

Análise da eficiência energética do biocombustível derivado da soja por meio do processo de combustão em motores térmicos

Walter da Silva Castro Filho ¹, Keyll Carlos Ribeiro Martins ²

¹ Departamento de Mecânica e Materiais, Campus Monte Castelo, Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Maranhão, Brasil. Email: walter.filho@acad.ifma.edu.br

² Departamento de Mecânica e Materiais, Campus Monte Castelo, Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Maranhão, Brasil. Email: kmartins@ifma.edu.br

Resumo

A presente pesquisa aborda a eficiência do biocombustível produzido da soja aplicado em motores diesel, bem como analisar suas vantagens em relação ao diesel comercial. A demanda por energia, limitação do petróleo e busca de matriz renovável justificam as novas tecnologias neste âmbito. Analisa-se a eficiência energética do motor em um dinamômetro hidráulico, permitindo o estudo da formação de emissões poluentes e estudo do comportamento dinâmico do motor. Os testes realizados foram feitos em velocidade variável para desempenho do motor e para emissões gasosas. Como resultados, obteve-se uma pequena queda de desempenho em potência e torque do motor, em comparação ao maior consumo do biocombustível e em relação às emissões poluentes houveram menores concentrações de: CO, CO₂, HC e NOx. Portanto, garante-se que o biocombustível derivado de soja seja uma excelente opção no processo de transição entre o uso de derivados de petróleo e a energia limpa.

Palavras-chave: eficiência energética, motor diesel, biocombustível, sustentabilidade.

Abstract

The present research studies the benefits of the biofuel produced by the application in diesel engines, as well as its analysis in relation to commercial diesel. The demand for energy, limited search and the renewable matrix justify new technologies in this field of petroleum. Analyze the energy efficiency of the engine using a hydraulic dynamometer, allowing the study of efficient fuel formation and the study of the behavior as a function of the engine. The tests performed were carried out at variable speed for engine performance and for gaseous ones. As there was a reduction in power and engine performance, compared to higher consumption, there was a reduction in consumption and in consumption reduction in consumption reduction: CO, CO₂ HC and NOx. Therefore, the soy biofuel product is guaranteed to be an excellent option in the transition process between the use of petroleum results and clean energy.

Keywords: energy efficiency, diesel engine, biofuel, sustainability.

1. Introdução

A utilização de óleos vegetais puros em motores de combustão interna de ignição por compressão remonta ao início do advento dos motores diesel, no final do século XIX, pelo engenheiro Rudolph Diesel que utilizou a biomassa do amendoim para demonstração de sua máquina. [1]

No entanto, devido melhor eficiência térmica, alterou-se a fonte principal para a matriz fóssil e até a crise do petróleo (década de 70) não havia interesse na utilização de outras fontes de combustível. A partir de então para diminuir a dependência do petróleo, houve a necessidade de se investir em pesquisas para o desenvolvimento de fontes alternativas de energia, já que o desenvolvimento econômico de um país está intimamente atrelado ao crescimento de demanda energética.

Nesta época, seguindo a mesma lógica do Pró-Álcool, começou a ser discutida pelo governo federal, sob a coordenação do Ministério da Agricultura, dando origem ao Pró-Óleo (Plano de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos). Desde então, diversos estudos foram realizados para aplicação de óleos vegetais in natura ou de misturas ao petrodiesel em motores de ignição por compressão [2]. Em 2017, o RenovaBio, instituída pela Lei nº 13.576/2017, teve como objetivo promover a expansão adequada da produção e uso de biocombustíveis na matriz energética brasileira, aumentar a eficiência energética do setor produtivo de biocombustíveis; e contribuir para a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) [3].

Devida escassez da fonte fóssil e oscilação nos valores do barril do petróleo, a pesquisa em energia renovável ganha destaque nos tempos atuais. O Brasil, por exemplo, em 2021 encontra-se na 16ª posição no ranking mundial de reservas provadas de petróleo, com um volume de 11,9 bilhões de barris, queda de 6,2% em relação ao ano anterior [3]. A última Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (COP26, Glasgow-UK, 2021) definiu metas para os países emitirem cada vez menos poluentes à atmosfera com finalidade de diminuição do efeito estufa e manter a elevação da temperatura da Terra abaixo dos 1,5 °C.

O Brasil então assumiu um compromisso na COP26 de mitigar 50% de suas emissões nocivas até 2030, e uma boa saída será a maior utilização de biodiesel na matriz energética, pois o biodiesel é miscível com o diesel em qualquer proporção. Esta propriedade levou o Brasil a misturar diesel/biodiesel desde 2008 com 2% de biodiesel obrigatório no diesel fóssil, chegando a 12% em 2020. Devido a isso, houve uma crescente produção desde biocombustível ao longo dos anos como mostra a Figura 1.

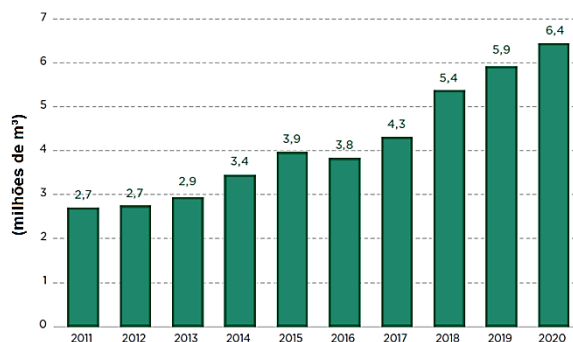


Figura 1. Evolução da Produção de Biodiesel. Fonte: ANP, 2021 [3].

