

## AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO E DAS EMISSÕES DE UM MOTOR DIESEL OPERANDO COM MISTURAS DIESEL, BIODIESEL E D-LIMONENO

D. L. Módolo<sup>a</sup>,  
L. E. R. Pereira<sup>a</sup>,  
S. D. R. Oliveira<sup>a</sup>,  
M. T. de Ávila<sup>b</sup>,  
and S. L. Ferreira<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – Campus de Bauru – Brazil

<sup>b</sup> Universidade Federal de São Carlos – Brazil

Contact Information  
delsonmodolo@feb.unesp.br

### ABSTRACT

It is known that vegetable oils, after being submitted to transesterification process, generates vegetable oils esters (currently named as biodiesel) with properties similar to diesel fuel, e.g. density, cetane number, heating values, air-fuel ratio and others. However, subsequent problems of increased viscosity and other inherent to the chemical composition of the vegetable oil, results in worse spraying and combustion, undesirable deposits formation on different engine parts and contamination of the lubricating oil. In this study, it was investigated the effects of diesel/biodiesel blends with d-limonene as an additive. The objective of this work is to make a comparative analysis of the exhaust gas emissions from a stationary CI engine fueled by ternary mixtures diesel/biodiesel/d-limonene, compared to traditional diesel fuel. D-limonene is a terpene extracted from orange peel during juice extraction process. A portable stationary generator was used to perform the tests. Load on the diesel engine was applied by installing a "Resistive Bench Device" equipped with electric lights to simulate an actual operating condition. A gas analyzer, an opacimeter, a digital countertop scale for specific fuel consumption and a type K thermocouple for exhaust gas temperature data were used to conduct the engine tests. Tests were carried out with the three types of fuels (diesel S10, MB10L1 and MB20L3) by varying the resistive load on the generator in order to dissipate power in the coupled diesel engine, under the test conditions. As a result, it was concluded that measured gas emissions for cases involving larger quantities of biofuels were lower when compared to the traditional diesel fuel. Although the two proposed mixtures (MB10L1 and MB20L3) contained larger amounts of biodiesel in their composition, it was observed similar values of specific fuel consumption for the three types of fuels tested.

**Keywords:** diesel engines, biofuels, biodiesel, d-limonene, exhaust emission.

### INTRODUÇÃO

Em virtude do declínio das reservas mundiais do petróleo, resultante da extração e consumo indiscriminados ao longo dos anos, iniciou-se na década de setenta uma busca por combustíveis alternativos aos combustíveis fósseis.

O etanol adaptou-se extremamente bem aos motores de ignição por centelha em substituição à gasolina, sendo os problemas inerentes a ele resolvidos ao longo de quatro décadas de pesquisas relacionadas ao tema.

Sendo assim, também surgiu a necessidade de encontrar um substituto ao óleo diesel no caso dos motores de ignição por compressão.

Sabe-se que óleos vegetais, depois de submetidos ao processo de transesterificação, geram

“ésteres de óleos vegetais” (atualmente denominado biodiesel) com propriedades semelhantes às do óleo diesel, como por exemplo, a massa específica, o número de cetano, o poder calorífico, a relação estequiométrica ar/combustível entre outras.

No entanto, problemas resultantes da maior viscosidade e outros inerentes à base do óleo vegetal de origem, resultam em pulverização e consequentemente combustão de pior qualidade em relação combustível fóssil, levando à formação de depósitos indesejáveis em diversas partes do motor e na contaminação do óleo lubrificante.

Diante deste problema, é oportuna a investigação de aditivos, também provenientes da biomassa, que melhorem a qualidade da queima dentro da câmara de combustão em motores do ciclo diesel.

O objetivo deste trabalho é investigar o efeito das emissões de gases poluentes provenientes do processo de combustão em motores diesel alimentados com misturas diesel/biodiesel com aditivos provenientes da biomassa que possam melhorar o processo de combustão. O óleo diesel atualmente vendido em postos de combustíveis no Brasil possui 7% de biodiesel em sua composição.

Este trabalho apresenta o resultado do desempenho comparativo de um motor estacionário de ignição por compressão, alimentado por misturas ternárias diesel/biodiesel/d-limoneno, em relação ao óleo diesel tradicional. O d-limoneno é um terpeno obtido da casca de laranja durante o processo de extração do suco.

