



## **AVALIAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO<sub>2</sub>, CO E NO<sub>x</sub> DE MISTURAS DIESEL COM DIFERENTES TEORES DE BODIESEL DE OGR**

<sup>1</sup> Keize Katiane dos Santos Amparo (SENAI CIMATEC) – keize.amparo@hotmail.com; <sup>2</sup> Arx Reis Bastos (SENAI CIMATEC) – arxreis@gmail.com; <sup>3</sup> Egidio Teixeira de Almeida Guerreiro (SENAI CIMATEC) – egidio.guerreiro@fiab.org.br; <sup>4</sup> Alex Nogueira Brasil – brasil@bchem.com.br; <sup>5</sup> Eliete Costa Alves (SENAI CIMATEC) – eliete.alves@fiab.org.br; <sup>6</sup> Maurício Lerina Bonifati - mauricio.bonifati@fiab.org.br; <sup>7</sup> Caio Henrique Alves Maciel - caio.maciel.cm1@nexaresources.com; <sup>8</sup> Rodrigo Alberto Moreira Gomes - rodrigo.gomes@nexaresources.com; <sup>9</sup> Lilian Lefol Nani Guarieiro (SENAI CIMATEC) - lilian.guarieiro@fiab.org.br.

**Resumo:** O presente trabalho teve como objetivo avaliar as emissões de um motor ciclo Diesel, utilizando misturas diesel com cinco diferentes teores de Biodiesel de óleo e gordura residual (08, 20, 30, 40 e 50%). Os ensaios foram realizados com Dinamômetro de bancada na rotação de 1500 rpm, a plena carga, para avaliar emissões de compostos regulamentados (CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>). Os resultados obtidos com o teste apresentaram aumento da emissão de CO<sub>2</sub>, diminuição da emissão de CO e aumento da emissão de NO<sub>x</sub> comparado com o combustível base (B8). As variações no resultado das emissões foram significativas, porém, dentro do esperado quando proposto misturas com altos teores de biodiesel.

**Palavras-Chaves:** Diesel; Biodiesel; Emissões.

## **EVALUATION OF CO<sub>2</sub>, CO AND NO<sub>x</sub> EMISSIONS OF DIESEL MIXTURES WITH DIFFERENT OGR BODIESEL CONTENT**

**Abstract:** The present paper had the objective of evaluating the emissions of a diesel cycle engine using diesel mixtures with five different levels of oil biodiesel and residual fat (08, 20, 30, 40 and 50%). The tests were performed with a rotating bench dynamometer at 1500 rpm, at full load, to evaluate emissions of regulated compounds (CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>). The results obtained with the test showed an increase of CO<sub>2</sub> emission, decrease of CO emission and increase of NO<sub>x</sub> emission compared to base fuel (B08). The variations in the emission result were significant, however, within the expected when proposed mixtures with high levels of biodiesel.

**Keywords:** Diesel; Biodiesel; Emissions.



## 1. INTRODUÇÃO

Pesquisas desenvolvidas sobre o biodiesel como solução alternativa aos combustíveis derivados de petróleo vem aumentando com o passar dos anos. Sua prática iniciou na década de 70 com o objetivo de diminuir a poluição ambiental. Diferente do combustível fóssil, o biodiesel possui origem renovável podendo ser obtido por diversas fontes como óleos vegetais (soja, palma, etc), gorduras animais, algas, óleos e gorduras residuais (OGR), entre outras [1].

A escolha da matéria prima depende da sua disponibilidade e o que ela representa para a economia de cada país [2]. Estima-se que 70 a 95% do custo de produção do biodiesel resultem de suas matérias-primas [3]. O biodiesel possui características semelhantes ao Diesel: propriedades biodegradáveis; potencial de impulsionar desenvolvimento rural; assim como a possibilidade de utilizar OGR e contribuir para o desenvolvimento urbano em países emergentes [4]. A Associação Brasileira para Sensibilização, Coleta e Reciclagem de Resíduos de Óleo Comestível, afirma que o país descarta 200 milhões de litros de óleo de cozinha na natureza por mês [5].

