

# Biodiesel etílico filtrado de óleo residual de soja: desempenho de um trator agrícola na operação de gradagem

Danilo Cesar Checchio Grotta\*, Afonso Lopes, Carlos Eduardo Angeli Furlani, Rouverson Pereira Da Silva, Gustavo Naves Dos Reis e Jorge Wilson Cortez

*Departamento de Engenharia Rural, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, 14884-900, Jaboticabal, São Paulo, Brasil. \*Autor para correspondência. E-mail: dcgrotta@yahoo.com.br*

**RESUMO.** Este teste foi realizado para avaliar o desempenho de um trator agrícola utilizando mistura de biodiesel com diesel de petróleo como combustível. O experimento foi realizado na FCAV-Unesp, Jaboticabal, São Paulo, e utilizou-se um trator 4x2 TDA de 73,6 kW (100 cv @ 2.300 rpm) de potência no motor e grade aradora. O biodiesel utilizado foi do tipo etílico, filtrado, produzido à base de óleo residual. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso em esquema fatorial (4x5), com quatro repetições, em que foram combinadas cinco proporções de mistura biodiesel e diesel de petróleo (0 e 100%, 25 e 75%, 50 e 50%, 75 e 25% e 100 e 0%) com quatro marchas de deslocamento. As variáveis analisadas foram potência na barra de tração, rotação do motor e velocidade de deslocamento. Os resultados evidenciaram que a proporção de mistura (biodiesel e diesel de petróleo) não comprometeu o desempenho do trator até o limite de 50%.

**Palavras-chave:** biodiesel, desempenho de trator, grade aradora.

**ABSTRACT. Filtered ethyl ester biodiesel from residual soybean oil: performance of an agricultural tractor in the disk harrow operation.** This test was conducted to evaluate the performance of an agricultural tractor using a mixture of biodiesel and petroleum diesel. The experiment was conducted at FCAV-Unesp, Jaboticabal, using a 4x2 AFWF tractor with 73.6 kW (100 hp @ 2,300 rpm) of power in the motor, pulling a disk harrow. The biodiesel used was of the ethyl type, filtered, and produced from residual soybean oil. The experimental design was completed randomized in factorial scheme (4x5), with 20 treatments and 4 repetitions, in which 5 ratios of biodiesel and petroleum diesel mixtures were combined (0 and 100%, 25 and 75%, 50 and 50%, 75 and 25% and 100 and 0%), with 4 displacement runs. The analyzed variables were traction bar power, engine rotation and displacement speed. The results evidenced that the mixture ratio (biodiesel and petroleum diesel) did not compromise tractor performance until the limit of 50%.

**Key words:** biodiesel, tractor performance, disk harrow.

## Introdução

O trator agrícola, com a função de transportar, acionar e tracionar, é a principal fonte de transformação e fornecimento de energia para o sistema de produção agrícola atual. Por esse motivo, existe a necessidade crescente de estudos que visem aumentar o rendimento, reduzir o custo/hora trabalhada, minimizar os impactos ambientais e desenvolver combustível alternativo para o funcionamento dessa máquina.

Observa-se que os estudos que envolveram tratores agrícolas focalizaram o mesmo como uma máquina convencional, em que o combustível utilizado (diesel) é tratado como padrão. Sabe-se que o diesel apresenta como implicações preço elevado, poluição do meio ambiente pelo lançamento de gases tóxicos (monóxido de carbono, dióxido de carbono e outras frações), sendo ainda um recurso

natural não-renovável.

Segundo Salazar (2002), a crise energética vem forçando a busca de alternativas energéticas no mundo todo, o que resulta na realização de inúmeras pesquisas em outras fontes não-dependentes do petróleo. A investigação do potencial combustível dos óleos vegetais constitui-se em uma destas alternativas e vem apresentando resultados animadores.

Existem duas possibilidades de utilização de óleos vegetais como combustível: a primeira é a utilização direta desses óleos, e a segunda, mais pesquisada e difundida, é a utilização do óleo vegetal transesterificado, transformando-se em biodiesel. A transesterificação de óleo vegetal se faz por meio de um processo químico que envolve o uso de álcool e um catalisador, que normalmente é o hidróxido de sódio (Denucci, 2002).

