

DESEMPENHO DE MOTOR DIESEL ALIMENTADO COM QUATRO ÓLEOS VEGETAIS, PRÉ-AQUECIDOS E NA TEMPERATURA DE TRABALHO DO MOTOR

HEVANDRO C. DELALIBERA¹, ANDRÉ L. JOHANN², PAULO R.A. DE FIGUEIREDO¹,
PEDRO H. WEIRICH NETO³, RICARDO RALISCH⁴

¹ Doutor, Instituto Agronômico do Paraná, Fone. (43) 3376 2252, e-mail. hevandro@iapar.br

² Mestre, Instituto Agronômico do Paraná, Fone. (43) 3376 2252, e-mail. andre.johann@iapar.br

³ Doutor, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Fone. (42) 3220 3092, e-mail. lama1@uepg.br

⁴ Doutor, Universidade Estadual de Londrina, Fone. (43) 3371 4794, e-mail. ralisch@uel.br

Apresentado no

XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014
27 a 31 de julho de 2014- Campo Grande- MS, Brasil

RESUMO: Algumas linhas de estudo estão direcionadas ao desenvolvimento dos óleos vegetais não transformados aplicados como combustível, por serem fonte de menor custo e não serem classificados como combustível pela legislação. Atualmente com as leis rigorosas para emissão de gases de motores Diesel, focando principalmente no material particulado, diversas tecnologias tanto para petrodiesel (PD) quanto para motores tem sido aplicadas, como a redução de enxofre e a utilização de comando eletrônico de injeção, seguido de recirculação de gases ou catalizadores. A utilização dos combustíveis renováveis entra como opção interessante na redução de poluentes. Neste trabalho, realizou-se ensaios de desempenho em curta duração de motor Diesel alimentado com óleos vegetais. As variáveis analisadas foram consumo de combustível, perda de potência relativa e opacidade, para os óleos de linhaça, crambe, canola, pinhão-manso com e sem pré-aquecimento e PD. Verificou-se que os óleos vegetais, na média geral, apresentam menor consumo em aceleração livre que o PD, porém quando sob carga, apresentam consumo maior. Observou-se também que os óleos apresentam maior perda relativa de potência em comparação com o PD, porém de forma geral proporcionam menor emissão de material particulado.

PALAVRAS-CHAVE: Consumo, Potência, Opacidade

PERFORMANCE OF DIESEL ENGINE FUELLED WITH FOUR VEGETABLE OILS, PREHEATED AND AT ENGINE WORKING TEMPERATURE

ABSTRACT: Some lines of study are directed at the development of vegetable oils applied as a fuel, because they cost less and are not classified as fuel by the law. Currently the strict emission laws for Diesel engines, particulate matter focusing, on different technologies for both petrodiesel (PD) and motor have been applied, such as sulfur reduction and the use of electronically controlled injection, exhaust gas recirculation or catalysts. The use of renewable fuels enters as interesting option for reducing pollutants. This study was conducted performance short tests on Diesel engine fueled with vegetable oils. The variables analyzed were fuel consumption, power relative loss and opacity, for oils of linseed, crambe, rapessed, jatropha with and without preheating and PD. It was found that vegetable oils, on the average, have lower consumption under free acceleration that PD, but when under load, have higher consumption. It was also observed that the oils have a higher relative power loss in relation to PD, but generally emit less particulate matter.