A utilização de resíduos de óleo de soja e gordura vegetal oriundos de frituras como matéria-prima para o biodiesel tem sido estudada e sua viabilidade técnica comprovada [6-8], porém ainda são poucos os estudos que tratam do tema. Além da redução da poluição ambiental, há o aspecto social, sobretudo considerando a possibilidade de desenvolvimento sustentável e regional, especialmente na geração de emprego e renda, contribuindo assim para minimizar os impactos ambientais [9].

Diversos pesquisadores vêm estudando o efeito do uso de biodiesel em diversas proporções em mistura com o Diesel em motores de ciclo Diesel, utilizando bancos de dinamômetros. Basicamente, os testes em dinamômetros de bancada são realizados em regime estacionário, com o motor fora do veículo. Testes com este tipo de dinamômetro possuem a vantagem de obter um bom controle das variáveis e, conseqüentemente, uma boa repetibilidade dos testes [10].

Ghazali [2] em sua revisão sobre o uso de biodiesel de diferentes matérias primas no desempenho e emissões concluiu que, embora as propriedades do biodiesel sejam semelhantes ao Diesel, elas são influenciadas pela natureza das matérias primas. Sakthivel [11] estudou as propriedades, desempenho e emissões com uso de biodiesel de terceira geração constatando que o biodiesel puro e misturas reduziram as emissões de CO e fumaça, enquanto aumentavam as de CO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>. Attia [12] analisou o uso do Diesel com OGR no desempenho de um motor Diesel verificando que, para manter a operação do motor em uma mesma condição específica, a massa do combustível injetado é alterada para compensar a mudança no conteúdo energético em relação aos combustíveis puros.

Neste contexto, os estudos mostraram que diferentes fontes de matéria prima de biodiesel, o teor do mesmo na mistura e as condições de operação escolhidas fornecem resultados diferentes para desempenho e emissões. Diante disso, o presente artigo teve como objetivo avaliar as emissões de compostos regulamentados emitidos no processo de combustão de um motor Diesel com uso de misturas diesel/ biodiesel de OGR.

## 2. METODOLOGIA



O preparo para cada mistura combustível teve como combustível base o diesel vendido comercialmente nos meses de fevereiro/março de 2018 (Diesel com 08% de biodiesel – B08). Para a realização das amostras, foi acrescentado teores de biodiesel para que fosse obtida as amostras com 20, 30, 40 e 50%. Foi empregado um aditivo na mistura na proporção de 1 para 1000 litros de combustível. As características físico-químicas dos combustíveis utilizados no preparo das misturas, bem como das misturas preparadas, estão descritas na Tabela 1. O biodiesel puro utilizado foi produzido de óleo e gordura residual e fornecido pela empresa BChem Biocombustíveis. Em todas as misturas foi adicionado um aditivo de estabilidade (TECCON) na concentração de 0,001%. Na literatura podem ser encontrados diferentes tipos de aditivos que são utilizados para melhorar as propriedades físico-químicas do diesel e misturas diesel e biodiesel, bem como melhorar consumo específico e reduzir as emissões [13-16]. Estes aditivos podem ser obtidos a partir de compostos orgânicos e inorgânicos, e pode ser modificado com metais.