A soja continua sendo a principal matéria-prima para a produção de biodiesel (B100), equivalente a 71,4% do total, como ilustrado na Figura 2 e o processo de transesterificação por metanol ainda é o principal método empregado, gerando dois produtos: o éster e a glicerina. O primeiro, passa por processos de purificação para adequação à especificação da qualidade, sendo destinado principalmente à aplicação em motores de ignição por compressão (ciclo diesel) [3].

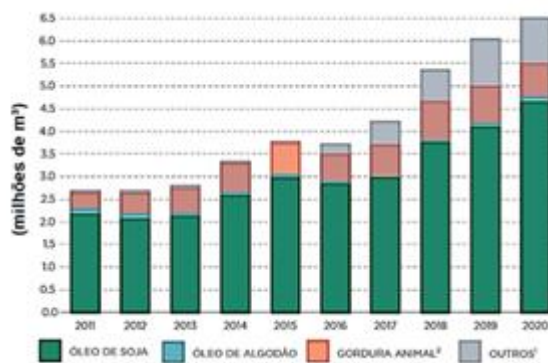


Figura 2. Materiais primas utilizadas na produção de Biodiesel. Fonte: Adaptado de ANP, 2021 [3].

Algumas vantagens do biodiesel em comparação com o diesel são sua acessibilidade, disponibilidade, renovabilidade e alta eficiência de combustão, alta biodegradabilidade, boa lubrificidade, redução das emissões de monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos totais (THC) e fumo em comparação ao diesel. As principais desvantagens do biodiesel são sua alta viscosidade, sua alta tendência de oxidação, menor emissão de óxidos de nitrogênio (NOx), menor conteúdo energético, menor velocidade e potência do motor e maior consumo específico volumétrico [4].

A maior parte da literatura publicada relata alguma diminuição na potência nominal, porém essa perda de energia é menor se a potência máxima não for exigida [4]. Os menores vazamentos de combustível no sistema de bombeamento de injeção, o avanço do processo de combustão e a maior lubrificidade do biodiesel têm sido apontados como contribuintes para a mencionada recuperação de energia.

Testes de motores são realizados em laboratório de ensaios para medir rotação, torque e potência, utilizando um dinamômetro, que consiste num instrumento de absorção de energia e que é capaz de aplicar uma carga controlada no motor que está sendo testado. Seu princípio de funcionamento constitui em aplicar uma força de atrito, no virabrequim do motor através do uso de um freio, buscando um equilíbrio dinâmico [5].

Desse modo, a pesquisa tem como objetivo analisar o desempenho de um motor diesel estacionário, utilizando biocombustível proveniente da soja como fonte de energia limpa e renovável, reduzindo suas emissões poluentes e mantendo o pleno funcionamento mecânico da máquina, aferindo o quão vantajoso é a utilização de energia originária de biomassa em relação à utilização de combustível de origem fóssil, ambos aplicados ao funcionamento do motor de combustão interna.

2. Métodos

2.1. Produção do Biodiesel

Dentre os diversos modos de produzir biodiesel já existentes, a metodologia adotada para produção deste trabalho foi de transesterificação metílica, realizado no Laboratório de Química do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Maranhão (IFMA).

Como materiais, utilizaram-se uma massa de 100 g de óleo de soja refinado comercial, 35ml de Metanol e 1,5 g de Hidróxido de Potássio. A princípio, o óleo foi secado em estufa por 2 horas a 100 °C. Concomitantemente foi-se obtido o Metóxido de Potássio, misturando o álcool metílico com o hidróxido de potássio sob agitação constante até a homogeneização completa. Em seguida, adicionou-se a mistura ao óleo de soja sob um agitador mecânico constante, misturando-os por 2 horas. Ao término da reação, a mistura foi transferida a um funil de decantação para separar as fases, em um repouso de 24 horas [6].

Constatou-se duas fases distintas - acima éster, menos densa e mais clara, e abaixo a glicerina, mais densa e escura – retirou-se então a glicerina e o biodiesel foi purificado pelo processo de lavagem, Figura 3 (a). Inicialmente neutralizado com solução aquosa de Ácido Clorídrico 0,5% v/v e em seguida lavado por três vezes com água destilada, ambos em 50% do volume de óleo. A cada adição de água, o biodiesel era descansado por 30 minutos para que houvesse separação da fase aquosa e orgânica. Ao fim do processo, o biodiesel com pH próximo a 7,0 foi levado para estufa por aproximadamente 4 horas a 100 °C para eliminação de água e álcool. Repetiu-se o procedimento até que houvesse 3 litros de biocombustível puro, como ilustrado em Figura 3 (b).

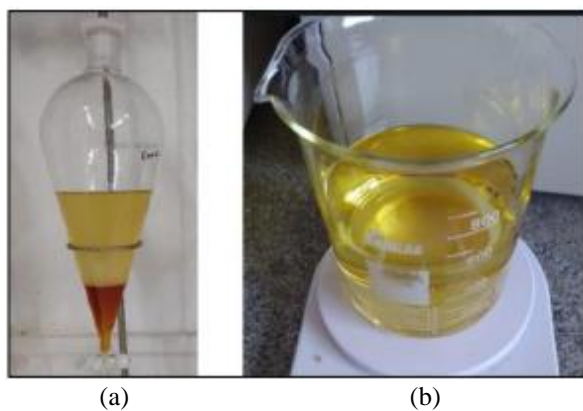


Figura 3. (a) Biodiesel após processo de transesterificação. (b) Biodiesel puro após processo de secagem. Fonte: Elaboração própria.

