

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**BIODIESEL DE MAMONA EM TRATOR AGRÍCOLA  
NA OPERAÇÃO DE PREPARO DO SOLO**

Ana Lúcia Paschoa Botelho Ferreira Barbosa  
Engenheira Agrônoma

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Julho de 2007

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**BIODIESEL DE MAMONA EM TRATOR AGRÍCOLA  
NA OPERAÇÃO DE PREPARO DO SOLO**

**Ana Lúcia Paschoa Botelho Ferreira Barbosa**

**Orientador: Prof. Dr. Afonso Lopes**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do solo).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Julho de 2007

B238b Barbosa, Ana Lúcia Paschoa Botelho Ferreira  
Biodiesel de mamona em trator agrícola na operação de preparo  
do solo / Ana Lúcia Paschoa Botelho Ferreira Barbosa. --  
Jaboticabal, 2007  
xiii, 62 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,  
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2007  
Orientador: Afonso Lopes  
Banca examinadora: Gutemberg Pereira Dias, Carlos Eduardo  
Angeli Furlani.  
Bibliografia

1. Biocombustível. 2. Ensaio de Trator. 3. Opacidade da fumaça I.  
Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.372:662.7

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**ANA LÚCIA PASCHOA BOTELHO FERREIRA BARBOSA** – natural da cidade de Jaboticabal, Estado de São Paulo, nasceu aos 10 dias do mês de maio de 1978. Iniciou o curso de graduação em Agronomia na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias Câmpus de Jaboticabal – UNESP, no ano de 2001. Durante o período de graduação, foi estagiária da Michelin e participou de atividades científicas com projetos na área de “Máquinas e Mecanização Agrícola”. Em 2005, concluiu o curso de Agronomia. Em 2006, iniciou o curso de Mestrado junto ao Programa de Ciência do Solo da UNESP de Jaboticabal, concluindo-o em julho de 2007.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a DEUS, pelo dom da vida e por ter-me ajudado a segurar os fardos pesados nos momentos que mais precisei durante este período.

À FCAV/UNESP, que é a realização concreta de um sonho de infância, em especial ao Departamento de Engenharia Rural, que soube acolher-me como filha; e também ao programa de Ciência do Solo, pela oportunidade.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Afonso Lopes, além de amigo, um profissional incomparável, bem como uma referência para quem almeja um mundo mais justo.

Aos meus amigos José Renato Zanini e à minha querida amiga Helen.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia, Miriam, Davi, Ari, Silvia, Clarice, Aparecido, Valdecir e Sebastião, que não mediram esforços quando mais precisei.

Aos amigos de curso Anderson, Rubens, Danilo, Jorge, Flávia, Luciana Nalon, Renata Castolde e Hamilton e, em especial, ao colega Felipe Thomaz da Câmara, cujas maiores características são, indubitavelmente, a humildade e a presteza.

Às empresas COOPERCITRUS e à VALTRA do Brasil, pela parceria que resultou na disponibilidade dos tratores de testes, em especial ao Sr. José Geraldo Silveira Mello, gerente da COOPERCITRUS, pelo apoio logístico ao Projeto Biodiesel; e aos senhores Jak Torretta e Rogério Zanatto, representantes da Valtra.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, pelo incentivo financeiro para a aquisição da instrumentação do trator.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

## SUMÁRIO

	Página
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>x</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>xi</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>xii</b>
<b>I. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>II. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
1. Aspectos gerais sobre a cultura da mamona.....	3
2. Aspectos gerais sobre o Biodiesel.....	5
2.1 Propriedades do Biodiesel.....	10
2.1.1 Viscosidade.....	10
2.1.2 Número de cetano.....	11
2.1.3 Poder calorífico.....	12
2.1.4 Estabilidade do Biodiesel.....	12
2.1.5 Lubricidade.....	13
3.Preparo do solo.....	14
4.Trator.....	15
<b>III. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>17</b>
1.Material.....	17
1.1 Área experimental.....	17
1.2 Trator de teste.....	17
1.3 Trator de lastro.....	18
1.4 Grade aradora.....	20
1.5 Escarificador.....	20
1.6 Biodiesel.....	21
1.7 Instrumentação do trator de teste para o ensaio de desempenho.....	21
1.7.1 Equipamento para a determinação da velocidade.....	21
1.7.2 Equipamento para a determinação da força de tração na barra.....	22
1.7.3 Sistema de aquisição e armazenamento de dados.....	22
1.7.4 Determinação do consumo de combustível.....	23
1.8 Instrumentação do trator de teste para o ensaio de opacidade da fumaça.....	26
1.8.1 Opacímetro.....	26
1.8.2 Controlador serial.....	27
2 Métodos.....	31
2.1 Condução do experimento.....	31
2.2 Avaliação em cada tratamento.....	32
2.2.1 Velocidade real de deslocamento.....	32
2.2.2 Determinação da força média na barra de tração.....	32
2.2.3 Determinação da potência média na barra de tração.....	33

2.2.4	Determinação do consumo de combustível.....	33
2.2.5	Consumo horário .....	34
2.2.6	Consumo específico .....	35
2.2.7	Determinação da patinagem.....	36
2.2.8	Determinação da opacidade.....	36
3	Análise estatística .....	37
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>38</b>
1	Ensaio I – Desempenho do trator .....	38
1.1	Velocidade de deslocamento.....	39
1.2	Potência na barra de tração .....	39
1.3	Consumo horário volumétrico.....	39
1.4	Consumo horário ponderal .....	40
1.5	Consumo horário específico .....	41
1.6	Patinagem .....	42
2	Ensaio II – Opacidade da fumaça do trator.....	43
<b>V.</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>45</b>
<b>VI.</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>45</b>
<b>APÊNDICE</b>	<b>.....</b>	<b>55</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela</b>	<b>Página</b>
1. Síntese da análise de variância e do teste de médias para Velocidade e potência na barra .....	38
2. Síntese da análise de variância e do teste de médias para o consumo horário (volumétrico – Chv e ponderal – Chm) e consumo específico (CESP) .....	40
3. Síntese da análise de variância e do teste de médias para a opacidade da fumaça.....	43



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1. Vista geral do trator de teste .....	18
2. Trator de lastro.....	19
3. Vista da grade aradora de arraste .....	20
4. Vista do escarificador de arraste.....	20
5. Unidade de radar .....	21
6. Célula de carga acoplada à barra de tração .....	22
7. Sistema de aquisição de dados ligado aos sensores .....	23
8. Reservatórios de combustível à esquerda e filtros auxiliares à direita.....	24
9. Organização geral dos sensores no trator instrumentado de teste .....	25
10. Vista geral do opacímetro TM 133 .....	26
11. Vista detalhada do opacímetro .....	27
12. Controlador serial para comunicação entre sensores e computador .....	28
13. Esquema de ligação do controlador serial .....	29
14. Vista geral do trator instrumentado para o ensaio de opacidade da fumaça.....	30
15. Representação gráfica do consumo específico em função da proporção de mistura de Biodiesel de mamona destilado e diesel .....	42
16. Representação gráfica da opacidade da fumaça em função da proporção de mistura de Biodiesel de mamona etílico destilado e diesel.....	44

## **BIODIESEL DE MAMONA EM TRATOR AGRÍCOLA NA OPERAÇÃO DE PREPARO DO SOLO**

**RESUMO:** Considerando-se o petróleo um recurso natural não-renovável, o Biodiesel apresenta-se como relevante alternativa de combustível, sendo ele renovável, biodegradável e podendo ser produzido a partir de gordura animal ou óleo vegetal transesterificado com álcool anidro, na presença de catalisador. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho operacional e a opacidade da fumaça de um trator agrícola funcionando com Biodiesel de mamona, em operação de preparo de solo. O ensaio foi conduzido no Departamento de Engenharia Rural da UNESP-Jaboticabal, em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 6x2, com quatro repetições. O primeiro fator representa seis proporções percentuais de Biodiesel + diesel de B0 (0+100), B5 (5+95), B15 (15+85), B25 (25+75), B50 (50+50) e B75 (75+25) e o segundo representa duas operações de preparo do solo (gradagem e escarificação). Ressalta-se que B75 foi a máxima proporção de mistura, devido ao alto índice de viscosidade do biocombustível, sendo tal característica limitadora para o funcionamento do motor diesel. Os resultados evidenciaram aumento no consumo específico de 19% quando se utilizou B75 em relação a B0. A operação de gradagem teve consumo específico 16% maior em relação à operação de escarificação. Para a opacidade da fumaça, houve redução de 35% de B75 comparado com B0.

**PALAVRAS-CHAVE:** biocombustível, ensaio de trator, opacidade da fumaça.

## **MAMONA BIODIESEL IN AGRICULTURAL TRACTOR FOR SOIL TILLAGE OPERATIONS**

**SUMMARY** - Considering petroleum as a non-renewable natural resource, Biodiesel presents itself as a relevant fuel alternative, being renewable, biodegradable and can be produced from vegetal oil transesterification with anhydride alcohol in the presence of a catalisator. This work has the goal of analyzing the operational performance and smoke opacity of a agricultural tractor running with mamona Biodiesel in soil tillage operations. The test was done in the Department of Rural Engineering of UNESP-Jaboticabal in design completely randomized, in factorial scheme 6x2, with four repetitions. The first factor represents six percentual proportions of Biodiesel plus diesel B0 (0+100), B5 (5+95), B15 (15+85), B25 (25+75), B50 (50+50) e B75 (75+25) and the second represents two soil tillage operations (harrowing and chiseling). It is important to note that B75 was the maximum mixture proportion due to the high level of biofuel viscosity, this characteristic being not recommended for diesel engines. The results showed that the specific consumption raised by 19% when B75 was used instead of B0. The harrowing operation had specific consumption 16% higher than the chiseling operation. For smoke opacity, it was noted a reduction of 35% of B75 compared to B0.

**KEYWORDS:** biofuel, tractor test, smoke opacity.

## I INTRODUÇÃO

No Brasil, a questão do uso energético de óleos vegetais começou a ser discutida pelo Governo Federal em 1975, sob a coordenação do Ministério da Agricultura, dando origem ao “Pro-óleo - Plano de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos”, que resultou na Resolução nº 7 da Comissão Nacional de Energia, a qual não foi realmente implantada. O objetivo desse Programa foi gerar um excedente significativo de óleo vegetal, capaz de tornar o custo de produção competitivo com o do óleo mineral (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS, 2003). Porém, com a redução dos preços do petróleo e com a possibilidade de utilizar o gás natural como alternativa ao óleo diesel, em ônibus urbanos e caminhões, esse projeto não foi concretizado.

Ressalta-se que a demanda de recursos energéticos pelos sistemas de produção, transporte e conforto em geral, aliada à escassez dos combustíveis fósseis têm motivado o desenvolvimento de tecnologias que permitem utilizar fontes renováveis de energia. Entre as alternativas de combustíveis que podem ser obtidos de biomassa, capaz de fazer funcionar um motor de ignição por compressão, destaca-se o Biodiesel.

Como fonte alternativa de energia, o Biodiesel é um biocombustível renovável e produzido a partir de óleo vegetal e álcool anidro na presença de catalisador. Esse produto é indicado para motores de ignição por compressão, podendo ser utilizado como aditivo ou em substituição ao diesel de petróleo (LOPES et al., 2004). Dependendo do processo de produção, o Biodiesel pode ser filtrado ou destilado, metílico ou etílico, produzido com óleo residual ou degomado de soja, girassol, amendoim, mamona, entre outros.

A mamona (*Ricinus communis* L.) é uma das culturas eleita pelo programa Federal de Biodiesel destinada a fornecer matéria-prima para a produção do biocombustível. O óleo de mamona é um triglicerídeo derivado do ácido ricinoléico, o qual constitui cerca de 90% dos ácidos graxos presentes na molécula, sendo os 10% restantes constituídos de ácidos graxos não-hidroxilados,

principalmente dos ácidos oléicos e linoléicos. Devido a essa composição química peculiar, o óleo de mamona apresenta-se altamente valioso para fins industriais (ALMEIDA NETO et al., 2004).

Segundo ACCARINI (2006), reduzir a poluição ambiental é, hoje, um objetivo mundial. Diariamente, tomamos conhecimento sobre estudos e notícias indicando os males advindos do efeito estufa, bem como, do uso de combustíveis de origem fóssil como o principal responsável. A Comunidade Européia, os Estados Unidos, a Argentina e diversos outros países vêm estimulando a substituição do petróleo por combustíveis provenientes de fontes renováveis, incluindo-se aqui o Biodiesel. Tem-se esse quadro frente à expressiva capacidade de redução da emissão de diversos gases causadores do efeito estufa, a exemplo do gás carbônico e do enxofre.

