

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

**BIODIESEL DE DENDÊ EM TRATOR AGRÍCOLA:  
DESEMPENHO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE  
ARMAZENAMENTO E DA PROPORÇÃO DE MISTURA NA  
OPERAÇÃO DE PREPARO DO SOLO**

**Felipe Thomaz da Camara**  
Engenheiro Agrônomo

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL  
2009

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

**BIODIESEL DE DENDÊ EM TRATOR AGRÍCOLA:  
DESEMPENHO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE  
ARMAZENAMENTO E DA PROPORÇÃO DE MISTURA NA  
OPERAÇÃO DE PREPARO DO SOLO**

**Felipe Thomaz da Camara**

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

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Ciência do Solo).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Setembro de 2009

C172b

Camara, Felipe Thomaz da

Biodiesel de dendê em trator agrícola: desempenho em função do tempo de armazenamento e da proporção de mistura na operação de preparo do solo / Felipe Thomaz da Camara. – – Jaboticabal, 2009

vii, 92 f.: il.; 28 cm

Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2009

Orientador: Afonso Lopes

Banca examinadora: Wilson José Oliveira de Souza, Carlos Alberto Alves de Oliveira, Carlos Eduardo Angeli Furlani, Newton La Scala Júnior.

Bibliografia

1. Ensaio de trator. 2. Consumo de combustível. 3. Opacidade.  
I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.372 : 662.7

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação – UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**FELIPE THOMAZ DA CAMARA** - filho de Olívio Paolineti da Camara e Rosicler Thomaz, nasceu em Araraquara, São Paulo, no dia 5 de maio de 1981. Coursou o primeiro grau em Araraquara e o segundo grau em Jaboticabal - SP. Em 2000, iniciou o curso de Engenharia Agrônômica na Universidade Estadual Paulista - UNESP, Câmpus de Jaboticabal – SP, concluindo-o em março de 2005. Em março de 2005, iniciou o curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração em Ciência do Solo, na Universidade Estadual Paulista – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, concluindo-o em julho de 2006. Durante a vida acadêmica, desempenhou funções, tais como: Bolsista de iniciação científica (FAPESP) por dois anos consecutivos, desenvolvendo projeto de pesquisa intitulado “Desempenho de tratores agrícolas com biodiesel”. Em julho de 2006, iniciou o curso de Doutorado em Agronomia, área de concentração em Ciência do Solo, na Universidade Estadual Paulista – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, concluindo-o em setembro de 2009. Em 23 de dezembro de 2008, por meio de concurso público, ingressou na Universidade Federal do Ceará, Câmpus no Cariri, Juazeiro do Norte - -CE, como docente da área de Mecanização Agrícola. Nessa função, ministra as disciplinas Motores e Tratores Agrícolas, e Máquinas e Implementos Agrícolas.

*Nem olhos viram,  
Nem ouvidos ouviram,  
Nem jamais penetrou em coração humano,  
O que Deus tem preparado para aqueles que o amam.*

1Co 1 : 9

*A Deus e nosso Senhor Jesus Cristo, por tudo.*

## **Agradeço**

*A minha esposa: Juliana Cristina Rissi da Camara.*

## **Homenageio**

*A meus pais: Olívio Paulinetti da Camara e Rosicler Thomaz*

*A meus sogros: Carlos Alberto Rissi e Neide Fernandez Rissi*

*A meu padrasto: Paulo Sérgio de Oliveira França*

*A meus avós paternos: Jorge Burle Camara e Yone Paolineti da Camara*

*A meus avós maternos: Luís Thomaz (in memoriam) e*

*Virginia Thomaz (in memoriam)*

**Dedico**

## **AGRADECIMENTOS**

À UNESP, Câmpus de Jaboticabal, por oferecer todas as condições para minha qualificação profissional.

Ao Departamento de Engenharia Rural da UNESP-Jaboticabal, destacando a amizade dos colegas Professores, Funcionários e Alunos.

Ao amigo e padrinho de casamento Prof. Dr. Afonso Lopes, pelo apoio, amizade, orientação e companheirismo dispensado a mim durante todos estes anos.

Aos amigos do Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola (LAMMA), Profs. Dr. Carlos Eduardo Angeli Furlani e Dr. Rouverson Pereira da Silva, pela parceria e apoio que me fizeram crescer profissionalmente.

À FAPESP, pelo apoio financeiro incondicional ao Projeto Biodiesel, o que fez a diferença para que este trabalho se concretizasse.

Ao LADETEL-USP de Ribeirão Preto, aos pesquisadores Dr. Antônio Carlos Ferreira Batista e Dra. Gabriela Hurtado, e agradecimento muito especial para o Prof. Dr. Miguel Joaquim Dabdoub, Coordenador do LADETEL e Coordenador Geral do Projeto Biodiesel Brasil.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural, Sra. Míriam Rosângela Ignácio e ao Sr. Davi Aparecido Trevizolli, Secretários, ao Técnico Agrícola Aparecido Alves, aos Operadores de Máquinas Valdecir Aparício (Maranhão) e ao Sebastião (Tiãozinho), pela participação efetiva durante a fase de coleta de dados, muitas vezes trabalhando fora do horário normal sem se preocupar com remuneração extra.

Aos Pós-Graduandos Allan Rodrigo Panosso, Danilo Grotta, Gustavo Naves, Jorge Cortez, Ana Lúcia Barbosa, Anderson Toledo e Rubens Tabbille; e aos Graduandos Melina Cais, Luma Torres e João Paulo Assis, por todos estes ótimos anos de convivência.

Às empresas Valtra do Brasil e Coopercitrus, pela concessão dos tratores, bem como pelo apoio logístico em todas as fases do projeto em questão.

Aos Profs. do Departamento de Ciências Exatas, Dr. Newton La Scala Júnior e Dr. Gener Tadeu Pereira, pela assessoria nas análises estatísticas.

A todos aqueles que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
<b>RESUMO</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>I INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>II REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	3
1 Biodiesel.....	3
2 Propriedades do Biodiesel .....	6
2.1 Número de Cetano .....	6
2.2 Poder Calorífico.....	7
2.3 Viscosidade .....	8
2.4 Ponto de Névoa.....	9
2.5 Estabilidade Oxidativa .....	10
2.6 Lubricidade.....	11
3 Biodiesel no Brasil – “Legislação” .....	13
4 Biodiesel e a Cultura do Dendê.....	21
5 Biodiesel e Emissão de Poluentes .....	25
6 Biodiesel e Desempenho Operacional .....	30
<b>III MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	34
1 Área Experimental.....	34
2 Solo .....	34
3 Biodiesel.....	34
4 Diesel .....	35
5 Condução do Trabalho.....	35
6 Delineamento Experimental .....	35
7 Tratamentos .....	36



	<b>Página</b>
8 Ensaio I – Vazão da Bomba de Abastecimento .....	37
9 Ensaio II – Densidade dos Combustíveis.....	38
10 Ensaio III – Desempenho Operacional.....	39
1 Tratores .....	39
2 Escarificador .....	41
3 Uso dos Tratores.....	41
4 Avaliações em cada Tratamento.....	43
1 Rotação do Motor .....	43
2 Patinagem .....	43
3 Velocidade de Deslocamento .....	44
4 Força na Barra de Tração .....	44
5 Potência na Barra de Tração .....	45
6 Consumo de Combustível.....	45
1 Consumo Horário.....	46
2 Consumo Específico .....	47
11 Ensaio IV – Opacidade da Fumaça.....	47
12 Análise Estatística.....	50
1 Análise de Variância e Teste de Médias .....	50
2 Análise de Regressão .....	50
<b>IV RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>51</b>
1 Ensaio I – Vazão da Bomba de Abastecimento .....	51
2 Ensaio II – Densidade dos Combustíveis.....	53
3 Ensaio III – Desempenho Operacional.....	55
1 Rotação do Motor.....	55
2 Patinagem .....	56
3 Velocidade de Deslocamento.....	56
4 Potência na Barra de Tração .....	57
5 Consumo Horário Volumétrico .....	58

	<b>Página</b>
6 Consumo Horário Ponderal.....	58
7 Consumo Específico .....	58
4 Ensaio IV - Opacidade da Fumaça.....	60
<b>V CONCLUSÕES.....</b>	<b>62</b>
<b>VI REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>63</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>76</b>

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela</b>	<b>Página</b>
1. Lubricidade do diesel com enxofre ultrabaixo e adição de biodiesel.....	12
2. Propriedades de óleos vegetais <i>in natura</i> e do óleo diesel. ....	12
3. Propriedades físico-químicas do biodiesel (ésteres etílicos) de acordo com vegetal comparado ao óleo diesel convencional tipo C.....	13
4. Especificação do biodiesel B <sub>100</sub> no Brasil. (SIC).....	16
5. Produtividade média brasileira e mundial de óleo de palma nos períodos de 1973 a 2012 .....	25
6. Relação e designação dos tratamentos dos ensaios I e II. ....	36
7. Relação e designação dos tratamentos dos ensaios III e IV.....	37
8. Densidade do biodiesel etílico destilado de dendê em função da temperatura e proporção de mistura (kg m <sup>-3</sup> ).....	53
9. Síntese da análise de variância e teste de médias para as variáveis rotação no motor (Rot motor), patinagem média dos rodados, velocidade de deslocamento (V) e potência média na barra de tração (PB) .....	55
10. Síntese da análise de variância e teste de médias para as variáveis consumo horário volumétrico (Chv), consumo horário ponderal (Chp) e consumo específico (Ce). ....	57
11. Síntese da análise de variância e teste de médias para a variável opacidade da fumaça.....	61

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1. Esquema das parcelas.....	36
2. Bomba de abastecimento.....	38
3. Vista lateral do trator de teste com instrumentação completa.....	40
4. Dinâmica do ensaio de desempenho .....	42
5. Instrumentação utilizada no ensaio de opacidade da fumaça.....	48
6. Vista geral do trator instrumentado para o ensaio de opacidade da fumaça	49
7. Modelo de regressão quadrática da vazão da bomba ( $L\ min^{-1}$ ) em função da proporção de mistura de biodiesel etílico destilado de dendê e diesel .....	51
8. Modelo quadrático de regressão da vazão da bomba ( $kg\ min^{-1}$ ) em função da proporção de mistura de biodiesel etílico destilado de dendê e diesel .....	52
9 . Superfície de resposta de segunda ordem ajustada à densidade do biodiesel etílico destilado de dendê em função da temperatura e proporção de mistura.	54
10. Modelo linear de regressão para o consumo específico em função da proporção de biodiesel.....	60
11. Modelo de regressão quadrática da opacidade da fumaça em função da proporção de mistura de biodiesel etílico destilado de dendê com diesel....	61

## **BIODIESEL DE DENDÊ EM TRATOR AGRÍCOLA: DESEMPENHO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE ARMAZENAMENTO E DA PROPORÇÃO DE MISTURA NA OPERAÇÃO DE PREPARO DO SOLO**

**RESUMO.** Biodiesel é um combustível renovável, biodegradável e produzido a partir de óleo vegetal ou de gordura animal por meio de transesterificação. A viabilidade desse produto como fonte alternativa de energia depende de vários fatores, entre os quais se destacam a proporção de mistura e a estabilidade durante o período de armazenamento, uma vez que a disponibilidade de matéria-prima é sazonal e varia de acordo com a safra de cada cultura. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho operacional realizando a operação de preparo do solo com escarificador e a opacidade da fumaça de um trator agrícola funcionando com biodiesel de dendê, a densidade do combustível e a vazão da bomba de abastecimento, cujos fatores estudados foram o tempo de armazenamento e a proporção de mistura biodiesel/diesel. O experimento foi conduzido no Departamento de Engenharia Rural, da UNESP-Jaboticabal, em parceria com o LADETEL/USP-Ribeirão Preto. O tempo de armazenamento foi combustível novo (logo após ser produzido), três e seis meses, e as proporções percentuais de biodiesel + diesel foram B0 (0+100), B5 (5+95), B50 (50+50) e B100 (100+0). Para comparar os tratamentos, foram avaliados o consumo de combustível, a força de tração na barra, a velocidade real de deslocamento, a patinação das rodas, a potência na barra de tração, a densidade do combustível, a vazão da bomba de abastecimento e a opacidade da fumaça de combustão. Os resultados evidenciaram aumento no consumo específico a partir da mistura com 25% de biodiesel, entretanto o tempo de armazenamento não influenciou no consumo. Com relação a opacidade da fumaça, houve redução, mesmo com apenas 5% de biodiesel na mistura, com o tempo de armazenamento não influenciando.

**PALAVRAS-CHAVE:** consumo específico, força de tração, escarificação e velocidade de deslocamento.

**PALM OIL BIODIESEL IN AGRICULTURAL TRACTORS : PERFORMANCE IN  
RELATION TO STORAGE TIME AND MIXTURE PROPORTION IN THE SOIL  
PREPARATION OPERATION.**

**SUMMARY:** Biodiesel is a renewable fuel, biodegradable and produced from vegetable oil or from animal fat through transesterification. The viability of this product as a source of alternative energy depends on various factors, among which the mixture proportion and the stability during storage time stand out. This is because the availability of the raw material is seasonal and varies in accordance with the harvests of different cultures. The objective of the present work was to evaluate the operational performance of an agricultural tractor working with palm oil biodiesel while performing the operation of tillage with a chisel plow, also opacity, the density of the fuel and the outflow from the filling pump were studied regarding storage time and biodiesel/diesel mixture proportion. The experiment was conducted in the Department of Rural Engineering at UNESP, Jaboticabal, Brazil, in partnership with LADETEL/USP-Ribeirão Preto. Storage time was with new fuel (soon after production), three months and six months, and the percentage proportions used for biodiesel + diesel were B0 (0+100), B5 (5+95), B50 (50+50) e B100 (100+0). When comparing the treatments, we evaluated the fuel consumption, the real velocity of displacement, the sliding of the wheels, the strength of the traction bar, the fuel density, the outflow from the filling pump and the opacity of the fuel smoke. The results show an increase in consumption specific to a mixture starting from 25% biodiesel, although the storage time did not affect consumption. In relation to the opacity of smoke, there was a reduction, even with only 5% biodiesel in the mixture, again with the storage time having no influence.

**KEY WORDS:** specific consumption, strength, cultivation and speed of displacement.

## I INTRODUÇÃO

Biodiesel é um biocombustível indicado para motores de ignição por compressão de ciclo diesel, podendo ser utilizado como aditivo ou em substituição ao diesel de petróleo.

Observa-se que o biodiesel caracteriza-se por ser um produto renovável e produzido a partir de óleo vegetal ou gordura animal (ambos novo ou residual) e álcool anidro, na presença de um catalisador, sendo tal reação denominada transesterificação. Ressalta-se que variação no referido processo pode diferenciar o produto final, por exemplo, a etapa de purificação do biodiesel pode ser feita por filtração ou destilação (biodiesel filtrado ou destilado, respectivamente). Também pode variar o tipo de álcool, metanol ou etanol, originando biodiesel metílico ou etílico, respectivamente.