Para comprovar a obtenção de biodiesel, realizou-se testes de Cromatografia em Camada Delgada (CCD) utilizando uma placa de alumínio de 6 cm como fase estacionária e como eluente uma mistura de hexano, acetato de etila e ácido acético na proporção de 90:10:0,5 ml. Ao aplicar um capilar de óleo e um de biodiesel a 1 cm da extremidade inferior da placa, a CCD é introduzida em uma cuba de vidro, recoberta, contendo o eluente. Este por sua vez ascenderá até 1 cm da extremidade superior, arrastando os compostos menos dissolvidos da fase estacionária. Após secar a placa, utilizou-se como revelador uma Câmara Ultravioleta com emissão de luz a 254 nm.

Ainda assim, realizou-se uma Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR), as análises de FTIR foram realizadas em um espectrofotômetro marca SHIMADZU, modelo IRAffinity-1, utilizando o amostrador de fletância total atenuada (ATR) com cristal a base de ZnSe, numa faixa espectral de 340 a 4700 cm⁻¹ com resolução 2.0 e média de 45 varreduras por espectro.

As miscigenações foram realizadas em temperatura ambiente, agitadas mecanicamente por 20 minutos, pois existe miscibilidade completa entre diesel-biodiesel. As misturas foram constituídas por óleo diesel S10 (denominado como B12 pois possui em sua composição 12% de biodiesel) encontrado comumente nos postos de abastecimento e o biodiesel B100 da soja, produzido no IFMA, resultando no combustível B50 da Figura 4 – 50% de biodiesel e 50% de diesel mineral em proporção volumétrica. A tabela 1 descreve o teor percentual volumétrico de cada combustível.

Tabela 1. Concentração volumétrica dos combustíveis

Combustível	% de biodiesel	% de diesel mineral
B12	12	88
B50	50	50
B100	100	0

Fonte: Elaboração própria.

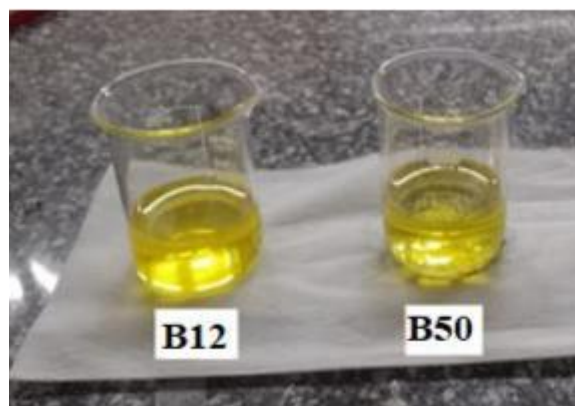


Figura 4. Biodiesel B50, 50% proveniente de biomassa e 50% de origem fóssil. Fonte: Elaboração própria.

2.2. Bancada Dinamométrica

O motor térmico utilizado para ensaios foi de ciclo diesel alternativo de combustão interna não veicular, aspirado naturalmente, sem um catalisador de oxidação e nem filtro de particulados para o tratamento de emissões poluentes, desacoplado de um conjunto motor-gerador, de especificações da Tabela 2.

Tabela 2. Características do Motor

MODELO	BTD22
TIPO	Diesel vertical de 4 tempos
Cilindros	2 (dois)
Sistema de Combustão	Direta
Ordem de Explosão	1-2-1
Sentido de Rotação	Anti-horário
Lubrificação	Forçada por bomba trocoide
Refrigeração	Radiador
Motor de Partida	12 V – 2,0 kW
Alternador	14 V – 35 A
Bateria	12 V – 65 A.h.
Comprimento (mm)	69
Largura (mm)	725
Altura (mm)	970
Peso (kg)	235
Potência Efetiva Continua	NBR-6396

Fonte: YENMAR [8].

Como dispositivo de medição, foi utilizado o dinamômetro hidráulico Dynotech 280i, com características da Tabela 3.

Tabela 3. Características do Dinamômetro

Chassis Completo
Painel de controle com Alavanca do Acelerador, Válvula hidráulica e Chave elétrica
Interface completa para sensores
Estação Barométrica
Célula de Carga
Sensor de rotação
Software personalizado da Dynotech
Cursor de precisão

Fonte: DYNOTECH [7].

A bancada dinamométrica foi montada no Laboratório de Testes de Motores no Departamento de Mecânica e Materiais do IFMA, Figura 5, incluindo o motor, dinamômetro, central de controle, bombas de sucção e recalque, caixa d'água e medidor de consumo de combustível, Figura 6.

No motor foram realizadas manutenção preventiva e corretiva antes da realização de ensaios: Ajustou-se as válvulas, bicos injetores, filtros, sistema de arrefecimento e sistema elétrico a fim de torna-los aptos aos testes. Acoplou-se então ao dinamômetro, Figura 6.