De acordo com Cook *et al.* (1993), a produção do biodiesel tem como grande fonte de matéria-prima os óleos residuais ou óleos produzidos a partir de produtos vegetais, o que causou interesse científico em vários países europeus. O autor ressalta a importância de estudos com o objetivo de reduzir o custo de produção e procurar alternativas de uso de tal produto. Desse modo, o suporte governamental é imprescindível para tornar viável a produção e uso do biodiesel.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de um trator na operação de preparo do solo com grade aradora para variar a proporção de mistura (% biodiesel – % diesel de petróleo) combinada com quatro velocidades de deslocamento. Pretendeu-se determinar quais proporções de biodiesel e quais velocidades de deslocamento não comprometeram o desempenho do trator na operação de gradagem.

### Material e métodos

O experimento foi conduzido na FCAV-Unesp, Jaboticabal, Estado de São Paulo. O local do presente trabalho apresentava solo desprovido de vegetação, com localização geográfica definida pelas coordenadas 21°15' de latitude Sul e 48°18' de longitude Oeste de Greenwich. Apresenta altitude média de 570 m. O clima é Cwa (subtropical), de acordo com a classificação de Köppen.

O solo da área experimental é classificado por Andrioli e Centurion (1999) como Latossolo Vermelho eutroférico típico, textura muito argilosa, A moderado, caulínico-oxálico, relevo suave ondulado. No momento dos testes, a média de teor de água, no solo, foi 10,09 e 13,18% nas camadas de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m, respectivamente.

Utilizou-se um trator Valtra, modelo BM 100, 4x2 TDA, com potência de 73,6 kW (100 cv @ 2.300 rpm) no motor e massa de 5.400 kg (Pneus dianteiros: 14.9-24R1; Pneus traseiros: 23.1-26R1). Com a finalidade de oferecer resistência ao trator, foi acoplada à barra de tração uma grade aradora de arrasto, com 16 discos recortados de 609,6 mm (24 polegadas) de diâmetro, equipada com rodas para transporte.

O biodiesel utilizado no ensaio foi do tipo etílico filtrado e produzido no Departamento de Química (Ladétel) da USP – Ribeirão Preto, Estado de São Paulo, sendo o mesmo produzido à base de óleo residual de soja, coletado no Restaurante Universitário da própria Unesp, e álcool etílico.

Para determinar a força de tração na barra, utilizou-se uma célula de carga (M. Shimizu, modelo TF400 com precisão de 10 N). A rotação na tomada de potência foi determinada com auxílio de

um conjunto formado por uma roda dentada e um sensor ótico (S&E, modelo GIDP-60-U-12 V) instalado na própria tomada de potência. A roda dentada possui 60 ranhuras, por meio das quais passa um feixe de luz, produzindo 60 pulsos a cada volta completa. A velocidade de deslocamento foi obtida por meio de um radar (modelo RVS II), variando-se as marchas de trabalho e com o motor do trator em rotação máxima de trabalho em todas parcelas experimentais; todos os sensores enviaram os sinais a um sistema de aquisição de dados (micrologger CR23X). Este sistema foi programado para obter frequência de dez leituras por segundo.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 5x4 (5 proporções de mistura e quatro velocidades de deslocamento), com 20 tratamentos e quatro repetições.

As proporções de mistura biodiesel e diesel de petróleo foram: 0 e 100 % (B<sub>0</sub>), 25 e 75% (B<sub>25</sub>), 50 e 50% (B<sub>50</sub>), 75 e 25% (B<sub>75</sub>) e 100 e 0% (B<sub>100</sub>); as marchas de deslocamento foram: L<sub>1</sub> Tartaruga (V<sub>1</sub>), L<sub>2</sub> Lebre (V<sub>2</sub>), L<sub>3</sub> Lebre (V<sub>3</sub>) e L<sub>4</sub> Lebre (V<sub>4</sub>). Cada parcela experimental teve comprimento de 20 m e, entre as parcelas, no sentido longitudinal, reservou-se um intervalo de 15 m, cuja finalidade foi realizar manobras, trânsito de equipamentos e estabilizar as condições dos testes.