Nos últimos anos, intensificaram-se os estudos de aplicação de biodiesel em motores, principalmente no funcionamento de tratores agrícolas. Tais pesquisas têm demonstrado relevante viabilidade técnica, apesar do aumento no consumo de combustível, pressupondo-se que tal fato seja relacionado ao menor poder calorífico do referido produto comparado ao diesel.

Relacionado às propriedades físico-químicas, é previsto que o biodiesel atenda aos padrões vigentes da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), pois determinadas alterações podem comprometer o funcionamento e reduzir a vida útil do motor. Outra característica do referido biocombustível é a redução dos gases de efeito estufa, bem como da opacidade da fumaça, uma vez que o biodiesel é livre da presença de enxofre que é utilizado no diesel para conferir lubrificidade. Esta característica pode ser conferida ao diesel utilizando-se de biodiesel como aditivo.

O Brasil é um país com dimensões continentais (851 milhões de ha) e por isso, quando se pensa em biodiesel, existem várias opções de matéria-prima como é o caso da soja, do amendoim, do girassol, da mamona, do dendê, entre outros. O dendê em especial tem grande potencial oleaginoso e é muito frequente na região Norte. Trabalhos de biodiesel que envolvam a referida oleaginosa e o desempenho são

relevantes para os especialistas do assunto, para os distribuidores de combustíveis, para os usuários e para todos os envolvidos no assunto biodiesel.

Várias pesquisas têm sido conduzidas para avaliar a qualidade dos biocombustíveis armazenados. Porém, não se encontraram trabalhos que relacionassem proporções e tempo de armazenamento do biodiesel com desempenho de tratores. Também não se encontrou trabalho específico de biodiesel de dendê aplicado em tratores. Pressupõe-se que a estocagem por períodos prolongados contribua para o envelhecimento do biodiesel, e o acréscimo de biodiesel às proporções afetem o comprometimento do desempenho dos tratores e da opacidade da fumaça.

Diante do exposto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a opacidade da fumaça e o desempenho do trator agrícola quando alimentado com biodiesel de dendê submetido a três tempos de armazenamento em condição ambiente e cinco proporções de mistura com o diesel. Também foi objetivo deste trabalho ensaiar a vazão da bomba de abastecimento e a densidade do combustível em cinco proporções de mistura entre biodiesel de dendê e diesel.



## II REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 1 Biodiesel

Nos últimos anos, tem-se registrado crescimento da economia global proporcionado pela expansão das economias americana e chinesa, resultando em maior demanda por energia. Dentre as principais fontes energéticas, destaca-se o petróleo, considerado a principal fonte primária de energia e devido à crescente utilização, somado à diminuição das reservas petrolíferas, apresentava cotações superiores a U\$\$ 140 o barril, porém, com a crise financeira que assola a grande maioria dos países, que teve como consequência imediata a redução da atividade econômica e o desemprego, ocorreu queda do preço nos últimos meses (LUCON & GOLDEMBERG, 2009).

Estrategicamente, tornou-se necessário intensificar estudos sobre novas fontes de energias renováveis, objetivando determinar a substituição gradual do petróleo. A produção de biocombustíveis, em especial o biodiesel, é considerada uma das formas mais eficientes de diversificar a matriz energética, diminuindo a dependência do petróleo (CRUZ et al., 2006).

Os fatores que contribuíram para a adesão de muitos países ao uso de combustíveis alternativos são as crises do petróleo, ocorridas na década de 70, conhecidas como 1º e 2º Choques do Petróleo, os sucessivos aumentos do preço do petróleo, o alto grau de poluição causado pelos combustíveis fósseis e as crescentes preocupações ambientais (SATURNINO et al., 2005).

Os primeiros registros da utilização de óleos vegetais como combustíveis em motores de combustão interna com ignição por compressão ocorreram no século XIX, na Feira Mundial de Paris, na França, quando o próprio criador do motor, Rudolf Diesel, utilizou óleo de amendoim para uma demonstração. Já no início do século 20, Rudolf Diesel fez a seguinte afirmação: “O motor a diesel pode ser alimentado por óleos vegetais e ajudará no desenvolvimento agrário dos países que vierem a utilizá-lo. O uso de óleos vegetais como combustível pode parecer insignificante hoje em dia, mas, com

o tempo, irão se tornar tão importantes quanto o petróleo e o carvão são atualmente” (SANTOS, 2007).

As energias renováveis são elementos essenciais para se alcançar o desenvolvimento sustentável, proporcionando alguns benefícios ambientais, sociais e econômicos (HOLANDA, 2004). Substituindo o petrodiesel pelo biodiesel, chega-se a um transporte rodoviário de passageiros e de carga mais limpo, resultando em uma qualidade do ar e de vida consideravelmente melhor (CARNEIRO, 2003).

O biodiesel é fabricado a partir de óleos vegetais extraídos de espécies oleaginosas, ou gorduras animais e até mesmo esgotos, que, submetidos a uma reação química chamada de transesterificação, associados a um álcool que pode ser de origem etílica ou metílica, e na presença de um catalisador, resulta como produto um éster de ácido graxo metílico ou etílico, e como subproduto a glicerina (SANTOS, 2007).

Esta reação é reversível, sendo necessária grande quantidade de álcool para que o equilíbrio seja deslocado para a direita, ou seja, na direção dos ésteres, e para acelerar a velocidade da reação química, usa-se um catalisador, que pode ser de caráter ácido, enzimático ou básico, como o hidróxido de sódio sendo o catalisador mais usado, por motivos econômicos e pela maior disponibilidade no mercado (HOLANDA, 2004). A proporção de álcool e óleo vegetal ou gordura animal é de aproximadamente 1 para 10, respectivamente (MIRAGAYA, 2005).

O produto da reação de transesterificação pode ser dividido em duas fases: a leve, composta do éster metílico ou etílico, álcool, água e impurezas e a fase pesada, composta de uma mistura de glicerina, álcool, água e impurezas, sendo possível que se encontrem traços de glicerina na fase leve e de éster na fase pesada. A fase pesada é encaminhada para o processo de recuperação do álcool, o que é feito por evaporação (FAGUNDES et al., 2005).

Como coproduto do processo, tem-se a glicerina, de alto valor agregado, sendo relevante para a viabilidade econômica da atividade de produção do biodiesel. Para cada 100 kg de biodiesel produzido, obtêm-se aproximadamente 10 kg de glicerina. Esta tem importância como matéria-prima na produção de cosméticos, sabão e fármacos (30%), poligliceróis (15%), resinas (8%), produtos de alimentação (8%),

tabaco (5%), filmes de celulose (5%) e outros (explosivos, ésteres, etc.). Atualmente, a glicerina apresenta um preço elevado, em torno de US\$ 1.000/tonelada, e totaliza um consumo mundial de 750 mil toneladas anuais. Ressalta-se que, com a adição de 5% de biodiesel no diesel, resultará em uma produção de 200 mil t/ano de glicerina no Brasil, representando 27% do consumo mundial (MIRAGAYA, 2005).

O processo de transesterificação deve ser completo, acarretando em ausência total de ácidos graxos remanescentes; além disso, o biocombustível deve apresentar alto grau de pureza, ou seja, não contendo traços de glicerina, de álcool ou de catalisador residual excedente da reação, para que não haja prejuízo aos motores, principalmente automotivos (COSTA NETO, 2000).

Antes de iniciar a reação química, faz-se necessária uma preparação da matéria-prima para que esta tenha o mínimo de acidez e umidade. Assim, para que isso ocorra, deve submeter-se a matéria-prima ao processo de neutralização, por meio de lavagem com solução alcalina de hidróxido de potássio ou sódio, seguindo-se a operação de secagem e desumidificação (HOLANDA, 2004).

A reação de transesterificação pode ser realizada, utilizando-se de diversos tipos de álcoois, de preferência os de baixo peso molecular, e os mais estudados são metanol e etanol. O metanol é mais frequentemente utilizado por razões de natureza física e química. Na reação com metanol (metanólise), ocorre mais facilmente a separação devido à baixa solubilidade da glicerina nos ésteres e no álcool. Na etanólise, a separação de fases não ocorre com facilidade (CONDE, 2007).

O metanol é encontrado como subproduto da indústria petrolífera e apresenta desvantagem de ser altamente tóxico, podendo causar cegueira e câncer. Já o etanol está tornando-se mais popular, pois é renovável e menos tóxico que o metanol. Além disso, o Brasil apresenta uma enorme área para a produção de oleaginosas e cana-de-açúcar (BRASIL, 2006b).

Uma das grandes vantagens do biodiesel é a adequação aos motores do ciclo diesel, pois enquanto o uso de outros combustíveis limpos, como o gás natural ou o biogás, necessita da adaptação dos motores, a combustão de biodiesel não carece, o

que o torna uma alternativa técnica bastante precursora, capaz de atender à frota movida a óleo diesel (D'AGOSTO, 2004).

O biodiesel é perfeitamente miscível ao óleo diesel, podendo ser utilizado puro ou em misturas sem que qualquer adaptação nos motores seja necessária. As misturas binárias de biodiesel e óleo diesel são designadas pela abreviação BX, onde X é a porcentagem de biodiesel adicionada à mistura, e o B é a primeira letra de mistura em inglês (PARENTE, 2003).

A experiência com biodiesel no mercado de combustíveis vem ocorrendo em quatro principais níveis: O B100 corresponde ao uso de 100% de biodiesel. Na sequência, aparece o B20-B30, usado para misturas. O B5 é considerado um aditivo. E o B2, um aditivo de lubricidade (COSTA & HOESCHL, 2006).

## **2 Propriedades do Biodiesel**

A combustão é definida como um conjunto de fenômenos físicos, químicos e termodinâmicos que acompanha a reação de oxidação de um combustível. Combustível é a denominação dada a toda substância cuja reação de oxidação é altamente exotérmica, isto é, a reação com oxigênio resulta em grande desprendimento de calor. Por outro lado, toda substância que, ao se combinar com outra, dá lugar à combustão dessa, recebe a denominação de comburente, sendo o oxigênio comburente e não combustível (MIALHE, 1980). Como o biodiesel é alternativa energética ao óleo diesel, torna-se necessária a discussão de algumas propriedades, evidenciando que as especificações técnicas e os métodos de avaliação das propriedades do biodiesel devem estar de acordo com a Resolução ANP nº 7, de 19 de março de 2008 (BRASIL, 2008a).

### **2.1 Número de cetano**

O número de cetano 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, 2005a).

Este valor médio do número de cetano pode variar muito entre as diferentes matérias-primas utilizadas na produção do biodiesel, conforme observado por PERES et al. (2007), que, avaliando o número de cetano para diversos tipos de biodiesel, observaram valores de 52,15 (soja), 46,50 (mamona), 55,15 (pinhão- -manso), 58,70 (óleo de frango) e 69,00 (sebo bovino).

BUENO & VELÁSQUEZ (2007), avaliando o atraso na ignição de um motor diesel MWM 6.07T GMT400, de quatro tempos, turboalimentado, de injeção direta, seis cilindros em linha, 4.2 litros de volume deslocado e com três válvulas por cilindro (sendo duas de admissão e uma de escape), alimentado com misturas de óleo diesel e biodiesel de soja, canola e algodão, na proporção contendo 10% de biodiesel, observaram que, embora o número de cetano do biodiesel seja maior que o do óleo diesel, o atraso de ignição das misturas não foi menor que o observado para o óleo diesel. Propriedades como viscosidade, tensão superficial e poder calorífico também são alteradas com a adição de biodiesel, praticamente anulando os efeitos do aumento do número de cetano.

## **2.2 Poder calorífico**

De acordo com 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.

O valor de poder calorífico ( $\text{MJ kg}^{-1}$ ) difere pouco entre as matérias-primas utilizadas na produção do biodiesel, conforme observado por PERES et al. (2007), com valores de 39,11 (soja), 39,00 (mamona), 39,08 (pinhão-manso), 40,1 (óleo de frango) e 39,33 (sebo bovino).

### **2.3 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, 2005b). Conforme trabalho de ALBUQUERQUE et al. (2006), o óleo de canola, com temperatura de 25°C, antes do processo de transesterificação, apresentava valores de viscosidade de 58,9 mPa s, e após o processo, este valor foi reduzido para 5,68 mPa s, similar ao diesel, cuja viscosidade foi de 4,16 mPa s.

A viscosidade é influenciada pela temperatura, conforme observado por BROCK et al. (2008), que verificaram queda na viscosidade à medida que se aumentava a temperatura, com o óleo de canola apresentando valores de 73,1 e 14,9 mPA s quando estava com temperatura de 20 e 70 °C, respectivamente.

Além da temperatura, outro fator que pode interferir na viscosidade são as porcentagens utilizadas de catalisador, conforme observado por RINALDI et al. (2007) que, trabalhando com hidróxido de potássio (KOH) como catalisador, observaram que o biodiesel preparado com diferentes quantidades de catalisador apresentou viscosidades ligeiramente diferentes, devido a distintos teores de sabão e mono e diglicerídeos presentes no produto final.

No caso de biodiesel (B<sub>100</sub>), a viscosidade deve acompanhar os valores padronizados para o diesel fóssil, que pode variar entre 3,0 e 6,0 mm<sup>2</sup>/s, conforme determinado na Resolução ANP nº 7, de 19 de março de 2008 (BRASIL, 2008a).

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).

## **2.4 Ponto de névoa**

O ponto de névoa é a temperatura, expressa em número inteiro, na qual se inicia a cristalização ou a separação de parafinas, evidenciada pelo aparecimento de névoa ou turvação no fundo do tubo de ensaio quando a amostra é resfriada sob determinadas condições. Quando essa propriedade não é observada, sob condições de baixa temperatura, pode ocasionar entupimento de filtros e tubulações, restringindo o suprimento de combustível ao motor (LAGE & FERRARI, 1993). Os óleos vegetais *in natura* possuem ponto de névoa entre 10 e 31 °C, o óleo diesel a 1 °C e o biodiesel entre -6 e 8 °C (COSTA NETO et al., 2000; DUNN, 2005).

## 2.5 Estabilidade Oxidativa

Estabilidade oxidativa 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 oleicos possui maior estabilidade que os derivados de ácido linoleico e linolênico. Os fatores que afetam a estabilidade oxidativa, são a presença de ar, luz, traços de metais e temperatura elevada (PRANKL, 2005).

Em ensaios de estocagem de longa duração (2 anos), foram observados aumento de viscosidade e redução no poder calorífico (PRANKL, 2005), pois a estocagem por longos períodos contribui para o envelhecimento natural de combustíveis, e o biodiesel, sendo um solvente natural, pode promover a degradação de certos tipos de compostos elastoméricos. Logo, é importante saber o prazo de validade do biodiesel, que, para alguns especialistas, pode ser estocado por um período de até seis meses (MIRAGAYA, 2005).