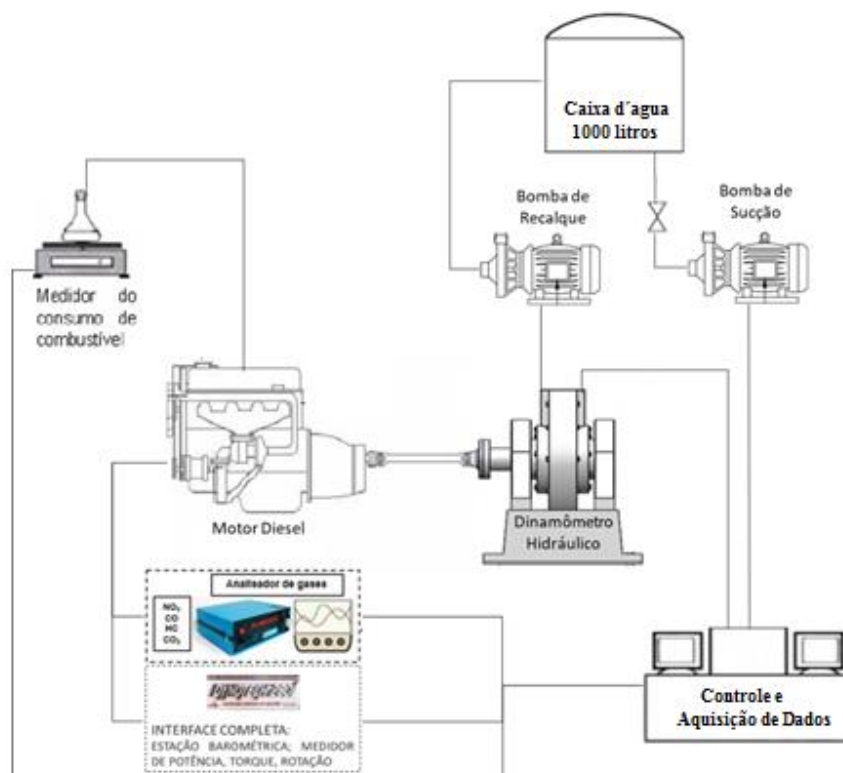


Figura 5. Diagrama esquemático da bancada de testes. Fonte: Elaboração própria



Figura 6. Motor diesel acoplado a bancada dinamométrica. Fonte: Elaboração própria

Com dados de potência, torque e rotação gerados pelo software, o consumo de combustível foi analisado na medição mássica de uma balança com capacidade de 25 kg e precisão de 1 grama, medindo um recipiente com capacidade de 1 litro de óleo onde alocava-se o combustível, este dispositivo é ilustrado em Figura 7.



Figura 7. Reservatório de combustível para medição de consumo. Fonte: Elaboração própria.

Para análise de emissões poluente, utilizou-se o PCMULTIGÁS NAPRO, um analisador infravermelho de alta tecnologia para monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrocarbonetos (HC), oxigênio (O₂), óxidos de nitrogênio (NO_x). Baseado no método de medição de infravermelho não dispersivo, que atende as normas vigente ISO 3930 e ASM/BAR 97, onde a transferência de dados para o computador se dá através da interface USB. Dados técnicos do equipamento são descritos na Tabela 4:

Tabela 4. Características do Analisador de Gases

Alimentação	12 V DC ou 110/220 V AC – 60 Hz
Medição CO	0 – 15%
Medição CO ₂	0 – 20%
Medição HC	0 – 20.000 ppm
Medição O ₂	0 – 25%
Medição NO ₂	0 – 5.000 ppm
Lambda	0 – 9,99
AFR	0 – 99,99
Interface serial	RS 232C
Eliminador de água condensada	NAPRO, 2014

Fonte: NAPRO [9].

2.3. Testes

Os testes foram realizados em tréplica para cada combustível ensaiado, com o motor quente, operando por 5 minutos para estabilização e limpeza de qualquer resíduo de combustível anterior restante no sistema de alimentação. Os ensaios foram realizados no mesmo período e turno de dias, a fim de se obter as mesmas temperaturas ambientes e umidades relativa do ar, sendo as condições ambientais monitoradas por um termômetro e um barômetro da estação de monitoramento do sistema dinamométrico.

As tréplicas foram feitas de forma sequencial, para um mesmo combustível, objetivando assim monitorar em condições idênticas de operação. Os resultados foram coletados por um período de 15 minutos. O fluxograma é ilustrado na Figura 8.

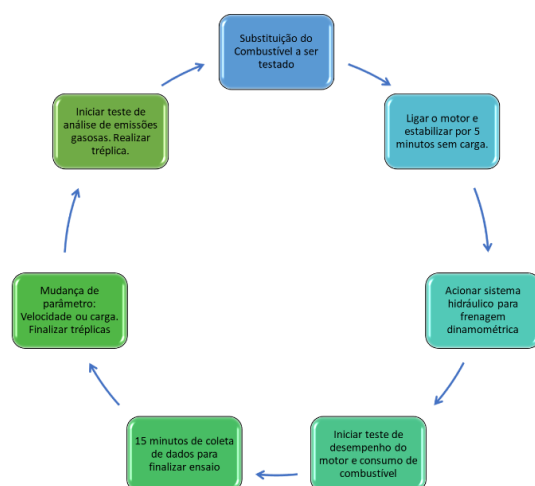


Figura 8. Fluxograma de Testes. Fonte: Elaboração própria.

2.3.1. Desempenho do Motor

Para realização dos ensaios do motor foi adotada a metodologia estabelecida pela norma NBR ISO 1585 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Essa norma fornece os parâmetros para ensaios dinamométricos em motores ciclo Otto e Diesel, definindo potência (kW) e torque (Nm).

Os dados de desempenho do motor foram obtidos sob condições de carga máxima para diferentes valores de velocidade 1250 a 2350, com a variação de ± 50 rpm e o torque de $\pm 2\%$. A alavanca de freio dinamométrico é acionada com carga de 50% de abertura (posição fixa) para obter valores de potência e torque a diferentes valores de velocidade de giro do virabrequim.