KEYWORDS: Consumption, Brake power, Opacity

INTRODUÇÃO: O Brasil com tecnologia e mercado já desenvolvido para o etanol, como substituto da gasolina, agora busca alternativas para o petrodiesel. Uma das premissas iniciais é de não sugerir alteração nos projetos dos motores já disponíveis. No momento os óleos vegetais e seus derivados, estão em foco, por apresentarem características similares ao petrodiesel, podendo ser aplicados puros ou misturados ao derivado do petróleo. Porém os parâmetros de qualidade e procedimentos e de

utilização principalmente para os óleos vegetais combustíveis, ainda não estão definidos. Apesar de ser favorável do ponto de vista energético e ambiental, a utilização direta de óleos vegetais em motores Diesel é problemática. A literatura apresenta diversos dados controversos em relação ao assunto. Os mesmos podem estar relacionados a parâmetros ambientais, que influenciam na qualidade físico-química do óleo, como a composição de ácidos graxos e, parâmetros de utilização, como pré-processamentos de purificação, pré-aquecimento e misturas com petrodiesel. Visto que no Brasil já existe legislação específica limitando a emissão de gases poluentes para máquinas agrícolas, com aplicação para algumas classes de potência a partir de 2015 (RESOLUÇÃO/CONAMA N° 433, 2011), este trabalho teve como objetivo avaliar, em ensaios de curta duração, o desempenho e a emissão de material particulado por motor Diesel, quando alimentado com quatro óleos vegetais distintos, com e sem pré-aquecimento, em comparação com petrodiesel.

MATERIAL E MÉTODOS: Para a execução do experimento montou-se uma bancada de testes utilizando o motor descrito na Tabela 1, acoplado a um gerador com capacidade de 4 kVA ($\pm 3,2$ kW).

Tabela 1. Especificações do motor de acordo com manual do fabricante.

Fabricante/Modelo	YANMAR/B9C	Aspiração	Natural
Número de cilindros	1	Sistema de injeção/Combustão	Mecânica/Antecâmara
Cilindrada	636 cm ³	Pressão de injeção	13,7 \pm 0,49 MPa
Ciclo	Diesel – 4 tempos	Lubrificação	Forçada por bomba
Potência	5,88 kW@1.800 rpm	Arrefecimento	Água por condensação

Confeccionou-se e adaptou-se próximo à entrada do sistema de alimentação de combustível do motor, um mecanismo de acionamento manual que permite alterar o direcionamento das conexões da entrada da alimentação entre dois reservatórios distintos (petrodiesel e óleo vegetal) permitindo a troca do combustível. Ambos os combustíveis foram alimentados por gravidade. Junto à entrada de óleo vegetal construiu-se um sistema elétrico de aquecimento, confeccionado a partir de uma resistência em forma de abraçadeira com potência de 450 W e alimentação por 220 V. Esta envolve uma massa de alumínio por onde passa o óleo vegetal a ser aquecido. Neste sistema foi inserido um sensor termopar do tipo K, o qual possui a função de mensurar a temperatura e enviar a informação para um sistema de aquisição de dados e controle, mantendo a temperatura de acordo com o especificado para o estudo.

Para mensuração dos valores de rotação, utilizou-se um sensor de presença chamado de barreira ótica, confeccionado a partir de um foto transístor “Mel 32” (similar ao Til 78) e uma caneta do tipo apontador laser. Este sensor foi disposto sobre o eixo de acoplamento do motor ao gerador, onde foi adaptado um conjunto de 6 hastes com função de interromper o feixe de laser da barreira ótica. Neste sensor utilizou-se taxa de aquisição de 200 Hz. Como fonte de absorção de potência, confeccionou-se um banco de carga constituído de 9 lâmpadas halógenas totalizando 3,9 kW de carga, isto é, 66% da nominal do motor. Porém como a carga aplicada excede $\pm 20\%$ da nominal do gerador, os tempos de aplicação da carga não excederam 10 minutos contínuos, sob o risco de danificá-lo.

Como tratamentos foram utilizados petrodiesel S50 (PD), Linhaça (L), Crambe (CR), Canola (C) e Pinhão Manso (PM). Estes foram avaliados nas temperaturas de 60 e 100 °C, totalizando 9 tratamentos. Os óleos vegetais foram extraídos por processos mecânicos seguidos de filtragem.