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).

As culturas utilizadas na produção de biodiesel diferenciam-se quanto ao rendimento de óleo, bem como nas características do produto final. FERRARI et al. (2005), estudando a estabilidade oxidativa de biodiesel de óleo neutro, óleo refinado e óleo residual de frituras, provenientes da soja, concluíram que o óleo neutro apresentou maior estabilidade, seguido pelo refinado e por último pelo residual. Os autores explicaram que tal comportamento foi em virtude da variação de substâncias antioxidantes naturais. Observou-se que o óleo refinado, após passar pelo processo de desodorização, perde parte dessa característica, reduzindo a estabilidade, enquanto os óleos residuais de fritura sofrem grande redução na estabilidade oxidativa, em função do processo térmico envolvido nas frituras.



Em virtude da importância da estabilidade oxidativa para o armazenamento do biodiesel, fazem-se necessários estudos com antioxidantes para elevar tal propriedade, como o realizado por FERRARI & SOUZA (2009), que realizaram teste acelerado de oxidação com 4 amostras de biodiesel de girassol, sendo uma isenta de antioxidantes e as demais adicionadas de 0,5% dos antioxidantes BHA, BHT e TBHQ, e verificaram que a adição de antioxidantes ao biocombustível elevou a estabilidade, e o antioxidante TBHQ foi o que apresentou melhores resultados, sendo o mais indicado para utilização em ésteres etílicos de óleo de girassol.

## **2.6 Lubricidade**

Lubricidade é a habilidade de uma substância em interpor uma película entre dois corpos com movimento relativo, cuja função é reduzir o atrito e, conseqüentemente, o desgaste (LILJEDAHN 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. Sendo assim, as características necessárias de lubricidade estão sendo atingidas pela adição de biodiesel (B2) ao diesel de petróleo (SCHUMACHER, 2005). Na Tabela 1, é apresentado o aumento da lubricidade de diesel (dois tipos de diesel denominados 1 e 2) por meio da adição de biodiesel.

TABELA 1. Lubricidade do diesel com enxofre ultrabaixo e adição de biodiesel.

Combustível	Diesel	Proporção de Biodiesel					
		B 0,5%	B 1%	B 2%	B 4%	B 12%	100%
Tipo 1	1250	N/A	2550	2880	2950	4200	5450
Tipo 2	2100	2600	3400	3500	N/A	N/A	5450

N/A: não avaliado.

B: Biodiesel.

Fonte: SCHUMACHER (2005). (SIC)

COSTA NETO et al. (2000) apresentam propriedades comparativas de óleo diesel e óleos vegetais *in natura*, assim como de óleo diesel e biodiesel de diversas origens, conforme Tabelas 2 e 3.

TABELA 2. Propriedades de óleos vegetais *in natura* e do óleo diesel.

Características	Tipo de Óleo					Óleo Diesel*
	Mamona	Babaçu	Dendê	Soja	Pequi	
Poder calorífico (kcal kg <sup>-1</sup> )	8913	9049	8946	9421	9330	10950
Ponto de névoa (°C)	10	26	31	13	26	1
Índice de cetano	Nd	38	38-40	36-39	38	40
Densidade a 25 °C (g cm <sup>-3</sup> )	0,9578	0,9153	0,9118	Nd	0,9102	0,8497
Viscosidade a 37,8 °C (cSt)	285	30,3	36,8	36,8	47,0	2,0 - 4,3
Destilação a 90% (°C)	Nd	349	359	370	Nd	338
Teor de cinzas (% massa)	Nd	0,03	0,01	Nd	0,001	0,014
Cor (ASTM)	1,0	0,5	1,0	Nd	2,0	2,0
Resíduo de carbono Conradson sobre 10% do resíduo seco (%)	Nd	0,28	0,54	0,54	Nd	0,35

\* Dados de literatura

Nd: não divulgado

Fonte: COSTA NETO et al. (2000)

TABELA 3. Propriedades físico-químicas do biodiesel (ésteres etílicos) de acordo com vegetal comparado ao óleo diesel convencional tipo C.

Características	Origem do Biodiesel					Óleo Diesel*
	Mamona	Babaçu	Dendê	Algodão	Pequi	
Poder calorífico (kcal kg <sup>-1</sup> )	9046	9440	9530	9520	9590	10824
Ponto de névoa (°C)	-6	-6	6	Nd	8	1
Índice de cetano	Nd	65	Nd	57,5	60	45,8
Densidade a 25 °C (g cm <sup>-3</sup> )	0,9190	0,8865	0,8597	0,8750	0,8650	0,8497
Viscosidade a 37,8 °C (cSt)	21,6	3,9	6,4	6,0	5,2	3,04
Inflamabilidade (°C)	208	Nd	Nd	184	186	55
Ponto de fluidez	-30	Nd	Nd	-3	5	Nd
Destilação a 50% (°C)	301	291	333	340	334	278
Destilação a 90% (°C)	318	333	338	342	346	373
Corrosividade ao cobre	0	0	0	0	0	Nd
Teor de cinzas (% massa)	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,014
Teor de enxofre (% massa)	0	Nd	Nd	0	0	0,24
Cor (ASTM)	1,0	0	0,5	1,0	1,0	2,0
Resíduo de carbono Conradson sobre 10% do resíduo seco (%)	0,09	0,03	0,02	Nd	0,01	0,35

\* Combustível amostrado no Paraná

Nd: não divulgado

Fonte: COSTA NETO et al. (2000)

### 3 Biodiesel no Brasil - “Legislação”

Em outubro de 2002, o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) instituiu, pela Portaria Ministerial nº 702, o Programa Brasileiro de Desenvolvimento Tecnológico de Biodiesel - PROBIODIESEL, com o intuito de promover o desenvolvimento científico e tecnológico de biodiesel a partir de ésteres etílicos de óleos vegetais puros e/ou residuais. O PROBIODIESEL visava ao desenvolvimento e à homologação das respectivas especificações desse combustível, assim como atestar a viabilidade e a competitividade técnica, econômica, social e ambiental do mesmo (BRASIL, 2002).

Em 2 de julho de 2003, por meio de Decreto, foi instituído pelo Presidente da República o Grupo de Trabalho Interministerial (GTI), visando a analisar o biodiesel como fonte alternativa de energia. Os membros do GTI foram designados, na ocasião, sob coordenação da Casa Civil, conforme a Portaria Ministerial nº 1.265, de julho de 2003 (BRASIL, 2003c).

Em dezembro de 2003, o Presidente da República instituiu a Comissão Executiva Interministerial encarregada de implantar as ações direcionadas à produção e ao uso de biodiesel. Em janeiro de 2004, a Portaria Ministerial nº 31 (BRASIL, 2004f) designou os membros da referida Comissão que, entre outras atividades, elaboraram o Relatório Técnico que esclarece a relevância do biodiesel para o Brasil.

Em 2004, o Governo Federal inaugurou o Polo Federal de Biocombustível para Pesquisa e Desenvolvimento, na cidade de Piracicaba - SP. Ainda em 2004, a Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, por meio da Resolução SAA-13, criou a Câmara Setorial de Biocombustíveis (SÃO PAULO, 2004) para que fossem formuladas as diretrizes da política de biocombustíveis para o Estado.

As condições para o desenvolvimento do biodiesel no Brasil foram garantidas pela Lei nº 9.478, de agosto de 1997 (BRASIL, 1997), que dispôs sobre a política energética nacional e instituiu a Agência Nacional do Petróleo (ANP), entidade integrante da Administração Federal indireta. Essa atua como órgão regulador da indústria do petróleo e tem como principais objetivos: a proteção do meio ambiente, a conservação de energia e o incentivo à utilização de fontes alternativas de energia.

A Portaria ANP nº 180, de dezembro de 1998 (BRASIL, 1998), estabeleceu a regulamentação para utilização de combustíveis líquidos ou gasosos não especificados, os quais consistem naqueles não definidos por meio de regulamentos técnicos da ANP. No entanto, tal Portaria foi revogada pela Portaria ANP nº 240, de 25 de agosto de 2003 (BRASIL, 2003a). Essa portaria considera a importância do incentivo à pesquisa de novos combustíveis, especialmente aqueles produzidos a partir de fontes renováveis. Além disso, ressalta que a introdução de novos combustíveis no mercado deve ser precedida de testes controlados que fundamentem futuras especificações, bem como destaca a necessidade de estabelecer a responsabilidade do produtor de combustível e do fabricante de máquinas que o utilizam. Como órgão controlador e fiscalizador de combustíveis no Brasil, a ANP definiu biodiesel como “combustível resultante da transesterificação do óleo vegetal que reage com um álcool (metanol ou etanol) na presença de um catalisador, formando um éster monoalquilado de ácidos graxos de cadeia longa, designados B<sub>100</sub>”.

Em 10 de janeiro de 2003, foi publicada a Portaria ANP nº 3 (BRASIL, 2003b), que definiu o que é acidente envolvendo biodiesel, bem como estabeleceu o procedimento para comunicação de incidentes a ser adotado pelos concessionários e empresas autorizadas pela ANP a exercer as atividades de exploração, produção, refino, processamento, armazenamento, transporte e distribuição de petróleo, derivados e gás natural, biodiesel e de mistura óleo diesel/biodiesel.

No dia 24 de setembro de 2004, foi publicada a Resolução ANP nº 42 (BRASIL, 2004b), que definiu as especificações técnicas do biodiesel e estabeleceu a adição de biodiesel ao diesel na proporção de 2% em volume (B2).

No dia 19 de março de 2008, por meio do Regulamento Técnico ANP nº 1/2008, contido na Resolução ANP nº 7 (Brasil, 2008), foram redefinidas as especificações técnicas do biodiesel e os métodos de avaliação das características do biodiesel, que serão realizados mediante o emprego das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), das normas internacionais "American Society for Testing and Materials" (ASTM), da "International Organization for Standardization" (ISO) e do "Comité Européen de Normalisation" (CEN), revogando as normas estabelecidas anteriormente pela Resolução ANP nº 42.

Na Tabela 4, apresentam-se a especificação da ANP para o biodiesel e os métodos para a determinação destas propriedades, conforme a Resolução ANP nº 7 (Brasil, 2008).

TABELA 4. Especificação do biodiesel B<sub>100</sub> no Brasil. (SIC)

CARACTERÍSTICAS	UNIDADE	LIMITE	MÉTODO		
			ABNT NBR	ASTM D	EN/ISSO
Aspecto	-	LII (1)	-	-	-
Massa específica a 20 °C	kg/m <sup>3</sup>	850 - 900	7148, 14065	1298, 4052	EN ISSO 3675 EN ISO 12185
Viscosidade cinemática a 40 °C	mm <sup>2</sup> /s	3,0 – 6,0	10441	445	EN ISO 3104
Teor de água, máx. (2)	mg/kg	500	-	6304	EN ISO 12937
Contaminação Total, máx.	mg/kg	24	-	-	EN ISO 12662
Ponto de fulgor, mín. (3)	°C	100,0	14598	93	EN ISO 3679
Teor de éster, mín.	% massa	96,5	15342 (4) (5)	-	EN 14103
Resíduo de carbono (6)	% massa	0,050	-	4530	-
Cinzas sulfatadas, máx.	% massa	0,020	6294	874	EN ISO 3987
Enxofre total, máx.	mg/kg	50	- -	5453	- EN ISO 20846 EN ISO 20884
Sódio + Potássio, Max.	mg/kg	5	15554 15555 15553 15556	-	EN 14108 EN 14109 EN 14538
Cálcio + Magnésio, máx.	mg/kg	5	15553 15556	-	EN 14538
Fósforo, máx.	mg/kg	10	15553	4951	EN 14107
Corrosividade ao cobre, 3 h a 50 °C, máx.	-	1	14359	130	EN ISO 2160
Número de cetano (7)	-	Anotar	-	613 6890 (8)	EN ISO 5165
Ponto de entupimento de filtro a frio, máx.	°C	19 (9)	14747	6371	EN 116
Índice de acidez, Max.	mg KOH/g	0,50	14448 -	664 -	- EN 14104 (10)
Glicerol livre, máx.	% massa	0,02	15341 (5) - -	6584 (10) - -	- EN 14105 (10) EN 14106 (10)
Glicerol total, máx.	% massa	0,25	15344 (5) -	6584 (10) -	- EN 14105 (10)
Mono, di, triacilglicerol (7)	% massa	Anotar	15342 (5) 15344 (5)	6584 (10)	- - EN 14105 (10)
Metanol ou etanol, máx.	% massa	0,20	15343	-	EN 14110
Índice de iodo (7)	g/100g	Anotar	-	-	EN 14111
Estabilidade à oxidação 110 °C, mín. (2)	h	6	-	-	EN 14112 (10)

Fonte: Resolução ANP nº 7, de 19-3-2008 (BRASIL, 2008a). (SIC)

Nota: (SIC)

- (1) LII - Límpido e isento de impurezas com anotação da temperatura do ensaio.
- (2) O limite indicado deve ser atendido na certificação do biodiesel pelo produtor ou importador.
- (3) Quando a análise de ponto de fulgor resultar em valor superior a 130°C, fica dispensada a análise de teor de metanol ou etanol.

- (4) O método ABNT NBR 15342 poderá ser utilizado para amostra oriunda de gordura animal.
- (5) Para biodiesel oriundo de duas ou mais matérias-primas distintas das quais uma consiste de óleo de mamona:
  - a) teor de ésteres, mono-, diacilgliceróis: método ABNT NBR 15342;
  - b) glicerol livre: método ABNT NBR 15341;
  - c) glicerol total, triacilgliceróis: método ABNT NBR 15344;
  - d) metanol e/ou etanol: método ABNT NBR 15343.
- (6) O resíduo deve ser avaliado em 100% da amostra.
- (7) Estas características devem ser analisadas em conjunto com as demais constantes da tabela de especificação a cada trimestre civil. Os resultados devem ser enviados pelo produtor de biodiesel à ANP, tomando uma amostra do biodiesel comercializado no trimestre e, em caso de, neste período, haver mudança de tipo de matéria-prima, o produtor deverá analisar número de amostras correspondente ao número de tipos de matérias-primas utilizadas.
- (8) Poderá ser utilizado como método alternativo o método ASTM D6890 para número de cetano.
- (9) O limite máximo de 19°C é válido para as regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Bahia, devendo ser anotado para as demais regiões. O biodiesel poderá ser entregue com temperaturas superiores ao limite supramencionado, caso haja acordo entre as partes envolvidas. Os métodos de análise indicados não podem ser empregados para biodiesel oriundo apenas de mamona.
- (10) Os métodos referenciados demandam validação para as matérias-primas não previstas no método e rota de produção etílica.