Cada resultado foi calculado como o valor médio de três ensaios experimentais, considerando a incerteza e um nível de confiança de 95%, determinado de acordo com “guide to the expression of uncertainty in measurement”. O tempo de avaliação, em cada rotação era de, aproximadamente, 1 minuto de coleta de dados estáveis.

No início do teste, aferiu-se valores mássicos do combustível através da balança e verificou-se o consumo de óleo ao fim do teste, aferindo então a vazão mássica e assim Consumo Horário de Combustível. A partir de então, aplicou-se a Equação (1) do Consumo Específico de Combustível (CEC):

$$CEC = \frac{\dot{m}}{w} \quad (1)$$

Onde:

CEC: Consumo específico de combustível [g/kwh]

\dot{m} : Vazão mássica de combustível [g/h]

w: Potência do motor a dada rotação [kw]

2.3.2. Emissões Gasosas

No Brasil a norma que regulamenta a análise dos gases de exaustão é a ABNT NBR 15634 - Análise e determinação do gás de exaustão segundo os ciclos ETC, ESC e ELR. Para efetuar a medição dos gases o motor foi estabilizado nas rotações dentro da faixa de estudadas e utilizou-se o equipamento PC-MULTIGÁS para analisar os gases através do método infravermelho de alta tecnologia para CO, CO₂, HC, O₂, NO_x, Lambda e AFR.

A sonda de amostragem do equipamento foi colocada ao ar livre e através do software do equipamento iniciou-se o processo de medição, feito o procedimento de zeragem, o qual consiste em ter o ar ambiente como referência para as medições. Em seguida a sonda de amostragem foi inserida no escapamento da exaustão do motor após está em regime de operação e iniciada a medição. Ao término de cada etapa, realizou-se a drenagem completa do sistema de alimentação, evitando, com isso, a contaminação do ensaio seguinte.

Devido a medição do equipamento ser feita instantaneamente, foram feitas 4 medições dos gases a cada 15 segundos, e depois feita as médias dos valores para CO, CO₂, O₂, HC E NO_x obtidos na queima dos biocombustíveis. Calculou-se as emissões específicas para realizar a comparação com os limites estabelecidos por normas.

3. Resultados

Constatou-se a produção de biodiesel puro através da técnica CCD, ao revelar diferentes deslocamentos, em razão de suas composições iniciais, para os óleos e seu produto da reação de transesterificação do óleo de soja, caracterizando a formação dos biodieseis [10]. A Figura 9 revela deslocamentos em emissão ultravioleta a 254nm.

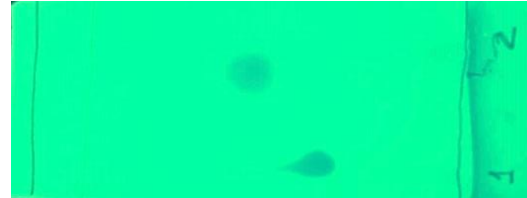


Figura 9. Deslocamento CCD de óleo de soja (1) e biodiesel (2). Fonte: Elaboração própria.

Nos espectros da Figura 10 verifica-se a presença das absorções diversas do biodiesel. Cada absorção caracteriza deformação axial originada da ligação de componentes diferentes, os mais comuns na literatura são absorções entre 2930 - 2856 cm⁻¹ originadas da deformação axial da ligação H-C (saturado); absorções fortes referentes à deformação axial da carbonila (C=O) dos ésteres em 1744 cm⁻¹. A deformação angular do grupo CH₂ em 1460 cm⁻¹, deformação angular de C-C(=O)-O em 1220 cm⁻¹, absorção média axial de C-O em 1170 cm⁻¹ referente ao grupo funcional dos ésteres e absorções próximas a 720 cm⁻¹ atribuída às deformações fora do plano dos grupos metileno (-CH₂-)n.

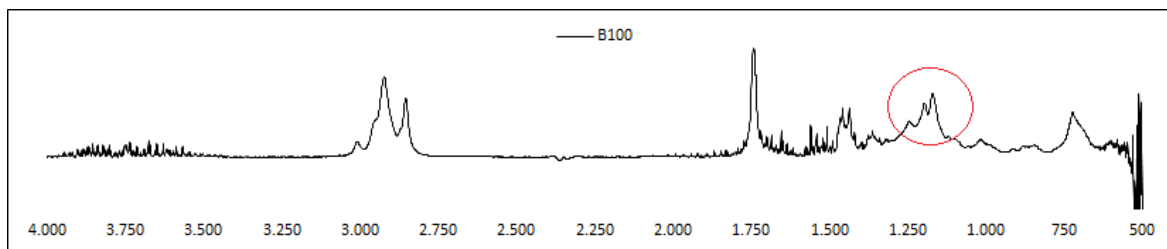


Figura 10. Ponto de diferenciação entre óleo de soja e biodiesel no espectro FTIR Fonte: Elaboração própria.

A maior influência resultante da transesterificação é verificada no sinal característico da vibração de deformação do grupo éster metílico. A próxima transformação visível é na área do sinal de controle do éster próximo a 1200 cm^{-1} . O sinal forte em 1164 cm^{-1} , presente em óleo, separa-se em dois sinais em 1165 cm^{-1} e 1265 cm^{-1} [10].