Como variável dependente avaliou-se o consumo de combustível em aceleração livre a 1.800 min⁻¹ (rotação para o gerador fornecer a 220 volts a 60 Hz), e em rotação de lenta (1.150 min⁻¹). Posteriormente esta variável também foi mensurado com o motor sob regime de 66% da carga nominal a rotação de 1.800 min⁻¹. O consumo foi mensurado através de uma balança de precisão, por um período de 5 minutos, com 5 repetições.

A perda de potência relativa do motor foi estimada de forma indireta, através do cálculo da área abaixo período de 2 s da rotação em aceleração livre consecutiva a retirada da carga, subtraída da curva de resposta à retomada de aceleração, quando aplicada à carga de 66% da nominal, toda de uma vez, também no período de 2 s após a entrada da mesma, pois é o necessário para retomada da aceleração pelo motor. Com este obteve-se um valor adimensional da perda de potência e relativo ao tratamento. O procedimento foi repetido por 20 vezes.

Por último foi mensurada a emissão de material particulado, utilizando o método da opacidade, de acordo com a norma NBR 13.037. Para mensurar esta variável, retirou-se o silenciador e

direcionou-se o tubo de exaustão para baixo evitando-se assim interferências/contaminação durante o processo de amostragem. Realizou-se ANAVA seguida de teste de comparação por contrastes não ortogonais de Scheffé para o consumo de combustível e para perda de potência. Para emissão de particulado realizou-se ANAVA seguida de teste de comparação múltipla de Friedman.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Com o motor sob aceleração livre, na média geral, os óleos vegetais apresentaram consumo de combustível menor que o PD. Quando sob carga, os óleos apresentaram consumo superior ao PD (Figura 1). Os L60 e L100 apresentam consumo maior que os demais óleos vegetais quando em aceleração livre e, sob carga apresenta-se iguais aos PM60 e PM100. Ainda o L60 e o L100 não diferiram do PD para a condição de aceleração livre a 1.150 min^{-1} . Houve efeito do aquecimento no consumo de óleo vegetal, pois, quando em aceleração livre, os aquecidos apresentaram-se menores em relação não aquecidos. Quando sob carga, o pré-aquecimento do combustível apresentou maior consumo em relação aos não aquecidos. DELALIBERA et al. (2010) e HAZAR & AYDIN (2010), encontraram resultado similar aos obtidos em aceleração livre, no qual o pré-aquecimento do óleo vegetal reduziu o consumo em relação ao não aquecido. Porém, ambos os tratamentos com óleo vegetal apresentaram consumo superior ao petrodiesel. Os resultados de consumo sob carga, corroboram com os apresentados por MARTINI et al. (2012), que observaram tendência de aumento do consumo de combustível com a elevação da temperatura de pré-aquecimento. Segundo RYAN III et al. (1987), o aquecimento do óleo vegetal melhora a qualidade combustível, contudo, o aquecimento altera a densidade do óleo, resultando em menor conteúdo energético por unidade de volume e, como os sistemas de injeção mecânica aplicam volumetricamente o combustível na câmara de combustão, o aquecimento pode ter resultado negativo no desempenho do motor, como observado nos ensaios sob regime de carga.