Além das vantagens econômicas e ambientais, há o aspecto social, de fundamental importância, sobretudo considerando-se a possibilidade de conciliar sinergicamente todas as potencialidades. De fato, o cultivo de matérias-primas e a produção industrial de Biodiesel, ou seja, a cadeia produtiva deste, armazenam grande potencial de geração de empregos, promovendo, dessa forma, a inclusão social, especialmente quando se considera o amplo poder produtivo da agricultura familiar (IBGE, 2006).

Neste contexto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o desempenho operacional e a opacidade da fumaça de trator agrícola em função do tipo de operação de preparo do solo e da proporção de mistura de Biodiesel de mamona ao diesel.

## II REVISÃO DE LITERATURA

### 1 ASPECTOS GERAIS SOBRE A CULTURA DA MAMONA

A mamona (*Ricinus communis* L.), pertencente à família euphorbiaceae, é uma planta originária da Etiópia, na África (WEISS, 1983), porém amplamente disseminada nas Américas, onde ocorre em estado asselvajado ou silvestre.

De acordo com a FAO (2007), o Brasil teve, em média, a segunda maior área colhida de mamona em baga, em nível mundial, nos períodos 1978-1982 e 1983-1987, quando respondia por 28% e 24% da área total, respectivamente. A partir do período de 1983-1987, houve declínio na área colhida que atingiu o ponto mais baixo no período de 1993-1997 (10% da área total). Apesar desse panorama, o País ainda ocupa a terceira posição em área colhida do mundo. Nos anos de 2004 e 2005, observa-se um incremento na área colhida com a cultura da mamona no Brasil, quando o País respondeu por 14% e 15% da área total colhida mundialmente, respectivamente.

Um hectare de mamoneira pode gerar até 750 kg de óleo, resultando em aproximadamente 800 litros de Biodiesel, dependendo da variedade utilizada. Após a extração do óleo e adição do álcool, e utilização de catalisador, cerca de 90% é transformado em Biodiesel, e a glicerina, como 10% de resíduo do processo de transesterificação, ressaltando-se que nem toda variedade dessa planta produz óleo de forma economicamente explorável (ALMEIDA et al., 2007).

BELTRÃO et al. (2003) afirmaram que ainda não existem dados suficientes para estimar o balanço energético da cultura da mamona, mas, de acordo com a

produtividade média, está em torno de 500 kg ha<sup>-1</sup> de óleo, sendo que o rendimento potencial com irrigação pode ser dobrado (HOLANDA, 2004).

De acordo com SANTOS et al. (2004), a mamona em baga é industrializada, comercializada e seu óleo é exportado para muitos países, que, por sua vez, o utilizam nas indústrias de sabão, curtume, medicamentos, tintas, combustível e, principalmente, como lubrificante para motores de alta rotação, pois é muito viscoso e de alta aderência até mesmo em temperaturas elevadas.

Segundo CAVALCANTE (2004), os principais produtos ou subprodutos da mamona, de importância na agricultura, são o óleo e a torta. O óleo pode ser extraído a partir da semente completa (sem descascar) ou da baga (semente descascada mecanicamente). O método utilizado para extrair o óleo pode ser prensagem a frio ou a quente, ou extração por solvente, enquanto a torta, subproduto do óleo, é resultante da última prensagem, sendo essa moída e transformada em farelo, rico em nitrogênio, e que tem grande capacidade de recuperação de solos de baixa fertilidade, pois constitui-se em adubo orgânico nitrogenado de grande importância na base de duas a três toneladas por hectare. A torta também é utilizada como condicionador nas misturas de fertilizantes e como ração animal. Vale lembrar que, como alimento para animais, somente pode ser utilizada depois de desintoxicada, por ser muito tóxica, principalmente em função da presença de ricina. O processo de desintoxicação é bastante complexo e, muitas vezes, caro. Por esse motivo, as usinas de óleo preferem vender a torta apenas como fertilizante.

Entre as espécies cultivadas economicamente no Brasil, a mamoneira é uma das menos exigentes em termos de clima, solo e manejo cultural. Não obstante, tem a capacidade de gerar produto cujo leque de possibilidades e aplicações industriais é bastante amplo. O óleo de mamona ou de rícino tem que o principal componente o ácido ricinoléico, que apresenta moléculas com propriedades bastante flexíveis e estrutura, de certa forma, incomum entre os ácidos graxos existentes nos óleos vegetais. Essas características conferem ao óleo da mamona condições especiais, permitindo a utilização em mais de 400

processos industriais, tais como na produção de anticongelantes de combustível de avião e espaçonaves, revestimento de poltronas e paredes de avião, pois não queima com facilidade nem libera gases tóxicos, componentes de automóveis, lubrificantes, resinas, tintas, cosméticos e medicamentos (VIEIRA et al., 1997).

A mamona apresenta grande diversidade genética. Desenvolveu-se na maior parte da área tropical e subtropical do planeta. Entretanto, apenas os genótipos mais produtivos têm interesse comercial. A Guarani é exemplo de variedade que foi desenvolvida pelo IAC por meio de hibridações entre duas cultivares após rigorosas seleções individuais em sucessivas gerações (GONÇALVES et al., 1981).

De acordo com SAVY FILHO (2005), a mamona tem potencial para produzir até 4.000 kg, é indeiscente e própria para cultivo em larga escala. Além disso, a planta é medianamente tolerante ao mofo cinzento.

Segundo PARENTE (2003), essa planta existe nas regiões secas do Brasil e é utilizada como combustível renovável, ecologicamente correto, ajudando o sertanejo a ter fonte de renda e sobrevivência em épocas de estiagem. Para o autor, o Biodiesel extraído da mamona pode ser utilizado em qualquer motor diesel, como os de tratores e de caminhões, sem nenhuma adaptação.

De acordo com BAHIA (Estado, 2007), a cultura da mamona terá investimento total de R\$ 90 milhões para o período de 2004-2007, por meio de dois termos de parceria formalizados, dentro do Programa de Desenvolvimento do Agronegócio Baiano, firmado em parceria entre o governo do Estado e o Banco do Nordeste. Os acordos envolvem desde o financiamento do plantio à comercialização da safra, com as empresas de beneficiamento comprometendo-se a adquirir a produção.

## **2 ASPECTOS GERAIS SOBRE O BIODIEDEL**

O Biodiesel foi definido pela “National Biodiesel Board” dos Estados Unidos como derivado monoalquil éster de ácidos graxos de cadeia longa, proveniente de fontes renováveis, como óleos vegetais ou gordura animal, cuja utilização está



associada à substituição de combustíveis fósseis em motores de ignição por compressão (CONCEIÇÃO, 2004).

O Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel – PNPB (2005), lançado oficialmente em dezembro de 2004, é uma iniciativa do Governo Federal. Tem como núcleo deliberativo uma Comissão Executiva Interministerial coordenada pela Casa Civil da Presidência da República e composta por 14 Ministérios. Responsável pela operacionalização encontra-se o Ministério de Minas e Energia, coordenador do Grupo Gestor do PNPB e composto, também, pelos mesmos Ministérios, mais ANP, Petrobrás, Embrapa e BNDES.

De acordo com CAMARA et al. (2006), a flexibilidade de utilização de diversas oleaginosas ou matérias-primas animais possibilita a participação do agronegócio e da agricultura familiar e o melhor aproveitamento do solo disponível para a agricultura no País. Independentemente da matéria-prima e da rota tecnológica, o Biodiesel é introduzido no mercado nacional de combustíveis com especificação única. Ainda que cada oleaginosa tenha as próprias características, o Biodiesel de mamona, soja, palma, sebo ou de girassol são passíveis de atender à qualidade definida nesta especificação determinada pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.

Cabe aqui ressaltar que o Biodiesel somente será efetivamente vendido aos consumidores nos postos se atenderem às especificações técnicas exigidas pela norma brasileira, conforme Resolução ANP N° 42/2004 BRASIL (2004a). É essencial assegurar a qualidade do combustível para o perfeito funcionamento dos veículos e a satisfação do usuário. Nesse aspecto, deve ser observado que a adição de 2% de Biodiesel ao diesel de petróleo não exigirá alteração nos motores, assim como não exigiu nos países que já utilizam o combustível. Os motores que passarem a utilizar o Biodiesel misturado ao diesel nesta proporção têm garantia de fábrica assegurada pela Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2007), conforme manifestação formal dessa entidade ao Governo Federal, evidenciando-se que a VALTRA DO BRASIL anunciou publicamente garantia de fábrica para até B20.

No dia 13 de janeiro de 2005, foi publicada a Lei nº 11.097, que introduziu o Biodiesel na matriz energética brasileira. “Art. 2º - Fica introduzido o Biodiesel na matriz energética brasileira, sendo fixado em 5% (cinco por cento), em volume, o percentual mínimo obrigatório de adição de Biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor final, em qualquer parte do território nacional”. Além da obrigatoriedade, foi determinado o prazo para cumprimento. “Art. 2º, § 1º - O prazo para aplicação do disposto no caput deste artigo é de 8 (oito) anos após a publicação desta Lei, sendo de 3 (três) anos o período, após essa publicação, para se utilizar um percentual intermediário de 2% (dois por cento), em volume”. A referida Lei define biocombustível e Biodiesel. “Art 4º, XIV - Biocombustível: combustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna ou, conforme regulamento, para outro tipo de geração de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil. XV - Biodiesel: biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento, para outro tipo de geração de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil” (BRASIL, 2005).

De acordo com POÇO (2007), a adição de 2% de Biodiesel ao diesel consumido no Brasil cria mercado interno potencial de 800 milhões de litros/ano, o que equivale a um ganho na balança comercial brasileira com a diminuição das importações de petróleo e derivados de US\$ 160 milhões/ano. Para a mistura de 5% de Biodiesel ao diesel consumido, o ganho na balança comercial brasileira corresponderá a US\$ 400 milhões/ano, se mantida constante a previsão de consumo de diesel de 40 bilhões de litros/ano.

Por essas razões, diferentes processamentos dos óleos vegetais foram desenvolvidos com o intuito de viabilizar a utilização em motores de ignição por compressão. A reação desses triacilglicerídeos com um álcool monoidroxilado, denominada transesterificação, é o processamento mais difundido, tendo como produto ésteres alquílicos de ácidos graxos, comumente denominados de Biodiesel (GERPEN, 2005).

Os combustíveis líquidos, devido ao alto poder calorífico e às características positivas no manuseio, armazenamento e transporte, são formas nobres de energia e de difícil substituição em curto prazo. Apesar da sua relativa supremacia frente a outras formas de energia, alguns problemas comprometem o desempenho, destacando-se problemas ambientais associados ao ciclo de vida dos combustíveis fósseis, a finitude das reservas mundiais de petróleo e a distribuição desigual da localização e propriedade das reservas existentes no globo (UBA, 1999).

O Biodiesel pode ser produzido a partir de todo óleo vegetal, gordura animal e até mesmo óleo de peixe, como se especula no campo científico e industrial. No caso do combustível feito a partir de óleo de mamona, que tem viscosidade maior, precisa ser misturado na proporção de 20%. Na combustão, não há emissão das substâncias mais poluentes (que contêm enxofre), encontradas nos combustíveis fósseis. Dessa forma, esse Biodiesel pode, inclusive, ser utilizado em geradores de energia (PARENTE, 1993).

De acordo com COOK et al. (1993), a produção de 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. Os autores ressaltaram a importância de estudos com o objetivo de reduzir o custo de produção e buscar alternativas de uso de tal produto. Desse modo, é imprescindível o suporte governamental para tornar viável a produção e o uso do Biodiesel.

Uma das grandes vantagens do Biodiesel é a adaptabilidade aos motores do ciclo diesel, dispensando modificações e configurando-se como alternativa técnica capaz de atender à frota movida atualmente a óleo diesel. O uso de outros combustíveis alternativos, tais como gás natural ou biogás, requer adaptações dos motores para a utilização, fato que torna o Biodiesel bastante atrativo (MEIRELLES, 2007).

De acordo com OLIVEIRA & COSTA (2002a), à medida que se aumenta a quantidade de Biodiesel no diesel, aumenta-se também o consumo de

combustível. Ainda assim, os autores sugerem mistura de até 20%. Mesmo considerando o aumento no consumo decorrente do balanço desfavorável entre o maior número de cetano e menor poder calorífico, o Biodiesel demonstra-se viável tecnicamente.

Segundo BIODIESELBR (2007), estima-se que, até 2007, 59% do Biodiesel a ser produzido deverá ser proveniente da soja, 26% da mamona e o restante (15%) de outras matérias-primas. Isto implica importante mercado para a soja, adicional ao já estabelecido.

De acordo com SUMMERS et al. (1986), com a utilização de Biodiesel, ocorreu redução de 78% nas emissões de gases do efeito estufa. O material particulado foi reduzido em 50%, e os óxidos de enxofre, em 98%; porém, observou-se aumento de 13% para os óxidos nitrogenados (NOx). Os autores relataram, também, que os ensaios da “National Soydiesel Development Board (EUA)” indicaram que a proporção de mistura de 20% de Biodiesel no diesel (B20) acarretou redução de 12% nas emissões de monóxido de carbono (CO), 12% de material particulado e 20% de hidrocarbonetos.