São mostradas e discutidas as curvas comparativas de consumo específico, temperatura dos gases de escape e emissões de  $\text{NO}_x$ , HC,  $\text{O}_2$ , CO,  $\text{CO}_2$  e opacidade para diversas condições de funcionamento do motor, o qual foi alimentado com óleo diesel tradicional vendido em postos de combustíveis e misturas ternárias preparadas em laboratório, contendo diferentes proporções de diesel/biodiesel/d-limoneno.

## USO DE ÓLEOS VEGETAIS E DERIVADOS EM MOTORES DIESEL

O uso de óleos vegetais em substituição ao óleo diesel não é uma idéia recente. No início do século passado, o próprio Rudolf Diesel funcionou um de seus motores com óleo de amendoim. Todavia, nesta época, os derivados do petróleo eram tão baratos que inibiram qualquer desenvolvimento nesta linha.

Após a crise do petróleo nas décadas de 70 e 80, ficou claro que nenhum País pode depender única e exclusivamente desse combustível fóssil. Deste modo, iniciaram-se no Brasil estudos relacionados ao uso do etanol proveniente da cana de açúcar em motores do ciclo Otto e posteriormente estudos relacionados ao uso de óleos vegetais e derivados em motores do ciclo diesel.

O óleo vegetal pode ser utilizado em motores do ciclo diesel na forma pura, misturado com óleo diesel em diferentes porcentagens, microemulsões, craqueado termicamente e transesterificado.

De uma forma geral, os óleos vegetais, quando não submetidos a processos corretivos suplementares apresentam diversas características indesejáveis aos motores do ciclo diesel. Segundo [1], as principais diferenças destes em relação ao diesel são alta viscosidade, densidades maiores, menor poder calorífico, maior razão estequiométrica em virtude de átomos de oxigênio na molécula e possibilidade de craqueamento molecular em altas temperaturas.

Além destes inconvenientes, outros considerados importantes, como por exemplo, a facilidade de oxidação, formação de resíduos na câmara de combustão, necessidade de pré-aquecimentos, odor, ausência de volatilidade,

variação das características básicas em função da oleaginosa de origem, redução da potência do motor e aumento do consumo, foram citados em trabalhos de outros pesquisadores [2], [3], [4], [5] e [6]. Os problemas costumam aparecer após o motor operar por longos períodos de tempo, principalmente nos de injeção direta, cujos orifícios dos bicos injetores são pequenos, podendo ocorrer entupimentos.

Outra forma estudada de utilização de óleos vegetais visando melhorar o problema da viscosidade foi a micro emulsão [2], [7], [8], [9] e [10]. Apesar de melhoras, os problemas persistiram.

O craqueamento térmico ou pirólise também foi estudado por muitos pesquisadores [4], [7], [11], [12] e [13]. Apesar da excelente qualidade do combustível obtido por este processo, o mesmo foi inviabilizado pelo preço demasiadamente caro [14].

O processo de transesterificação, entre os já citados, é atualmente o mais viável economicamente. Os óleos vegetais são constituídos principalmente por triglicerídeos, formados da união de uma molécula de glicerina, com três moléculas de ácidos graxos. O processo de transesterificação do óleo vegetal é obtido através do ataque dos triglicerídeos por metanol ou etanol na presença de catalisadores e temperatura conveniente, produzindo glicerina e ésteres de ácidos graxos (biodiesel)

Segundo [15], no caso da molécula do éster de óleo de soja, seu peso é reduzido a 1/3 do peso da molécula do óleo de origem, resultando em uma viscosidade muito menor. As moléculas do éster assemelham-se às do óleo diesel, embora possuam um átomo de oxigênio, conferindo a este produto vantagens como, por exemplo, o fato do motor não necessitar de adaptações. Pode ser utilizado puro ou misturado ao óleo diesel, tendo propriedades físicas e químicas semelhantes ao diesel e isento de enxofre.

Dados típicos das propriedades físicas do biodiesel estão mostrados na Tabela 1 do Apêndice. No entanto, vários problemas foram relatados após o uso de ésteres (biodiesel) em motores, como por exemplo, menor poder calorífico, maior consumo específico, formação de resíduos sólidos e polimerização nos elementos em contato, contaminação do óleo lubrificante entre outros.