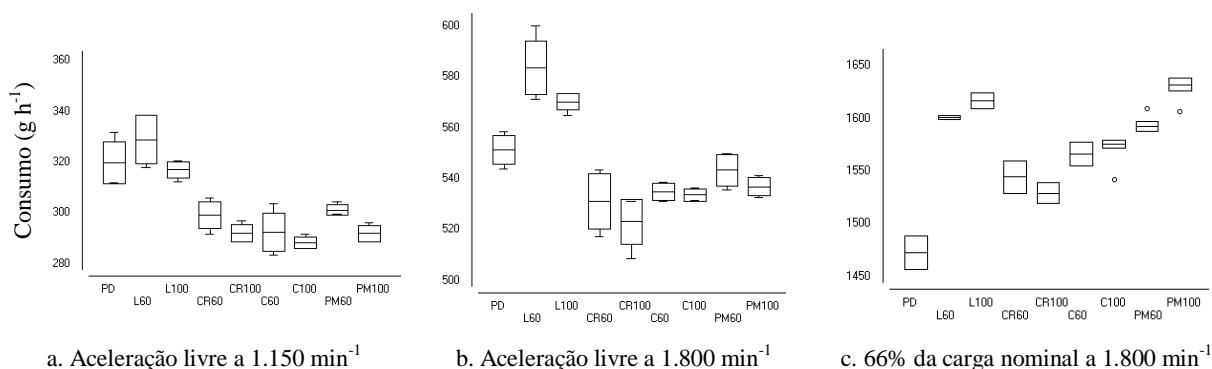
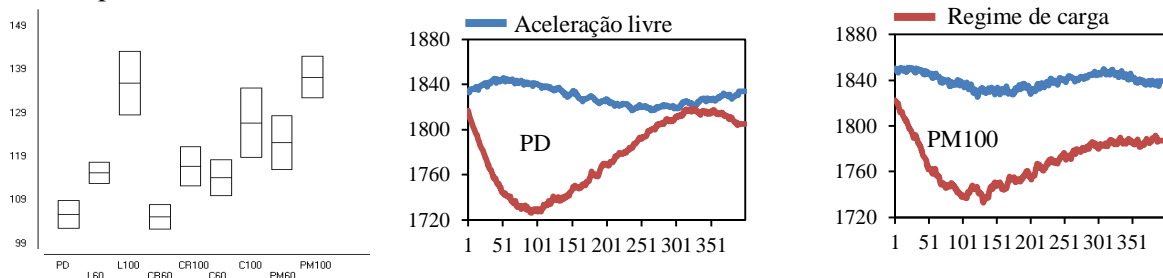


Figura 1. Consumo de acordo com o regime de rotação/trabalho

Para a perda de potência, observou-se que os tratamentos com óleo vegetal sem pré-aquecimento apresentam rotação superior em relação aos pré-aquecidos (a manopla do acelerador permaneceu sempre na mesma posição para todos os tratamentos). Este pode ter sido causado pelo aumento do esforço de injeção, o qual pode ter influenciado o sistema de avanço, que atua sobre o volume injetado, durante o controle da reserva de torque. Observou-se na curva de retomada de aceleração que a queda inicial de rotação para o PD é maior que para os óleos vegetais, porém, ao final da retomada, a rotação se estabiliza próximo da aceleração livre (Figura 2). Os óleos vegetais, de forma geral, apresentam maior perda de potência relativa em comparação ao PD. O pré-aquecimento do combustível exerceu efeito na perda de potência, sendo que em média, os tratamentos pré-aquecidos apresentaram maior perda de potência. Efeito similar foi relatado por HAZAR & AYDIN (2010). Os tratamentos sem pré-aquecimento apresentam maior perda de potência relativa em comparação com PD. Apenas o tratamento CR60 não apresentou diferença do PD. De forma geral, os testes com crumbe apresentaram o funcionamento mais estável dentre os óleos vegetais testados, seguido do óleo de canola.

Para a opacidade, de forma geral, os óleos vegetais emitiram menos material particulado que o PD, com exceção do L60. Os tratamentos C100, o PM60 e o C60 apresentaram menor opacidade que o CR60, o CR100, o L60 e o L100. Não foi possível observar efeito significativo do aquecimento na opacidade dos gases de exaustão, sugerindo que a opacidade pode estar intrinsecamente relacionada às

propriedades físico-químicas dos óleos, quando neste tipo de sistema de injeção e combustão do motor, como acontece com o PD, que a emissão de particulado esta relacionada à quantidade de enxofre presente.



a. índice de perda de potência relativa b. perda de potência para o petrodiesel c. perda de potência para o pinhão manso
 Figura 2. Índice de perda de potência para os 9 tratamentos avaliados (a) e curvas de retomada de aceleração em rpm no período de 2s (frequência de 200 Hz) após a entrada da carga (b e c)

