre da presença de HCs. À medida que se eleva a proporção de mistura de biodiesel no diesel, a quantidade de hidrocarbonetos se reduz, conseqüentemente. Levando em conta que a ocorrência de HC na composição do óleo é pertencente aos combustíveis de origem fóssil.

Objetivando demonstrar de maneira mais visual as informações expressas na Tabela 1, o Gráfico 1 foi desenvolvido com a média dos registros obtidos durante o ensaio de emissões das amostras de biodiesel residual - B13, B20, B30 e B40 - além do combustível modelo, diesel S10. É possível visualizar a elevação da emissão de oxigênio à medida que a taxa de mistura de biodiesel/diesel é aumentada e a redução evidente dos demais poluentes atmosféricos.

Gráfico 1 – Análise visual da média dos gases emitidos através das amostras analisadas.
Graphic 1 – Visual analysis of the average of gases emitted through the analyzed samples.

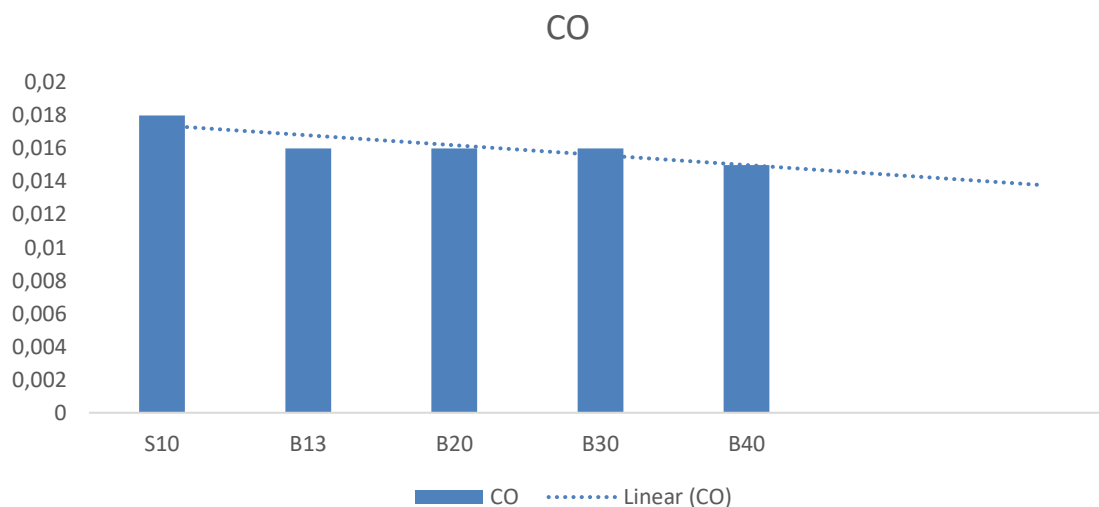


Fonte: Dados da pesquisa, 2022
Source: Survey data, 2022

Além disso, o Gráfico 1 mostra que o aumento da taxa de mistura de biodiesel/diesel resulta em emissões de O₂ elevadas, na mesma medida que os demais poluentes analisados são diminuídos. Representando um indicativo da eficiência da queima do combustível utilizado nos ensaios. Em estudo realizado por Kosłowski et al. (2014), os autores notaram que quanto maior as emissões de oxigênio registradas pela queima do combustível, melhor seria a qualidade do processo de combustão do óleo após a queima dele, indicando a formação de uma reação mais eficiente e completa. Subbaiah (2010) ainda incorpora que à proporção que se aumenta a quantidade de mistura biodiesel/diesel do biodiesel, é elevado o teor de oxigênio existente no combustível, tornando-o, dessa maneira, um combustível mais oxigenado, e possibilitando a queima mais completa do óleo.

Ao expandir as informações existentes no Gráfico 1 fazendo alusão aos dados registrados de monóxido de carbono, CO, expressa pelo Gráfico 2, é ostentado dados menores uma vez comparados com os demais poluentes observados. Contudo, é manifestada uma linha de tendência que exhibe a clara diminuição das emissões de monóxido de carbono à medida que a proporção de mistura de biodiesel/diesel é aumentada. No Gráfico 2, é notado que todas as amostras de biodiesel residual de *Brassica napus* ostentam valores inferiores ao diesel S10 comercial, confirmando o que Subbaiah (2010) já indicava em sua pesquisa.

Gráfico 2 – Análise visual da emissão de monóxido de carbono nas amostras de combustível em estudo.
Graphic 2 – Visual analysis of carbon monoxide emissions in the fuel samples under study.



Fonte: Dados da pesquisa, 2022
Source: Survey data, 2022

Contudo, ao observar o Gráfico 2 considerando o ponto de vista do percentual reduzido de emissões de CO, verifica-se que as amostras referentes ao biodiesel B13, B20 e B30 lograram redução desse poluente, representando 11,1% do que as emissões registradas pelo diesel S10. Apresentando a amostra de biodiesel B40 do maior percentual de redução de CO, registrando 16,7% a menos que o diesel S10.

Paulo (2019) também reafirma o que ficou visível no Gráfico 2 declarando que, de maneira geral, as pesquisas voltadas para a avaliação das emissões de monóxido de carbono observam há ocorrência de emissão reduzida nos dados registrados para o monóxido de carbono, quando o MCI ciclo diesel opera tanto com as misturas de biodiesel como também ao combustível diesel comercial. É importante salientar que, em aquiescência com o autor supracitado, a formação de monóxido de carbono durante o processo de combustão, indica que a mistura ar/combustível trata-se de uma mistura rica em combustível. Isso quer dizer que, quanto

maior a quantidade de combustível na mistura ar/combustível, dentro da câmara de combustão, maior será a emissão desse poluente na atmosfera.