Considerando o interesse para o País em apresentar sucedâneos para o óleo diesel, em 24 de novembro de 2004, foi publicada a Resolução ANP nº 41 (BRASIL, 2004a), que estabelece a regulamentação e a obrigatoriedade de autorização da ANP para o exercício da atividade de produção de biodiesel. Essa providência está de acordo com a Medida Provisória nº 214, de 13 de setembro de 2004 (BRASIL, 2004e).

No dia 6 de dezembro de 2004, foi publicado o Decreto nº 5.297 (BRASIL, 2004d), que define as expressões “biodiesel” e “produtor ou importador de biodiesel”. Sendo biodiesel “combustível para motores a combustão interna com ignição por compressão, renovável e biodegradável, derivado de óleos vegetais ou de gorduras animais, que possa substituir parcial ou totalmente o óleo diesel de origem fóssil”, e produtor ou importador de biodiesel - “pessoa jurídica constituída na forma de sociedade sob as leis brasileiras, com sede e administração no País, beneficiária de concessão ou autorização da Agência Nacional de Petróleo – ANP, e possuidora de registro especial de produtor ou importador de biodiesel junto à Secretaria da Receita

Federal do Ministério da Fazenda” (SIC). O mesmo Decreto instituiu, também, o selo “Combustível Social”, que será concedido ao produtor de biodiesel que: a) promover a inclusão social dos agricultores familiares enquadrados no Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF) que lhe forneçam matéria-prima, e b) comprovar a regularidade perante o Sistema de Cadastramento Unificado de Fornecedores (SICAF).

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, 2005c).

A partir de julho de 2008, a mistura obrigatória passou a ser de 3%, segundo a Resolução nº 2 do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), publicada em março de 2008, que aumentou de 2% para 3% o percentual obrigatório de mistura de biodiesel ao óleo diesel (ANP, 2009).

No dia 18 de maio de 2005, foi publicada a Lei nº 11.116, que definiu as regras tributárias do biodiesel referentes ao PIS/PASEP e à COFINS, determinando que esses tributos sejam cobrados uma única vez e que o contribuinte é o produtor industrial de biodiesel. O mesmo poderá optar entre uma alíquota percentual que incide sobre o



preço do produto, ou pelo pagamento de alíquota específica, que é um valor fixo por metro cúbico de biodiesel comercializado (BRASIL, 2005d). Essa Lei ressalta que o Poder Executivo poderá estabelecer coeficientes de redução para a alíquota específica, que poderão ser diferenciados em função da matéria-prima utilizada na produção, da região de produção dessa matéria-prima e do tipo de fornecedor (agricultura familiar ou agronegócio).

Referente à tributação, o Decreto nº 5.297, de 6 de dezembro de 2004, alterado pelo Decreto nº 5.457, de 6 de junho de 2005, estabeleceu o percentual geral de redução de 67,63% em relação à alíquota definida na Lei. Isso determina, portanto, que a alíquota máxima de PIS/PASEP e COFINS incidente sobre a receita bruta auferida pelo produtor ou importador, na venda de biodiesel, fica reduzida a R\$ 217,96 por metro cúbico, equivalente à carga tributária federal para o concorrente direto, o diesel de petróleo (BRASIL, 2005b). A Lei nº 11.116 estabelece, também, três níveis distintos de desoneração tributária para reduzir a alíquota máxima de R\$ 217,96 por metro cúbico, com a introdução de coeficientes de redução diferenciados, de acordo com os critérios dispostos:

- Para o biodiesel fabricado a partir de mamona ou a palma produzida nas regiões Norte, Nordeste e no Semiárido pela agricultura familiar, a desoneração de PIS/PASEP e COFINS é total, ou seja, a alíquota efetiva é nula (100% de redução em relação à alíquota geral de R\$ 217,96 por metro cúbico);
- Para o biodiesel fabricado a partir de qualquer matéria-prima que seja produzida pela agricultura familiar, independentemente da região, a alíquota efetiva é de R\$ 70,02 por metro cúbico (67,9% de redução em relação à alíquota geral);
- Para o biodiesel fabricado a partir de mamona ou a palma produzida nas regiões Norte, Nordeste e no Semiárido pelo agronegócio, a alíquota efetiva é de R\$ 151,50 por metro cúbico (30,5% de redução em relação à alíquota geral).

No dia 3 de outubro de 2005, foi publicada a Portaria Ministerial nº 483 (BRASIL, 2005f), que estabelece as diretrizes para a realização pela ANP de leilões públicos para aquisição de biodiesel. Cada leilão deverá ser realizado de acordo com as regras fixadas pela ANP, mediante Resolução, em conformidade com as diretrizes constantes

da Resolução nº 3 do Conselho Nacional de Política Energética, de 23 de setembro de 2005 (BRASIL, 2005a). Para participar do leilão, segundo o artigo 6º, da Resolução ANP nº 45, de 11 de dezembro de 2007 (Brasil, 2007a), os fornecedores de biodiesel devem ser:

- autorizados pela ANP a exercer a atividade de produção de biodiesel;
- detentores de Registro Especial da Secretaria da Receita Federal;
- detentores do selo "Combustível Social", e
- comprovarem a contratação ou o estoque físico existente de matéria-prima para a produção de biodiesel, compatível com o volume ofertado e com os já contratados em pregões eletrônicos realizados pela ANP.

No dia 22 de junho de 2007, foi publicada a Resolução ANP nº 18 (BRASIL, 2007b), que estabelece a necessidade de autorização prévia da ANP para a utilização de biodiesel B100 em ensaios experimentais, caso o consumo seja superior a 10.000 litros, porém a não obrigatoriedade da autorização para consumo inferior a 10.000 litros não exime o usuário de responder por eventuais danos ocorridos pelo uso do biodiesel.

No dia 1º de novembro de 2007, foi publicada a Resolução ANP nº 34 (Brasil, 2007c), que controla a comercialização de óleo diesel e misturas diesel/biodiesel, bem como define no Art. 2º as partes envolvidas no processo em:

I - Distribuidor - pessoa jurídica autorizada pela ANP ao exercício da atividade de distribuição de combustíveis líquidos derivados de petróleo, álcool combustível, biodiesel, mistura óleo diesel/ biodiesel especificada ou autorizada pela ANP e outros combustíveis automotivos;

II - Grande Consumidor - consumidor, pessoa física ou jurídica, que i) possua Ponto de Abastecimento com instalações aéreas ou enterradas com capacidade total de armazenagem de diesel e mistura óleo diesel/biodiesel especificada pela ANP igual ou superior a 15 m<sup>3</sup> (quinze metros cúbicos); e ii) possua equipamento fixo, como, por exemplo, grupo gerador de energia elétrica;

III - Ponto de Abastecimento - instalação dotada de equipamentos e sistemas destinados ao armazenamento de combustíveis, com registrador de volume apropriado

para o abastecimento de equipamentos móveis, veículos automotores terrestres, aeronaves, embarcações ou locomotivas;

IV - Revendedor Varejista de Combustível Automotivo - pessoa jurídica autorizada pela ANP ao exercício da atividade de revenda varejista de combustíveis automotivos, e

V - Transportador-Revendedor-Retalhista (TRR) - pessoa jurídica autorizada pela ANP ao exercício da atividade de transporte e revenda retalhista de combustíveis, observadas as exceções previstas nos atos pertinentes.”

#### **4 Biodiesel e a cultura do Dendê**

O Brasil apresenta forte vocação para a exportação de grãos, além de ter grande potencial de produção de óleo vegetal para o mundo, possuindo capacidade de alimentar boa parte da humanidade e produzir energia. Para atender à demanda de biodiesel necessário para que sejam adicionados 3% ao óleo diesel, é necessário produzir 1,2 bilhão de litros de biodiesel, contribuindo para um aumento da produção de oleaginosas e fortalecimento do agronegócio brasileiro. Assim, a área plantada para atingir este percentual é estimada em 2,0 milhões de hectares, ou seja, 1,3% dos 150 milhões de hectares disponíveis para a agricultura brasileira, não sendo inclusas as regiões ocupadas para pastagens e florestas (MIRAGAYA, 2005).

Atualmente, a produção de biodiesel brasileira é feita por 65 unidades de indústrias localizadas em diferentes regiões do País, sendo a capacidade anual estimada de produção de aproximadamente 3,7 bilhões de litros, dos quais, apenas 1,2 bilhão foi produzido no ano de 2008, sendo o terceiro maior produtor mundial de biodiesel (ANP, 2009).

Os países da Europa, como Alemanha, França e Reino Unido, são os principais consumidores de biodiesel quando comparados com os demais países componentes da União Europeia. Neste cenário de demanda do biodiesel, o Brasil torna-se um potencial exportador deste produto. Porém, a União Europeia possui especificações técnicas que dificultam a entrada do biodiesel brasileiro nos países do bloco, pois a indústria nacional

deve atender aos parâmetros exigidos, como a viscosidade, a densidade, o índice de iodo e o ponto de névoa do óleo em baixas temperaturas (BIODIESEL I, 2007).

O grande mercado energético brasileiro e mundial apresenta enorme potencial em resultar um imenso programa de geração de empregos e fonte de renda para a agricultura familiar, a partir da produção de biodiesel, constituindo um dos objetivos do Programa de Biodiesel do Governo Federal (HOLANDA, 2004). De acordo com a Embrapa Amazônia, para sustentar uma unidade familiar, é suficiente cultivar cinco hectares de dendê, e com mamona são necessários 16 hectares. Logo, considerando a produção média anual de óleo de 3,5 toneladas por hectare, em 5 hectares, obtém-se uma produção de 17,5 toneladas de óleo, ou seja, equivalente a uma receita bruta de U\$\$ 7.875, desconsiderando as receitas advindas dos subprodutos do dendezal (BELMIRO et al., 2007).

Pode promover-se também a interiorização do desenvolvimento, levando a um aquecimento das economias regionais, principalmente o desenvolvimento do semiárido, e a geração de empregos diretos, no meio rural, fixando o homem no campo, com a agregação de valor a matérias-primas locais (oleaginosas e cana-de-açúcar), a possibilidade de produção e a oferta regionalizada desse combustível, reduzindo os custos em projetos de eletrificação rural e proporcionando o desenvolvimento de vastas regiões que possuem oleaginosas como atividades econômicas (CARNEIRO, 2003).

Conforme SANTANA et al. (2007), a inserção da região do semiárido na cadeia produtiva do biodiesel é vista como uma solução para aumentar o valor do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH).

Ao analisar a empregabilidade para a produção da matéria-prima e o cultivo da oleaginosa, deve considerar-se o nível de tecnologia utilizado, pois, em função do nível de mecanização adotado, poderá resultar em baixa empregabilidade, como exemplo a cultura da soja (MIRAGAYA, 2005).

O Dendê é altamente exigente em mão de obra, proporcionando a geração de um emprego a cada seis hectares de plantio, sendo uma excelente opção para a agricultura familiar. São necessários 195 homens/dia/ano para fazer a manutenção de

um plantio de cinco hectares, sendo esta área correspondente ao módulo mínimo recomendado para projetos de agricultura familiar (O FRUTO, 2007).

O benefício econômico resultante do uso de biodiesel consiste na diminuição da quantidade de petróleo importado, pois o Brasil comercializou 38,2 bilhões de litros e importou, em 2005, o equivalente a 10% do diesel consumido. Isto resulta em uma interferência favorável na balança comercial brasileira, proporcionando uma economia de recursos para o País, uma vez que o petróleo apresenta elevados preços nestes últimos anos (MIRAGAYA, 2005).

Originário do noroeste da África (Guiné-Bissau), o dendê (*Elaeis guineensis* Jacq.) foi trazido para o Brasil por escravos, no século XVII. A planta adaptou-se bem ao clima tropical úmido do litoral baiano, posteriormente sendo disseminada na Bahia, ao longo de 20 mil hectares, por meio da ação dos pássaros (SANTOS, 2005). Em 1949, o dendê foi introduzido na região Norte do País, no Estado do Pará, pelo Instituto Agrônomo do Norte (IAN), conhecido atualmente como Embrapa Amazônia Oriental. Foram utilizadas sementes oriundas dos dendezais da Bahia. Em 1951, este Instituto usou linhagens provenientes da África para avaliar a produtividade e a adaptação das plantas às condições da Amazônia (CONDE, 2007).

A exploração industrial do dendê ocorreu no início da década de 60, na Bahia, com o objetivo de atender à demanda de óleo no resfriamento de lâminas de aço do Parque Siderúrgico Nacional. Em 1969, constatou-se o plantio em escala comercial, em uma área de 3.000 hectares no Pará, pela cooperação entre a Superintendência do Plano de Valorização Econômica da Amazônia (SPVA) e do Instituto de Recherches pour les Huiles et les Oleagineu (IRHO). O início da exploração econômica do dendê ocorreu em meados da década de 70, pela iniciativa privada (O FRUTO, 2007).

O dendezeiro é uma palmeira que atinge até 15 m de altura, sendo uma cultura perene, com vida útil de até 25 anos. A produção de cachos inicia-se a partir do terceiro ano, atingindo rendimento máximo na idade de 7 a 12 anos. Os cachos apresentam de mil a três mil frutos cada, resultando em massa total de 20 a 30 kg. Ressalva-se que os intervalos de colheita deste fruto variam de 7 a 10 dias ao longo da vida econômica da palma (MIRAGAYA, 2005).

Foi mencionado por MOURAD (2004), citado por SANTOS (2005), que esta cultura necessita de solos profundos, não compactos, temperatura média superior a 24 °C e precipitações maiores que 2.000 mm por ano. Diante destas exigências edafoclimáticas, o dendezeiro apresenta limitações para a disseminação no território brasileiro, sendo as áreas mais propícias para esta cultura os Estados do Pará, Bahia e Amazonas.

Em regiões de clima ameno, como o Sul do Brasil, outro fator, além do edafoclimático, que limita a produção de óleo de dendê é as características físico-químicas deste produto, pois apresenta ponto de solidificação em temperaturas mais baixas, tornando inviável o uso (TEIXEIRA, 2005).

Para produzir combustíveis alternativos, o Brasil possui diversas espécies de oleaginosas. No entanto, o dendê apresenta-se como oleaginosa de grande significado comercial, sendo capaz de produzir grande quantidade de óleo por hectare, podendo atingir até 5000 kg de óleo por hectare por ano, além de possuir menor custo de produção, quando comparado com outras oleaginosas (SANTANA et al., 2005).

Atualmente, calcula-se que há 60 mil hectares plantados com dendê no Brasil, com 52 mil hectares no Estado do Pará, 6 mil na Bahia e o restante nos Estados do Amapá e Amazonas. Também é plantado em larga escala na Malásia e Indonésia, sendo estes responsáveis pela produção de 84% do óleo de palma produzido no mundo (O FRUTO, 2007).

De acordo com a Tabela 5, a produtividade de óleo de palma por hectare continuará crescendo, com a média mundial de produtividade de óleo de palma chegando a 3,46 toneladas por hectare até 2012.