Segundo OLIVEIRA & COSTA (2002b), a poluição atmosférica dos centros urbanos, geradora de problemas na sociedade contemporânea, cujos hábitos estão vinculados a combustíveis de origem fóssil, tem aumentado em virtude das substâncias originadas na sua combustão. Acarretam mal-estar e inúmeras doenças respiratórias, ocasionando grandes custos hospitalares. A substituição do diesel pelo Biodiesel possibilita o transporte rodoviário de passageiros e cargas de forma mais limpa, resultando em significativa melhoria na qualidade do ar.

Segundo a Agência Nacional de Petróleo (BRASIL, 2002), a utilização de biocombustíveis de oleaginosas também traz benefícios ambientais, notadamente em relação à redução de emissão de gases do efeito estufa. Entretanto, é necessário que se estabeleça com exatidão a dimensão desse ganho, por meio da elaboração detalhada do balanço de emissões de gases de efeito estufa e pelo balanço de energia para a produção do Biodiesel e dos outros biocombustíveis.

Segundo DABDOUB (2003), a utilização do Biodiesel obtido de fontes 100% renováveis deverá ser responsável pelo ingresso de divisas, devido à venda de cotas de carbono, conforme contemplado no Protocolo de Kyoto. De acordo com o autor, as cotas de carbono poderão ser vendidas para outros países, uma vez que o uso de Biodiesel diminui a poluição, reduzindo a emissão de gases causadores do efeito estufa e, além disso, o incremento na área de plantio (soja, cana, etc.) será responsável pela retirada de grandes quantidades de dióxido de carbono da atmosfera, aumentando o número de cotas de carbono a serem negociadas.

De acordo com ACCARINI (2006), o mercado de créditos de carbono, previsto no Protocolo de Kyoto, vem realizando algumas operações, mesmo sem a adesão da Rússia. A vantagem consiste, basicamente, em financiar empreendimentos que contribuam para reduzir a emissão dos gases causadores do efeito estufa, anteriormente mencionados. Assim, os empreendimentos são financiados em condições especiais, de modo a estimular e contribuir para a melhoria das condições ambientais do Planeta. Para os empreendimentos, as vantagens são indiscutíveis. No caso do Brasil, o País abre-se a novas fontes de financiamento do processo de desenvolvimento, em condições muito vantajosas, permitindo que o Governo redirecione recursos para outras áreas prioritárias, como educação, saúde, infra-estrutura, entre outros.

Ainda segundo o autor, não se pode deixar de mencionar o impacto favorável sobre a imagem do País no exterior, na medida em que projetos brasileiros sejam beneficiados com número crescente de financiamentos no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

MONYEM e VAN GERPEN (2001) mostraram que máquinas abastecidas com Biodiesel produziram menos monóxido de carbono quando comparados ao diesel.

Segundo FLAVIO et al. (2007), veículos movidos a Biodiesel apresentaram redução de 18%, em média, na opacidade em relação ao diesel, enquanto, em relação ao consumo de combustível, não foram observadas variações significativas.

O aumento da porcentagem de Biodiesel aplicado ao diesel fez com que o consumo ponderal aumentasse 18,1%, passando de 10,5 (B0) para 12,4(B100) kg h<sup>-1</sup>. Esse comportamento coincidiu com os resultados de LOPES et al. (2004); RABELO (2001) e CAMARA (2004).

De acordo com BUENO (2003), a mistura utilizada B20 reduz em até 3% a energia liberada pela queima do combustível tanto em alta quanto em baixa carga. Em condições de carga parcial, há aumento dos mesmos 3% de energia liberada, ou seja, a adição do Biodiesel ao diesel causa um pequeno prejuízo na performance do motor, nas duas primeiras situações, mas compensa na terceira. Sendo assim, o autor conclui que o Biodiesel não compromete o funcionamento do motor.

REIS (2004) comparou o consumo de combustível de um trator agrícola funcionando de maneira alternada com Biodiesel filtrado e Biodiesel destilado em operação de semeadura-direta. Durante os ensaios, avaliou sete misturas de Biodiesel e diesel (B0, B5, B15, B25, B50, B75 e B100) e concluiu que o tipo de Biodiesel, filtrado ou destilado, não influenciou no consumo de combustível. O autor mencionou ainda que, em relação à proporção, o incremento de Biodiesel aumentou o consumo específico a partir de B50 até B100.

## **2.1 Propriedades do Biodiesel**

### **2.1.1 Viscosidade**

A viscosidade é a medida da resistência interna ao escoamento de um líquido, ou seja, a propriedade responsável pela resistência à deformação. A razão

entre a viscosidade e a massa específica é denominada coeficiente de viscosidade cinemática (AZEVEDO NETTO & ALVAREZ, 1997).

Em relação ao diesel convencional, os óleos vegetais possuem valores bem elevados de viscosidade, podendo excedê-lo em até 100 vezes, como é o caso do óleo de mamona (COSTA NETO et al., 2000). A viscosidade do óleo transesterificado (Biodiesel) é muito menor que os óleos originais, sendo, em alguns casos, semelhante ao diesel de petróleo (KNOTHE, 2005a).

De acordo com os relatórios do MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA E DO COMÉRCIO - MIC (1985), testes desenvolvidos em território nacional com vários tipos de óleos vegetais transesterificados, puros ou misturados ao diesel, na proporção de 30%, demonstraram bons resultados quando utilizados por caminhões, ônibus e tratores. Nesses testes, foram percorridos mais de um milhão de quilômetros, e os principais problemas apresentados foram associados a um pequeno acúmulo de material nos bicos injetores e um leve decréscimo da viscosidade do óleo lubrificante.

No caso de Biodiesel ( $B_{100}$ ), a viscosidade deve acompanhar os valores padronizados para o diesel fóssil, que pode variar entre 2,5 e 3,5  $\text{mm}^2/\text{s}$ , conforme determinado na Resolução ANP nº 42 de 24 de novembro de 2004 (BRASIL, 2004a) e especificado na Resolução ANP nº 21 de 25 de outubro de 2004 (BRASIL, 2004b).

Viscosidade abaixo da especificação pode comprometer a atomização do jato de combustível no momento da injeção e, em razão disso, afetar a combustão e, conseqüentemente, reduzir a potência do motor. Outro problema causado pela baixa viscosidade é o desgaste acelerado do conjunto em função de vazamentos decorrentes do comprometimento da propriedade lubrificante do combustível. Viscosidade acima do recomendado provoca pressão excessiva no sistema de injeção, compromete a combustão, dilui o lubrificante do cárter e, em razão disso, reduz a vida útil do motor (LAGE & FERRARI, 1993).

### **2.1.2 Número de cetano**

Essa característica é a expressão adimensional da qualidade de ignição do óleo diesel. A escala de cetano tem intervalo compreendido entre 15 e 100, sendo atribuído o valor 15 ao início da escala, correspondente à ignição do 2,2,4,4,6,8,8-heptametilnonano (hidrocarboneto de cadeia altamente ramificada,  $C_{16}H_{34}$ ). Da mesma forma, ao final da escala, foi atribuído o valor 100, correspondente à ignição do hexadecano (hidrocarboneto de cadeia linear,  $C_{16}H_{34}$ , conhecido popularmente como cetano). No entanto, as características moleculares influenciam na qualidade da ignição, em que a mesma diminui com a redução do comprimento da cadeia e com o aumento das ramificações. Destaca-se que o número médio de cetano para o diesel é em torno de 40, e para o Biodiesel, em torno de 60 (KNOTHE, 2005b).

### **2.1.3 Poder calorífico**

De acordo com o Regulamento Técnico ANP nº 3, anexo da Portaria ANP nº 128 de 28 de agosto de 2001, o Poder Calorífico pode ser superior e inferior, sendo definido como: “Poder Calorífico Superior - quantidade de energia liberada na forma de calor, na combustão completa de uma quantidade definida de gás com o ar, à pressão constante e com todos os produtos de combustão retornando à temperatura inicial dos reagentes, sendo que a água formada na combustão está no estado líquido, e Poder Calorífico Inferior - quantidade de energia liberada na forma de calor, na combustão completa de uma quantidade definida de gás com o ar, à pressão constante e com todos os produtos de combustão retornando à temperatura inicial dos reagentes, sendo que todos os produtos, inclusive a água formada na combustão, estão no estado gasoso”. O poder calorífico superior difere do poder calorífico inferior pela entalpia de condensação da água (BRASIL, 2001). Ressalta-se que o poder calorífico do Biodiesel é, em média, 90% do poder calorífico do diesel.



#### **2.1.4 Estabilidade do Biodiesel**

Estabilidade do Biodiesel representa a suscetibilidade desse combustível à degradação por oxidação quando exposto ao ar, em razão da presença de duplas ligações nas cadeias desse composto. A auto-oxidação ocorre em diferentes taxas, dependendo do posicionamento da dupla ligação na cadeia, sendo a velocidade de oxidação relativa de 1 para oleatos (ésteres metílicos e etílicos), 41 para linoleatos e 98 para linolenatos, evidenciando que o Biodiesel composto de éster de ácidos oléicos possui maior estabilidade que os derivados de ácido linoléico e linolênico. Os fatores que afetam a estabilidade oxidativa, são a presença de ar, luz, traços de metais e temperatura elevada. Em ensaios de estocagem de longa duração (2 anos), foram observados aumento de viscosidade e redução no poder calorífico. Além da degradação oxidativa, o Biodiesel também é potencialmente sujeito à formação de compostos poliméricos insolúveis e à degradação hidrolítica causada pela presença de água (PRANKL, 2005).

#### **2.1.5 Lubricidade**

Lubricidade é a habilidade de uma substância em interpor uma película a dois corpos com movimento relativo, cuja função é reduzir o atrito e, conseqüentemente, o desgaste (LILJEDAHL et al., 1989).

A necessidade de reduzir os agentes poluidores das emissões de motores diesel tem estimulado o desenvolvimento de motores tecnologicamente mais avançados e, juntamente com o avanço tecnológico, surgem outras necessidades, como é o caso de combustíveis com maior lubricidade. Para tanto, uma possibilidade consiste na produção de diesel mais limpo, com vistas a assegurar a redução da emissão de enxofre abaixo de 15 ppm; entretanto, tal procedimento resulta em decréscimo na lubricidade desse combustível. Embora se acreditasse que a lubricidade estivesse relacionada à viscosidade, tem-se observado que a

mesma é função de substâncias aromáticas policíclicas contendo enxofre, oxigênio e nitrogênio. Dessa forma, as características necessárias de lubricidade estão sendo atingidas pela adição de Biodiesel (B2) ao diesel de petróleo (SCHUMACHER, 2005).

### 3 PREPARO DO SOLO

O sistema convencional de preparo do solo consiste na realização de uma aração, caracterizada pelo preparo primário do solo, seguida de duas gradagens para destorroamento e nivelamento (DERPSCH et al., 1991), também denominada de operações de preparo periódico.

GROTTA (2003) estudou o desempenho de um trator agrícola em operação de gradagem utilizando Biodiesel etílico filtrado de óleo residual como combustível. O autor concluiu que não ocorreu limitação no uso de Biodiesel quanto ao funcionamento do trator, porém, quando se utilizou 100% de Biodiesel, o consumo específico aumentou 11%, o uso de Biodiesel num trator de 73,4 kW (100 cv), em operação de preparo do solo com grade aradora, concluindo que, em proporções de 5 até 50%, não há alteração no consumo de combustível; entretanto, para as proporções de Biodiesel de 75% e 100%, o consumo aumentou 5 e 10%, respectivamente, em relação ao diesel de petróleo.

Desde que o emprego de máquinas e implementos agrícolas montados ou de arrasto passou a se generalizar, tornou-se preocupação, de pesquisadores e empresas, a quantificação dos esforços atuantes nos tratores e implementos, além do consumo de combustível, em função das características dos sistemas de produção (SILVA et al., 1999).

Para MAZUCHOWSKI & DERPSCH (1984), escarificadores proporcionam pequena mobilização do solo sem incorporar a maior parte dos resíduos vegetais, ao contrário do que ocorre quando são utilizadas outras máquinas e implementos de preparo do solo, como os arados de discos e grades.

Segundo BORGES et al. (1999), os escarificadores são implementos agrícolas que podem promover a descompactação de camadas superficiais no solo, a fim de facilitar a penetração das raízes das culturas e da água para as partes mais profundas do solo.