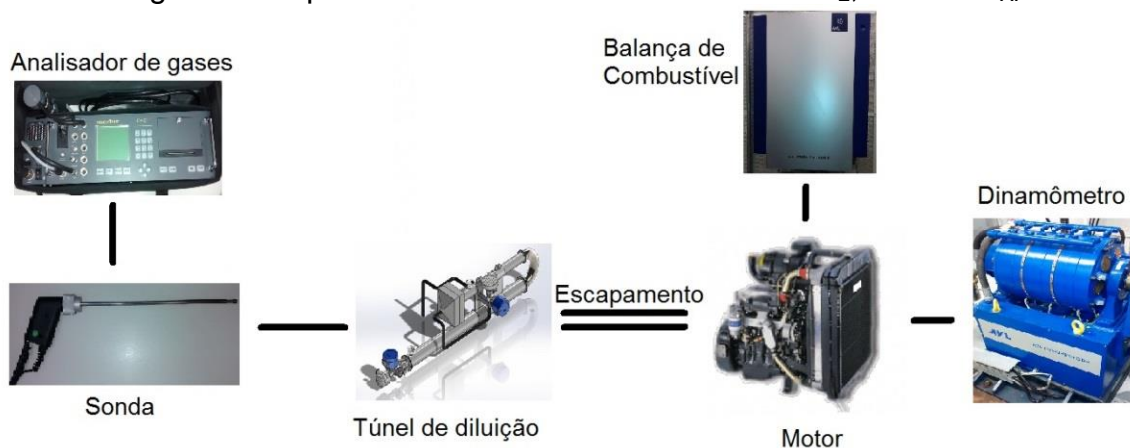
Tabela 1. Características físico-químicas das misturas combustíveis.

Características	Limite norma	B100	B08	B20	B30	B40	B50
Densidade (kg/m <sup>3</sup> , a 20°C)	850 a 900 <sup>(1)</sup> / 815 a 850 <sup>(2)</sup>	882,3 <sup>(1)</sup>	835,3 <sup>(2)</sup>	842 <sup>(2)</sup>	842 <sup>(2)</sup>	842 <sup>(2)</sup>	842 <sup>(2)</sup>
Viscosidade (mm <sup>2</sup> /s, a 40°C)	2,96 a 6,08 <sup>(1)</sup> / 2 a 4,5 <sup>(2)</sup>	4,196 <sup>(2)</sup>	4,35 <sup>(2)</sup>	4,79 <sup>(2)</sup>	4,79 <sup>(2)</sup>	4,79 <sup>(2)</sup>	4,79 <sup>(2)</sup>

Fonte: (1) Relatório de ensaio misturas combustíveis – massa específica, viscosidade e teor de água; (2) Relatório de ensaio biodiesel produzido de OGR

A avaliação das emissões foi realizada na rotação de 1500 e carga de 100% visando o impacto do uso dos diferentes tipos de combustíveis nas emissões dos gases. Um túnel de diluição parcial a volume constante do tipo CVS (do inglês: *Constant Volume Sampling*) foi conectado ao escapamento do motor, captando parte dos gases de exaustão e diluindo com ar limpo em uma proporção de aproximadamente 1/20 (exaustão/ar de diluição) (Fig. 1).

Figura 1. Esquema de coleta das emissões de CO<sub>2</sub>, CO e NO<sub>x</sub>.