TABELA 5. Produtividade média brasileira e mundial de óleo de palma nos períodos de 1973 a 2012.

Anos	Produtividade de óleo (t/ha)				
	Malásia	Indonésia	Brasil	Nigéria	Mundial
1973/77	3,38	2,90	1,40	1,96	2,46
1978/82	3,61	3,31	2,09	1,74	2,88
1983/87	3,47	3,84	2,08	1,88	3,07
1988/92	3,49	3,72	1,86	2,18	3,14
1993/97	3,64	3,60	1,94	2,15	3,26
1998/02	3,69	3,75	2,18	2,25	3,38
2003/07	3,72	3,80	2,30	2,29	3,40
2008/12	3,81	3,87	2,40	2,33	3,46

Fonte: ABOISSA (2008).

Para o dendê em monocultivo, constatou-se que o custo total de investimento agrícola para a plantação de 5.000 hectares corresponde a U\$\$ 11.000, considerando custos com plantio no valor de U\$\$ 8.580, com infraestrutura U\$\$ 1.040 e com equipamentos U\$\$ 1.380 (BELMIRO et al., 2007).

O preço de custo final do biodiesel, quando obtido a partir do resíduo do processamento industrial, será abaixo de R\$ 1,00 por litro, possuindo valor próximo ao biodiesel de sebo bovino, calculado em R\$ 0,85, além dos vários produtos, subprodutos e coprodutos do cultivo do dendê, os quais agregam valor à atividade, resultando em maior viabilidade ao empreendimento (TEIXEIRA, 2005).

## 5 Biodiesel e Emissão de Poluentes

De acordo com PEREIRA & DANTAS (2007), poluição consiste na emissão de resíduos sólidos, líquidos e gasosos em quantidade superior à capacidade de depuração do meio ambiente. Esse desequilíbrio interfere na vida dos animais e vegetais, e nos mecanismos de proteção do planeta. Os poluentes atmosféricos, quando em concentrações altas, podem afetar a saúde da população e dos animais, além de danificar plantas, estruturas e o próprio ambiente.

A poluição do ar é um fenômeno decorrente principalmente da atividade humana em vários aspectos, dentre os quais destacamos os crescimentos populacionais, industriais e os hábitos da população (SANTOS, 2007).

Nos últimos anos, registrou-se um grande aumento dos níveis de poluição do ar, resultado da elevada quantidade de veículos automotivos em uso no mundo. A queima de combustíveis, derivados do petróleo, lança no ar poluentes tais, como hidrocarbonetos, monóxido de carbono e outros que são nocivos à saúde. A emissão destes gases, que compõem os Gases de Efeito Estufa (GEE), tem proporcionado aumento da temperatura média global e algumas mudanças climáticas, resultando em consequências graves para a humanidade. Em 2000, mais de 150 mil pessoas morreram devido às mudanças climáticas que ocorreram no planeta nas últimas três décadas, além de os desastres ambientais terem causado perdas econômicas estimadas em US\$ 90 bilhões no ano de 2004 (AGRIANUAL, 2007).

Apesar de sentida há muito tempo, foi principalmente na 2ª metade do século XX que a poluição do ar assumiu destaque entre a população e junto à comunidade técnico-científica. Foi mencionado por PEREIRA et al. (2007), citado por CONTROLE (2007), que pelo menos 90% da culpa do aquecimento global podem ser atribuídos aos humanos, de acordo com o primeiro relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC).

FENKER (2008) definiu alteração ambiental como toda modificação produzida pela atividade humana ao atuar sobre a natureza, que altera a condição original (ou natural). A responsabilidade pelas decisões ambientais é da sociedade e dos indivíduos, de forma indissociável. Há uma corresponsabilidade em todas as decisões. A sociedade precisa de bens e serviços ambientais e autoriza o indivíduo ou ente econômico a atuar no ambiente, dentro de certas condições, que precisam ser seguidas, com proveitos sociais e econômicos para a própria sociedade.

De acordo com o Plano Nacional de Energia, nos últimos 250 anos, a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera aumentou 31%, atingindo o nível mais alto. Ressalva-se que 75% desses gases são oriundos da queima de combustíveis fósseis e



produção de cimento. A mudança de uso da terra, devido ao desmatamento, tem contribuído também com 25%, sendo altamente significativa (BRASIL, 2006).

Para o controle de emissões de veículos novos, há o licenciamento realizado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) com base em ensaios específicos. Quanto aos veículos em uso, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) prevê, em suas resoluções, a instalação de centros de Inspeção e Manutenção de veículos para que haja normas e regulamentos. A inspeção periódica das emissões de poluentes foi instituída pela Resolução nº 7, de 31 de agosto de 1993 do CONAMA. Tal Resolução condiciona o licenciamento anual à respectiva aprovação na inspeção (CONAMA, 1993).

As emissões do motor diesel estão ligadas à qualidade da queima obtida, sendo que diversas propriedades do óleo diesel influenciam na combustão, por exemplo, o enxofre influencia diretamente nas emissões de materiais particulados do motor (MIRAGAYA, 2005).

Uma grande vantagem do biodiesel é a eficácia como aditivo, podendo ser agregado ao diesel de petróleo. Preocupados com a iminência do esgotamento de reservas de petróleo e em manter o equilíbrio ambiental, governos e corporações passaram a investir cada vez mais na pesquisa de combustíveis mais “limpos”, como alternativa energética. Estes combustíveis estão sendo alvos de pesquisas destinadas a torná-los economicamente viáveis, desta vez substituindo o diesel fóssil pelo biodiesel, nome dado ao “diesel” extraído de óleos vegetais (BILICH & SILVA, 2006).

O biodiesel é um combustível isento de enxofre, e, dessa forma, a adição ao óleo diesel atinge as exigências da ANP no que se refere aos limites no teor de enxofre. Além disso, o biodiesel apresenta uma lubricidade maior que o óleo diesel, permitindo a diminuição do teor de enxofre no diesel e não causando prejuízos (SANTOS, 2007).

A principal característica do biodiesel é a significativa percentagem de massa de oxigênio em sua composição, em torno de 11% em peso, além de ser praticamente isento de compostos de enxofre, bem como de compostos aromáticos. A adição de enxofre ao diesel confere a característica de lubricidade, porém é responsável pela

emissão de materiais particulados do motor, além de formar a chuva ácida, com a produção e a precipitação do ácido sulfúrico (BELTRÃO, 2005).

O grupo éster permite ao biodiesel queimar com menos resíduos de fuligem, favorecendo a queima mais completa, produzindo dióxido de carbono e água. Essa característica do biodiesel é de grande importância para a qualidade do ar nas grandes cidades, uma vez que a fuligem é, em grande parte, composta por substâncias poliaromáticas, com grande potencial cancerígeno (RINALDI et al., 2007).

Foi observado por MAZIERO et al. (2006), que o uso de biodiesel de girassol proporcionou uma redução do grau de enegrecimento e da emissão específica de material particulado, sendo explicado pela ausência de enxofre neste biocombustível. O enxofre compartilha o oxigênio disponível na fase tardia da combustão com o carbono resultante da queima parcial, em algumas condições de funcionamento do motor, aumentando a produção de material particulado. A presença do átomo de oxigênio na molécula de biodiesel explica as reduções nas emissões específicas de CO e HC.

Para verificar o grau de material particulado presente na fumaça, utiliza-se a opacidade da fumaça, que indica a cor dessa, sendo que quanto mais escura for a fumaça, maiores serão a opacidade e a quantidade de material particulado. O opacímetro determina a opacidade da fumaça do gás eliminado, e este aparelho coleta somente uma parte do fluxo de gás, através de um tubo de captação e uma sonda colocados no cano de escape do veículo. Verificou-se que, utilizando-se de biodiesel de dendê, ocorreu redução de 53% na opacidade da fumaça quando comparado com o diesel puro (CAMARA et al., 2007).

Estudos feitos por PEREIRA & DANTAS (2007) mostram que as empresas Samarco e Aracruz Celulose consumiram, no ano de 2005, a quantidade de 50.726,44 m<sup>3</sup> de óleo diesel, gerando 139.283,10 ton de CO<sub>2</sub>. Porém, com a implementação da mistura de 20% de biodiesel ao diesel convencional, as empresas reduziram a emissão dos gases como material particulado, hidrocarbonetos e monóxido de carbono, nas respectivas proporções de 63%, 60% e 29%.

Foi testada, na frota de transporte coletivo da cidade de Curitiba, a utilização de biodiesel de óleo de soja, doado pela "American Soybean Association". O biodiesel foi

misturado ao diesel convencional, na proporção de 20%, com o propósito de verificar a eficiência desse combustível na redução da poluição ambiental. Os testes foram realizados em 20 ônibus de diferentes marcas, durante três meses consecutivos e, ao final dos trabalhos, apresentaram redução de fumaça em torno de 35% (LAURINDO, 1998).

As misturas de biodiesel no diesel ou o uso de biodiesel puro resultam em menores emissões de gases poluentes, como os óxidos de enxofre (SOx) e dióxido de carbono, CO<sub>2</sub>, além de materiais particulados (CONDE, 2007). De acordo com NASCIMENTO & DALLAN (2007), o uso deste biocombustível na forma pura (B100) resulta em diminuição de 46% na emissão de dióxido de carbono, 68% na de fumaça preta, 36% na de hidrocarbonetos não queimados e 100% na de enxofre. São estes fatores que motivaram os países desenvolvidos a adotarem políticas voltadas para o uso de biocombustíveis.

Com o Protocolo de Kioto, cria-se um mercado mundial de crédito de carbono. Ou seja, os países que não conseguem reduzir as emissões de gases de efeito estufa, como dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs) e hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>), poderão comprar créditos dos países que contribuem para retirar esses gases da atmosfera em quantidade maior do que emitem (BRASIL, 2006).

A substituição de diesel por misturas com biodiesel e as plantações de oleaginosas, como dendê e babaçu, permitem ao País obter créditos de carbono, sob o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Estudos mostram que a cultura do dendê é capaz de capturar 36 toneladas de CO<sub>2</sub> da atmosfera por hectare, enquanto a do pínus é de 5 toneladas (BELMIRO et al., 2007). De acordo com MIRAGAYA (2005), cada litro de diesel emite 3 kg de CO<sub>2</sub>, e este gás produzido na queima do biodiesel pode ser reabsorvido pelas oleaginosas.

## 6 Biodiesel e Desempenho Operacional

A principal vantagem técnica trazida pelo biodiesel é a adaptabilidade aos atuais motores de combustão interna de ciclo diesel, pois enquanto o uso de outros combustíveis, como o gás natural ou biogás, requer prévia adaptação dos motores, o uso de biodiesel, em percentuais diluídos ao óleo diesel, é feito de forma satisfatória, sem precisar de qualquer alteração de ordem técnica no propulsor, não havendo registro de prejuízo na eficiência térmica, o que o configura como uma alternativa capaz de atender à frota já existente no setor de transportes brasileiro (SORANSO, 2006).

A avaliação da qualidade carburante de biodiesel é influenciada por fatores como poder calorífico, índice de cetano, curva de destilação, viscosidade e ponto de névoa. A potência máxima a ser atingida por um motor de ignição em operação depende do poder calorífico do combustível, seja este oriundo de fontes renováveis ou não. Já o poder de autoinflamação e combustão do biodiesel é definido pelo índice de cetano. O valor condiciona o desempenho global do motor, refletindo na partida a frio, ruído e gradiente de pressão. Comparado ao óleo diesel, o biodiesel apresenta menor calor de combustão e índice de cetano similar (COSTA NETO et al., 2000).

De acordo com MIALHE (1996), a mensuração da quantidade de combustível consumida constitui-se em um dos mais importantes aspectos da avaliação do rendimento de um motor, ou seja, do desempenho como máquina térmica conversora de energia. O consumo de combustível pode ser expresso de duas maneiras: em relação ao tempo ( $L h^{-1}$ ;  $kg h^{-1}$ , etc.) e em relação ao trabalho mecânico desenvolvido (consumo específico =  $g cvh^{-1}$ ;  $g kWh^{-1}$ , etc.). O consumo horário geralmente é obtido por leitura direta de instrumentos de mensuração, podendo ser expressa em termos ponderal ( $kg h^{-1}$ ) ou volumétrico ( $L h^{-1}$ ).

CASTELLANELLI et al. (2008) compararam o desempenho do motor de ignição por compressão da marca CUMMINS, modelo 4BTA 3.9, utilizando diferentes misturas de biodiesel etílico de óleo de soja no diesel. Ao comparar, primeiramente, o diesel puro (B0- testemunha) e o biodiesel puro (B100), observou-se que o motor apresentou desempenho inferior nos quesitos potência, torque e consumo específico, quando se

utilizaram 100% de biodiesel. O B20 destacou-se, apresentando desempenho superior ao do diesel. Na sequência da análise, à medida que aumentou a porcentagem de biodiesel no diesel, houve menor desempenho, sendo que o B100 foi considerado o pior. Porém, as demais misturas, ou seja, B2, B5 e B10 mostraram desempenho semelhante ao do diesel. Estas diferenças devem-se à inferioridade do biodiesel em relação ao diesel na propriedade poder calorífico.

SANTOS et al. (2007) avaliaram o desempenho de um conjunto gerador composto por um motor diesel Yanmar modelo NSB 75, com potência nominal de 5,8 kW a 2.400 rpm. O combustível utilizado foi óleo diesel puro (OD) e uma mistura de óleo refinado de soja com óleo diesel, na proporção de 50% (ORS50). Os testes executados permitiram concluir que ocorreu aumento nos valores de potência, torque e consumo específico em cerca de 19; 16 e 5%, respectivamente, quando o motor foi alimentado com ORS50.

Constatou-se que a viscosidade do óleo de dendê *in natura* à temperatura ambiente é muito alta para que seja possível a utilização como combustível sem maiores danos ao motor. Para atingir um valor de viscosidade próximo ao do óleo diesel, é necessário aquecer o óleo de dendê a uma temperatura próxima dos 85 °C, o que resulta em melhores condições de operação do motor. Assim, esta propriedade que mede a resistência interna ao escoamento de um líquido, é de considerável influência no funcionamento do sistema de injeção, além de refletir no processo de combustão, influenciando na potência máxima desenvolvida pelo motor (COSTA NETO et al., 2000).

Algumas alterações no projeto e operação do motor ASTM-CFR Cetano, realizados com o óleo de dendê a 85 °C, resultaram em melhor desempenho do motor. Dentre as variáveis que tiveram maior influência no desempenho do motor, operando com óleo de dendê *in natura*, foram o avanço de injeção e o débito de combustível. O aumento do avanço de injeção neste motor, devido às características de operação, promove aumento na potência, na utilização dos dois combustíveis, sendo mais linear com o óleo de dendê. Já o aumento do débito de combustível fez aumentar o desempenho do motor no que se refere à potência e eficiência térmica. Com uma taxa

de compressão mais baixa (11.91: 1), foi possível uma aproximação da potência desenvolvida pelos combustíveis diesel (PIMENTEL & BELCHIOR, 2002).