## 4 TRATOR

Segundo LILJEDAHN et al. (1995), na seleção do trator para trabalho no campo, um dos itens mais importantes é a capacidade em desenvolver esforço para tracionar as máquinas e implementos agrícolas. Das três principais maneiras de utilizar a potência gerada pelo motor de um trator agrícola, tomada de potência, sistema hidráulico e barra de tração, esta última é a mais utilizada, apesar de ser menos eficiente. O principal motivo para o baixo desempenho na barra pode ser atribuído à patinação, mas outros fatores como: tipo de solo, geometria do trator, distribuição de peso sobre os rodados, transferência de peso durante a operação e as características do rodado, entre outros, também interferem na tração.

De acordo com MIALHE (1996), na transmissão de potência do motor para a barra de tração, ocorrem perdas que, dependendo das condições de operação do trator, podem atingir níveis bastante comprometedores.

A resistência que um solo oferece aos órgãos ativos das máquinas de preparo do solo, depende da área do solo mobilizada que ocorre em função da largura de trabalho do implemento, da profundidade de operação e das características e propriedades físicas estáticas e dinâmicas do solo (GAMERO & LANÇAS, 1996).

Dentre as propriedades do solo que afetam a eficiência e desempenho operacional de um trator agrícola, podem-se mencionar a textura do solo, as condições de superfície, dependendo de cada tipo de cobertura existente, e a umidade (YANAI et al., 1999).

MANTOVANI et al. (1999), ao estudarem a automação do processo de avaliação de desempenho de tratores e implementos, concluíram que os testes de desempenho do conjunto trator-implemento, usando instrumentação eletrônica, permitem que se tenha grande capacidade de trabalho. Os autores argumentaram que tal conjuntura se deu em razão da facilidade de programação e de operação da cadeia de medições, bem como da metodologia utilizada nos testes de campo,

que permite obter as curvas de desempenho operacional e o relatório completo de avaliação. Tal afirmação vem ao encontro do projeto de instrumentação para ensaio de tratores funcionando com Biodiesel apresentado por LOPES (2006), no qual o autor relata o aumento de consumo quando se utiliza Biodiesel em proporções elevadas, bem como a redução na opacidade da fumaça.

### **III MATERIAL E MÉTODOS**

#### **1 Material**

##### **1.1 Área experimental**

O experimento foi realizado na área do Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola (LAMMA), do Departamento de Engenharia Rural, da Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Jaboticabal-SP, localizado na latitude 21° 14' S e longitude 48° 17' W. A área apresenta altitude média de 559 m, declividade média de 4% e clima Aw (tropical com chuvas no verão) de acordo com a classificação de Köeppen e pressão atmosférica de 94,2 kPa. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho eutroférico típico, relevo suave ondulado, conforme o sistema brasileiro de classificação de solos (EMBRAPA, 1999). No momento do ensaio, os teores de água no solo foram 21,83; 22,83 e 24,09% nos perfis de 0-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade, respectivamente, determinada conforme rotina descrita pela EMBRAPA (1997).

O presente trabalho constituiu-se de duas etapas. A primeira, dinâmica, referente ao ensaio de desempenho operacional realizada em condição de campo. A segunda foi estática e compreende a avaliação da opacidade da fumaça, sendo realizada dentro do laboratório por questões inerentes a esse tipo de ensaio.

##### **1.2 Trator de teste**

Foi utilizado um trator Valtra (Figura 1), modelo BM 100, 4x2 com tração dianteira auxiliar, com potência de 74 kW (100 cv) a 2.300 rpm, instrumentado conforme descrito por LOPES (2006). A vista geral desse trator instrumentado

está ilustrada na Figura 1, e as principais características encontram-se no Apêndice 1.



**FIGURA 1.** Vista geral do trator de teste.

### **1.3 Trator de lastro**

Utilizou-se um trator de frenagem, da marca Valtra (Figura 2), modelo BH 140, 4x2 com tração dianteira auxiliar, potência de 103 kW (140 cv), calibrando a força na barra em função da marcha engrenada, utilizado como suporte ao ensaio e para oferecer resistência ao trator de tração. Suas principais características encontram-se no Apêndice 1.



**FIGURA 2.** Trator de lastro.



#### 1.4 Grade aradora

Utilizou-se uma grade aradora de arrasto, com 16 discos recortados com 0,61 m de diâmetro, com largura de corte média de 1,73 m, trabalhando à profundidade média de 0,17 m (força média de 15 kN) .



**FIGURA 3.** Vista da grade aradora de arraste.

#### 1.5 Escarificador

Foi utilizado um esscarificador modelo AST/MATIC 450 da marca MARCHESAN (TATU), de 5 hastes retas inclinadas, espaçadas de 0,40 m, operando a 0,25 m de profundidade média (força média de 25 kN).



**FIGURA 4.** Vista do esscarificador de arraste.

## 1.6 Biodiesel

O Biodiesel utilizado no ensaio foi de mamona etílico destilado, produzido Laboratório de Desenvolvimento de Tecnologias Limpas, LADETEL - USP de Ribeirão Preto, num sistema de parceria com a UNESP de Jaboticabal desde o ano de 2001.

## 1.7 Instrumentação do trator de teste para o ensaio de desempenho

### 1.7.1 Equipamento para a determinação da velocidade

Para se obter a velocidade real de deslocamento, utilizou-se uma unidade móvel de radar do tipo RVS II, instalada na lateral esquerda do trator, formando um ângulo de 45° com o solo, conforme recomendação do fabricante. O referido equipamento encontra-se ilustrado conforme Figura 5.



**FIGURA 5.** Unidade de radar.

### 1.7.2 Equipamento para a determinação da força de tração na barra

Para a obtenção da força de tração na barra, fez-se o uso de célula de carga com as seguintes características: fabricante Shimitsu Ltda., modelo TF400 com temperatura de utilização de  $-20$  a  $80$  °C, escala nominal  $0 - 100\text{KN}$  e alimentação recomendada de  $10$  a  $12$  Vcc. Os valores de força eram obtidos diretamente em kgf e enviados ao sistema de aquisição de dados (Figura 6).



**FIGURA 6.** Célula de carga acoplada à barra de tração.

### 1.7.3 Sistema de aquisição e armazenamento de dados

Todos os sensores enviaram sinais para o sistema de aquisição e armazenamento de dados do tipo micrologger CR23X de marca CAMPBELL SCIENTIFIC, INC, o qual se encontrava equipado com placa multiplexadora (modelo SDM-INT8 SN:2094), de 8 canais, para aumentar a quantidade de canais de entrada de sensores (Figura 7).



**FIGURA 7.** Sistema de aquisição de dados ligado aos sensores.

#### **1.7.4 Determinação do consumo de combustível**

Para medir o consumo de combustível, foi utilizado um protótipo desenvolvido por LOPES et al. (2003), constituído por 2 medidores de fluxo instalados em série com 2 medidores de temperatura para monitorar o débito e o retorno da bomba injetora. Segundo os autores, para não comprometer o sistema de alimentação original do trator, o protótipo mencionado conta ainda com filtragem independente e três depósitos auxiliares de Biodiesel (Figura 8).



**FIGURA 8.** Reservatórios de combustível à esquerda e filtros auxiliares à direita.



**FIGURA 9.** Organização geral dos sensores no trator instrumentado de teste (Fonte: LOPES, 2006).

## 1.8 Instrumentação do trator de teste para o ensaio de opacidade da fumaça

### 1.8.1 Opacímetro

Equipamento montado no escapamento do trator/veículo ou no banco de provas (Figuras 10) para a medição da opacidade da fumaça de gás de escapamento através da absorção da luz. Tal equipamento tem as seguintes características:

- Fabricante: Tecnomotor;
- Modelo: TM 133;
- Saída: serial RS 232 com *software* próprio;
- Controla automaticamente o aquecimento da câmara;
- Compatível com as normas NBR 13037, Inmetro, CEE 72/306;
- Unidade de medida da opacidade  $k$ : ( $m^{-1}$ ) e %;
- Tempo de amostragem de opacidade: cada 20 ms;
- Tempo de resposta: 1 ms;
- Resultados de ensaio: relatórios, e
- Alimentação: 220 V.



**FIGURA 10.** Vista geral do opacímetro TM 133 (Fonte: LOPES, 2006).



**FIGURA 11.** Vista detalhada do opacímetro (Fonte: TECNOMOTOR, 2006).

### 1.8.2 Controlador serial

Equipamento que recebe os sinais dos sensores e converte em unidade de medida (Figuras 12 e 13). Tal equipamento exporta os dados convertidos para

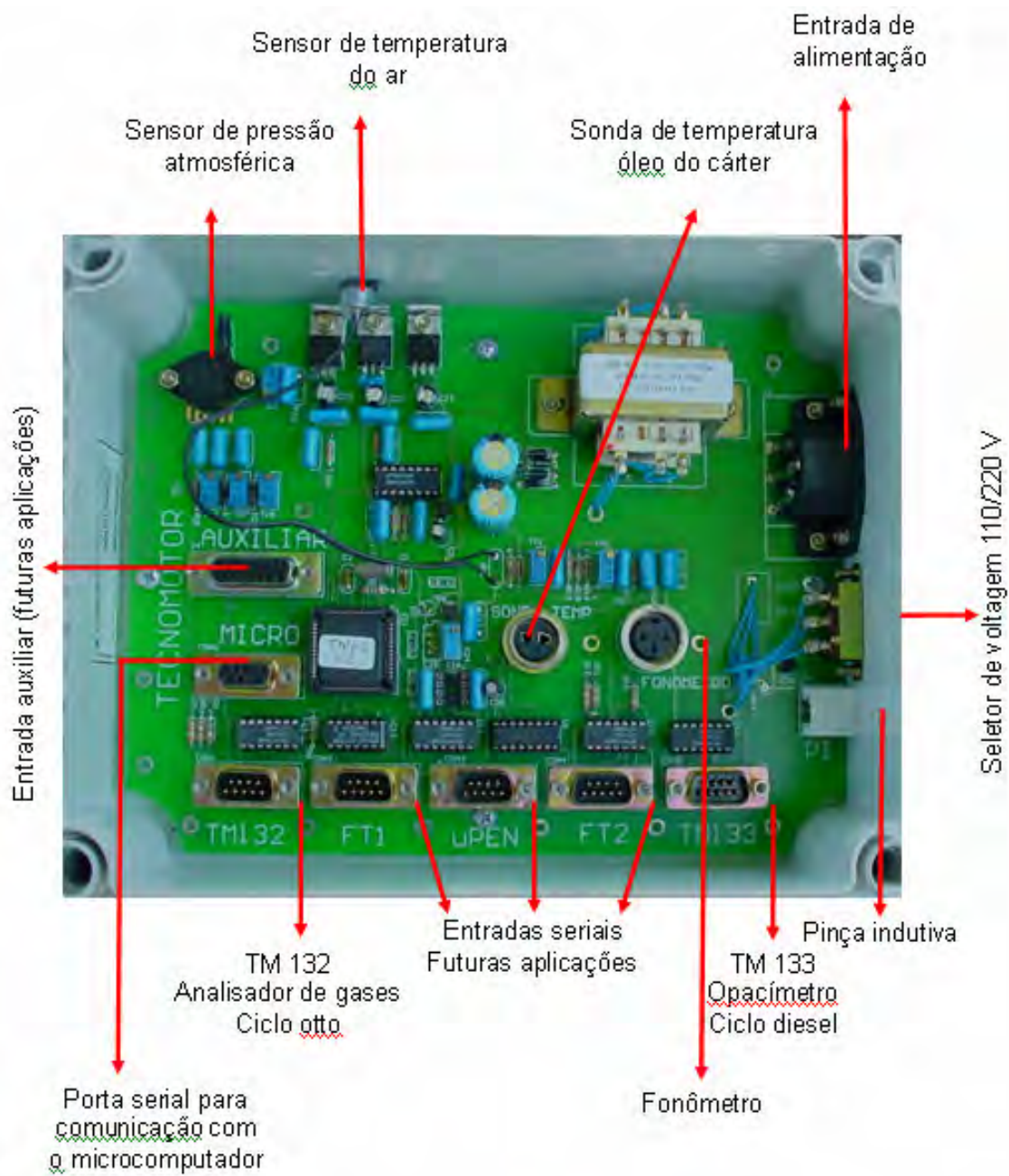


computadores por meio de conexão serial, cuja interface é o *software* denominado IGOR, que gerencia os ensaios. As principais características são as seguintes:

- Marca: Tecnomotor;
- Modelo: TM 616;
- Alimentação: 110/220 V;
- Frequência: 50/60 Hz;
- Saída: RS 232, e
- Acessórios: pinça indutiva, medidor de pressão, medidor de temperatura ambiente e medidor de temperatura do óleo do cárter.



**FIGURA 12.** Controlador serial para comunicação entre sensores e computador (Fonte: LOPES, 2006).



**FIGURA 13.** Esquema de ligação do controlador serial (Fonte: LOPES, 2006).

A instrumentação completa para o ensaio da opacidade da fumaça (para o ensaio estático) está bem detalhada na montagem da sonda coletora no cano de escape do trator, e encontra-se na Figura 14.



