

AValiação DE EMISSões POLUENTES DE UM MOTOR DIESEL UTILIZANDO BODIESEL DE GIRASSOL COMO COMBUSTÍVEL

José Valdemar Gonzalez Maziero¹, Ila Maria Corrêa²; Maurício Assumpção Trielli³; José Augusto Bernardi⁴; Marcos F. D'Agostini⁵

RESUMO

Os óleos vegetais são apontados como alternativa importante para a redução dos níveis de emissão de poluentes. O objetivo do trabalho foi avaliar os níveis de emissões (gases poluentes e material particulado) e o desempenho de um motor de ignição por compressão alimentado com éster etílico de óleo de girassol (EEOG) em ensaios realizados em bancada dinamométrica. Os ensaios foram realizados em bancada dinamométrica de acordo com a norma NBR 14489 (Ciclo de 13 pontos). Nos valores das emissões ponderadas observaram-se diferenças percentuais de - 32,2 % para monóxido de carbono (CO); - 4,8 % para dióxido de carbono (CO₂), - 31,0 % para total de hidrocarbonetos (HC), - 41,0 % para material particulado MP e + 5,7% para óxido de nitrogênio (NOx) com o uso de EEOG, enquanto que a potência ponderada do motor diminuiu 10,0 % e o respectivo consumo específico de combustível aumentou em 21,8%. A utilização de éster etílico de óleo de girassol reduziu significativamente os níveis de emissão dos poluentes, CO, CO₂, HC e MP com aumento não significativo do óxido de nitrogênio e perda significativa do desempenho mecânico do motor.

Palavras-chaves: óleo vegetal combustível; desempenho do motor; combustível alternativo.

ABSTRACT

Evaluating the Pollutant Emissions from a Diesel Engine Using Sunflower Biodiesel as Fuel

The vegetable oils constitute an important alternative to decreasing the level of pollutant emissions. The purpose of this paper was to evaluate the exhaust emissions carried out in a running diesel engine using sunflower ethyl ester (SEE). The trials were carried out on a test bench according NBR 14489 (13 mode cycles). Reductions of 32.2%, 4.8%, 31.0% and 41.0% were observed for carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO₂), total hydrocarbons (HC) and particulate matter (PM), respectively, when using SEE, as wells as an increase of 5.7% for nitrogen oxides (NOx) with the use of SEE, but the power output showed a decrease of 10.0% and fuel consumption increased 21.8%. The use of SEE as fuel, rather significantly reduced the pollutant emissions from CO, CO₂, HC and PM with a non-significant increase in NOx and significant loss in the engine performance.

Keywords: vegetable oil fuel, engine performance, alternative fuel

Recebido para publicação em 18.04.2006

¹ Eng^o Agrônomo, Ms., Pesquisador, CEA/IAC, Caixa Postal 26, 13201-970 Jundiaí/SP, E-mail: maziero@iac.sp.gov.br.