Para o cálculo da largura de corte real da grade aradora, utilizou-se o valor da largura média de corte obtida em cinco passadas paralelas da grade, medidas por meio de trena de 50 m; ainda, para medir a profundidade média de trabalho da grade, que foi de 170 mm, utilizou-se uma régua em forma de espeto, graduada em centímetros, introduzida em três pontos diferentes de cada parcela.

Para avaliar o desempenho do trator, usando as proporções de combustível e as velocidades descritas anteriormente, foram considerados os seguintes parâmetros: potência na barra de tração, capacidade de campo efetiva e rotação no motor.

A potência média na barra de tração determinou-se de forma indireta; para tal, utilizou-se a equação 1.

$$PB = FT \star v \quad (1)$$

em que:

PB = potência na barra de tração (kW);  
 FT = força média de tração na barra (kN);  
 v = velocidade real de deslocamento (m s<sup>-1</sup>).

A rotação do motor foi estimada de acordo com a equação 2.

$$RM = RTDP \star RT \quad (2)$$

em que:

$RM$  = rotação do motor (rpm);

$RTDP$  = rotação da tomada de potência do trator;

$RT$  = relação de transmissão entre o motor e a TDP (3,47).

Os dados foram submetidos à análise de variância e, para comparar as médias dos tratamentos, utilizou-se o Teste de Tukey em níveis de 5 e 1% de probabilidade, conforme Pimentel Gomes (1987).

## Resultados e discussão

### Potência na barra de tração

Na Tabela 1, verifica-se que não houve diferença significativa na interação, ou seja, os fatores proporção de mistura e velocidade são independentes. Isto é, a potência na barra de tração em função da proporção de mistura não é influenciada pela velocidade de deslocamento e vice-versa.

**Tabela 1.** Análise de variância para a variável potência na barra de tração.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F
Fator A <sup>1</sup>	4	32,91	8,23	2,63*
Fator B <sup>2</sup>	3	2809,32	936,44	300,01**
Fator AxB	12	55,62	4,64	1,49 <sup>ns</sup>
(Tratamentos)	19	2897,84	152,52	
Blocos	3	10,00	3,33	1,07 <sup>ns</sup>
Resíduo	57	177,92	3,12	
Total	79			

<sup>1</sup>Fator A: proporção de mistura (A = 5). <sup>2</sup>Fator B: marcha de deslocamento (B = 4).

\*Significativo em nível de 5% de probabilidade. \*\*Significativo em nível de 1% de probabilidade. <sup>ns</sup>: não-significativo.

De acordo com a Tabela 2, deduz-se que não houve diferença significativa para a potência na barra de tração com proporções de mistura de 0% (Diesel puro), 25, 50 e 75%, e o desempenho do trator foi equivalente. No entanto, a referida potência para a proporção 100% diferenciou-se significativamente das anteriores, obteve-se o menor índice de desempenho do trator.

**Tabela 2.** Potência na barra de tração (kW), em função da proporção de mistura e da marcha de deslocamento.

Proporção	Velocidades (km h <sup>-1</sup> )				Médias
	V <sub>1</sub> (2,70)	V <sub>2</sub> (4,30)	V <sub>3</sub> (6,00)	V <sub>4</sub> (6,70)	
B <sub>0</sub>	9,91	15,40	24,69	27,01	19,25 a
B <sub>25</sub>	10,39	15,38	22,21	26,94	18,73 ab
B <sub>50</sub>	11,39	16,24	21,88	26,67	19,04 ab
B <sub>75</sub>	10,52	15,85	22,24	24,52	18,28 ab
B <sub>100</sub>	10,04	14,92	22,10	22,73	17,45 b
Médias	10,45 A	15,56 B	22,62 C	25,57 D	

Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesma letra minúscula e, em cada linha, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A potência na barra de tração, em função da velocidade de deslocamento, evidenciou diferença significativa (Tabela 2). Na própria Tabela, constata-se que a potência na barra de tração aumenta com o

incremento da velocidade. Porém, não deve ser usada a velocidade V<sub>4</sub> (6,7 km h<sup>-1</sup>), dado que o trator teve o seu desempenho comprometido e seu motor chegou a “afogar” por duas vezes.