Foi constatado, porém, que a aplicação direta dos óleos vegetais nos motores é limitada por algumas propriedades físicas dos mesmos, principalmente pela alta viscosidade, baixa volatilidade e o caráter poli-insaturado. Como consequência, o uso de óleo sem modificação química provoca problemas ambientais como resultado da combustão incompleta e causa danos aos motores (FAGUNDES et al., 2005). Dessa forma, para produzir o biodiesel, a transesterificação de óleos naturais e as gorduras é atualmente o método escolhido; assim, solucionando-se os inconvenientes do uso direto de óleos vegetais nos motores diesel, a finalidade do processo é abaixar a viscosidade do óleo ou da gordura (PEREIRA & DANTAS, 2007).

MAIA et al. (2007) realizaram um ensaio com motor diesel 3508 DI TA com potência nominal de 920 HP (932,42 cv), 8 cilindros e rotação nominal de 1.720 rpm, reserva de torque de 17,4% e torque nominal de 3.296 ft.lbs, conforme os dados do catálogo do fabricante. Usando 100% de biodiesel no tanque, concluiu-se que houve redução de 0,4% da reserva de torque, 17,8% do torque e 3,5% da potência nominal.

CORTEZ et al. (2007) avaliaram biodiesel etílico, filtrado de óleo residual de soja, em trator agrícola Valtra BM100, 4 x 2 TDA (tração dianteira auxiliar), 73,6 kW (100 cv) de potência no motor, com 2.000 rotações no motor. Foi acoplada à barra de tração uma grade aradora de arrasto com as seguintes características: Marchesan/Tatu, 16 discos recortados com diâmetro de 24". Os autores observaram que, nessa condição, o aumento da proporção de biodiesel no diesel bem como o aumento da velocidade resultam em aumento no consumo de combustível.

A utilização de biodiesel do tipo destilado em trator agrícola, na operação de escarificação, resultou em aumento de 15,5% no consumo horário volumétrico, 18,1% no consumo horário ponderal, 16% no consumo operacional ( $\text{ha h}^{-1}$ ) e 18% no consumo específico de combustível em relação ao diesel (B0). Ressalva-se que este biodiesel (B100), foi resultante de uma mistura de 50% de metílico e 50% de etílico, produzido à base de óleo residual de frituras (SORANSO et al., 2008).

Testes realizados mundialmente, com várias formas de biodiesel, comprovam que há viabilidade técnica para o uso em motores diesel convencionais. Acrescenta-se, no entanto, que qualquer alteração no combustível ou mesmo a adoção de combustíveis alternativos, diferentes do óleo diesel, pode exigir adaptações no motor. Contudo, no caso de misturas de óleo diesel com biodiesel, não há necessidade de modificação do motor, sendo necessário que o biodiesel tenha padrão de qualidade (HOLANDA, 2004).

### **III MATERIAL E MÉTODOS**

#### **1 Área experimental**

O trabalho foi conduzido em área do Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola - LAMMA, do Departamento de Engenharia Rural, da Universidade Estadual Paulista - UNESP, Câmpus de Jaboticabal. A área possui localização geodésica definida pelas coordenadas 21° 15' latitude sul e 48° 18' longitude oeste, com altitude média de 570 m. A região apresenta temperatura média anual de 22,2°C, precipitação média anual de 1.425 mm, umidade relativa média de 71% e pressão atmosférica de 94,3 kPa. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, definido como tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno.

#### **2 Solo**

O solo da área experimental foi classificado como LATOSSOLO Vermelho eutroférico típico, com relevo suave ondulado e declividade média de 3%, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999).

As análises referentes ao solo seguiu a rotina do Departamento de Ciência do Solo da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP/Jaboticabal, conforme descrito em EMBRAPA (1997). O teor médio de água no dia do ensaio-piloto com escarificador, no perfil de 0-15 e 15-30 cm de profundidade, foi 11,2 e 13,4%, respectivamente, segundo o método gravimétrico-padrão. A análise granulométrica da camada de 0-20 cm para argila, silte, areia fina e areia grossa foi 51; 29; 10 e 10%, respectivamente, sendo o mesmo considerado como textura argilosa.

#### **3 Biodiesel**

O biodiesel utilizado foi do tipo dendê etílico destilado. O processo de produção e o fornecimento do biocombustível ficaram a cargo do Laboratório de Desenvolvimento



de Tecnologias Limpas - LADETEL, da Universidade de São Paulo – USP, Câmpus de Ribeirão Preto, num sistema de parceria com a UNESP - Jaboticabal desde o ano de 2001.

#### **4 Diesel**

Foi utilizado o óleo diesel classificado de acordo com a resolução da ANP N 15, de 17 de julho de 2006 (BRASIL, 2006b), como óleo diesel interior, tendo quantidade de enxofre total máxima de  $2.000 \text{ mg kg}^{-1}$  e massa específica a  $20^\circ\text{C}$  entre  $820$  e  $880 \text{ kg m}^{-3}$ , advindo da cidade de Jaboticabal – SP.

#### **5 Condução do trabalho**

O trabalho foi dividido em quatro etapas: a primeira e a segunda foram realizadas apenas com o uso do biodiesel e suas misturas com o diesel, nos quais foram analisadas a vazão da bomba de abastecimento e a densidade dos combustíveis. A terceira etapa foi dinâmica, realizada em condições de campo, com o intuito de avaliar o desempenho do trator, e a quarta foi estática, com o intuito de avaliar a opacidade da fumaça do motor do trator. Para facilitar o entendimento, os experimentos foram divididos em tópicos, apresentados da seguinte forma:

- Ensaio I – Vazão da bomba de abastecimento;
- Ensaio II – Densidade do combustível;
- Ensaio III - Desempenho do trator, e
- Ensaio IV - Opacidade da fumaça do motor do trator.

#### **6 Delineamento experimental**

Ensaio I e II – foram realizados em delineamento inteiramente casualizado, com cinco tratamentos, com quatro repetições, totalizando 20 observações. Os tratamentos

foram cinco proporções de mistura (B0, B25, B50, B75 e B100, em que o número indica a percentagem de biodiesel no diesel).

Ensaio III e IV – foram realizados em delineamento experimental inteiramente casualizado, esquema fatorial 5 x 3, com três repetições, totalizando 45 observações. As combinações dos fatores foram cinco proporções de mistura (B0, B5, B25, B50 e B100) e três tempos de armazenamento em condição ambiente (0, 3 e 6 meses), semelhante ao modo como o combustível se encontra nas propriedades. O diesel e o biodiesel foram armazenados separadamente, e as misturas foram realizadas no momento da execução de cada teste. Para o ensaio de desempenho, cada parcela experimental possuía 20 m de comprimento e, entre si, na direção longitudinal, foi reservado espaço de 15 m destinado à realização de manobras, tráfego de máquinas e estabilização do conjunto mecanizado, conforme a Figura 1.

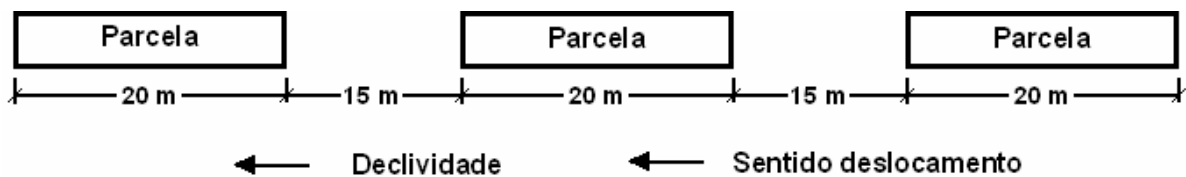


FIGURA 1. Esquema das parcelas.

## 7 Tratamentos

As combinações e respectivas designações dos tratamentos dos ensaios I e II, e III e IV são apresentadas nas Tabelas 6 e 7, respectivamente.

TABELA 6. Relação e designação dos tratamentos do ensaio I e II.

Tratamentos	Proporção %		Designação
	Biodiesel	Diesel	
T1	0	100	B0
T2	25	75	B25
T3	50	50	B50
T4	75	25	B75
T5	100	0	B100

TABELA 7. Relação e designação dos tratamentos do ensaio III e IV.

Tratamentos	Fatores comparativos		Designação	
	Tempo de Armazenamento	Proporção %		
		Biodiesel		Diesel
T01	0	0	100	T0-B0
T02		5	95	T0-B5
T03		25	75	T0-B25
T04		50	50	T0-B50
T05		100	100	T0-B100
T06	3	0	100	T3-B0
T07		5	95	T3-B5
T08		25	75	T3-B25
T09		50	50	T3-B50
T10		100	100	T3-B100
T11	6	0	100	T6-B0
T12		5	95	T6-B5
T13		25	75	T6-B25
T14		50	50	T6-B50
T15		100	100	T6-B100

### 8 Ensaio I – Vazão da bomba de abastecimento

Foi utilizada uma bomba para transferência e abastecimento com engrenagem, modelo MAC 13 sem filtro, com sistema elétrico para bateria de 12 v e vazão máxima de 25 L min<sup>-1</sup> (Figura 2).



FIGURA 2. Bomba de abastecimento.

Para o cálculo da vazão, foi utilizado um recipiente de volume conhecido e padronizado, de modo que o fluxo da bomba foi a relação entre o volume coletado e o tempo de amostragem.

De posse da densidade dos combustíveis, foi calculada a quantidade de massa por unidade de tempo. Medida essa de suma importância para os distribuidores de combustíveis.

Os dados foram submetidos à análise de variância para seleção da curva de regressão de maior grau significativo.

## 9 Ensaio II – Densidade dos combustíveis

Ao longo de uma jornada de trabalho, a temperatura em ambiente protegido pode variar de 12,5 a 30,6 °C, caso particular medido em série de 30 anos em Jaboticabal, conforme UNESP (2006). Porém, em condição de ambiente não protegido, como é o caso do trabalho de tratores, pode ser observada temperatura de até 45 °C ao meio-dia. Nessas condições, ressalta-se, entretanto, que a temperatura do combustível no tanque das máquinas pode variar de 12,5 a 50 °C. Por esse motivo, quando se avaliou o consumo de combustível, determinou-se também como a densidade do mesmo varia em função da 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 15 °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 15 °C mediu-se volume de 100 mL, verificou-se a massa e, depois, foi monitorada a variação volumétrica referente ao acréscimo de cada 5 °C. Tal procedimento foi repetido para as cinco proporções de misturas. Com base na análise de variância, os dados foram ajustados por meio do modelo de maior grau significativo. Esse procedimento originou um modelo quadrático, conforme a equação 1.

$$D = C + C1*T + C2*Bn + C3*T^2 + C4*T*Bn + C5*Bn^2 \quad (1)$$

em que,

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

C, C1, C2, C3, C4 e C5 = coeficientes da regressão;

Bn = proporção de biodiesel (%), e

T = temperatura do combustível (°C).

## 10 Ensaio III – Desempenho Operacional

### 10.1 Tratores

Trator de teste - marca Valtra, modelo BM 100, 4x2 com tração dianteira auxiliar (TDA), potência de 73,6 kW (100 cv) no motor a 2.300 rpm, massa total de 5.400 kg, distribuídos 40 e 60% nos eixos dianteiro e traseiro, respectivamente, equipado com pneus 14.9-24 no eixo dianteiro e 23.1-26 no eixo traseiro, sendo tal trator instrumentado para a realização do teste. No momento dos ensaios, o trator operou em rotação máxima livre.

Trator de frenagem - marca Valtra, modelo BH140, 4x2, com tração dianteira auxiliar (TDA), potência de 103 kW (140 cv) no motor a 2.400 rpm, massa total de 7.400 kg, distribuídos 40 e 60% nos eixos dianteiro e traseiro, respectivamente.

O trator de ensaios utilizado encontra-se instrumentado conforme descrito por LOPES (2006), conforme a Figura 3 e as principais características encontram-se no Apêndice 1.



FIGURA 3. Vista lateral do trator de teste com instrumentação completa.

Fonte: LOPES (2006).

Os dados referentes ao consumo de combustível, à temperatura do combustível, à força na barra de tração, à rotação dos rodados, à rotação da tomada de potência e à velocidade de deslocamento foram monitorados e armazenados. O monitoramento e o armazenamento foram realizados por um sistema de aquisição de dados marca Campbell Scientific modelo Microllogger CR23X, programado para obter dados na frequência de 1 Hz, sendo posteriormente transferidos via porta de comunicação serial (RS232), para um computador, a fim de serem processados. Todos os transdutores e sensores foram alimentados a partir de uma bateria auxiliar montada assessorialmente ao referido sistema.

## **10.2 Escarificador**

Com a finalidade de oferecer carga à barra de tração do trator de teste, no ensaio preliminar, foi utilizado um escarificador de arrasto Marchesan, modelo AST/MATIC 7, com massa total de 1.400 kg. Esse equipamento é constituído com cinco hastes espaçadas de 45 cm entre si, ponteira sem asa com 8 cm de largura, discos de corte de palha para cada haste, sistema de segurança de desarme automático e rolo destorroador. A regulagem foi estabelecida para trabalhar à profundidade média de 30 cm e relação espaçamento/profundidade de 1,5.

## **10.3 Uso dos Tratores**

Foi realizado um ensaio preliminar com a finalidade de definir a carga na barra de tração do trator de teste para o ensaio de desempenho. O ensaio compreendia a operação de escaificação da área experimental a 30 cm de profundidade; a força de tração necessária para realizar essa operação foi mensurada em 25 kN. Devido à grande variabilidade na resistência do solo durante a operação, o escarificador foi substituído por um segundo trator, denominado trator de frenagem. Esse foi acoplado ao trator de teste por meio de um cabo de aço, formando um comboio e em virtude da combinação de marchas do trator de frenagem, o esforço na barra de tração foi

semelhante à escarificação a 30 cm de profundidade. O trator de frenagem foi utilizado desligado e engrenado, pois a única função era oferecer carga na barra de tração do trator de teste o mais uniformemente possível. A dinâmica do ensaio é ilustrada na Figura 4.



FIGURA 4. Dinâmica do ensaio de desempenho.

Fonte: LOPES (2006).

Em todas as parcelas, procurando estabilizar as determinações, o trator de teste iniciava o movimento num espaço de 15 m, antes da primeira baliza, que demarcava o início da medição. Quando o referencial do trator, centro do rodado traseiro, coincidia com a primeira baliza, era acionado o sistema de aquisição de dados. O procedimento era interrompido quando se decorriam os 20 m de comprimento da parcela, momento em que o centro do rodado traseiro coincidia com a segunda baliza.