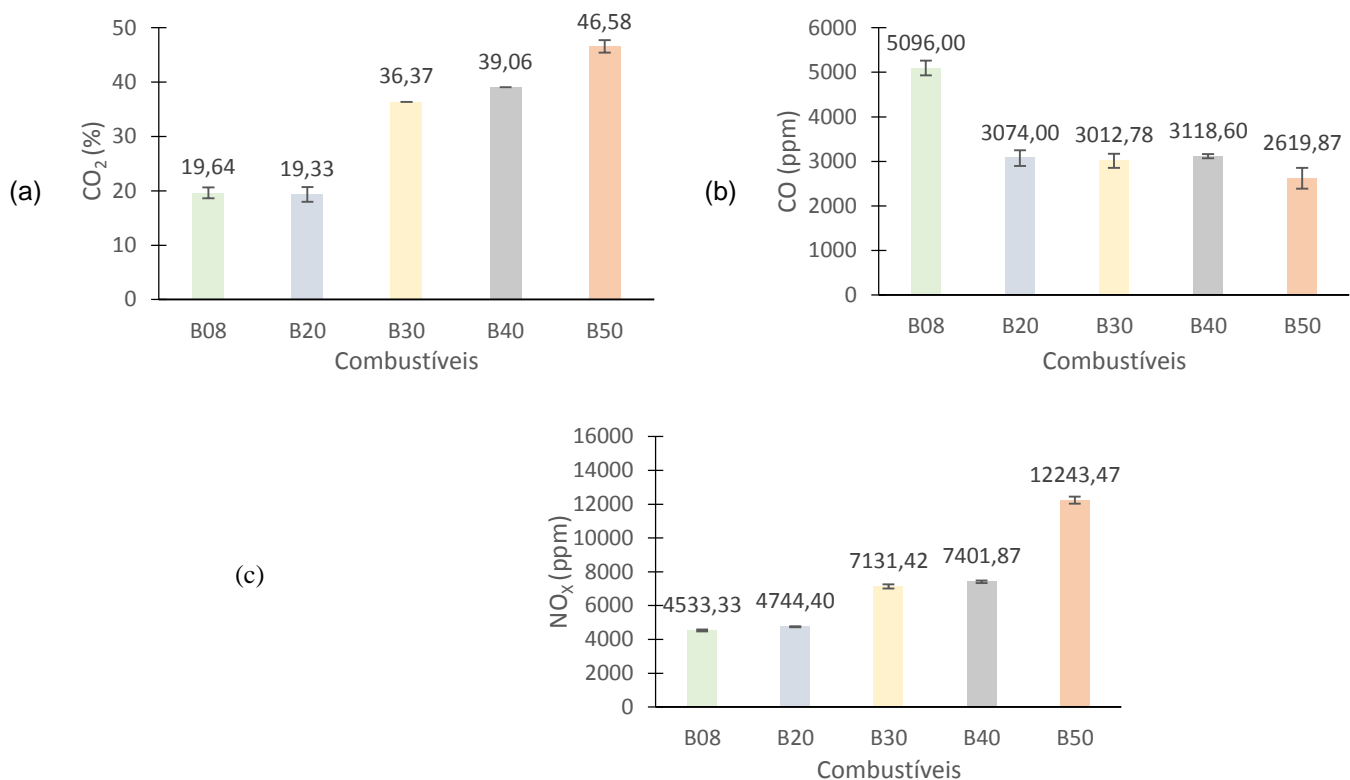


Para medição da concentração dos gases poluentes ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  e  $\text{NO}_x$ ) foi utilizado um analisador de gases multifuncional modelo GA-21plus calibrado, da *Madur Electronics*. Na análise, a sonda do analisador de gases foi inserida no final do túnel de diluição, permitindo assim fazer as medições da concentração dos poluentes presentes na mistura de ar (Fig. 1). Antes do início de cada coleta, o motor trabalhou com o combustível a ser ensaiado para que o mesmo atingisse a temperatura de  $80\text{ }^\circ\text{C}$  (temperatura de operação) e estabilizasse nas condições determinadas de rotação e torque. Para o presente experimento, foram realizadas coletas em triplicata, para cada tipo de combustível (B08, B20, B30, B40 e B50), sendo que a análise representou a média de 3 minutos de coleta.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os ensaios realizados com as misturas combustíveis nas condições de operação (rotações 1500 e carga de 100%) permitiu avaliar o impacto do uso desses combustíveis nas emissões de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  e  $\text{NO}_x$  ( $\text{NO}$  e  $\text{NO}_2$ ). A Figura 2 apresenta os resultados obtidos para cada poluente,

Figura 2 - Emissões de  $\text{CO}_2$  (a),  $\text{CO}$  (b) e  $\text{NO}_x$  (c) para Misturas Combustíveis



A menor emissão de  $\text{CO}_2$  em plena carga foi obtida com o B20 (diminuição de 1,58% em relação ao B08). A maior emissão de  $\text{CO}_2$  foi obtida com o B50, que obteve um aumento de 137,13% em relação ao B08 (Fig. 2a). De uma forma geral, foi observado que a medida que se aumenta o teor de biodiesel na mistura





diesel/biodiesel há um aumento das emissões de CO<sub>2</sub>, o que corrobora com dados observados por outros pesquisadores [12].