Deste modo, observa-se que é interessante estudar os efeitos da aditivação de misturas diesel/biodiesel com o objetivo de minimizar os problemas relacionados à queima incompleta do biodiesel no interior da câmara de combustão dos motores do ciclo diesel.

O aditivo estudado neste trabalho é o d-limoneno, que é um subproduto da indústria cítrica obtido durante o processamento da laranja. Esta substância possui propriedades físico-químicas interessantes, que poderiam melhorar o processo de combustão em motores alimentados com o biodiesel puro ou misturado com óleo diesel. Além disto, o Brasil é um dos maiores produtores mundiais de d-limoneno, facilitando a viabilização da relação custo-

benefício. O d-limoneno é uma fração oleosa, sendo considerada uma das mais puras fontes de terpeno monocíclico [16]. Valores das propriedades do d-limoneno estão mostrados na Tabela 2 do Apêndice.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os testes envolvendo misturas de biocombustíveis alternativos foram realizados no Laboratório de Motores e Biocombustíveis (LAMOBIO) da Faculdade de Engenharia da UNESP, Campus de Bauru, onde estão alocados os aparatos utilizados neste procedimento experimental.

Foi utilizado um grupo gerador estacionário da marca Branco, modelo BD-4000CFE, equipado com partida manual e elétrica. O motor é do ciclo diesel, monocilíndrico, arrefecido a ar, injeção direta de combustível e 7,0 cv (5,12 kW) de potência nominal. O deslocamento volumétrico (cilindrada) é de 0,296 L (72 mm de diâmetro por 62 mm de curso), comprimento de biela igual a 102 mm (desde o centro do pino do pistão até o centro do colo do virabrequim) e lubrificação por bomba de óleo.

O gerador acoplado é do tipo monofásico, com tensão de saída de 110 V/220 V, frequência de 60 Hz, potência máxima de 3300 W (3,3 kVA), potência nominal 3000 W (3,0 kVA), rotação nominal de 3600 rpm.

A carga no motor visando uma condição de funcionamento real é realizada mediante instalação uma “Bancada Resistiva” dotada de lâmpadas. A bancada construída foi montada com um conjunto de 10 lâmpadas de halogênio de 500 W (cada uma) alojadas em holofotes específicos e ligadas em paralelo, tendo capacidade de dissipar uma potência nominal de até 5 kW, dependendo da quantidade de lâmpadas que estiver ligada durante o ensaio em questão. Os holofotes foram fixados em uma placa de madeira presa a uma estrutura metálica tubular soldada, construída especificamente para esta finalidade.

Para a medida dos gases emitidos pela tubulação de escape do motor, foi utilizado um analisador de gases da marca Tecnomotor, modelo TM 131 equipado com célula de NO<sub>x</sub>. A aquisição dos dados provenientes do equipamento foi realizada pelo software SOFTGAS, fornecido pelo fabricante do analisador.

A medida da opacidade (quantidade de material particulado) proveniente da fumaça emitida pelo motor foi realizada por um opacímetro, modelo TM 133, também fabricado pela Tecnomotor. A medida é realizada por fluxo parcial do gás de escapamento gerado pelo motor através da absorção da luz. A fumaça é captada pela sonda no escapamento do motor e levada até a câmara de medição, onde ocorre a medida da opacidade. O opacímetro é operado através do programa IGOR, também fornecido junto com o aparelho.

Para a medida do consumo específico de combustível, foi utilizada uma balança de bancada (UL) da marca DIGI-TRON, com bandeja em aço inoxidável (270 mm X 270 mm), com capacidade de 10 kg e resolução de 0,001 kg. O combustível fornecido ao motor foi colocado dentro de um frasco Mariote dotado de oliva de vidro e capacidade de 10 L, que por sua vez foi colocado sobre a balança para a determinação da vazão fornecida ao motor necessária para o cálculo do consumo específico de combustível.

A temperatura dos gases de escape do motor foi medida através de um termopar do tipo K instalado na tubulação de exaustão, bem próximo ao cabeçote do motor, onde estão alojadas as válvulas de descarga. Os dados da temperatura foram lidos em um multímetro digital automotivo da marca Instrutherm, modelo MDA 232.