² Eng^a Agrícola, Dra., Pesquisadora, CEA/IAC, E-mail: imcorrea@iac.sp.gov.br

³ Eng^o Mecânico, Dr., Pesquisador, IP, E-mail: trielli@ipt.br

⁴ Eng^o Agrônomo, Pesquisador, CEA/IAC, E-mail: bernardi@iac.sp.gov.br

⁵ Eng^o Mecânico, MWM, E-mail: dagostini@mwm.com.br

INTRODUÇÃO

A grande quantidade de veículos automotivos em uso no mundo tem sido responsável pelo aumento nos níveis de poluição ambiental. A queima de combustíveis, derivados do petróleo, lança no ar poluentes tais como hidrocarbonetos, monóxido de carbono e outros, que são nocivos à saúde. A substituição do óleo diesel por biodiesel ou misturas deste com o diesel é a alternativa mais focada, atualmente, para reduzir os níveis de emissão de poluentes gasosos e de particulados. A principal característica do biodiesel é a significativa porcentagem de massa de oxigênio em sua composição, em torno de 11 %, conforme Muñoz et al. (2004), o que representa menor poder energético, mas contribui para o aumento do número cetano e reduz as concentrações de gases poluentes emitidos. O Programa de Controle de Poluição do Ar, estabelecido pelo CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente, prevê a redução dos níveis de emissão de poluentes em mais duas etapas, uma a ser alcançada em janeiro de 2007 e outra em janeiro de 2009 (CONAMA, 2005). Diversos trabalhos com biodiesel e suas misturas com óleo diesel em motor de ignição por compressão, como os de Peterson & Reece (1996), Schumacher & Wetherell (1996), Schumacher et al. (2001), Durbin et al. (2001) e McCormick e Allemann (2003), apontam para redução na maioria das emissões regulamentadas (monóxido de carbono, CO; hidrocarboneto, HC e material particulado, MP).

Experiências realizadas pela PETROBRÁS (Pinto et al., 2001), utilizando diesel e misturas deste com biodiesel à base de soja (B5 e B20), ressaltam “a potencialidade favorável de redução das emissões de material particulado e de fumaça e a desfavorável potencialidade de elevação dos teores de óxidos de nitrogênio, à medida que se empregam teores crescentes do éster em mistura com óleo diesel”. Admitem, porém, que existem pontos que necessitam de estudos mais profundos como a quantificação das emissões de outros contaminantes e a estabilidade das misturas.

Considerando-se as inúmeras opções de óleo vegetal no Brasil (soja, mamona, girassol, palma, etc.) para produção de biodiesel, é importante que sejam conhecidas suas características físico-químicas e seus efeitos nas emissões de gases. Dentro dessa perspectiva, o objetivo do trabalho foi avaliar os níveis de emissão (gases poluentes e material particulado) e o desempenho de um motor de ignição por compressão, alimentado com éster etílico de óleo de girassol (EEOG), como combustível, em ensaios realizados em bancada dinâmométrica.

MATERIAL E MÉTODOS

A determinação dos níveis de emissão foi realizada em um motor MWM modelo 407TCA (92 kW a 3200 rpm) de injeção direta, utilizando óleo diesel metropolitano e biodiesel (éster etílico de óleo de girassol – EEOG) como combustíveis.

O processo de transesterificação do óleo de girassol foi realizado pela empresa Ceralit SA. Ind. e Comércio, enquanto as características físico-químicas foram determinadas pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, para verificar sua adequação à Portaria ANP 255/03 que, na época de realização dos ensaios, estabelecia a especificação do biodiesel a ser adicionado ao óleo diesel.

Os testes foram realizados no Laboratório de Motores do Instituto de Pesquisas Tecnológicas, de acordo com a norma NBR 14489 (ABNT, 2000), utilizando-se bancada dinâmométrica e um analisador de gases de escapamento. Segundo esta norma, o motor é submetido a uma seqüência de treze condições de cargas e rotação, denominada ciclo de 13 pontos, com fatores ponderais especificados. O ciclo compreende situações de marcha lenta sem carga e situações de rotação nominal e rotação intermediária com porcentuais (10, 25, 50, 75 e 100 %) do torque máximo. Para cada condição de operação, foram efetuados três conjuntos de ensaios de emissões, primeiramente com óleo diesel e, depois, com biodiesel, sendo determinados os níveis de hidrocarbonetos (HC),

monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxido de nitrogênio (NO_x), material particulado (MP) e grau de enegrecimento (GE), juntamente com a determinação de parâmetros ponderados de desempenho do motor (potência e consumo específicos) em função dos fatores de peso de cada ponto do ciclo de carga. O motor foi ensaiado com sua configuração original, sem qualquer alteração, a fim de assegurar que estivesse operando conforme recomendação do fabricante.

Os valores das variáveis avaliadas foram comparados pelo teste Tukey, ao nível de 5% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado da análise físico-química do EEOG é apresentado no Quadro 1, demonstrando que suas características

estão dentro dos limites estabelecidos na Portaria ANP 255/03.