**FIGURA 14.** Vista geral do trator instrumentado para o ensaio de opacidade da fumaça (Fonte: LOPES, 2006).

## 2 Métodos

### 2.1 Condução do experimento

Preliminarmente, determinaram-se as forças médias na barra exigidas nas operações de escarificação e gradagem. A fim de que o trator de teste tivesse carga na barra o mais uniforme possível, depois de determinado os esforços da grade e do escarificador, tais equipamentos de preparo de solo foram substituídos por um trator de lastro Valtra BH140.

O trator de teste, devidamente instrumentado, era operado na marcha 3ª alta, combinação que proporcionou  $7,3 \text{ km h}^{-1}$  de velocidade teórica, ressaltando-se que o motor funcionou a 2.000 rpm.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial  $6 \times 2$ , com 12 tratamentos e 4 repetições, totalizando 48 observações. As combinações dos fatores foram seis proporções percentuais de Biodiesel + diesel [B0 (0+100), B5 (5+95), B15 (15+85), B25 (25+75), B50 (50+50) e B75 (75+25)] e duas operações de preparo do solo (escarificação e gradagem). Cada parcela experimental teve comprimento de 25 m e, entre as parcelas, na direção longitudinal, foi reservado espaço de 10 m destinado à realização de manobras, tráfego de máquinas e estabilização das determinações.

Realizou-se drenagem do sistema de alimentação entre todas as trocas de combustíveis. A fim de não contaminar o combustível do teste subsequente, bem como antes de cada medida, o trator funcionou dez minutos com a finalidade de estabilizar o funcionamento.

Estabeleceu-se um referencial do trator, e quando este coincidia com a baliza de início da parcela, acionava-se o cronômetro do sistema de aquisição de

dados. O procedimento era interrompido ao decorrer-se os 25 m, no qual o ponto de referência adotado coincidia com a baliza de término da parcela.

Simultaneamente, em cada parcela, o sistema de instrumentação fornecia diretamente:

- velocidade real de deslocamento;
- força na barra de tração;
- fluxo de entrada do combustível na bomba injetora;
- fluxo de retorno do combustível;
- temperatura do combustível na entrada da bomba injetora;
- temperatura do combustível na saída, e
- número de pulso de cada roda motriz.

## **2.2 Avaliação em cada tratamento**

### **2.2.1 Velocidade real de deslocamento**

A velocidade real de deslocamento foi medida de forma direta em  $\text{km h}^{-1}$  pela unidade de radar.

### **2.2.2 Determinação da força média na barra de tração**

A força média de tração exercida na barra do trator de teste foi determinada de forma direta pela célula de carga acoplada ao trator de teste. Os valores fornecidos em kgf foram transformados em kN, utilizando-se da seguinte equação:

$$FT = \frac{Ft * 9,81}{1.000}$$

(1)

em que:

$FT$  - força de tração média (kN);

$Ft$  - força de tração média (kgf);

9,81 - coeficiente de transformação de kgf para N, e

1.000 - Coeficiente de transformação de N para kN.

### **2.2.3 Determinação da potência média na barra de tração**

A potência média na barra de tração foi determinada de forma indireta; para tal, utilizou-se a seguinte equação:

$$PB = FT * V$$

(2)

em que,

PB - potência na barra de tração (kW);

FT - força média de tração na barra (kN), e

V - velocidade real de deslocamento ( $m s^{-1}$ ).

### **2.2.4 Determinação do consumo de combustível**

Para determinar o consumo de combustível, foi necessário determinar sua densidade, pois ele pode variar devido à oscilação de temperatura e da proporção de mistura de diesel e Biodiesel. Para essa finalidade, utilizou-se de balança de

precisão, manta aquecedora e termômetro digital. No momento das avaliações, a temperatura ambiente era superior ao menor limite de temperatura do ensaio, por isso a amostra do combustível foi submersa em gelo a fim de que a temperatura se reduzisse a 10°C, que correspondia ao limite inferior do ensaio. A partir desse ponto, a amostra foi aquecida até atingir a temperatura de 70°C, limite máximo do ensaio. No início da determinação, a 10°C, mediu-se um volume de 100 mL, verificou-se a massa e, depois, foi monitorada a variação do volume referente ao acréscimo de cada 5 °C. Tal procedimento foi repetido para as seis proporções de misturas. Com base na análise de variância, os dados foram ajustados por meio de regressão, chegando-se à seguinte equação:

$$D = 851 - 0,8533 * T + 0,9823 * P + 0,0025 * T^2 - 0,0016 * TP + 0,0017 * P^2$$

(4)

em que,

D = densidade do combustível (g L<sup>-1</sup>);

T = temperatura do combustível (°C), e

P = proporção de Biodiesel (%).

O consumo de combustível foi determinado em todas as parcelas experimentais, por meio da diferença entre os volumes de admissão e retorno, obtendo-se o volume consumido pelo trator durante o percurso. Juntamente, foi monitorada a temperatura antes e depois da bomba injetora.

### **2.2.5 Consumo horário**

Com base no volume consumido, determinou-se o consumo horário volumétrico e ponderal. Para a determinação do consumo horário ponderal, considerou-se a influência da temperatura do combustível no momento do teste.

Para o cálculo em volume, utilizou-se a seguinte equação:

$$Chv = \frac{3,6 * C}{t}$$

(5)

em que:

Chv - consumo horário volumétrico (L h<sup>-1</sup>);

C - volume consumido na parcela (mL);

t - tempo de percurso na parcela (s), e

3,6 . fator de conversão de mL s<sup>-1</sup> para L h<sup>-1</sup>.

Para o cálculo em massa, utilizou-se a seguinte equação:

$$Chm = \frac{3,6}{1.000 * t} * (Veb * Dceb - Vr * Dcr)$$

(6)

em que:

Chm - consumo horário ponderal (kg h<sup>-1</sup>);

Veb - volume que entrou na bomba injetora (mL);

Dceb - densidade do combustível na entrada da bomba injetora (g L<sup>-1</sup>);

Vr - volume de retorno (mL);

Dcr - densidade do combustível de retorno (g L<sup>-1</sup>);

t - tempo de percurso na parcela (s);

3,6 - fator de conversão de mL s<sup>-1</sup> para L h<sup>-1</sup>, e

1.000 - fator de conversão.



### 2.2.6 Consumo específico

Este parâmetro, que expressa o consumo de combustível por unidade de potência na barra de tração, foi calculado por meio da seguinte equação:

$$CE = \frac{Chm}{PB} * 1.000$$

(7)

em que:

CE - consumo específico (g kW h<sup>-1</sup>);

Chm - consumo horário ponderal (kg h<sup>-1</sup>);

PB - potência na barra de tração (kW), e

1.000 - Fator de conversão de kg para grama.

### 2.2.7 Determinação da patinagem

Esta variável foi determinada com base nos dados oferecidos pelo contador de pulsos instalado em cada roda do trator, por meio da relação do número de giros da roda quando o trator estava operando com e sem carga. A condição sem carga na barra, denominada condição zero (ASAE, 1997), foi determinada em local plano de pista pavimentada.

Para o cálculo da patinagem, utilizou-se a seguinte equação:

$$P = \left(1 - \frac{NPS}{NPC}\right) * 100$$

(9)

em que:

P - Patinagem (%);

NPS - Número de pulsos sem carga;

NPC - Número de pulsos com carga, e  
100 - fator de conversão para porcentagem.

### **2.2.8 Determinação da opacidade**

A opacidade da fumaça foi determinada para as 6 proporções de mistura. Ao término de cada determinação, realizou-se a drenagem completa do sistema de alimentação, evitando, com isso, a contaminação do ensaio seguinte. Além disso, depois de trocado o combustível, o motor ficou em funcionamento em torno de dez minutos antes do início de cada teste.

A opacidade foi mensuração direta, contudo a instrumentação também monitorava a rotação de marcha lenta, a rotação de corte (máxima), a pressão atmosférica, a temperatura ambiente, a temperatura do óleo do cárter e a umidade relativa do ar.

## **3 Análise estatística**

Os dados foram submetidos à análise de variância e ao teste de comparação de médias de Tukey, a 5% de probabilidade, conforme recomendação de BANZATTO & KRONKA (2006).

## IV RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 1 Ensaio I – Desempenho do trator

Os resultados estão apresentados em forma de Tabelas e Figuras, ressaltando-se que os dados referentes aos fatores proporção de mistura do Biodiesel de mamona ao diesel e preparo do solo representam médias de 8 e 24 observações, respectivamente, conforme se observa nas Tabelas 1 e 2. Com base nas referidas tabelas, ressalta-se que, em todas as variáveis avaliadas, não ocorreu interação significativa entre os fatores.

**TABELA 1.** Síntese da análise de variância e do teste de médias para velocidade e potência na barra.

FATORES	Velocidade	Potência na Barra
	km h <sup>-1</sup>	kW
Proporção (P)		
B0	5,9 A	30,3 AB
B5	5,8 AB	31,0 A
B15	5,8 AB	29,8 AB
B25	5,7 B	29,3 AB
B50	5,8 AB	29,5 AB
B75	5,8 AB	29,2 B
Operação (O)		
Escarificação	5,6 B	35,9 A
Gradagem	6,0 A	23,9 B
Teste F		
P	4,27 **	2,82 *
O	286,01 **	1287,36 **
P x O	1,03 NS	0,89 NS
C.V.%	1,49	3,88

Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesmas letras maiúsculas não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

NS: não-significativo

\*\* : significativo (P<0,01)

C.V.: coeficiente de variação

### **1.1 Velocidade de deslocamento**

Na Tabela 1, considerando-se o fator proporção de mistura, observa-se que houve diferença de velocidade apenas entre as proporções B0 e B25, porém B25 foi semelhante às demais. Para o fator preparo do solo, nota-se que a velocidade foi maior para a gradagem em função da menor força média de tração exigida nessa operação. A importância desse comportamento de velocidade refere-se ao não comprometimento da quantidade de trabalho realizada pelo trator. Tais resultados são concordantes com os encontrados por GROTTA 2003, embora o referido autor tenha trabalhado com Biodiesel etílico de óleo residual.

### **1.2 Potência na barra de tração**

Ainda na Tabela 1, verifica-se que a potência na barra de tração foi maior para a proporção de mistura B5, com esta diferindo apenas de B75, evidenciando-se que tal diferença não foi em função da proporção de mistura, e, sim, da variação de força de tração ocorrida durante o ensaio. Com relação às operações de preparo do solo, a escarificação exigiu maior potência na barra de tração, resultado esperado em função de o escarificador trabalhar em maior profundidade. No entanto, essa comparação foi alvo de estudo com objetivo de verificar o comportamento das proporções de Biodiesel de acordo com a quantidade de força exigida na barra de tração.

### **1.3 Consumo horário volumétrico**

Pela Tabela 2, observa-se que o menor consumo ocorreu para B5, e o maior, para B75; contudo, verifica-se também que, embora essas duas proporções sejam diferentes entre si, são semelhantes às demais. Em relação à operação de preparo de solo, houve maior consumo volumétrico durante a escarificação. Esse

resultado apresenta pouco valor científico, porém é o mais solicitado pelos produtores rurais. Esse concorda com aqueles encontrados por GROTTA (2003) e REIS (2004).

**TABELA 2.** Síntese da análise de variância e do teste de médias para o consumo horário (volumétrico – Chv e ponderal – Chm) e consumo específico (CESP).