O óleo diesel (diesel S 10) utilizado foi comprado em um posto da rede BR de abastecimento de combustível. Segundo a Petrobrás, este combustível é vendido contendo 7 % de biodiesel em sua composição. As misturas utilizadas durante o procedimento experimental foram preparadas em laboratório e foram assim denominadas:

MB10L1 = 89 % diesel + 10 % biodiesel + 1 % d-limoneno (em vol.)

MB20L3 = 77 % diesel + 20 % biodiesel + 3 % d-limoneno (em vol.)

Os ensaios foram realizados variando-se a carga dissipada na bancada resistiva ligada ao grupo gerador estacionário nas condições de 500 W, 1000 W, 1500 W, 2000 W, 2500 W e 3000 W. Este último valor corresponde à condição limite imposta ao gerador elétrico para evitar danos ao equipamento. Os resultados foram adquiridos em cada condição de carga após a temperatura atingir a condição de equilíbrio.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizados testes com os três tipos de combustíveis (diesel S10, MB10L1 e MB20L3) variando-se a carga resistiva no gerador de modo a provocar um esforço no motor diesel acoplado, nas condições de ensaio já descritas. O analisador de gases foi utilizado para medir os índices de HC, CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> emitidos pelo motor e o opacímetro a fumaça.

Os resultados obtidos foram colocados na forma de gráficos, todos em função da carga resistiva aplicada ao gerador, que funcionou sempre na condição de rotação nominal constante (3600 rpm).

Na Figura 1, estão colocados os resultados obtidos para o HC nas diferentes condições de carga.

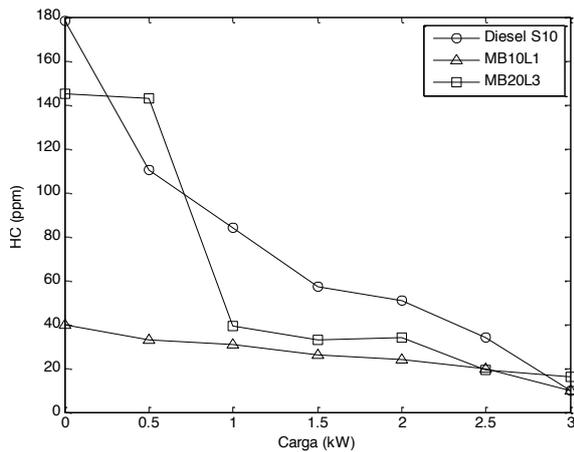


Figura 1. Emissões de HC em Função da Carga Resistiva Aplicada.

Observa-se que os valores das emissões de HC para ambas as misturas foram menores que as relativas ao uso do óleo diesel S10 em praticamente todas as condições do ensaio.

Isto se deve principalmente ao fato de que as misturas que possuem em sua composição maior quantidade de biodiesel, cuja molécula contém átomos de oxigênio, tendem a proporcionar uma combustão de melhor qualidade. De acordo com o gráfico da Figura 1, os valores para o MB10L1 foram inferiores, inclusive quando comparados aos da outra mistura proposta, mostrando que esta composição é mais adequada à geometria da câmara de combustão do motor avaliado.

Baixos valores de HC, geralmente são acompanhados de baixos valores para as emissões de CO e altos valores para CO<sub>2</sub>, uma vez que o excesso de ar, aliado ao combustível oxigenado e uma combustão mais completa levam a maiores formações de CO<sub>2</sub>.

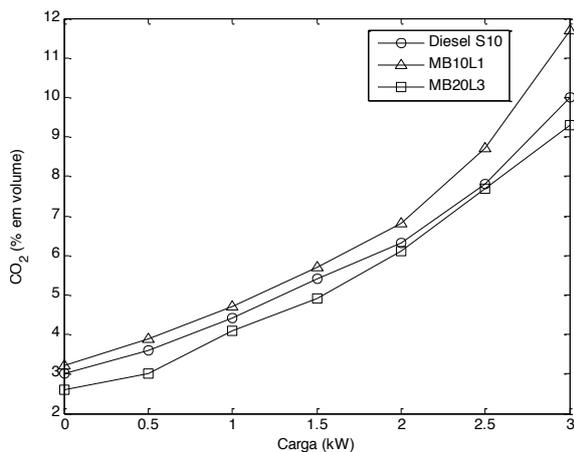


Figura 2. Emissões de CO<sub>2</sub> em Função da Carga Resistiva Aplicada.