Todavia, apesar de ser observado um aumento das emissões do CO<sub>2</sub> com o uso de um maior teor de biodiesel, existe uma compensação ambiental que deve ser levada em consideração. Isso porque é preciso avaliar o ciclo de carbono, ou seja, a planta que será utilizada como matéria-prima, enquanto em fase de crescimento, absorve o CO<sub>2</sub> e o libera novamente quando o biodiesel é queimado na combustão do motor. O acúmulo na atmosfera é reduzido e o tempo de ciclo do carbono, para fixação de CO<sub>2</sub> e substituição posterior da combustão de biodiesel, é pequeno (poucos anos) quando comparado ao carbono para óleos oriundos do petróleo, milhões de anos [17]. Em um estudo recente realizado por Bartholomeu, Péra e Caixeta-Filho [18] sobre estratégias de redução das emissões de CO<sub>2</sub> no transporte rodoviário de cargas foi observado o potencial de mitigação das emissões através do aumento do teor de biodiesel. Foi verificado que 4% das emissões são mitigadas quando o teor do biodiesel aumenta de 3% para 50% no diesel (ou seja, passa-se de B3 para B50). Utilizando biodiesel puro (B100), o potencial de mitigação corresponde a 8,71% em relação à linha de base.

A Figura 2(b) apresenta os resultados para emissão de CO. A menor emissão de CO foi obtida com B50 (diminuiu 48,59% em relação ao B08) e a maior emissão de CO foi obtida com o B08. Assim, o aumento do teor de biodiesel na mistura combustível refletiu em uma redução nas emissões de CO. Pesquisas da literatura corroboram com os resultados encontrados [19-21]. Uma justificativa para tal resultado é devido ao maior número de cetano e maiores teores de oxigênio no biodiesel comparado ao Diesel, que contribui para um processo de combustão menos incompleto. Diante dos dados obtidos é possível concluir que uma maior concentração de biodiesel na mistura pode trazer benefícios ambientais em relação as emissões de CO.

Os dados obtidos para as emissões de NO<sub>x</sub> demonstram que as misturas com maior teor de biodiesel são capazes de emitir maiores concentrações deste poluente (Fig. 2c). A maior emissão de NO<sub>x</sub> foi obtida com B50 (aumento de 170% em relação B08). Esse aumento das emissões com o aumento do teor de biodiesel na mistura também foi observado por pesquisadores em diferentes proporções de biodiesel e matérias primas [19,22-24]. Muitos autores concluíram que o resultado do aumento das emissões de NO<sub>x</sub> quando se utiliza biodiesel é devido ao maior teor de oxigênio no mesmo e, este oxigênio contribui para a combustão completa e, portanto, maior temperatura de combustão, onde quanto maior a temperatura da câmara de combustão, maior será a formação de NO<sub>x</sub> [2, 25-27]. Para Varatharajan [28], a formação de emissões de NO<sub>x</sub> não está apenas relacionada à concentração de oxigênio, mas também afetada pela temperatura de reação e o tempo de residência. O aumento da temperatura na câmara de combustão influencia diretamente o aumento das emissões de NO<sub>x</sub>. A densidade também pode ser correlacionada com as emissões de NO<sub>x</sub> pois o combustível com elevada densidade provoca geralmente um aumento das emissões de NO<sub>x</sub> nos motores Diesel [29].