### Capacidade de campo efetiva

Com base na Tabela 3, verifica-se que houve diferença significativa na interação, ou seja, os fatores proporção de mistura e velocidade de deslocamento dependem um do outro. Isto é, a capacidade de campo efetiva é influenciada simultaneamente pelos dois fatores.

**Tabela 3.** Análise de variância para a variável capacidade de campo efetiva.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F
Fator A <sup>1</sup>	4	0,04	0,01	2,16 <sup>ns</sup>
Fator B <sup>2</sup>	3	4,87	1,62	397,17**
Fator AxB	12	0,11	0,01	2,19*
(Tratamentos)	19	5,02	0,26	
Blocos	3	0,01	0,01	0,45 <sup>ns</sup>
Resíduo	57	0,23	0,01	
Total	79			

<sup>1</sup>Fator A: proporção de mistura (A = 5). <sup>2</sup>Fator B: marcha de deslocamento (B = 4).

\*Significativo em nível de 5% de probabilidade. \*\*Significativo em nível de 1% de probabilidade. <sup>ns</sup>: não-significativo.

Analisando-se o fator proporção de mistura dentro de cada velocidade, observa-se que não houve diferença significativa deste fator para as velocidades V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub> e V<sub>3</sub> (Tabela 4). Isto significa que não houve influência da proporção de mistura na capacidade de campo efetiva para estas velocidades. No entanto, para a velocidade V<sub>4</sub>, não houve diferença significativa na capacidade de campo efetiva, nas proporções de mistura de 0, 25 e 50%, o que indica um desempenho semelhante do trator nestas condições de trabalho.

**Tabela 4.** Capacidade de campo efetiva (ha h<sup>-1</sup>), em função da proporção de mistura e da marcha de deslocamento

Proporção	Velocidades (km h <sup>-1</sup> )				Média
	V <sub>1</sub> (2,70)	V <sub>2</sub> (4,30)	V <sub>3</sub> (6,00)	V <sub>4</sub> (6,70)	
B <sub>0</sub>	0,447	0,698	0,954	1,202	0,821 a
B <sub>25</sub>	0,492	0,700	0,950	1,105	0,825 a
B <sub>50</sub>	0,450	0,682	0,976	1,073	0,795 a
B <sub>100</sub>	0,452	0,682	0,979	0,957	0,767 a
Médias	0,459 A	0,693 B	0,971 C	1,094 D	

Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesma letra minúscula e, em cada linha, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para o fator velocidade de deslocamento dentro de cada proporção de mistura, constata-se que houve diferença significativa entre todas velocidades para as proporções de 0, 25 e 50% (Tabela 4). Porém, para as proporções de mistura com 75 e 100% de biodiesel, nas velocidades V<sub>3</sub> e V<sub>4</sub>, as capacidades de campo efetivas não apresentaram diferenças

significativas, ou seja, foram equivalentes (Tabela 4). Na referida Tabela, observa-se que o incremento de biodiesel à mistura teve a sua maior influência na capacidade de campo para a velocidade de deslocamento  $V_4$ . Nesta velocidade, houve diminuição da capacidade de campo com o aumento da proporção de mistura de biodiesel. Isto concorda com o esperado, dado que o incremento de biodiesel à mistura reduz o poder calorífico do combustível resultante, conforme Laforgia e Ardito (1995) e Peterson *et al.* (1996), o que implica queda do desempenho do motor, diminuindo a velocidade de trabalho e, conseqüentemente, a capacidade de campo efetiva.

#### Rotação do motor

Na Tabela 5, verifica-se que houve diferença altamente significativa na interação, ou seja, as rotações do motor foram influenciadas simultaneamente pelos fatores proporção de mistura e velocidade de deslocamento.