4. Conclusão

Quanto à análise dos gases de emissões veiculados através do sistema de escapamento do motogerador, notou-se que à medida que à proporção que a taxa de mistura do biodiesel se eleva, ou seja, era aumentada, a emissão de O₂ tendia a crescer, em paralelo, os gases de potencial nocivo ao efeito estufa, como o CO₂, 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 biodegradável.

Foi possível evidenciar a possibilidade de utilização do biodiesel residual de *Brassica napus* em MCI ciclo diesel, uma vez que não há a necessidade de alteração ou adaptações no motor para o recebimento do biocombustível, além de contribuir, de maneira positiva, para a diminuição das emissões de gases conforme registrado na pesquisa. Dessa maneira, representando uma alternativa de baixo impacto ambiental uma vez comparado com o combustível diesel S10.

É cabível salientar que o presente estudo teve como finalidade a observação e comparação dos gases – hidrocarbonetos, dióxido de carbono, monóxido de carbono e oxigênio – emitidos durante o processo de combustão, uma vez utilizando combustível diesel S10 e biodiesel residual em motor combustão interna ciclo diesel. Para uma análise mecânica, visando os impactos da utilização do combustível biodiesel no MCI ciclo diesel é necessária a realização de ensaios e procedimentos de caráter destrutivo no motor. E que avaliações - que objetivam a observação mecânica e seus efeitos no MCI diesel submetido às misturas de combustível alternativo - estão sendo realizadas e posteriormente divulgadas.

5. Agradecimentos

Agradeço ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte pela disponibilização do Laboratório de Motores (LabMotor) e Laboratório de Petróleo e Gás (LabPeG) do *campus* Natal Central. Em especial, ao professor Marcelo de Souza Marques por ter sido fundamental para a realização dos ensaios e análises das amostras de combustível, contribuindo de maneira imensurável, no qual serei eternamente grata. Agradeço também à Universidade Federal do Rio Grande do Norte, em específico ao professor Cleiton Rubens Formiga Barbosa, do Laboratório de Energia, por proporcionar o equipamento necessário para a captura de dados referentes aos gases de emissão.

6. Referências

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

Araújo, L. M. (2019). **Análise do desempenho e emissões de um motor de ignição por compressão utilizando várias proporções de biodiesel**. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica. Centro de Tecnologia. Universidade Federal da Paraíba. Paraíba – PB.

Awang, M. (2022). *Effect of addition of plastic pyrolytic oil and waste cooking oil biodiesel in palm oil biodiesel-commercial diesel blends on diesel engine performance, emission, and lubricity*. **Energy & Environment** [0958-305X]. v. 33, n. 6, p. 1061-1089.

BOSCH. (2005). **Manual de Tecnologia Automotiva**. Tradução ad 25ª edição alemã. Blucker. São Paulo – SP.

Christoff, P. (2006). **Produção de Biodiesel a partir do óleo residual de fritura comercial – Estudo de caso: Guaratuba, litoral paranaense**. 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.

EUROPA. (2019). **Entenda o impacto no meio ambiente causado pelo vazamento de petróleo nos oceanos**. Disponível em: <<https://www.europa.com.br/blog/vazamento-petroleo-nos-oceanos>>. Acessado em: 16 de março de 2023.

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

Kempf, A., Steffens, C., van Zwieten, L., Schmidt, J., & Cornelissen, G. (2014). Impacto do biodiesel de resíduos de óleo sobre o desempenho do motor, as emissões e o desgaste do sistema de combustível em um veículo diesel ligeiro. *Fuel*, 116, 452-457.

Li, D-G.; Zhen, H.; Xing, Cai, L.; Wu-Gao, Z.; Jian-Guang, Y. (2014). *Physic-chemical Properties of etanol-diesel blend fuel and its effect to performance and emissions of diesel engines*. **Renewable Energy**, Issue 53, 27634-28175.

Lopes, D. M., Mantovani, G. L., Dantas, R. F., & Nogueira, L. A. (2016). *Effects of residual oil biodiesel blends on diesel engine characteristics*. *Fuel*, 181, 1026-1032.

Inoue, G. H.; Vieira, L. B.; Santos, G. L.; Resende, R. C.; Filho, A. F. L. (2009). **Nota técnica: avaliação do desgaste de um motor de ciclo diesel alimentado com misturas de óleo vegetal e diesel**. Revista Engenharia na Agricultura. Disponível em: <<https://periodicos.ufv.br/reveng/article/view/129>>. Acessado em: 20 de fevereiro de 2023.

Instituto de Energia e Meio Ambiente. (2020). **As emissões brasileiras de gases de efeito estufa nos setores de Energia e de Processos Industriais em 2019**. Disponível em: <[Koslowski, L. A. D.; Schroeder, T.; Jantsch, L. R.; Medeiros, S. H. W.; Vaz, C. \(2014\). **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 - RS.](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.</p></div><div data-bbox=)

Paulo, A. A. (2019). **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, RS.

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

Silva, F. J. (2014). **Motor de combustão interna dual operando com diesel, biodiesel e gás natural**: análises de desempenho e emissões. Centro de Ciências e Tecnologia. Doutorado em Engenharia de Processos. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, Paraíba – PB.

Silva, C. E. M.; Crispim, F. P.; Santos, P. C. B. V. (2021). Revisão institucional e dos gastos públicos no enfrentamento às mudanças climáticas no estado de Pernambuco (Brasil). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, Vol. 9, nº 2.

Subbaiah, G. V.; Gopal, K. R.; Hussain, S. A.; Prasad, B. D.; Redd, K. T. (2010). *Ricebranoil biodiesel as a additive in diesel-ethanol blends or diesel engines*. **International Journal of Research and Review Applied Science**, IJRRAS Vol. 3 (3).