No Quadro 2, são apresentados os resultados de desempenho e de emissões, obtidos no ensaio “13 pontos”, com óleo diesel e éster etílico de óleo de girassol. No Quadro 1, observa-se considerável diferença nos resultados, desfavorável ao uso de EEOG, no que diz respeito à eficiência mecânica global, sendo a potência do motor reduzida em 10,0% e o consumo específico aumentado em 21,8%. A queda na potência, observada com o uso do EEOG, pode ser explicada em razão do provável menor conteúdo energético por unidade de volume deste biodiesel, em relação àquele do óleo diesel. Segundo CERBIO (2004), o poder calorífico do diesel está em torno de 45 MJ kg⁻¹, enquanto o do biodiesel varia entre 39 a 42 MJ kg⁻¹. O diesel e o biodiesel, utilizados por Oliveira et al. (2005), apresentavam poder calorífico inferior de 42,3 e 37,5 MJ kg⁻¹, respectivamente.

Quadro 1. Características físico-químicas do EEOG utilizado no ensaio

| Característica analisada | Material analisado | Portaria ANP255/03 |
|---|---|-------------------------------|
| Aspecto | Límpido e isento de impurezas | Límpido e isento de impurezas |
| Água e sedimentos, % em volume | < 0,05 | máx: 0,05 |
| Cinzas sulfatadas, % | < 0,01 | máx: 0,020 |
| Corrosão, 3h a 50 °C | 1 | máx.: 1 |
| Massa específica a 20 °C- kg m ³ | 879,2 ± 0,1 | anotar |
| Enxofre total % | 0,007 ± 0,003 | máx.: 0,20 |
| Índice de iodo, g 100g | 129,3 ± 0,2 | anotar |
| Número de cetano | 48, 52 | min.: 45 |
| Ponto de fulgor, °C | resultados encontrados 92, 106, 115, 119 e >130 | min.: 100 |
| Resíduo de carbono, % | 0,03 | máx.: 0,05 |
| Ponto de entupimento, °C | 2 | máx.: 9 |
| Teor de etanol | 0,062 ± 0,007 | máx, :0,5 |
| Viscosidade cinemática a 40 °C, mm ² s | 4,61 ± 0,02 | 2,5 a 5,5 |
| Análise química | | |
| Sódio | 1,5 ± 0,4 | Na + K max.:10 mg kg |
| Potássio | < 1 | máx.: 10 mg kg |
| Fósforo | < 5 | |

Quadro 2 – Média dos resultados obtidos no ensaio de emissões (13 pontos)

| Combustível | Potência do motor kW | Consumo específico g kW ⁻¹ h ⁻¹ | Emissões específicas | | | | | GE |
|----------------------|-------------------------|--|------------------------------------|-----------------|---------------|----------------|----------------|---------------|
| | | | CO | CO ₂ | NOx | HC | MP | |
| | | | g kW ⁻¹ h ⁻¹ | | | | | Bosch |
| Óleo diesel | 38,0 <i>a</i> | 362 <i>b</i> | 0,861 <i>a</i> | 641 <i>a</i> | 5,27 <i>a</i> | 0,290 <i>a</i> | 0,261 <i>a</i> | 0,74 <i>a</i> |
| EEOG | 34,2 <i>b</i> | 441 <i>a</i> | 0,584 <i>b</i> | 610 <i>b</i> | 5,57 <i>a</i> | 0,200 <i>b</i> | 0,154 <i>b</i> | 0,30 <i>b</i> |
| Diferença percentual | - 10,0 | 21,8 | - 32,2 | - 4,8 | 5,7 | - 31,0 | - 41,0 | - 59,5 |

Nota: 1) Valores ponderados em função do fator de peso de cada um dos 13 pontos do ensaio.

2) Médias com mesma letra, na vertical, não diferem estatisticamente (Tukey, 5%).

Variações menores no desempenho do motor foram encontradas por outros autores, talvez devido ao menor porte dos motores. Redução média de 6,0% na potência medida foi encontrada por Silva et al. (2004) ao comparar o desempenho de biodiesel (B100) de óleo residual, em um trator equipado com motor diesel MWM 4TVA de 57 kW. Hilbert et al. (2002), estudando o desempenho de um trator equipado com motor diesel de 86,9 kW, obtiveram reduções de 3,7% na potência máxima e aumento de 9,5% no consumo específico com o uso de biodiesel, em comparação com o diesel.