Observando-se a Figura 2, na qual podem ser visualizados os resultados obtidos para CO<sub>2</sub>, nota-se que a conclusão do raciocínio desenvolvido acima foi

confirmada. O composto MB10L1, que apresentou os menores valores para o HC, apresentou os maiores valores para as emissões de CO<sub>2</sub>, conforme esperado.

No entanto, um resultado contraditório foi observado na Figura 3, que mostra os resultados para as emissões de CO. Diferentemente do esperado, os valores para o MB10L1 foram os maiores encontrados em quase a totalidade das condições ensaiadas. Durante o procedimento experimental, foram feitas outras avaliações, porém os resultados foram sempre semelhantes.

Talvez uma possível explicação para a elevação do CO, principalmente na condição de carga máxima, seja a diminuição da relação ar/combustível na carga de 3,0 kW, devido ao maior débito da bomba injetora necessário para manter a rotação nominal nesta condição de ensaio, além de fatores associados à geometria da câmara de combustão e características específicas do jato de combustível pelo bico injetor.

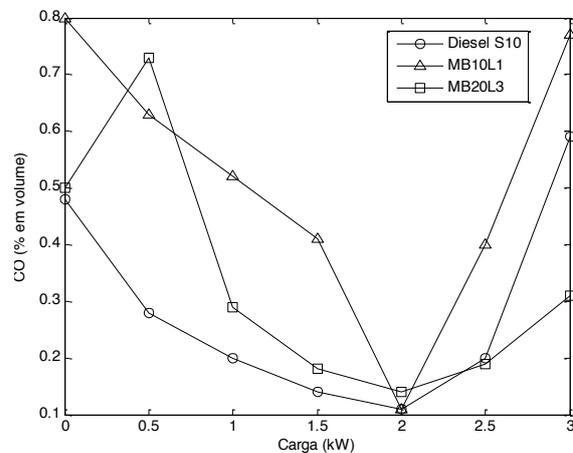


Figure 3. Emissões de CO em Função da Carga Resistiva Aplicada.

Os valores mostrados na Figura 4 para as emissões de O<sub>2</sub> também estão coerentes.

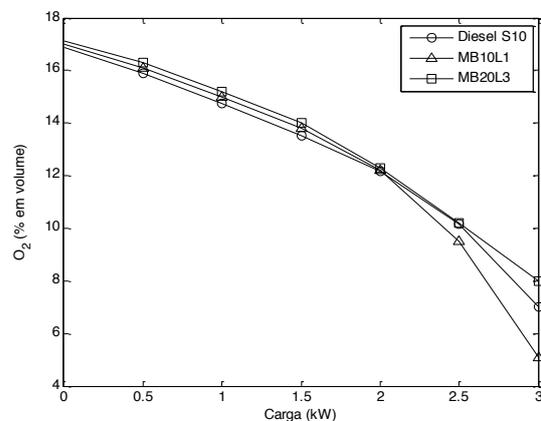


Figura 4. Emissões de O<sub>2</sub> em Função da Carga Resistiva Aplicada.

Entre as condições de carga aplicada no gerador entre 0 (sem carga aplicada ao gerador) e 2,0 kW, os

resultados foram muito semelhantes para os três combustíveis testados. Para as condições de 2,5 kW e principalmente 3,0 kW, os resultados obtidos foram menores para o MB10L1.

Os dados das emissões de  $\text{NO}_x$  estão resumidos na Figura 5. Pode-se observar que os valores para as emissões neste caso, foram mais favoráveis ao MB20L3 na maior parte do ensaio, tendo os outros dois resultados muito parecidos.

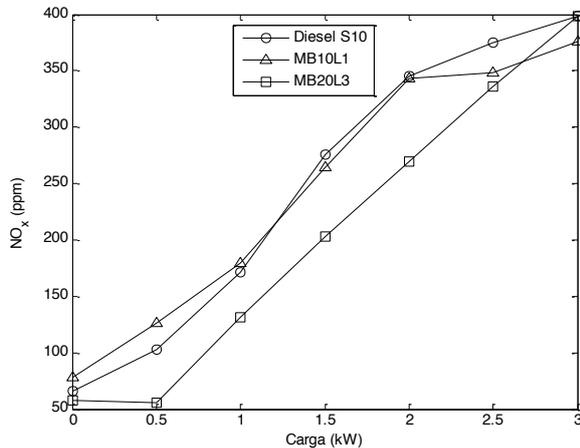


Figura 5. Emissões de  $\text{NO}_x$  em Função da Carga Resistiva Aplicada.