Em cada parcela, o sistema de instrumentação fornecia diretamente:

- Tempo de percurso;
- Velocidade real de deslocamento;
- Força integrada;
- Rotação integrada da tomada de potência;
- Volume de combustível consumido;



- Temperatura do combustível na entrada da bomba injetora;
- Temperatura do combustível no retorno dos bicos e da bomba injetora;
- Número de pulsos individual das rodas dianteira direita e esquerda, e
- Número de pulsos individual das rodas traseiras direita e esquerda.

## 10.4 Avaliações em cada tratamento

### 10.4.1 Rotação do motor

A rotação do motor foi determinada de forma indireta, utilizando-se da rotação da tomada de potência e da relação de transmissão do trator. A rotação da tomada de potência foi obtida por meio de sistema constituído por roda dentada com 60 dentes e um sensor magnético, com frequência máxima de saída de 8.000 Hz. Cada volta completa da TDP equivalia a 60 pulsos detectados pelo sensor.

Para o cálculo da rotação média do motor, utilizou-se da equação (2):

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

em que,

Rm = rotação do motor (rpm);

RTDP = rotação da tomada de potência (rpm), e

RT = relação de transmissão do trator de teste, entre o motor e a TDP (3,703).

### 10.4.2 Patinagem

Foi instalado um sensor encoder da marca S&E Instrumentos de Testes e Medições, modelo GIDP-60-U-12V, em cada roda do trator, fornecendo, assim, o número de pulsos individual para as quatro rodas. Esse equipamento tem o princípio de funcionamento com base no deslocamento angular, e cada volta completa da roda corresponde a 60 pulsos fornecidos pelo sensor.

A patinagem foi determinada, individualmente, para cada roda do trator e, dessa forma, foi possível verificar o comportamento individualizado nas quatro rodas. O sistema de instrumentação forneceu o valor integrado do número de pulsos de cada roda no momento em que o trator operava na condição com e sem carga na barra de tração. 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 da seguinte equação:

$$P = \left(1 - \frac{NPS}{NPC}\right) * 100 \quad (3)$$

em que,

P = patinagem (%);

NPC = número de pulsos da roda, trator operando com carga na barra de tração;

NPS = número de pulsos da roda, trator operando sem carga na barra de tração, e

100 = fator de conversão.

#### 10.4.3 Velocidade de deslocamento

A velocidade real de deslocamento foi determinada por meio de radar da marca Dick John, modelo RVS II, com erro de  $\pm 3\%$  para velocidades de 3,2 a 70,8 km h<sup>-1</sup>, instalado na parte inferior do trator de teste, fazendo ângulo de 45° com a superfície do solo, conforme recomendação do fabricante. Considerou-se a velocidade real de deslocamento, aquela obtida pelo radar no momento em que o trator de teste estava em operação. Os valores de velocidade foram obtidos em m h<sup>-1</sup> e convertidos em km h<sup>-1</sup>.

#### 10.4.4 Força na barra de tração

A força na barra de tração foi obtida por meio de célula de carga da marca M.Shimitsu, modelo TF 400, com escala nominal de 0 a 100 kN, acoplada à barra de tração do trator, sendo os valores de força obtidos em kgf e convertidos em kN.

Para a montagem da célula de carga, utilizou-se de sistema em formato de berço para a acomodação e proteção da mesma. Tal estrutura foi fixada no trator de teste e teve a função de absorver todo o tipo de impacto lateral, vertical, horizontal ou torção que pudesse comprometer a integridade física da célula de carga provocada por acidentes devido a manobras ou mesmo em paradas bruscas.

Os valores de força foram utilizados para substituir o escarificador por um trator de lastro, ressaltando-se que tal medida não é uma variável analisada no presente trabalho, mas um valor o mais constante possível para não influenciar no desempenho do trator de testes.

#### 10.4.5 Potência na barra de tração

A potência média na barra de tração foi determinada de forma indireta, utilizando-se da seguinte equação:

$$PB = FT * V \quad (4)$$

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).

#### 10.4.6 Consumo de combustível

O consumo de combustível foi determinado obtendo-se o volume e a temperatura do combustível que alimenta a bomba injetora e o volume e a temperatura do combustível que retorna ao tanque. Dessa forma, o combustível consumido foi calculado pela diferença entre as duas medidas (alimentação e retorno). A temperatura do combustível medida foi utilizada para a correção da densidade do combustível.

O sistema consiste em dois conjuntos, um para a alimentação da bomba injetora e o outro para o retorno. Cada conjunto contém um medidor de fluxo da marca Oval

Corporation, modelo Flowmate LSN 48, com precisão de 1% sobre a vazão nominal, e vazão máxima de  $100 \text{ L h}^{-1}$ , e um sensor de temperatura do tipo resistivo, modelo PT 100 (resistência de 100 ohms a  $0^\circ\text{C}$ ), com faixa de medida de  $-200^\circ\text{C}$  a  $800^\circ\text{C}$ . Os valores de fluxo de combustível foram obtidos em mL, e a temperatura, em  $^\circ\text{C}$ . O sistema conta com três depósitos auxiliares de combustível, permitindo a realização de ensaios com vários tipos de combustíveis sem contaminar o tanque original do trator.

De posse desses dados, determinaram-se o consumo horário (volumétrico e ponderal) e o consumo específico.

#### 10.4.6.1 Consumo horário

Com base no volume consumido e no tempo de percurso em cada parcela, foi determinado o consumo horário volumétrico, utilizando-se da seguinte equação:

$$Ch.v = \left( \frac{Va - Vr}{t} \right) * 3,6 \quad (5)$$

em que,

$Ch.v$  = consumo horário ( $\text{L h}^{-1}$ );

$Va$  = volume de alimentação de combustível na entrada da bomba injetora (mL);

$Vr$  = volume total retornado dos bicos e da bomba injetora (mL);

$t$  = tempo de percurso na parcela (s), e

3,6 = fator de conversão.

Para determinar o consumo horário ponderal, considerou-se a influência da temperatura no momento do teste para corrigir a densidade. Optou-se por conversão em massa do volume de alimentação separado do retorno. Esse consumo foi calculado com a seguinte equação:

$$Ch.p = \left( \frac{3,6}{1.000 * t} \right) * (Va * Da - Vr * Dr) \quad (6)$$

em que,

Ch.p = consumo horário ponderal ( $\text{kg h}^{-1}$ );

Da = densidade do combustível no momento da alimentação ( $\text{g L}^{-1}$ );

Dr = densidade do combustível retornado pelos bicos e bomba injetora ( $\text{g L}^{-1}$ );

Va = volume de alimentação de combustível na entrada da bomba injetora (mL);

Vr = volume total retornado dos bicos e da bomba injetora (mL);

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

1.000 e 3,6 = fatores de conversão.

#### 10.4.6.2 Consumo específico

Essa variável é o consumo de combustível expresso em unidade de massa por unidade de potência na barra de tração.

Para o cálculo do consumo específico, utilizou-se da seguinte equação:

$$CE = \left( \frac{Ch.p}{PB} \right) * 1.000 \quad (7)$$

em que,

CE = consumo específico ( $\text{g kWh}^{-1}$ );

Ch.p = consumo horário ponderal ( $\text{kg h}^{-1}$ );

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

1.000 = fator de conversão.

### 11 Ensaio IV – Opacidade da Fumaça

A opacidade da fumaça foi medida por um opacímetro de absorção de luz com fluxo parcial, da marca Tecnomotor, modelo TM 133, que está compatível com as normas NBR 13037, Inmetro, CEE 72/306.

O opacímetro está ligado ao controlador serial da marca Tecnomotor, modelo TM 616, que recebe os sinais do sensor e os converte em unidade de medida. Tal

equipamento exporta os dados convertidos para computadores por meio de conexão serial, cuja interface é o *software* denominado IGOR, que gerencia os ensaios. Os equipamentos são apresentados na Figura 5.

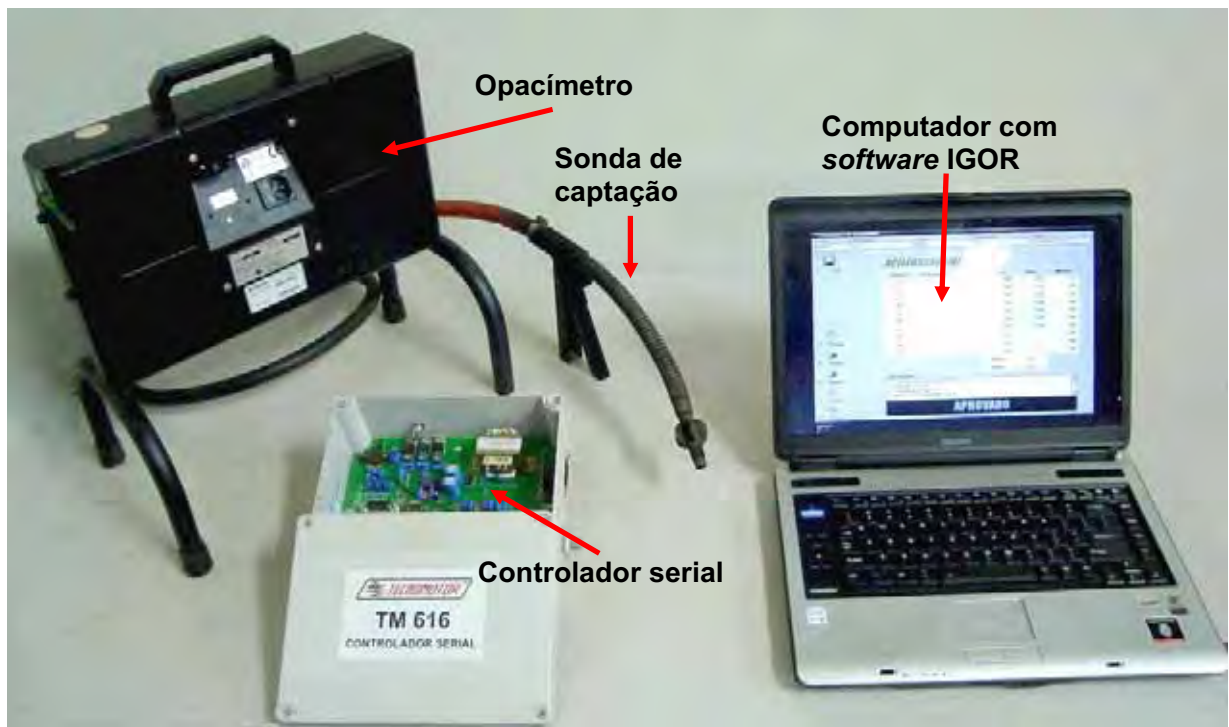


FIGURA 5. Instrumentação utilizada no ensaio de opacidade da fumaça.

O opacímetro é um equipamento destinado a medir opacidade da fumaça, uma vez que o mesmo se constitui de um elemento principal e uma sonda coletora. Esta, por sua vez, foi inserida no escapamento do trator. Em motores diesel, o gás de escapamento contém partículas suspensas que, ao serem atravessadas por um fecho de luz, obscurecem, refletem ou refratam a luz. Os opacímetros de fluxo parcial realizam a medição da fuligem do gás de escapamento, com parte do fluxo total de gás, coletado por meio de uma sonda e um tubo de captação, montados no cano de escape do motor. A fumaça do escapamento coletada pela sonda do opacímetro é levada até a câmara de medição, na qual existe um emissor de luz e um receptor. Ao passar pela

câmara, a fumaça provoca alterações no fecho de luz, sendo a porção captada pelo receptor processada pelo equipamento, conforme a Figura 6.



FIGURA 6. Vista geral do trator instrumentado para o ensaio de opacidade da fumaça.

Fonte: LOPES (2006)

Os ensaios foram realizados de acordo com o método da aceleração livre, que é o regime em que o motor é submetido ao máximo débito de combustível, sendo a potência desenvolvida absorvida somente pela inércia dos componentes mecânicos do motor (embreagem, árvore-piloto da caixa de mudanças), uma vez que o veículo está estacionado. As medições de opacidade são feitas em  $K$ , que é o coeficiente de absorção de luz, e tem como unidade  $m^{-1}$  (TECNOMOTOR, 2001).

A opacidade da fumaça foi determinada no trator de testes marca Valtra, modelo BM100. 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.

## **12 Análise estatística**

### **12.1 Análise de variância e teste de médias**

Os dados de desempenho e opacidade da fumaça foram tabulados e submetidos à análise de variância e ao teste de comparação de médias de Tukey, a 5% de probabilidade, conforme recomendação de PIMENTEL GOMES (1987) e BANZATTO & KRONKA (2006).

### **12.2 Análise de regressão**

Para o consumo específico, opacidade da fumaça e vazão da bomba de abastecimento, foi estudado modelo de ajuste de regressão que melhor explicasse o comportamento do mesmo em função da proporção de biodiesel. Para o caso da densidade, procurou-se o modelo de superfície de resposta que explicasse essa variável em função da temperatura e da proporção de biodiesel.

Neste trabalho, utilizou-se da análise de variância (teste F) para selecionar o modelo de equação de maior expoente significativo.



## IV RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para maior clareza e melhor interpretação dos resultados, a apresentação geral encontra-se na seguinte ordem:

- Ensaio I – Vazão da bomba de abastecimento;
- Ensaio II – Densidade do combustível;
- Ensaio III – Desempenho Operacional, e
- Ensaio IV – Opacidade da fumaça do motor do trator.

### 1 Ensaio I – Vazão da bomba de abastecimento

O comportamento da vazão da bomba de abastecimento ( $L \text{ min}^{-1}$ ) foi ajustado por um modelo quadrático de regressão que explica a quantidade de saída de combustível em função da proporção de mistura de biodiesel etílico destilado de dendê. Tal comportamento é ilustrado conforme a Figura 7.

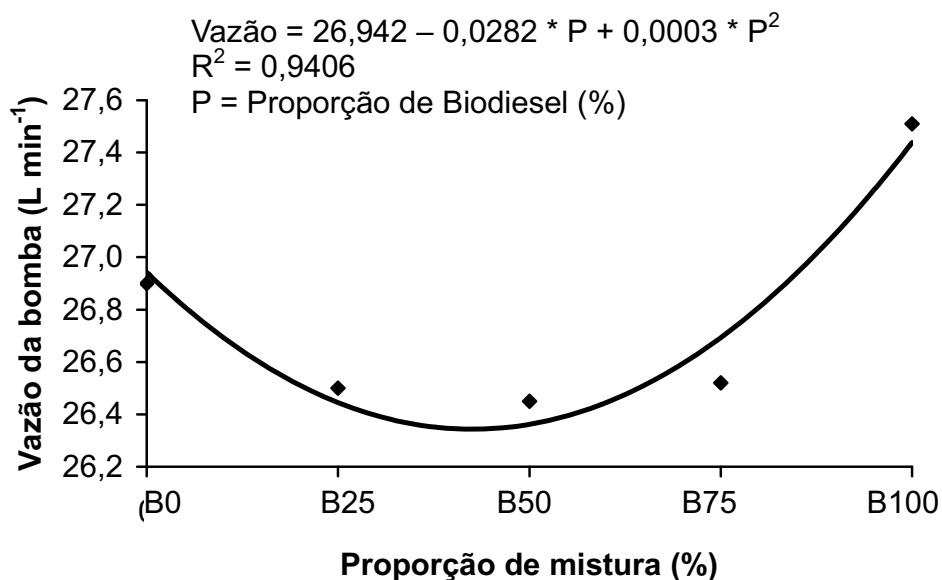


FIGURA 7. Modelo de regressão quadrática da vazão da bomba ( $L \text{ min}^{-1}$ ) em função da proporção de mistura de biodiesel etílico destilado de dendê e diesel.