**Tabela 5.** Análise de variância para a variável rotação do motor.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F
Fator A <sup>1</sup>	4	219434,80	54858,70	9,76**
Fator B <sup>2</sup>	3	3398546,05	1132848,68	201,44**
Fator Ax B	12	474392,20	39532,68	7,03**
(Tratamentos)	19	7092373,05	215388,06	
Blocos	3	2424,95	811,65	0,14 <sup>m</sup>
Resíduo	57			
Total	79			

<sup>1</sup>Fator A: proporção de mistura (A = 5). <sup>2</sup>Fator B: marcha de deslocamento (B = 4). \*Significativo em nível de 5% de probabilidade. \*\*Significativo em nível de 1% de probabilidade. <sup>m</sup>: não-significativo.

Analisando-se o fator proporção de mistura dentro de cada velocidade de deslocamento, observa-se que não houve diferença significativa deste fator para as velocidades  $V_1$ ,  $V_2$  e  $V_3$ . Porém, para a velocidade  $V_4$ , houve diferença significativa, obtendo-se a maior e a menor rotação do motor com 25 e 100% de biodiesel, respectivamente. Nota-se, ainda, que as rotações do motor foram equivalentes para a velocidade  $V_4$ , com as proporções de mistura de 0, 50 e 75%, uma vez que as diferenças não são significativas (Tabela 6).

De acordo com a Tabela 6, para o fator velocidade de deslocamento dentro de cada proporção de mistura, as rotações do motor não apresentaram diferenças significativas, independentemente da proporção nas velocidades  $V_1$ ,  $V_2$  e  $V_3$ . Na própria Tabela, observa-se que as rotações foram estáveis para as referidas velocidades. No entanto, para a velocidade  $V_4$ , houve redução nas rotações do motor apresentando diferenças

significativas em relação às anteriores.

**Tabela 6.** Rotação do motor (rpm), em função da proporção de mistura e da marcha de deslocamento.

Proporção	Velocidades (km h <sup>-1</sup> )				Médias
	$V_1$ (2,70)	$V_2$ (4,30)	$V_3$ (6,00)	$V_4$ (6,70)	
B <sub>0</sub>	2189,75	2147,75	2090,75	1700,25	2032,13 ab
B <sub>25</sub>	2168,00	2126,25	2084,75	1951,00	2082,50 a
B <sub>50</sub>	2174,00	2145,50	2083,00	1645,50	2012,00 ab
B <sub>75</sub>	2172,25	2110,00	2038,50	1603,25	1981,00 b
B <sub>100</sub>	2164,50	2114,25	2044,75	1377,50	1925,25 c
Médias	2173,70 A	2128,75 AB	2068,35 B	1655,50 C	

Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesma letra minúscula c, em cada linha, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

#### Conclusão

O biodiesel pode ser usado em tratores agrícolas como alternativa de combustível, não comprometendo o desempenho do seu motor.

A porcentagem de biodiesel na mistura não deve ser superior a 75%, para as condições deste teste em particular.

A velocidade de deslocamento, para as condições testadas, não deve ser superior a 6,0 km h<sup>-1</sup>.

#### Referências

- ANDRIOLI, I.; CENTURION, J.F. Levantamento detalhado dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., 1999, Brasília. Anais... Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. (T025-3 CD-ROM).
- COOK, P. *et al.* The potential for biodiesel production in the UK. *Farm Management*, London, v. 8, n. 8, p. 361-368, 1993.
- DENUCCI, S. Óleo bruto de girassol como combustível. *CATI on line*, dez. 2002. Disponível em: <<http://www.cationline.org.br>>. Acesso em: 19 dez. 2002.
- LAFORGIA, L.; ARDITO, V. Biodiesel fueled IDI engines: performances, emissions and heat release investigation. *Bioresour. Technol.*, Essex, v. 51, n. 1, p. 53-59, 1995.
- PETERSON, L. *et al.* Ethyl ester of rapeseed used as a biodiesel fuel – a case study. *Biomass and Bioenergy*, Oxford, v. 10, n. 5-6, p. 331-36, 1996.
- PIMENTEL GOMES, F. *A estatística moderna na agropecuária*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987.
- SALAZAR, E. Óleos vegetais: combustíveis alternativos. *Cidade Virtual: Bionline*, Pelotas, 2002. Disponível em <<http://www.terra-cidadevirtual.html>>. Acesso em: 19 dez. 2002.

Received on July 07, 2006.

Accepted on March 31, 2008.