A redução na eficiência no ensaio de 13 pontos, diferentemente dos ensaios à plena carga, envolve aspectos particulares. Neste ensaio, ocorrem várias condições de funcionamento do motor em cargas baixas, sendo que a combustão do combustível é dificultada pelo excesso de ar e por baixas taxas de liberação de calor provenientes do atraso de injeção do biodiesel.

Com o uso de EEOG (Quadro 2), as emissões de CO e HC e MP (- 32,2%; - 31,0% e - 41,0%, respectivamente) foram expressivamente reduzidas, enquanto a concentração de NOx ficou mais elevada (+ 5,7%). As reduções nas emissões específicas de CO e HC podem ser explicadas pela presença de oxigênio na molécula de biodiesel, uma vez que a disponibilidade deste comburente na câmara de combustão desloca a reação de queima do combustível, no sentido de produzir maiores quantidades de CO₂.

No caso do biodiesel, como simultaneamente se observa redução nas emissões de CO₂, a eficiência de queima pode ter se reduzido, apesar da diminuição observada da

concentração de HC nos gases de escapamento. As emissões de HC e CO, reduzidas com o uso de EEOG, podem ter seus valores reduzidos ainda mais com a definição de valores adequados de parâmetros de injeção (por exemplo, ponto de injeção e taxa de dosagem) nas diversas condições de carga e rotação de funcionamento do motor. O aumento nas emissões específicas de NOx é devido, principalmente, aos pontos de cargas efetivas, em que os menores atrasos químicos da combustão do biodiesel, oxigenado e de elevado número de cetano, facilitam a liberação de calor. Assim, a câmara de combustão atinge valores maiores de temperaturas, o que potencializa a formação de óxidos de nitrogênio.

Peterson & Reece (1996) testaram ésteres metílico e etílico de óleo de colza em um motor diesel Cummins, numa bancada dinamométrica. As emissões de hidrocarbonetos (HC), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx) e material particulado (PM), proporcionadas por óleo vegetal puro tiveram, respectivamente, variações de - 52,5%; - 7,6%; 0,9%; - 10,0% e + 9,9%, em relação às obtidas com o óleo diesel. Na comparação entre o metil éster e o etil éster de colza, verificou-se que este reduziu as emissões de HC (8,7%), CO (4,3%) e NOx (3,4%) em relação ao primeiro.

Características da emissão de poluentes em testes dinamométricos com motor de ignição por compressão, utilizando diesel, biodiesel e misturas de biodiesel/diesel (B20, B35, B65 e B100). foram determinadas por Schumacher et al. (2001). Os autores observaram que a emissão de NOx aumentou, enquanto as de HC, CO e MP diminuíram com o aumento da concentração de biodiesel.

Misturas de metil éster de girassol/diesel (B25, B50, B75 e B100) foram utilizadas por Muñoz et al. (2004), em motor diesel automotivo, para determinação dos níveis de emissão de poluentes. Nos testes realizados, a emissão de hidrocarbonetos com as misturas de biodiesel foi menor, somente, em relação ao diesel em algumas condições de operação, especialmente em cargas baixas. A concentração de NOx com biodiesel puro, entretanto, foi sempre maior do que com o diesel. As emissões de monóxido de carbono com biodiesel puro ou misturado foram, em geral, menores do que com o diesel (exceções para rotações e cargas altas no motor).

A redução do grau de enegrecimento e da emissão específica de material particulado medido são representativas e favoráveis ao uso do EEOG, o que, em parte, é explicado pela ausência de enxofre no EEOG. O enxofre compartilha o oxigênio disponível na fase tardia da combustão com o carbono resultante da queima parcial, em algumas condições de funcionamento do motor, aumentando a produção de material particulado. Os resultados estão coerentes com a literatura consultada.