As curvas de potência para cada combustível são demonstradas na Figura 11. Verifica-se que há uma tendência de crescimento para ambos combustíveis conforme aumento de rotação e em todas elas a potência para o B50 foi menor em relação ao B12, devido menor conteúdo energético. O valor mínimo encontrado é de $5,65\text{ kW}$ e máximo de $15,61\text{ kW}$ para o B50, além de mínimo e máximo $6,03\text{ kgm}$ e $16,15\text{ kW}$, respectivamente, para o B12.

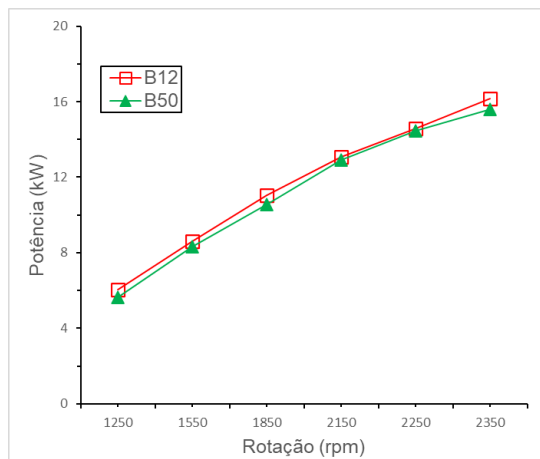


Figura 11. Potência x Rotação. Fonte: Elaboração própria.

Constata-se que em todas as rotações, a potência encontrada para o B50 foi menor em relação ao B12. De fato, o poder calorífico inferior dos biocombustíveis tende a ser menor que os de origem fóssil, gerando uma menor energia química fornecida ao motor [4]. Acrescenta-se que a tensão superficial e a viscosidade implicam em uma atomização inapropriada para o biodiesel e consequentemente uma pior queima dentro dos cilindros [11].

De acordo com a Figura 12, percebe-se uma tendência de crescimento do torque para ambos combustíveis durante crescimento de rotação. O valor mínimo encontrado para o B50 foi de $42,13\text{ Nm}$ e máximo de $61,73\text{ Nm}$, já para o B12 foi de $43,62\text{ Nm}$ mínimo e $63,12\text{ Nm}$ máximo.

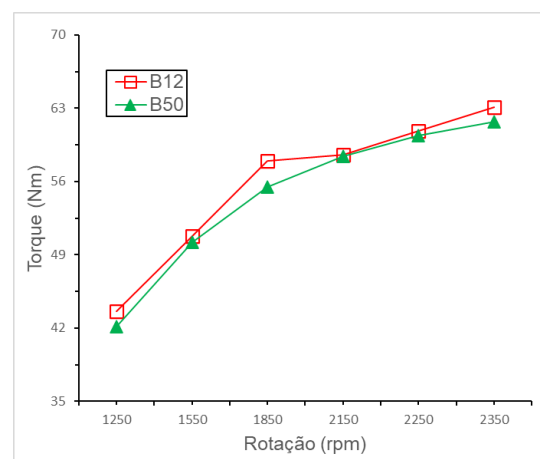


Figura 12. Torque x Rotação. Fonte: Elaboração própria.

Nota-se que em todas as rotações que o torque para o B50 foi menor em relação ao B12. Do mesmo modo que a potência, o poder calorífico inferior dos biocombustíveis tende a ser menor que os de origem fóssil, produzindo uma menor energia química, a qual é fornecida ao motor [13]. O número de cetano e viscosidade também se destaca para tal comportamento, afirmando que estes fatores modificam o atraso de ignição e formação do jato produzindo efeito no torque [12]

Os pontos de consumo específico de combustível estão na Figura 13. Observa-se que há uma tendência de decréscimo até 1850 rpm e um leve aumento a partir de então. Os valores máximos são encontrados na menor rotação, 1250 rpm , sendo $254,78\text{ g/kwh}$ para B50 e $219,02\text{ g/kwh}$ para o B12, o que induz a uma mistura rica em baixa rotação [1], já com aumento de rotação o motor começa a estabilizar seu funcionamento, atingindo seu consumo mínimo em 1850 rpm nos valores de $79,59\text{ g/kwh}$ e $65,15\text{ g/kwh}$ para B50 e B12, respectivamente.

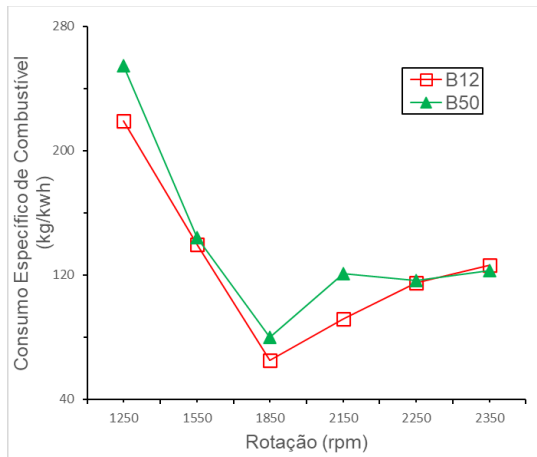


Figura 13. Consumo Específico de Combustível x Rotação.
Fonte: Elaboração própria.

Em praticamente todas as rotações percebe-se que o CEC para o B50 foi maior em relação ao B12. Devido poder calorífico inferior dos biocombustíveis serem menor que os de origem fóssil necessita-se de maior injeção de combustível para o motor alcançar tais rotações, como afirma [14]. As diferenças de viscosidade e massa específica também são fatores que afetam o consumo específico de combustível, pois necessita de um maior fluxo de alimentação [4].