Com relação aos dados da temperatura dos gases de escape na saída do cabeçote do motor, mostrado na Figura 6, pode-se observar que todos os casos foram muito semelhantes. A exceção ficou para a condição de carga máxima para o MB20L3, na qual o valor de temperatura ficou da ordem de  $100^\circ\text{C}$  inferior aos outros dois. Esperava-se, nesta condição, que o valor para a emissão de  $\text{NO}_x$  fosse menor para o MB20L3, porém este fato não ocorreu.

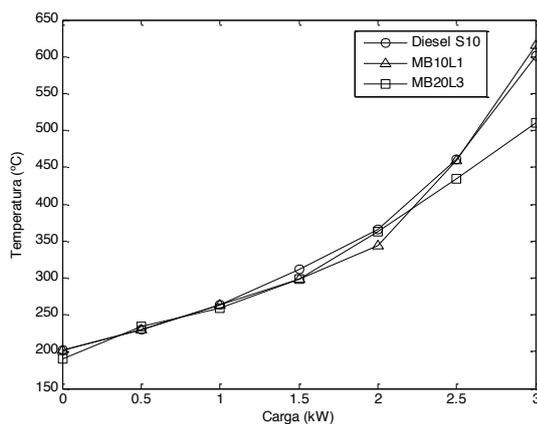


Figura 6. Temperatura dos Gases de Escape na Saída do Cabeçote em Função da Carga Resistiva Aplicada.

Os valores do consumo específico de combustível consumido pelo motor para o diesel e as misturas propostas estão mostrados na Figura 7.

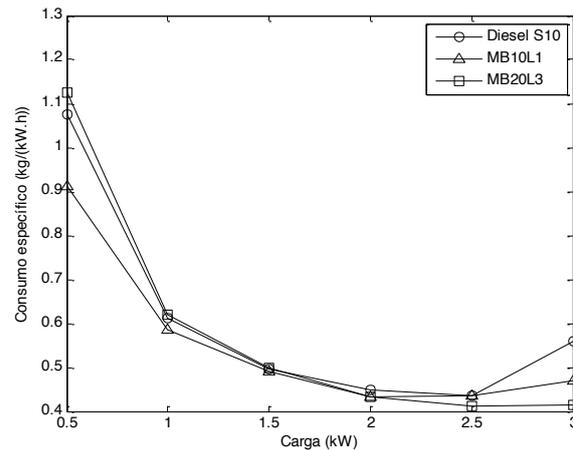


Figura 7. Consumo Específico de Combustível em Função da Carga Resistiva Aplicada.

Entre 1 kW e 2,5 kW, os resultados foram muito semelhantes. Em carga máxima, a vantagem aparentemente ficou por conta das duas misturas propostas. No entanto, mesmo nesta condição, as diferenças são consideradas pequenas, podendo estar dentro da incerteza associada à medida.

Finalmente, a opacidade relacionada à emissões de fumaça nas diferentes condições de ensaio, está mostrada na Figura 8.

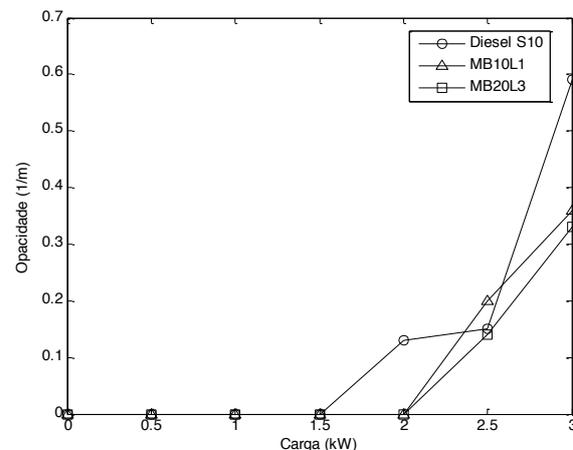


Figure 8. Opacidade Medida por Meio de um Opacímetro.

Conforme já era esperado, os menores valores foram obtidos para as misturas contendo biodiesel. Neste caso, os menores valores foram lidos para o MB20L3, que contém a maior quantidade de biodiesel e d-limoneno em sua composição.