CONCLUSÕES

- A utilização de éster etílico de óleo de girassol provocou perda significativa do desempenho mecânico do motor.
- A utilização de éster etílico de óleo de girassol reduziu, significativamente, os níveis de emissão dos poluentes, monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrocarboneto e material particulado, com aumento não significativo do óxido de nitrogênio.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP pelo apoio financeiro (Processo nº. 02/04492-0).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 14489** - Motor Diesel - Análise e determinação dos gases e do material particulado emitidos por motores do

ciclo diesel - Ciclo de 13 pontos. Rio de Janeiro, 2000, 41p.

CENTRO BRASILEIRO DE REFERÊNCIA EM BIODIESEL – CERBIO. **O Biodiesel**, Ed. 003, Curitiba, 16/04/2004, p.2, Disponível em: <http://www.tecpar.br/cerbio/biodiesel/Ed_003.pdf>. Acesso em 15/06/05.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 315 de 29 de outubro de 2002**. Disponível em <http://www.fagaf.com.br/Resolucao_conama/res315.htm>. Acesso em 06/06/2005.

DURBIN, T.D., COCKER, K., COLLINS, J.F. & NORBECK, J.M. **Final Report: Evaluation of effects of biodiesel and biodiesel blends on exhaust emission rates and reactivity-2**. University of California, 2001, 70 p. Disponível em: <http://138.23.180.142/research/pubs/biodiesel-2-20998-final.pdf>. Acesso em 31/05/2004.

HILBERT, J.A., TESOURO, M.O., AUCUNÁ, M.O., PINCU, M.S. Rendimiento comparativo de biodiesel y gasoil em tractores agrícolas. **INTA**, Buenos Aires, 2002. Disponível em <<http://www.inta.gov.br/iir/info/documentos/energia/resbiodiesel.htm>>. Acesso em 15 dez. 2003.

McCORMICK, R.L. & ALLEMAN, T.L. **Impact of biodiesel fuel on pollutant emissions from diesel engines**. Disponível em: www.Uidaho.edu/bionergy/BiodieselEd/publication/05.pdf. Acesso em 03/12/2004.

MUÑHOZ, M. MORENO, F. & MOREA, J. Emissions of an automobile diesel engine fueled with sunflower methyl ester. **Transaction of the ASAE**. v.47, n.1, p. 5-11, 2004.

OLIVEIRA, E., SILVA, F.M. da, CONDE, A. do P., BARBOSA, R.L., SOUZA, R.G. e LIMA, P.H.G. Desempenho comparativo de motor de combustão alimentado com diesel, B2, B5, B20 e B100. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 2, 2005. Varginha. **Anais ...** Varginha: UFLA, 2005. p.761-768. CD-Rom.

PETERSON, C. & REECE, D. Emissions characteristics of ethyl and methyl ester of rapeseed oil compared with low sulfur diesel control fuel in a chassis dynamometer test of a pickup truck. **Transaction of the ASAE**. v.39, n.3, p.805-816, 1996.

PINTO, R.R. da C., FACHETTI, A. de M. & PERIN, C. Caracterização do biodiesel para uso automotivo. IN: SEMINÁRIO DE BIODIESEL, 1. AEA, São Paulo, 2001, 13p. **(Cópia avulsa)**

SCHUMACHER, L.G., MARSHALL, W. KRAHL, J. WETHEREL, W.B. & GRABOWSKI, M.S. Biodiesel emissions data from series 60 DDC Engines. **Transaction of the ASAE**. v. 44, n.6, p. 1465-1468, 2001.

SCHUMACHER, L.G., WETHERELL, W.B. **Final Report to the National Biodiesel Board "Fuelling direct engines with 100% neat biodiesel**. Disponível em: http://www.biodiesel.org/resources/reportsdatabase/reports/tra/19960831_tra-041.pdf. Acesso em 10/10/2005.

SILVA, F.M. da, LOPES, A., NETO, P.C., DABDOUB, M., SALVADOR, N., Silva, R.P.da. Desempenho comparativo de motor de combustão alimentado com diesel, B50 e B100. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 1, 2004, Varginha. **Anais eletrônicos...**, Varginha: UFLA. Disponível em <<http://www.deg.ufla.br/oleo/anais/artigos/e05.pdf>>. Acesso em 15 jun. 2005.