Na Figura 14, mostra-se as emissões de monóxido de carbono para os combustíveis. Os valores máximos são encontrados na menor rotação, 1250 rpm, por ter maior demanda de combustível, sendo 0,32% para os dois combustíveis, já as mínimas emissões formam-se nas maiores rotações, em 2350 rpm, obtendo valores de 0,17% para o B50 e 0,19% para B12.

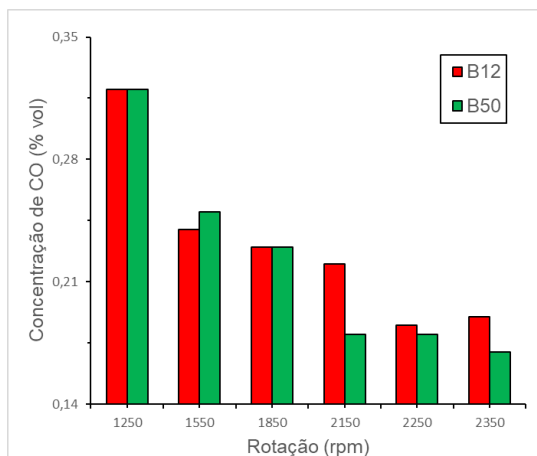


Figura 14. Emissão de Monóxido de Carbono x Rotação.
Fonte: Elaboração própria.

Em relação ao CO, o biocombustível B50 apresenta comportamento e valores semelhantes ao B12 até 1850 rpm, até que a partir deste ponto tem uma menor emissão. Em baixas rotações a temperatura baixa e velocidade de propagação da queima provoca uma combustão incompleta e aumento de CO [14]. O fato de conter maior teor de oxigênio no biocombustível aumenta probabilidade de oxidação do monóxido de carbono para que se torne um dióxido de carbono [4]. Unindo a esta justificativa, o aumento de temperatura em altas rotações favorece a produção de CO₂ em detrimento de CO [15].

A Figura 15, ilustra as emissões de dióxido de carbono para o B50 e o B12. O valor mínimo de 3,2% encontra-se em menor rotação, já o máximo de 4,5% é aferido em maior rotação. Em todas as rotações os valores são semelhantes, com exceção há 2250 rpm diferenciando em 0,1% o que pode ser considerado mesmo valor.

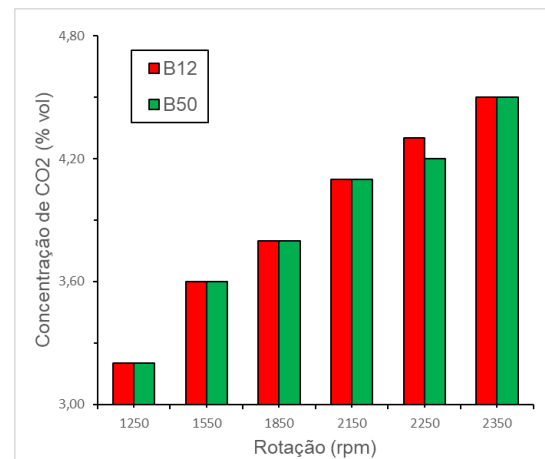


Figura 15. Emissão de Dióxido de Carbono x Rotação.
Fonte: Elaboração própria.

Por se tratar de um produto direto da reação química de oxidação dos hidrocarbonetos do combustível, durante o processo de combustão, a emissão de CO₂ aumenta junto com a rotação à medida que resulta numa melhor queima de combustível. Este gás, ainda, corresponde a um produto do processo de oxidação do próprio CO, que em alta temperatura torna-se CO₂, portanto possui duas fontes de geração, elevando sua quantidade percentual de emissões. O oxigênio em maior quantidade no B50, faz com que oxide mais CO para produzir CO₂, como resultado, ambos os combustíveis possuem mesmo nível de emissão percentual.

A Figura 16 refere-se aos valores para emissão dos hidrocarbonetos para ambos os combustíveis. Os valores de THC obtidos em menor rotação são 171 ppm para o B12 e 156 ppm para o B50. Já os valores em máximas rotações, encontra-se em 130 ppm para o B12 e 93 ppm para o B50.

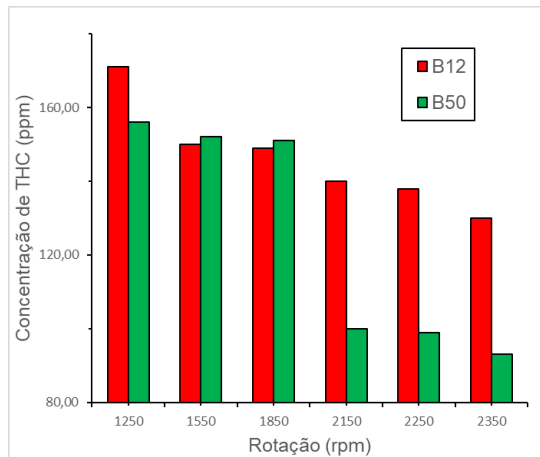


Figura 16. Emissão de Hidrocarbonetos x Rotação. Fonte: Elaboração própria.

Afere-se que, em relação ao THC, no início há uma diferença de 16 ppm entre os combustíveis, no entanto, quando eleva-se a rotação esta diferença se torna mínima. De fato, devido B50 possuir mais oxigênio em sua composição química, e em temperaturas maiores a altas rotações, os hidrocarbonetos do biocombustível são mais facilmente oxidados durante a queima, formando produtos como água e dióxido de carbono [14].