#### 4. CONCLUSÃO



Uma análise comparativa entre os combustíveis foi realizada em um banco dinâmico para verificação de emissão de poluentes. A avaliação das emissões de CO<sub>2</sub>, CO e NO<sub>x</sub> apresentou variações significativas entre os combustíveis testados. Porém, os resultados obtidos estão dentro do esperado de acordo com pesquisas já desenvolvidas na literatura. Houve um aumento do CO<sub>2</sub> quando aumentado o teor de biodiesel, porém este aumento deve ser analisado com cautela já que o biodiesel contribui na compensação ambiental pelo ciclo de carbono, com a absorção de CO<sub>2</sub> para o crescimento das plantas que dão origem a matéria prima para produção de biodiesel. Para o CO, conforme esperado, houve uma diminuição da emissão desses com o aumento do uso de biodiesel na mistura. Já quanto ao NO<sub>x</sub> obteve-se maior emissões com o aumento do teor de biodiesel, também resultados que corroboram com os encontrados na literatura.

## Agradecimentos

Os autores agradecem as empresas parceiras NEXA Resources e Bchem Biocombustíveis pelo desenvolvimento do trabalho, bem como ao Laboratório de Dinamômetros do SENAI CIMATEC pela disponibilidade do banco de dinamômetro e de pessoal para a realização dos testes.

## 5. REFERÊNCIAS

- [1] AMBAT, Indu; SRIVASTAVA, Varsha; SILLANPÄÄ, Mika. Recent advancement in biodiesel production methodologies using various feedstock: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 90, p. 356-369, 2018.
- [2] GHAZALI, Wan Nor Maawa Wan et al. Effects of biodiesel from different feedstocks on engine performance and emissions: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 51, p. 585-602, 2015.
- [3] ZHANG, Y.; DUBÉ, M. A.; MCLEAN, D. D.; KATES, M. Biodiesel production from waste cooking oil: economic assessment and sensitivity analysis. **Biosource Tech.** 2003, 90, 229.
- [4] HAJJARI, Masoumeh et al. A review on the prospects of sustainable biodiesel production: a global scenario with an emphasis on waste-oil biodiesel utilization. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 72, p. 445-464, 2017.
- [5] APROBIO, 2017. **Brasil recicla 30 milhões de litros de óleo de cozinha na produção de biodiesel**. Disponível em: <<http://aprobio.com.br/2017/01/10/brasil-recicla-30-milhoes-de-litros-de-oleo-de-cozinha-na-producao-de-biodiesel/>>. Acesso em 10 de Junho de 2018.
- [6] MENDES, A.P.C.S. et al., **Emprego de Óleos Vegetais Para Fins Carburantes**. Belo Horizonte: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC). 1989.
- [7] COSTA NETO, P. R.; ROSSI, L.F.S. Produção de Biocombustível Alternativo ao Óleo Diesel Através da Transesterificação de Óleo de Soja Usado em Frituras. In: **Revista QUÍMICA NOVA**, n.23, ano 4, 2000. p.531.
- [8] RABELO, Ivan Darwiche. **Estudo de desempenho de combustíveis convencionais associados a biodiesel obtido pela transesterificação de óleo usado em fritura**. Dissertação de Mestrado. Curitiba: CEFET – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia. 2001.
- [9] SILVA FILHO, J. B. **Produção de Biodiesel Etílico de Óleos e Gorduras Residuais (OGR) em Reator Químico de Baixo Custo**, 2010, Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 73 p.