FATORES	Chv	Chm	CESP
	L h <sup>-1</sup>	kg h <sup>-1</sup>	g kWh <sup>-1</sup>
Proporção (P)			
B0	13,3 AB	11,1	364 C
B5	13,0 B	11,0	368 C
B15	13,1 AB	11,1	382 BC
B25	13,1 AB	11,3 BC	392 B
B50	13,3 AB	11,8 B	405 B
B75	13,7 A	12,5 A	432 A
Operação (O)			
Escarificação	15,0 A	12,9 A	359 B
Gradagem	11,6 B	10,9 B	418 A
Teste F			
P	2,92 *	22,77 **	2,64 *
O	891,91 **	877,71 **	519,68 **
P x O	1,82	2,08	0,83 <sup>NS</sup>
	NS	NS	
C.V.%	3,01	2,99	3,70

Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesmas letras maiúsculas não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

NS: não-significativo

\*\* : significativo (P<0,01)

C.V.: coeficiente de variação

#### 1.4 Consumo horário ponderal

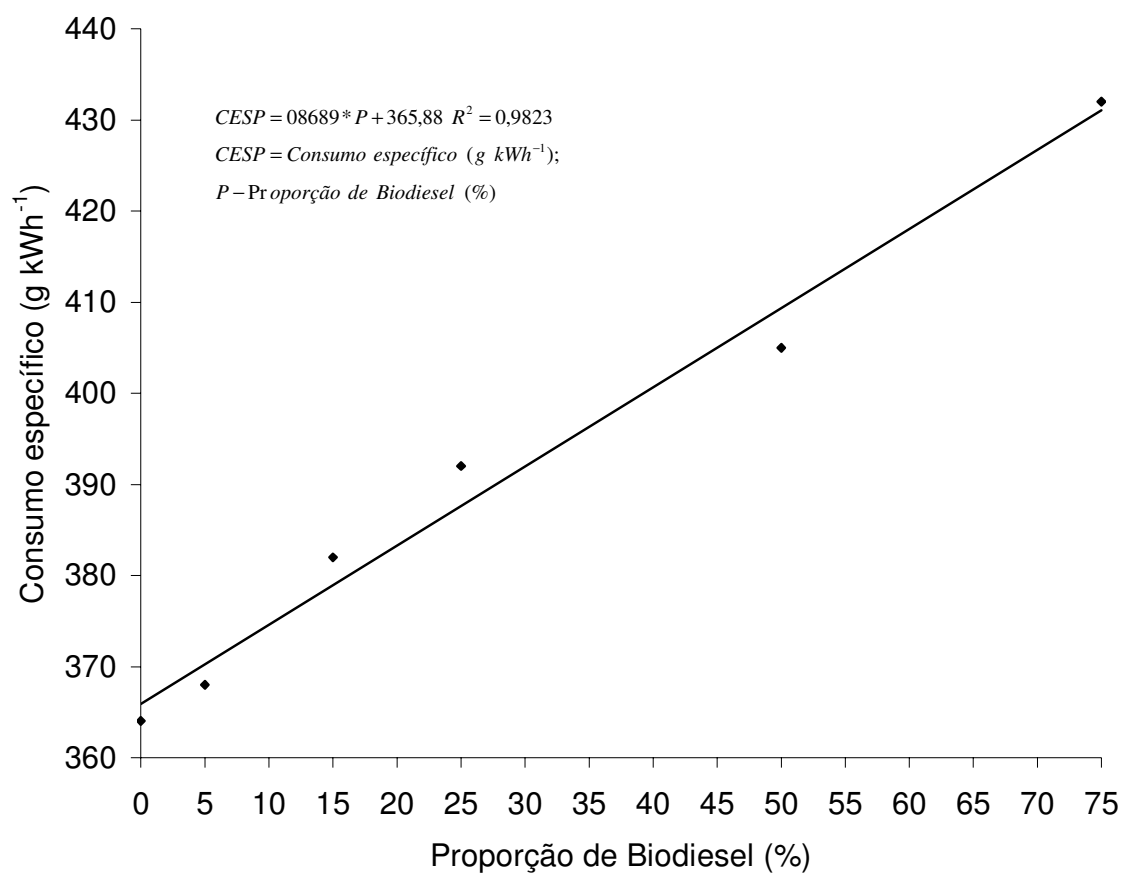
Verifica-se, na Tabela 2, que o consumo horário ponderal foi semelhante para B0 a B25, sendo B25 também semelhante a B50. B75 teve consumo maior que todas as outras proporções. Comparando-se B0 a B75, observa-se acréscimo

de 12,6% no consumo. Em relação ao fator operação de preparo, a escarificação teve consumo 18,3% maior; situação essa justificada pela maior largura e profundidade de trabalho. Nota-se que o comportamento do consumo volumétrico foi diferente da densidade do combustível no momento do ensaio. Em razão disso, essa força de consumo é muito utilizada em usinas de açúcar e álcool e Biodiesel, bem como pelos respectivos fornecedores, e principalmente pelas empresas que operam o transporte de combustíveis. Esses resultados coincidem com os apresentados por LOPES (2006).

### **1.5 Consumo horário específico**

Pela Tabela 2, verifica-se que o consumo específico foi semelhante de B0 a B15, enquanto B15 também foi semelhante a B25 e B50, sendo B75 a que proporcionou maior consumo. Evidencia-se que a adição de 75% de Biodiesel de mamona acarretou aumento de 19% no consumo específico em função do menor poder calorífico quando comparado ao diesel, conforme também foi observado por OLIVEIRA & COSTA (2002a). A escarificação proporcionou menor consumo específico comparado à gradagem, em função da maior potência exigida na barra de tração. O consumo específico é a forma mais apropriada para comparar tratamentos, pois, além de corrigir a densidade, expressa quantidade de combustível por unidade de potência aproveitada na barra de tração; entretanto, na maioria dos casos, por razões inerentes a medições, essa forma de consumo não pode ser obtida pelos interessados.

Esses resultados coincidem com os encontrados por LOPES (2006) e REIS (2004), embora esses autores tenham trabalhado com outros tipos de Biodiesel. A representação gráfica do consumo específico em função da proporção é ilustrada na Figura 15.



**FIGURA 15.** Representação gráfica do consumo específico em função da proporção de mistura de Biodiesel de mamona etílico destilado e diesel.

### 1.6 Patinagem

Em relação à patinagem dos rodados, os resultados foram em média de 10%, mantendo-se dentro do intervalo estipulado pela ASAE (1989), o que infere conformidade entre o trator e a operação.

## 2 Ensaio II – Opacidade da fumaça do trator

Os resultados de opacidade da fumaça do trator foram apresentados na forma de Tabela e Figura. A síntese da análise de variância encontra-se na Tabela 3, e devido ao ensaio ser realizado em condição estática, essa medida tem somente o fator proporção.

**TABELA 3.** Síntese da análise de variância e do teste de médias para a opacidade da fumaça.

PROPORÇÃO (B <sub>n</sub> )	OPACIDADE (m <sup>-1</sup> )
B <sub>0</sub>	1,09 A
B <sub>5</sub>	1,00 B
B <sub>15</sub>	0,96 C
B <sub>25</sub>	0,97 C
B <sub>50</sub>	0,84 D
B <sub>75</sub>	0,71 E
TESTE F	237,48 **
C.V.%	1,13

Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

NS: não-significativo (P>0,05)

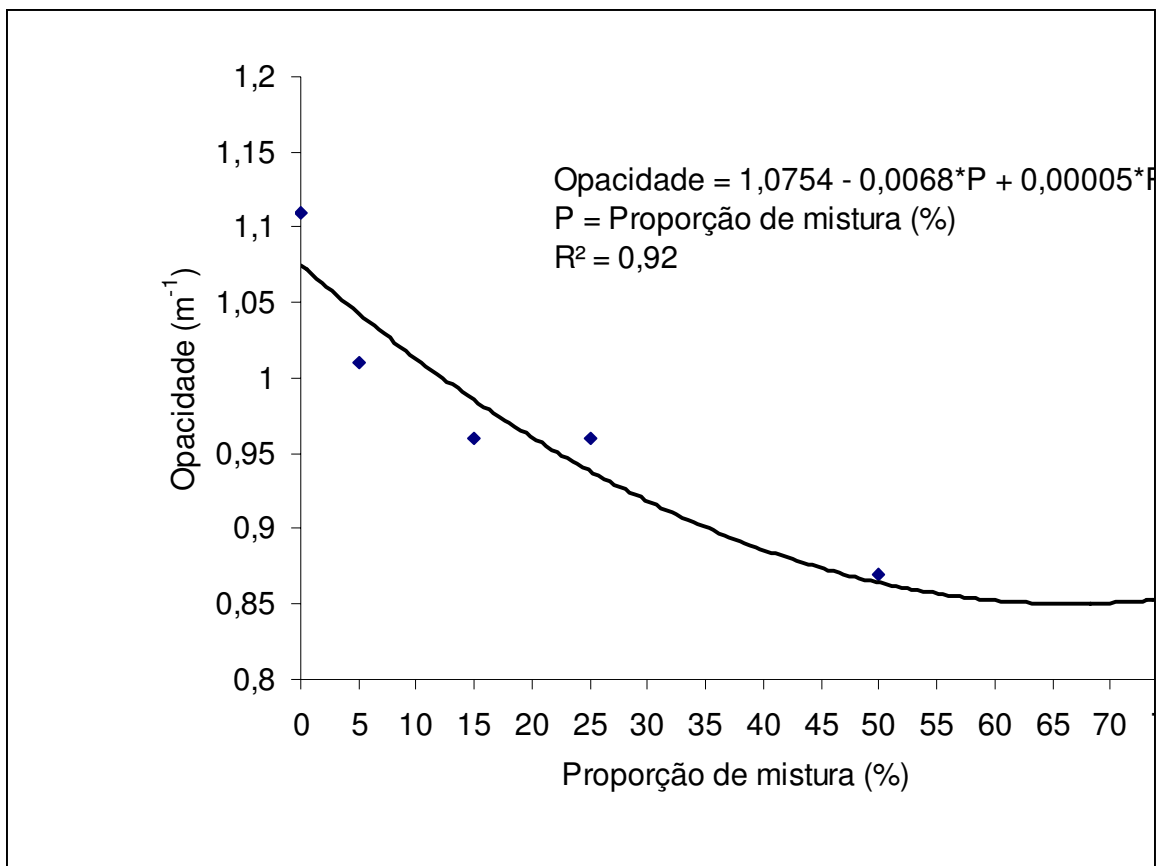
\*\* : significativo (P<0,01)

C.V.: coeficiente de variação

A opacidade da fumaça reduziu à medida que aumentou a proporção de Biodiesel; essa redução de opacidade também foi observada por LOPES (2006), nos 14 tipos de Biodiesel avaliados pelo autor. Esse comportamento ocorreu em virtude da maior eficiência de combustão proporcionada pelo biocombustível



comparada ao diesel. Destaca-se que a redução de opacidade da fumaça, aliada à geração de empregos constituem o maior atrativo para a adoção do Biodiesel na matriz energética brasileira, conforme descrito na Lei nº11.097, especificada por BRASIL (2005). A representação gráfica da opacidade, em função da proporção, é ilustrada na Figura 16.



**FIGURA 16.** Representação gráfica da opacidade da fumaça em função da proporção de mistura de Biodiesel de mamona etílico destilado e diesel.

## V CONCLUSÕES

O consumo específico teve aumento médio de 19% quando se adicionou 75% de Biodiesel de mamona em relação ao diesel.

A operação de gradagem teve consumo ponderal 12,6% menor em relação à operação de escarificação.

A opacidade da fumaça foi reduzida à medida que se adicionou Biodiesel de mamona ao diesel, com redução de 35% comparando B0 a B75.

Sugere-se a continuidade dos ensaios com Biodiesel de mamona, principalmente com proporção até B100.

## VI REFERÊNCIAS

ACCARINI, J.H. Biodiesel no Brasil: estágio atual e perspectivas. Economia rural e desenvolvimento – reflexões sobre o caso brasileiro, 2006, Petrópolis: Vozes, 224p.

ALMEIDA, C.H.T. et. al, **Caracterização dos Co-produtos do Processamento do Biodiesel de mamona para geração de Energia Térmica e Elétrica.** Disponível em [http://www.biodiesel.gov.br/docs/congresso2006/Co-produtor/Caracterização Co-produtos14.pdf](http://www.biodiesel.gov.br/docs/congresso2006/Co-produtor/Caracterização%20Co-produtos14.pdf). Acesso em: 19 mar. 2007.

ALMEIDA NETO, J.A.; CRUZ, R.S.; ALVES, J.M.; PIRES, M.M.; ROBRA, S.; PARENTE JÚNIOR, E. Balanço energético de ésteres metílicos e etílicos de óleo de mamona. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1., 2004, Campina Grande. *Anais...* Brasília: Embrapa Algodão, 2004. 1 CD-ROM.

ANFAVEA – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES E VEÍCULOS AUTOMOTORES, 2007. Disponível em : <http://www.anfavea.com.br/noticias/biodiesel.html>. Acesso em 19 jun. 2007

ASAE. Agricultural tractor test code. In: \_\_\_\_\_. ASAE standards 1989: standards engineering practices data. San Joseph, 1989. p.44-48 (ASAE S209.5).

ASAE. Agricultural machinery management data. In: \_\_\_\_\_. ASAE standards 1997: standards engineering practices data. San Joseph, 1997. p.363-370.

AZEVEDO NETO, J. M.; ALVAREZ, G. A. *Manual de hidráulica*. 6. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1997. 333 p.

BAHIA. Lançamento de rede de biocombustíveis. Agecom, Salvador, s/d. Disponível em: [bahiainvest.com.br/post/noticias](http://bahiainvest.com.br/post/noticias). Acesso em: 9 junho 2007.

BALASTREIRE, L. A. *Máquinas agrícolas*. São Paulo: Manole, 1987. 307 p.

BANZATTO, D.A.; KRONKA, S. N. *Experimentação agrícola*. Jaboticabal: FUNEP, 2006. 237p.

BELTRÃO, N.E. de M. et al. *Mamona: Árvore do conhecimento e sistemas de produção para o semi-árido brasileiro*, Campina Grande: Embrapa Algodão, 2003. 19p. (Circular Técnica, 70).