Analisando a Figura 17, nota-se em baixa rotação tem-se os valores de NOx em 450 ppm e 399 ppm, respectivamente para B12 e B50, já em maiores rotações encontram-se os menores valores de NOx, sendo 396 ppm para o B12 e 378 ppm para o B50.

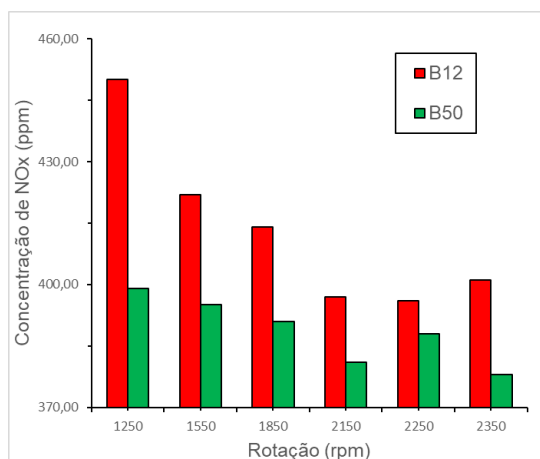


Figura 17. Emissão de Óxidos de Nitrogênio x Rotação. Fonte: Elaboração própria.

O fato do B50 possuir sempre menor emissão de NOx deve-se a maior quantidade de oxigênio circulado para ele em relação ao B12, diminuindo a temperatura da câmara e influenciando na formação de óxidos de nitrogênio [4].

4. Conclusões

Observa-se que a utilização de biocombustível renovável na tentativa de diminuir a dependência de combustíveis fósseis se torna eficaz, à medida que decai minimamente o desempenho do motor mantendo ainda sim um bom funcionamento, sem que haja modificações na máquina térmica.

Além disto, a utilização do biodiesel proveniente da soja apresentou um menor nível de as emissões poluentes à atmosfera, sendo considerado uma ótima saída para combate ao efeito estufa.

5. Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. E também pelo projeto Infra/2015 e Universal/2018 da Fundação de Amparo a Pesquisa do Maranhão (FAPEMA)

Agradece-se ainda ao fomento à pesquisa do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão por meio do Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica e a Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação.

6. Referencias

- [1] HEYWOOD, J. Internal combustion engine fundamentals: Applied Thermo sciences New York, John Wiley, 2ed, 2018.
- [2] GONZALEZ, Wilma A. et al. “Biodiesel e Óleo Vegetal in Natura - Soluções Energéticas para a Amazônia” Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2008. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br>
- [3] ANP Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (Brasil). “Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis: 2021”. ISSN 1983-5884 Rio de Janeiro: ANP, 2008. Disponível em: <https://www.gov.br/anp> e <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-deconteudo/publicacoes>
- [4] CARDOSO, Bárbara. “Análise das emissões, desempenho e estudo paramétrico da combustão em um motor automotivo do ciclo Diesel usando biocombustíveis derivados da cana de açúcar”. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) – Universidade de São João Del rei. São João Del Rei, 2018.

- [5] GOUVEIA, Filipe. “Análise da injeção de gás natural veicular em motores de ignição por compressão com uso de biodiesel em diferentes proporções”. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2016.
- [6] GUIZI, Mirela. “Determinação de CU e Fe em Biodiesel por espectrometria de Absorção Atômica com Atomização Elettrtrémica e Estudo do Efeito Catalítico destes metais sobre a Estabilidade Oxidativa do Biodiesel”. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Maranhão. São Luís, 2011.
- [7] DYNOTECH Tecnologia Avançada de Medições. “Dynotech 280i”, 2018. Disponível em: <https://www.dynotechpower.com/produtos/dynotech280i>
- [8] YENMAR. “Manual técnico de operação motores BTD”, 2011.
- [9] NAPRO Eletrônica Industrial. “Napros Analisadores”, 2022 Disponível em: <http://www.napro.com.br/analisadores.html>
- [10] RANGEL, Hilton et al. “Avaliação da estabilidade oxidativa de amostras de biodiesel derivadas dos óleos de buriti, babaçu e pequi por espectroscopia UV-VIS”. Acta Tecnológica v.14, nº 1, pp. 11-25, 2019. Disponível em: <https://portal.ifma.edu.br/>
- [11] MONTEIRO, Leandro. “Análise Comparativa da energia vibracional em motor diesel utilizando diesel e biodiesel” Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) – Universidade de São João Del rei. São João Del Rei, 2013.
- [12] BRUNELLI, Rafael. “Estudo de viabilidade operacional e desempenho de motores de combustão interna operando com combustível biodiesel em relação ao combustível diesel automotivo” Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- [13] GOMES, Saulo. “Análise teórica e experimental de um motor Diesel utilizando diesel de cana-de-açúcar farnesano e biodiesel de cana-de-açúcar LS9, segundo norma ABNT NBR 15634”. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) – Universidade Federal de São João Del Rei. São João Del Rei, 2019.
- [14] ANTUNES, Anderson. “Análise das Emissões de Gases e Consumo Específico de um Grupo MotorGerador Abastecido Com Misturas Diesel, Biodiesel e Etanol.” Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais), Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.
- [15] CARVALHO, André. “Desempenho e emissões de gases de um mci-diesel utilizando óleo diesel e mistura de biocombustível”. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) – Universidade de São João Del rei. São João Del Rei, 2014.
- [16] World Health Organization. “WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide”. World Health Organization, 2021. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>.
- [17] Intergovernmental Panel on Climate Change. “Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability”. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>