Em todos os casos estudados relacionados ao funcionamento com as misturas propostas, não foram observados problemas de funcionamento irregular e nem dificuldades na partida do motor.

## CONCLUSÕES

Após finalizar os testes com as misturas contendo maiores quantidades de biocombustíveis em

sua composição, chegou-se à conclusão de que as emissões dos gases medidos para estes casos foram inferiores quando comparadas às do óleo diesel tradicionalmente encontrado nos postos de abastecimento.

Apesar de vários resultados esperados terem sido conseguidos nos experimentos realizados em laboratório, foi observada uma incoerência no caso das emissões de CO para o MB10L1, mostrando a necessidade de maiores esforços no entendimento deste fato.

Embora as duas misturas propostas (MB10L1 e MB20L3) contivessem maiores quantidades de biodiesel em sua composição, que poderia acarretar em aumento do consumo específico devido ao menor poder calorífico em relação ao diesel, ambas também continham o d-limoneno, com poder calorífico superior ao biodiesel, que pode ter contribuído para contrabalancear a diferença e manter valores semelhantes do consumo específico de combustível.

Os resultados mostraram que há necessidade de se testar outras formulações contendo maiores quantidades de d-limoneno na mistura, para que se possa chegar a resultados mais conclusivos a respeito de sua influência no processo de combustão em motores do ciclo diesel.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pelo financiamento deste trabalho através do processo número 2014/12107-7 e também à empresa BREJEIRO pela doação do biodiesel de soja utilizado neste trabalho.

## REFERÊNCIAS

1. Hunke, A. L.; Barsic, N. J. Performance and emission characteristics of naturally aspirated diesel engine with vegetable oil fuels - (part 2). SAE paper No. 810955, SAE, Warrendale, PA., 1981.
2. Pryde, E. H.; Vegetable oils as fuel alternatives - symposium overview. Journal of American Oil Chemistry Society, v. 61, p. 1609-1610, 1984.
3. Schlautman, N. J.; Hanna, M. A.; Schimstock, J. L. Unrefined expelled soybean oil performance in a diesel engine. Transactions of the A.S.A.E.; v. 29, n. 1, 1986.
4. Niehaus, R. A. *et al.*; Cracked soybean oil as a fuel for a diesel engine. Transactions of the A.S.A.E.; v. 29, n. 3, 1986.
5. Ishii, Y.; Takeuchi, R.; Vegetable oils and farm engine performance. Transactions of the A.S.A.E.; v. 30, n. 1, 1987.
6. Schlick, M. L.; Hanna, M. A.; Schimstock. Soybean and sunflower oil performance in a diesel engine. Transactions of the A.S.A.E.; v. 31, n. 5, 1988.
7. Schwab, A. W.; Bagby, M. O.; Freedman, B. Preparation and properties of diesel fuels from vegetable oils. Fuels, v. 66; p. 1372-1378, 1987.
8. Goering, C. E.; Fry, B. Engine durability screening test of diesel oil/alcohol microemulsion fuel. Journal of American Oil Chemistry Society, v. 61, p. 1627-1632, 1984.
9. Ziejewski, M. *et al.* Diesel engine evaluation of a nonionic sunflower oil-aqueous ethanol microemulsion. Journal of American Oil Chemistry Society, v. 61, p. 1620-1626, 1984.
10. Goering, C. E.; *et al.* Fuel properties of eleven oils. Transactions of the A.S.A.E., v. 25, p. 1472-1483, 1982.
11. Sonntag, N. O. V. Reactions of fats and fatty acids. Bailey's industrial oil and fat products, vol. 1, 4<sup>th</sup> edition. John Wiley & Sons: New York, p. 99, 1976.
12. Pioch, D. *et al.* Biofuels from catalytic cracking of tropical vegetable oils. Oleagineux. v. 48, p. 289-291, 1993.
13. Billaud, F. *et al.* Production of hydrocarbons by pyrolysis of methyl esters from rapeseed oil. Journal of American Oil Chemistry Society, v. 72, p. 1149-1154, 1995.
14. Fangrui, Ma.; Hanna, M. A. Biodiesel production: a review. Bioresource Technology, v. 70, p. 1-15, 1999.
15. CLARK, S. J. *et al.* Methyl and Ethyl Soybean Ester as Renewable fuels for diesel engines. Journal of American Oil Chemistry Society, v. 61, n. 10, 1984.
16. Corazza, M. L.; Rodrigues, D. G.; Nozaki, J. Preparação e caracterização do vinho de laranja. Química Nova, v. 24, n. 4, 2001.
17. OVEG, I. Oleos Vegetais - Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais. Programa OVEG I, MIT/STI, Brasília, 1985.
18. IARC; Some chemicals that cause tumours of kidney or urinary bladder in rodents and some other substances. Lyon, International. Agency for Research on Cancer (IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, v. 73), 1999.
19. Canadian Centre for Occupational Health and Safety, 2001.
20. HSDB; Hazardous substances data bank. Disponível em: <<http://tomescps.com/>>. Acesso em: 31 mai. 2001.
21. Gangolli, S. E. The dictionary of substances and their effects. 2<sup>nd</sup> edition, Cambridge: Royal Society of Chemistry, 1999.
22. Venanzi, D. Considerações sobre os processos dos fluidos em motores de ignição por compressão como subsídio para análise da viabilidade do uso de combustíveis alternativos. São Carlos. Tese (Livre-docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1991.