BIODIESELBR. Disponível em:< <http://www.biodieselbr.com/plantas/mamona/informacoes-gerais.htm>>. Acesso em 14 mar 2007.

BRASIL. Agência Nacional de Petróleo. *Portaria nº 128, de 28 de agosto de 2001*. Disponível em: <[www.anp.gov.br/petro/legis](http://www.anp.gov.br/petro/legis)>. Acesso em: 21 fev. 2006.

BRASIL. Agência Nacional de Petróleo. *Biodiesel: novas perspectivas de sustentabilidade*. Rio de Janeiro, 2002. 27 p.

BRASIL. Agência Nacional de Petróleo. *Resolução nº 42, de 24 de setembro de 2004a*. Disponível em: <[www.anp.gov.br/petro/legis\\_biodiesel.asp](http://www.anp.gov.br/petro/legis_biodiesel.asp)>. Acesso em: 11 jun. 2007.

BRASIL. Agência Nacional de Petróleo. *Resolução nº 21, de 25 de outubro de 2004b*. Disponível em: <[www.anp.gov.br/petro/legis\\_biodiesel.asp](http://www.anp.gov.br/petro/legis_biodiesel.asp)>. Acesso em: 11 jun. 2007.

BRASIL. *Lei nº 11.097 de 13 de janeiro de 2005*. Disponível em: <[www.planalto.gov.br](http://www.planalto.gov.br)>. Acesso em: 10 jul. 2007.

BUENO, A.V. Biodiesel reduz emissão de poluentes. 2003, Edição 213-19. Jornal da Unicamp. Disponível em: <[http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp\\_hoje/ju/maio2003/ju213pg11a.html](http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/ju/maio2003/ju213pg11a.html)>. Acesso em 29 maio de 2007. [http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp\\_hoje/ju/maio2003/ju213pg11a.html](http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/ju/maio2003/ju213pg11a.html)

CAMARA, F. T. Desempenho de um trator agrícola com Biodiesel etílico destilado. Jaboticabal - SP, 2004. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal - SP, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.

CAMARA, G.M.S., HEIFFIG, L.S. – Agronegócio de Plantas Oleaginosas: Matérias-Primas para Biodiesel. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Dep. De Produção Vegetal, Piracicaba, São Paulo, 2006.

CAVALCANTE, S.F.; A Importância da mamona para a agricultura familiar no estado da Paraíba. **Revista Eletrônica de Ciências**, São Carlos, n.27,2004. Disponível em: <[http://www.cdcc.usp.br/ciencia/artigos/art\\_27/mamona.html](http://www.cdcc.usp.br/ciencia/artigos/art_27/mamona.html)>. Acesso em: 28 jun 2007.

CONCEIÇÃO, M.M.; SANTOS, N.A.; FREITAS, J.C.O.; CANDEIA, R.A.; DANTAS, H.J.; BEZERRA, A.F.; SANTOS, J.C.O; CARDOSO, O.; SANTOS JÚNIOR, J.R.; SILVA, C.C.; FERNANDES JÚNIOR, V.J.; SOUZA, A.G. Degradação Térmica de Biodiesel de Mamona. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA – ENERGIA E SUSTENTABILIDADE. 2004, Campina Grande.

COOK, P.; WALKER, K. C.; BOOTH, E. J.; ENTWISTLE, G. The potencial for biodiesel production in the UK. *Farm Management*, London, v. 8, n. 8, p. 361-368, 1993.

COSTA NETO, P. R.; ROSSI, L. F. S.; ZAGONEL, G. F.; RAMOS, L. P. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras. *Química Nova*, São Paulo, v. 23, n. 4, p.531-537, 2000.

DABDOUB, M. J. *Uso de novos combustíveis permitirá a redução das importações de diesel em no mínimo 33%*. São Paulo, 2003. 4 p. Disponível em: <[www.dabdoub-labs.com.br](http://www.dabdoub-labs.com.br)>. Acesso em: 28 mar. 2003.

DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N.; KOPKE, U. Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo no conservacionismo do solo. Eschborn: GTZ, 1991. 272 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Manual de métodos e análise de solo. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília, 1999. 412 p.

FAO, Agricultural Production – Crops Primary (Castor Beans Production). Disponível em: < <http://www.cnpa.embrapa.br/mamona/BRS149.html/>>. Acesso em 20 de maio 2007.

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS, Biodiesel no Mundo e Estágio Atual no Brasil, Seminário Ecodiesel Brasil, Ministério de Minas e Energia, Brasília, DF. (2003).

FLAVIO, T.; SOUSA, M.D.; ALESSANDRO, M. Análise de gases e opacidade em frota cativa utilizando Biodiesel B20. Barra do Bugres – Universidade do Estado do Mato Grosso. Disponível em: <<http://www.biodiesel.gov.br/docs/congresso2006/Outros/AnaliseGases2.pdf>>. Acesso em: 29 maio 2007.

GAMERO, C.A.; LANÇAS, K.P. Ensaio e certificação das máquinas de mobilização periódica do solo. In: MIALHE, L.G. Máquinas agrícolas: ensaio e certificação. Piracicaba: CNPq-PADCT/TIB- FEALQ, 1996. p.463 -514.

GERPEN, J.V. Biodiesel Processing and Production. Fuel Process Technol. V.86. p.1097-1107, 2005.

GROTTA, D.C.C. Desempenho de um trator agrícola em operação de gradagem utilizando biodiesel etílico filtrado de óleo residual como combustível. 2003. 44 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2003.

GONÇALVES, N.P.; KAKIDA, J.; MARCIANI-BENDEZÚ, J.; LELES, W.D. Cultivares de mamona. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.7, n.82, p. 31-33, 1981.

HOLANDA, A. (Relator). ***Biodiesel e inclusão social***. Brasília: Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações, 2004. 200 p. (Série Cadernos de Altos Estudos, 1).

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Geociência: área territorial oficial. 2006. Disponível em: <[www.bge.org.br](http://www.bge.org.br)>. Acesso em: 25 Fev. 2007.

KNOTHE, G. Fuel properties. In: KNOTHE, G.; GERPEN, H. V.; KRAHL, J. (Ed.) The biodiesel handbook. Illinois: AOCS PRESS, 2005a. cap. 6.

KNOTHE, G. Fuel properties. In: KNOTHE, G.; GERPEN, H. V.; KRAHL, J. (Ed.) The biodiesel handbook. Illinois: AOCS PRESS, 2005b. cap. 6.

LADETEL-USP. LABORATÓRIO DE DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIAS LIMPAS - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Fornecimento de Biodiesel de mamona . 2007.

LAGE, R. M.; FERRARI, C. M. *Curso de informação sobre combustíveis e combustão*. Rio de Janeiro, 1993. 442 p.

LILJEDAHN, J. B.; TURQUIST, P. K.; SMITH, W. D.; HOKI, M. *Tractor and their power units*. 4. ed. New York: AVI, 1989. 463 p.

LILJEDAHN, J.B.; CARLETON, W.M.; TURNQUIST, P.K.; SMITH, D.W. Traction. In: \_\_\_\_\_. *Traction and their power units*. Connecticut: Avi Publish Compan y, n.2, 1995. p.219-26.

LOPES, A. *Biodiesel em trator agrícola: desempenho e opacidade*. 2006. 158 f. Tese (Livre-Docência) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2006.

LOPES, A.; FURLANI, C.E.A.; SILVA, R.P. Desenvolvimento de um protótipo para medição de combustível em tratores. *Revista Brasileira de Agroinformática*, São Paulo, v.5, n.1, p.24-31, 2003.

LOPES, A.; GROTTA, D.C.C.; FURLANI, C.E.A.; CAMARA, F.T.; DABDOUB, M.J.; HURTADO, G.R. Biodiesel etílico de óleo residual: consumo de combustível de um trator agrícola em função do percentual de mistura biodiesel e diesel de petróleo. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 3., 2004, Belém. *Anais...* Belém: Associação Brasileira de Engenharia Mecânica, 2004. 1 CD-ROM.

MANTOVANI, E.C.; LEPLATOIS, M.; INAMASSU, R.Y. Automação do processo de avaliação de desempenho de tratores e implementos em campo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.34, n.7, p.1241, 1999.

MEIRELLES, F. S. Biodiesel. Brasília. Disponível em: <<http://www.faespsenar.com.br/faesp/economico/estartigos/biodiesel.pdf>>. Acesso em: 16 maio 2007.



MIALHE, L.G. Ensaio e certificação de tratores. In: \_\_\_\_\_. Máquinas agrícolas: ensaio e certificação. Piracicaba: CNPq-PADC T/TIB- FEALQ, 1996. p.385-462.

MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA E DO COMÉRCIO - MIC; Secretaria de Tecnologia Industrial; Coordenadoria de Informações Tecnológicas Óleos vegetais <sup>3</sup>/<sub>4</sub> experiência de uso automotivo desenvolvida pelo programa OVEG I. Brasília – DF: MIC/STI, 1985.

MONYEM, A.; VAN GERPEN, J. H. the effect of biodiesel oxidation on engine performance and emissions. Biomass and bioenergy, New York, v. 20, n. 4, p. 317-325, abr. 2001.

OLIVEIRA, L.B.; COSTA, A.O. da. Biodiesel: uma experiência de desenvolvimento sustentável. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 9., 2002, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Energia, 2002a. v.1, p. 445-453.

OLIVEIRA, L.B.; COSTA, A.O. da. Biodiesel: uma experiência de desenvolvimento sustentável. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 9., 2002, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Energia, 2002b. v.1, p. 445-453.

PARENTE, E. J. S. Proposta de um óleo diesel alternativo. 1993. Tese (Concurso para professor Titular) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1993.

PARENTE, E. J. S. Biodiesel: uma aventura tecnológica em um país engraçado. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2003. 65 p.

POÇO, J.G.R. BIODIESEL – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A IPT, 2007.

PRANKL, H. Stability of biodiesel. In: KNOTHE, G.; GERPEN, H. V.; KRAHL, J. (Ed.). The biodiesel handbook. Illinois: AOCS PRESS, 2005. Cap. 6.4.2.

RABELO, I. D. Estudo de desempenho de combustíveis convencionais associados a biodiesel obtido pela transesterificação de óleo usado em fritura. 2001. 99 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) - Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2001.

REIS, G. N., Biodiesel filtrado x biodiesel destilado x diesel: Desempenho de um trator em operação de semeadura direta. Jaboticabal - SP, 2004. 42 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal - SP, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.

SANTOS, N.A.; DANTAS, H.J.; CANDEIA, R.A.; BEZERRA, A.F., FREITAS, J.C.O.; CARDOSO, O.; SANTOS JÚNIOR, J.R.; SILVA, C.C.; CONCEIÇÃO, M.M; GONDIM, A.D.; FERNANDES JÚNIOR, V.J.; SOUZA, A.G.; Propriedades Físico-Químicas de Biodiesel de Mamona. In: I CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA – ENERGIA E SUSTENTABILIDADE ,2004, Campina Grande.

SAVY FILHO, A. **Mamona Tecnologia Agrícola**, 2005. Campinas: EMOPE, 105p.

SCHUMACHER, L. Biodiesel lubricity. In: KNOTHE, G.; GERPEN, H. V.; KRAHL, J. (Ed.). The biodiesel handbook. Illinois: AOCS PRESS, 2005. Cap. 6.5.

SILVA, S. L., BENEZ, S. H., LEVIEN, R., SIQUEIRA, R. Força de tração obtida com integrador de força e sistema computadorizado, operando um rolo faca. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA – CONBEA, 28, 1999. Pelotas – RS. Anais... Pelotas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1999. 1CD – ROM.

SUMMERS, H.R.; HELLWING, R.E.; MONROE, G.E. Measuring implement power requirements from tractor fuel consumption. Transaction of the ASAE, St Joseph, v.29, n.1, p.85-89, 1986.

TECNOMOTOR ELETRÔNICA DO BRASIL LTDA. Manual de operação. São Carlos, 2006. 26 p. (1 CD-ROM)

UBA (Ed.) *Aktuelle Bewertung des Einsatzes von Rapsol/RME in Vergleich zu Dieselkraftstoff Um weltbundesamt-Texto 79/99*. Berlin, 1999, p. 17-24.

VIEIRA, R.M.; LIMA, E.F.; BATISTA, F.A.S. Diagnósticos e perspectivas da mamoneira no Brasil. In: REUNIÃO TEMÁTICA MATÉRIAS – PRIMAS OLEAGINOSAS NO BRASIL: DIAGNÓSTICO, PERSPECTIVAS E PRIORIDADES DE PESQUISA, 1997, Campina Grande. **Anais...**Campina Grande: Embrapa - CNPA/MAA/ABIOVE, p. 139-150 (Embrapa – CNPA. Documentos, 63).

WEISS, E.A. Oil seed crops. London: Longman 659p. 1983, p.31-39.