- [10] PUHAN, Sukumar et al. Mahua oil (Madhuca Indica seed oil) methyl ester as biodiesel-preparation and emission characteristics. **Biomass and bioenergy**, v. 28, n. 1, p. 87-93, 2005.
- [11] SAKTHIVEL, R. et al. A review on the properties, performance and emission aspects of the third generation biodiesels. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2017.
- [12] ATTIA, Ali MA; HASSANEEN, Ahmad E. Influence of diesel fuel blended with biodiesel produced from waste cooking oil on diesel engine performance. **Fuel**, v. 167, p. 316-328, 2016.
- [13] SHAAFI, T. et al. Effect of dispersion of various nanoadditives on the performance and emission characteristics of a CI engine fuelled with diesel, biodiesel and blends—A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 49, p. 563-573, 2015..
- [14] RASHEDUL, H. K. et al. The effect of additives on properties, performance and emission of biodiesel fuelled compression ignition engine. **Energy Conversion and Management**, v. 88, p. 348-364, 2014.
- [15] SHAAFI, T.; VELRAJ, R. Influence of alumina nanoparticles, ethanol and isopropanol blend as additive with diesel–soybean biodiesel blend fuel: Combustion, engine performance and emissions. **Renewable Energy**, v. 80, p. 655-663, 2015.
- [16] MIRZAJANZADEH, Mehrdad et al. A novel soluble nano-catalysts in diesel–biodiesel fuel blends to improve diesel engines performance and reduce exhaust emissions. **Fuel**, v. 139, p. 374-382, 2015.
- [17] HOU, Jian et al. Life cycle assessment of biodiesel from soybean, jatropha and microalgae in China conditions. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 9, p. 5081-5091, 2011.
- [18] BARTHOLOMEU, Daniela Bacchi; PÉRA, Thiago Guilherme; CAIXETA-FILHO, José Vicente. Logística sustentável: avaliação de estratégias de redução das emissões de CO<sub>2</sub> no transporte rodoviário de cargas. **Journal of Transport Literature**, v. 10, n. 3, p. 15-19, 2016.
- [19] RAHMAN, Md Mofijur et al. Performance and emission analysis of Jatropha curcas and Moringa oleifera methyl ester fuel blends in a multi-cylinder diesel engine. **Journal of Cleaner Production**, v. 65, p. 304-310, 2014.
- [20] SHARON, H. et al. A test on DI diesel engine fueled with methyl esters of used palm oil. **Renewable Energy**, v. 47, p. 160-166, 2012.
- [21] SANFORD, S. D. et al. Feedstock and biodiesel characteristics report. Ames, IA: **Renewable Energy Group**. 2009.
- [22] ONG, Hwai Chyuan et al. Optimization of biodiesel production and engine performance from high free fatty acid Calophyllum inophyllum oil in CI diesel engine. **Energy Conversion and Management**, v. 81, p. 30-40, 2014.
- [23] CELIKTEN, Ismet; KOCA, Atilla; ARSLAN, Mehmet Ali. Comparison of performance and emissions of diesel fuel, rapeseed and soybean oil methyl esters injected at different pressures. **Renewable Energy**, v. 35, n. 4, p. 814-820, 2010.
- [24] RAMADHAS, A. S.; JAYARAJ, S.; MURALEEDHARAN, C. Characterization and effect of using rubber seed oil as fuel in the compression ignition engines. **Renewable energy**, v. 30, n. 5, p. 795-803, 2005.
- [25] ÖZTÜRK, Erkan. Performance, emissions, combustion and injection characteristics of a diesel engine fuelled with canola oil–hazelnut soapstock biodiesel mixture. **Fuel Processing Technology**, v. 129, p. 183-191, 2015.



- [26] NAYAK, Swarup Kumar; PATTANAIK, Bhabani Prasanna. Experimental investigation on performance and emission characteristics of a diesel engine fuelled with mahua biodiesel using additive. **Energy procedia**, v. 54, p. 569-579, 2014.
- [27] GOGOI, T. K.; BARUAH, D. C. A cycle simulation model for predicting the performance of a diesel engine fuelled by diesel and biodiesel blends. **Energy**, v. 35, n. 3, p. 1317-1323, 2010.
- [28] VARATHARAJAN, K.; CHERALATHAN, M. Influence of fuel properties and composition on NOx emissions from biodiesel powered diesel engines: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 6, p. 3702-3710, 2012.
- [29] SZYBIST, James P. et al. Biodiesel combustion, emissions and emission control. **Fuel processing technology**, v. 88, n. 7, p. 679-691, 2007.