RYAN III et al. (1984), PETERSON et al. (1983) e ENGLER et al. (1983), comentam que os óleos com alta concentração de ácidos graxos com insaturação 2 e 3 em sua composição, como é o caso da linhaça (média 50% de 18:3), apresentam desempenho inferior em relação aos menos insaturados, devido os ácidos graxos com alto grau de insaturação sofrerem pré-combustão, favorecendo a ocorrência de combustão incompleta e emissão de fumaça, refletindo também em maior consumo e menor potência. HAZAR & AYDIN (2010), usando mistura de 50% canola no PD, pré-aquecido (100 °C), observaram redução de 26,3% na emissão de material particulado em relação ao PD. Já AGARWAL et al. (2010) encontraram que os óleos vegetais pré-aquecidos emitem menos que os sem aquecimento e ambos foram menores que o PD, porém em motor com sistema de combustão direta.

CONCLUSÕES: Em regime de aceleração livre os óleos de canola, crambe e pinhão manso apresentaram consumo de combustível menor em relação ao petrodiesel (PD) e, o óleo de linhaça apresentou consumo maior. Sob regime de carga, todos os óleos avaliados apresentam consumo superior ao PD. O pré-aquecimento exerceu efeito no consumo sendo que sob aceleração livre, o consumo foi menor e, sob carga, o consumo foi maior em relação aos óleos não pré-aquecidos. Os óleos vegetais apresentam maior perda de potência relativa que o PD. Os óleos vegetais pré-aquecidos apresentam maior perda de potência relativa que os não pré-aquecidos. Os óleos de canola, crambe, pinhão manso e linhaça pré-aquecida (L100) apresentam opacidade menor que o PD. Não foi possível observar efeito do pré-aquecimento do óleo combustível na emissão de material particulado.

REFERÊNCIAS

- AGARWAL, A.K.; GUPTA, T.; KOTHARI, A. Toxic potential evaluation of particulate matter emitted from a constant speed compression ignition engine: a comparison between straight vegetable oil and mineral diesel. **Aerosol Science and Technology**, v. 44, p. 724-733, 2010.
- DELALIBERA, H.C.; WEIRICH NETO, P.H.; MARTINI, J. Using pre-heated sunflower oil as fuel in a Diesel cycle engine. In: Hosted by the Canadian Society for Bioengineering (CIGR), 2010, Québec. **Anais...** XVII th Hosted by the Canadian Society for Bioengineering, 2010.
- ENGLER, C.R., et al. Effects of processing and chemical characteristics of plant oils on performance of an indirect-injection diesel engine. **JAOCs**, v. 60, n. 8, p. 1592-1596, 1983.
- HAZAR, H.; AYDIN, H. Performance and emission evaluation of a CI engine fueled with preheated raw rapeseed oil (RRO)-diesel blends. **Applied Energy**, v. 87, p. 786-790, 2010.
- MARTINI, J.; DELALIBERA, H.C.; WEIRICH NETO, P.H. Consumo de óleo de soja pré-aquecido por motor Diesel. **Revista Brasileira de Agrociencia (UFPEL)**, v. 18, p. 213-220, 2012.
- PETERSON, C.L.; WAGNER, G.L.; AULD, D.L. Vegetable oil substitutes for diesel fuel. **Transactions of the ASAE**, v. 26, n. 2, p. 322-327, 1983.
- RYAN III, T.W.; DODGE, L.G.; CALLAHAN, T.J. The effects of vegetable oil properties on injection and combustion in two different diesel engines. **JAOCs**, v. 61, n. 10, p. 1610-1619, 1984.
- RYAN III, T.W.; STAPPER, B. Diesel fuel ignition quality as determination in constant volume combustion bomb. **SAE Techn. Pap. Ser.** 870586, 1987.