## APÊNDICES

Tabela 1. Características de alguns óleos vegetais transesterificados (etanolizados).

Características Técnicas (Unidade)	Mamona	Soja
Massa específica a 20 °C (kg/dm <sup>3</sup> )	0,919	0,875
Viscosidade cinemática a 37,8 °C (cSt)	21,6	4,5
Ponto de Fulgor V.A. (°C)	208	184
Ponto de Fluidez (°C)	- 3,0	----
Destilação (50 %)	326	----
Destilação (90 %)	334	----
Corrosão Lâmina de Cobre	0	0
Cinzas (%)	0	0
Resíduo de Carbono Conradson (%)	1,25	----
Enxofre (%)	0	0
Cor ASTM	2,0	----
Índice Diesel	39	47
Nº de acidez total (mg/KOH/g)	0,5	0,6
Água (%)	0,5	0,039

Fonte: [17] OVEG I - MIC/STI, Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais, Brasília, 1985.

Tabela 1. Características de alguns óleos vegetais transesterificados (etanolizados) – Continuação.

Características Técnicas (Unidade)	Algodão	Diesel
Massa específica a 20 °C (kg/dm <sup>3</sup> )	0,875	0,805-0,86
Viscosidade cinemática a 37,8 °C (cSt)	6,9	2,6-5,39
Ponto de Fulgor V.A. (°C)	184	~ 59
Ponto de Fluidez (°C)	- 3,0	≤ - 6
Destilação (50 %)	340	65% = 250
Destilação (90 %)	342	85% = 350
Corrosão Lâmina de Cobre	0	0
Cinzas (%)	0	0,01
Resíduo de Carbono Conradson (%)	1,9	0,49
Enxofre (%)	0	≤ 0,8
Cor ASTM	1,0	≥ 2,5
Índice Diesel	57,5	≥ 53,0
Nº de acidez total (mg/KOH/g)	0,8	2
Água (%)	traços	0,10

Fonte: [17] OVEG I - MIC/STI, Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais, Brasília, 1985.

Tabela 2. Propriedades físicas do d-limoneno.

Propriedades	d-limoneno
Ponto de ebulição (°C)	175,5-176,0
Ponto de fusão (°C)	-74,35 -96,9*
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> a 20° C)	0,8411
Massa específica relativa (água = 1)	0,84 <sup>#</sup>
Solubilidade em água (mg/L a 25° C)	13,8
Pressão de vapor	0,19 kPa a 20° C
Massa específica relativa de vapor (ar = 1)	4,7*
Limite de inflamabilidade inferior	0,7% <sup>#</sup>
Limite de inflamabilidade superior	6,1% <sup>#</sup>
Temperatura de autoignição (°C)	237 <sup>#</sup>
Viscosidade cinemática	0,9~1,05 cSt a 20°C*
Ponto de fulgor (°C)	48 (recipiente fechado) <sup>#</sup>

Fonte: [18] \*IARC (1999), [19] <sup>#</sup>Canadian Centre for Occupational Health and Safety (2001), [20] <sup>#</sup>HSDB (acessado em 2001), [21] <sup>@</sup>Gangolli (1999), [22] <sup>+</sup>VENANZI (1991).