YANAI, K.; SILVEIRA, G.M.; LANÇAS, K.P.; CORREA, I.M.; MAZIERO, J.V.G. Desempenho operacional de trator com e sem acionamento da tração dianteira auxiliar. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.34, n.8, p.1427-34, 1999.

## APÉNDICE

APÊNDICE 1. Especificações técnicas dos tratores.

Item		Trator 1	Trator 2
<b>Marca</b>		VALTRA	VALTRA
Modelo		BM 100	BH 140
Motor			
Marca		Valtra	Valtra
Modelo		420DS	
Tipo		Turboalimentado	Turboalimentado
Arrefecimento		Líquido	Líquido
Cilindrada		4400 cm <sup>3</sup>	6600 cm <sup>3</sup>
N <sup>o</sup> de cilindros		4	6
Potência máxima no motor		74 kW (100 cv)	103 kW (140 cv)
Rotação de potência máxima		2300 rpm	2400 rpm
Torque máximo		367 Nm	475 Nm
Rotação de torque máximo		1400 rpm	1400 rpm
Bomba injetora		ROTATIVA	ROTATIVA
Tanque de combustível		140 litros	270 litros
Número de marchas		16 + 8 RÉ	16 F + 8 RÉ
Dimensões			
Distância entre eixos		2525 mm	2763 mm
Bitola máxima		2240 mm	2128 mm
Altura da barra de tração		400 mm	400 mm
Distribuição de massa	Dianteiro	1406 kg	2020 kg
	Traseiro	2109 kg	3030 kg
Trator sem lastro	Total	3515 kg	5050 kg
Distribuição de massa	Dianteiro	2160 kg	2930 kg
	Traseiro	3240 kg	4395 kg
Trator com lastro	Total	5400 kg	7325 kg

APÊNDICE 2. Ensaio original de opacidade da fumaça do trator funcionando com diesel.

**Dados do veículo**

Fabricante: VALTRA DO BRASIL, CATEGORIA MÁQUINAS AGRÍCOLAS  
Trator BM100, Ano: a partir de 1995  
Combustível: Diesel

**Dados da inspeção**

Data: 12-03-2007  
Código do inspetor: LAMMA-UNESP-JABOTICABAL

**Medição da opacidade**

Amostra	Rotação de marcha lenta	Rotação de corte	Repetições da opacidade			Máximo
	rpm	rpm	R1	R2	R3	
1	730	2200	1,37	1,05	1,24	2,00
2	732	2200	1,08	1,07	1,11	2,00
3	726	2170	1,01	1,11	1,07	2,00
4	734	2190	1,18	1,08	1,05	2,00
5	728	2200	1,06	1,06	1,15	2,00
6	730	2200	1,13	1,01	1,13	2,00
7	732	2160	1,12	0,97	1,09	2,00
8	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-
Média em cada repetição			1,12	1,06	1,10	
<b>Média geral da opacidade</b>			<b>1,09 (m<sup>-1</sup>)</b>			

**OBSERVAÇÕES SOBRE O TESTE**

**1 Resultados do teste de aceleração:**

- a) Rotação de marcha lenta: 730 rpm
- b) Rotação de corte: 2200 rpm

**2 Condições do teste**

- a) Temperatura do óleo: 78 °C
- b) Temperatura do ar: 32 °C
- c) Pressão atmosférica: 96 kPa
- d) Altitude do local de ensaio: 559 m

**3 Características do veículo**

- a) Turbo: SIM
- b) Limite de opacidade: 2,00 (m<sup>-1</sup>)

**RESULTADO DO TESTE  
APROVADO**

APÊNDICE 3. Ensaio original de opacidade da fumaça do trator funcionando com B5.

**Dados do veículo**

Fabricante: VALTRA DO BRASIL, CATEGORIA MÁQUINAS AGRÍCOLAS

Trator BM100, Ano: a partir de 1995

Combustível: 5% de Biodiesel etílico de mamona + 95% de diesel

**Dados da inspeção**

Data: 12-03-2007

Código do inspetor: LAMMA-UNESP-JABOTICABAL

**Medição de opacidade**

Amostra	Rotação em marcha		Repetições da opacidade			Máximo
	lenta	Rotação de corte	R1	R2	R3	
	rpm	rpm				
1	736	2200	1,77	1,33	1,35	2,00
2	734	2200	1,03	0,99	0,84	2,00
3	730	2170	0,86	0,87	1,11	2,00
4	732	2190	1,13	1,02	0,99	2,00
5	726	2200	1,07	0,88	1,02	2,00
6	728	2200	1,02	0,91	0,99	2,00
7	730	2200	0,98	0,98	1,02	2,00
8	730	2200	1,06	-	-	2,00
9	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-
Média em cada repetição			1,03	0,95	1,01	
<b>Média geral da opacidade</b>			<b>1,00 (m<sup>-1</sup>)</b>			

**OBSERVAÇÕES SOBRE O TESTE**

**1. Resultados do teste de aceleração:**

- a) Rotação de marcha lenta: 729 rpm
- b) Rotação de corte: 2200 rpm

**2. Condições do teste:**

- a) Temperatura do óleo: 80 °C
- b) Temperatura do ar: 29 °C
- c) Pressão atmosférica: 96 kPa
- d) Altitude do local de ensaio: 559 m

**3. Características do veículo:**

- a) Turbo: SIM
- b) Limite de opacidade: 2,00 (m<sup>-1</sup>)

**RESULTADO DO TESTE  
APROVADO**

APÊNDICE 4. Ensaio original de opacidade da fumaça do trator funcionando com B15.

**Dados do veículo**

Fabricante: VALTRA DO BRASIL, CATEGORIA MÁQUINAS AGRÍCOLAS

Trator BM100, Ano: a partir de 1995

Combustível: 15% de Biodiesel etílico de mamona + 85% de diesel

**Dados da inspeção**

Data: 12-03-2007

Código do inspetor: LAMMA-UNESP-JABOTICABAL

**Medição de opacidade**

Amostra	Rotação em marcha		Rotação de corte	Repetições da opacidade			Máximo
	lenta			R1	R2	R3	
	rpm		rpm				
1	730		2200	1,13	1,19	1,19	2,00
2	732		2200	0,97	0,97	1,00	2,00
3	724		2200	1,01	0,98	1,01	2,00
4	732		2170	0,96	0,99	0,91	2,00
5	736		2190	1,00	0,93	0,93	2,00
6	728		2190	0,99	0,92	1,01	2,00
7	730		2200	0,93	0,95	0,96	2,00
8	-		-	-	-	-	-
9	-		-	-	-	-	-
10	-		-	-	-	-	-
Média em cada repetição				0,97	0,95	0,95	
<b>Média geral da opacidade</b>				<b>0,96 (m<sup>-1</sup>)</b>			

**OBSERVAÇÕES SOBRE O TESTE**

**1. Resultados do teste de aceleração:**

a) Rotação de marcha lenta: 732 rpm

b) Rotação de corte: 2200 rpm

**2. Condições do teste:**

a) Temperatura do óleo: 79 °C

b) Temperatura do ar: 31 °C

c) Pressão atmosférica: 96 kPa

d) Altitude do local de ensaio: 559 m

**3. Características do veículo:**

a) Turbo: SIM

b) Limite de opacidade: 2,00 (m<sup>-1</sup>)

**RESULTADO DO TESTE  
APROVADO**



APÊNDICE 5. Ensaio original de opacidade da fumaça do trator funcionando com B25.

**Dados do veículo**

Fabricante: VALTRA DO BRASIL, CATEGORIA MÁQUINAS AGRÍCOLAS

Trator BM100, Ano: a partir de 1995

Combustível: 25% de Biodiesel etílico de mamona + 75% de diesel

**Dados da inspeção**

Data: 12-03-2007

Código do inspetor: LAMMA-UNESP-JABOTICABAL

**Medição de opacidade**

Amostra	Rotação em marcha		Rotação de corte	Repetições da opacidade			Máximo
	lenta			R1	R2	R3	
	rpm		rpm				
1	734		2200	1,56	1,31	1,24	2,00
2	728		2200	1,07	0,95	0,95	2,00
3	730		2190	1,07	0,87	1,00	2,00
4	732		2170	0,93	1,03	0,86	2,00
5	726		2200	1,02	1,01	0,97	2,00
6	736		2200	1,04	0,88	1,02	2,00
7	730		2200	0,96	0,90	0,94	2,00
8	-		-	-	-	-	-
9	-		-	-	-	-	-
10	-		-	-	-	-	-
Média em cada repetição				0,99	0,96	0,95	
<b>Média geral da opacidade</b>				<b>0,97 (m<sup>-1</sup>)</b>			

**OBSERVAÇÕES SOBRE O TESTE**

**1. Resultados do teste de aceleração:**

a) Rotação de marcha lenta: 731 rpm

b) Rotação de corte: 2200 rpm

**2. Condições do teste:**

a) Temperatura do óleo: 77 °C

b) Temperatura do ar: 32 °C

c) Pressão atmosférica: 96 kPa

d) Altitude do local de ensaio: 559 m

**3. Características do veículo:**

a) Turbo: SIM

b) Limite de opacidade: 2,00 (m<sup>-1</sup>)

**RESULTADO DO TESTE  
APROVADO**

APÊNDICE 6. Ensaio original de opacidade da fumaça do trator funcionando com B50.

**Dados do veículo**

Fabricante: VALTRA DO BRASIL, CATEGORIA MÁQUINAS AGRÍCOLAS

Trator BM100, Ano: a partir de 1995

Combustível: 50% de Biodiesel etílico de mamona + 50% de diesel

**Dados da inspeção**

Data: 12-03-2007

Código do inspetor: LAMMA-UNESP-JABOTICABAL

**Medição de opacidade**

Amostra	Rotação em marcha	Rotação de	Repetições da opacidade			Máxim o
	lenta	cutte	R1	R2	R3	
	rpm	rpm				
1	734	2200	1,21	1,33	1,20	2,00
2	728	2200	0,89	0,92	0,93	2,00
3	730	2160	0,77	0,93	0,93	2,00
4	732	2200	0,91	0,87	0,92	2,00
5	726	2190	0,82	0,89	0,83	2,00
6	728	2200	0,88	0,83	0,91	2,00
7	730	2200	0,80	0,88	0,87	2,00
8	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-
Média em cada repetição			0,78	0,87	0,88	
<b>Média geral da opacidade</b>			<b>0,84 (m<sup>-1</sup>)</b>			

**OBSERVAÇÕES SOBRE O TESTE**

**1. Resultados do teste de aceleração:**

a) Rotação de marcha lenta: 729 rpm

b) Rotação de corte: 2200 rpm

**2. Condições do teste:**

a) Temperatura do óleo: 79 °C

b) Temperatura do ar: 32 °C

c) Pressão atmosférica: 96 kPa

d) Altitude do local de ensaio: 559 m

**3. Características do veículo:**

a) Turbo: SIM

b) Limite de opacidade: 2,00 (m<sup>-1</sup>)

**RESULTADO DO TESTE  
APROVADO**

APÊNDICE 7. Ensaio original de opacidade da fumaça do trator funcionando com B75.

**Dados do veículo**

Fabricante: VALTRA DO BRASIL, CATEGORIA MÁQUINAS AGRÍCOLAS

Trator BM100, Ano: a partir de 1995

Combustível: 75% de Biodiesel etílico de mamona + 25% de diesel

**Dados da inspeção**

Data: 12-03-2007

Código do inspetor: LAMMA-UNESP-JABOTICABAL

**Medição de opacidade**

Amostra	Rotação em marcha	Rotação de	Repetições da opacidade			Máxim o
	lenta	cutte	R1	R2	R3	
	rpm	rpm				
1	738	2200	1,10	0,99	1,11	2,00
2	734	2200	0,74	0,75	0,81	2,00
3	736	2200	0,79	0,80	0,65	2,00
4	732	2200	0,81	0,77	0,78	2,00
5	730	2200	0,73	0,68	0,70	2,00
6	730	2200	0,72	0,80	0,81	2,00
7	736	2200	0,76	0,72	0,76	2,00
8	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-
Média em cada repetição			0,70	0,67	0,76	
<b>Média geral da opacidade</b>			<b>0,71 (m<sup>-1</sup>)</b>			

**OBSERVAÇÕES SOBRE O TESTE**

**1. Resultados do teste de aceleração:**

a) Rotação de marcha lenta: 732 rpm

b) Rotação de corte: 2200 rpm

**2. Condições do teste:**

a) Temperatura do óleo: 80 °C

b) Temperatura do ar: 34 °C

c) Pressão atmosférica: 96 kPa

d) Altitude do local de ensaio: 559 m

**3. Características do veículo**

a) Turbo: SIM

b) Limite de opacidade: 2,00 (m<sup>-1</sup>)

**RESULTADO DO TESTE**

**APROVADO**