De acordo com a Figura 7 verifica-se que a vazão da bomba de abastecimento diminuiu para as proporções intermediárias do diesel e biodiesel de dendê. Entretanto, aumentou-se 2,6% quando foi comparado diesel (B0) e biodiesel (B100). Embora, nessa avaliação, esperasse redução progressiva da vazão da bomba funcionando com biodiesel devido à maior densidade desse produto, tal fato não ocorreu e pode ser explicado em função da maior lubricidade do biocombustível conforme constatado por SCHUMACHER (2005). Esclarece, também, que a vazão observada da bomba foi maior do que a declarada pelo manual do fabricante ( $25 \text{ L min}^{-1}$ ), evidenciando-se diferenças de 7,6% quando utilizou diesel (B0), 6% para as proporções intermediárias e 10% para biodiesel (B100).

A vazão da bomba também foi corrigida para massa em função do tempo ( $\text{kg min}^{-1}$ ), pois essa medida interessa à rede distribuidora e de abastecimento. Por isso, também foi ajustado modelo quadrático de regressão da vazão em função da proporção de mistura de biodiesel etílico destilado de dendê. Tal comportamento é ilustrado conforme Figura 8.

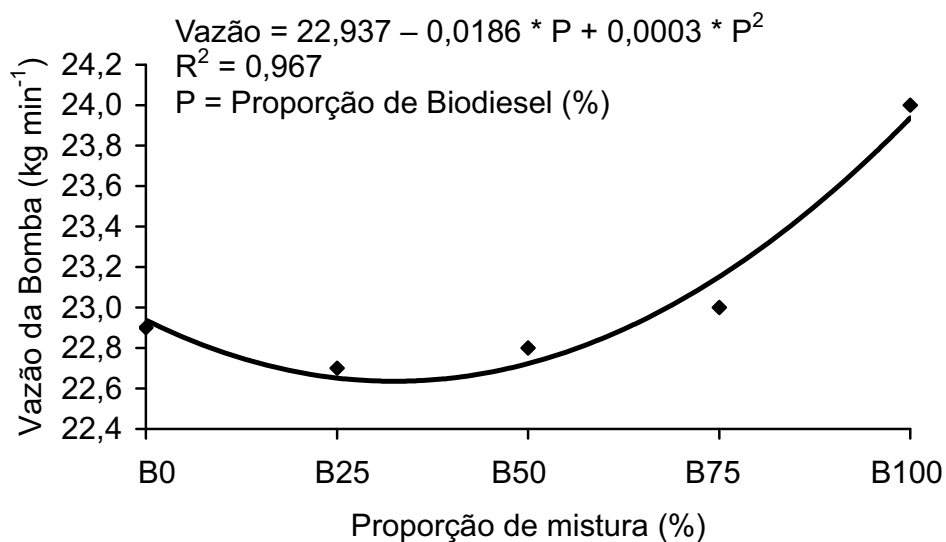


FIGURA 8. Modelo quadrático de regressão da vazão da bomba ( $\text{kg min}^{-1}$ ) em função da proporção de mistura de biodiesel etílico destilado de dendê e diesel.

Verifica-se, na Figura 8, que o comportamento da vazão em massa foi semelhante à vazão em volume, com aumento de 4,8% comparando B0 com B100. A

variação do abastecimento volumétrico em relação ao ponderal deve-se em função da maior densidade do biodiesel de dendê comparado ao diesel.

## 2 Ensaio II – Densidade do combustível

Na Tabela 8, encontram-se os valores da densidade do combustível em função da proporção de mistura e temperatura, e, na Figura 9, a superfície de resposta de segunda ordem. Esta última constitui-se de um ajuste de modelo de maior grau significativo, que explica a densidade do biodiesel de dendê em função da temperatura e da proporção de mistura.

Verifica-se na Tabela 8, que o biodiesel de dendê (B100) teve maior influência da temperatura do que o diesel (B0), apresentando queda na densidade de 5,5%, enquanto o diesel teve redução de 4,9%, com o aumento da temperatura de 15 para 70°C. Nota-se, ainda, que para as menores temperaturas, o biodiesel apresenta maiores diferenças quando comparado ao diesel, diferença esta em torno de 3,0%.

TABELA 8. Densidade do biodiesel etílico destilado de dendê em função da temperatura e proporção de mistura ( $\text{kg m}^{-3}$ ).

T (°C)	B0	B25	B50	B75	B100
15	862	866	866	872	888
20	855	859	863	869	881
25	851	855	859	862	874
30	848	848	854	857	871
35	843	845	851	855	867
40	841	843	849	853	864
45	838	840	846	850	857
50	836	837	842	847	854
55	833	832	836	840	852
60	827	829	833	838	849
65	825	827	831	835	846
70	820	824	826	829	839

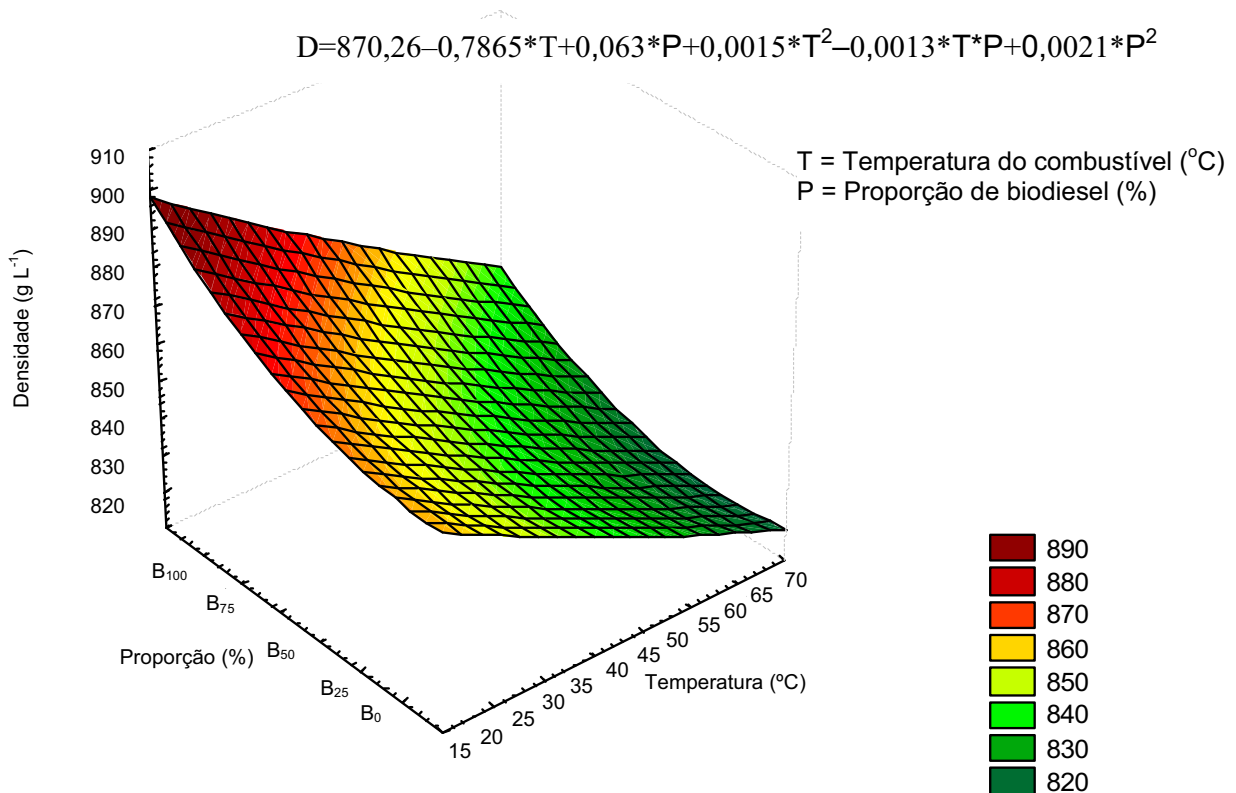


FIGURA 9. Superfície de resposta de segunda ordem ajustada à densidade do biodiesel etílico destilado de dendê em função da temperatura e proporção de mistura.

Analisando a Figura 9, observa-se que, à medida que se adiciona biodiesel à mistura, ocorre aumento gradativo na densidade, destacando-se que, na temperatura de 20 °C, ocorreu acréscimo de 2,95% na densidade comparando diesel (B0) com biodiesel (B100). Acrescenta-se ainda que o biodiesel de dendê atende às especificações europeias, bem como à Resolução 7 da ANP, de 19 de março de 2008 (BRASIL, 2008).

A medida de densidade é relevante para os profissionais que trabalham na distribuição de combustíveis, pois, dessa forma, garante-se que a quantidade que sai da distribuidora é a mesma que chega ao destino final. Ademais, a informação do combustível em massa serve para acompanhar a qualidade do produto, pois a avaliação da densidade é a primeira providência no recebimento do combustível.

### 3 Ensaio III - Desempenho Operacional

Os resultados de desempenho do trator foram apresentados na forma de Equações, Figuras e Tabelas. A síntese da análise estatística foi apresentada para grupos de variáveis nas Tabelas 9 e 10. Nessas tabelas, os dados referentes aos fatores Tempo de armazenamento e Proporção de mistura representaram médias de 15 e 9 observações, respectivamente. Acrescenta-se, também, que neste ensaio não ocorreu interação significativa entre os fatores.

TABELA 9. Síntese da análise de variância e teste de médias para as variáveis rotação no motor (Rot motor), patinagem média dos rodados, velocidade de deslocamento (V) e potência média na barra de tração (PB).

Fatores	Rot motor RPM	Patinagem %	V km h <sup>-1</sup>	PB kW
<b>Tempo de armazenamento (TA)</b>				
0 mês	2201 a	9,3 a	6,1 a	42,4 <sup>a</sup>
3 meses	2205 a	9,7 a	6,1 a	42,4 a
6 meses	2209 a	9,4 a	6,1 a	42,4 a
<b>Proporção de Biodiesel (Bn)</b>				
B0	2268 a	9,3 a	6,2 a	43,1 a
B5	2258 a	9,7 a	6,2 a	43,1 a
B25	2220 b	9,5 a	6,1 a	42,4 a
B50	2173 c	9,4 a	6,1 a	42,4 a
B100	2114 d	9,6 a	6,1 a	42,4 a
<b>TESTE F</b>				
TA	2419 <sup>NS</sup>	1,95 <sup>NS</sup>	2,37 <sup>NS</sup>	1,91 <sup>NS</sup>
B <sub>n</sub>	175,64 <sup>**</sup>	2,01 <sup>NS</sup>	2,41 <sup>NS</sup>	1,61 <sup>NS</sup>
TAxB <sub>n</sub>	1,33 <sup>NS</sup>	0,25 <sup>NS</sup>	2,12 <sup>NS</sup>	1,11 <sup>NS</sup>
C.V.%	0,65	1,35	1,27	2,32

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

\*\* : significativo (P<0,01); \* : significativo (P<0,05); NS: não significativo; C.V.: coeficiente de variação

#### 1 Rotação do motor

Verifica-se, na Tabela 9, que o tempo de armazenamento do biodiesel não influenciou na rotação do motor. Enquanto no fator proporção de mistura, nota-se que B0 e B5 foram semelhantes, sendo estas maiores que as demais proporções avaliadas,

ocorrendo queda na rotação a partir de B25 até B100. A rotação do motor foi 154 rpm menor quando se utilizou biodiesel B100, redução esta de 6,8% comparada ao diesel. Esse comportamento pode ser explicado em função do menor poder calorífico do biodiesel em relação ao diesel. Esses resultados assemelharam-se aos encontrados por COSTA NETO et al. (2000). Evidencia-se ainda que, em termos práticos, tal comportamento não afetou o desempenho do trator, uma vez que não influenciou na velocidade de trabalho e, conseqüentemente, na potência na barra.

## **2 Patinagem**

Verifica-se, na Tabela 9, que os fatores tempo de armazenamento e proporção de biodiesel não influenciaram na patinagem dos rodados. Registra-se que os valores de 9,3 e 9,7% se encontram dentro dos limites recomendados pela AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS (1989). Na referida recomendação, é previsto que, se a patinagem for muito baixa, pode ser indício de lastragem excessiva do trator ou exigência de força abaixo do ideal. Da mesma forma, quando a patinagem é além do recomendado, pode ser falta de lastragem ou exigência acima do ideal. É importante destacar que a ocorrência de ambos os casos se constitui fato negativo, pois, no primeiro caso, o trator é subutilizado e, no segundo, ocorre desgaste acelerado do conjunto, levando a quebras prematuras, principalmente em função dos picos de força frequentes em operações agrícolas.

## **3 Velocidade de deslocamento**

Verifica-se, na Tabela 9, que o tempo de armazenamento do biodiesel, bem como as proporções de mistura não influenciaram na velocidade de deslocamento do trator. Tais resultados são semelhantes aos encontrados por SORANSO et al. (2008) trabalhando com biodiesel de óleo residual de soja, com força média na barra de tração de 20 kN.

#### 4 Potência na barra de tração

Verifica-se, na Tabela 9, que fatores tempo de armazenamento e proporção de biodiesel não influenciaram na potência na barra de tração, cuja média foi 43 kW. Esse comportamento é explicado em função de a referida variável ser o produto da força, mantida próxima a 25 kN, com a velocidade que, no caso concreto, também não apresentou variação significativa. Estes resultados evidenciaram que o uso de biodiesel não afeta a potência disponível na barra de tração, pois a forma de compensação do menor poder calorífico do biodiesel é o aumento no consumo de combustível para que a potência na barra de tração não seja comprometida.

Na Tabela 10, encontram-se a síntese da análise de variância e o teste de médias, para as variáveis consumo horário volumétrico, consumo horário ponderal e consumo específico.

TABELA 10. Síntese da análise de variância e teste de médias para as variáveis consumo horário volumétrico (Chv), consumo horário ponderal (Chp) e consumo específico (Ce).

Fatores	Chv L h <sup>-1</sup>	Chp kg h <sup>-1</sup>	Ce G kWh <sup>-1</sup>
<b>Tempo de armazenamento (TA)</b>			
0 mês	19,3 a	16,4 a	386 a
3 meses	19,0 a	16,2 a	379 a
6 meses	19,3 a	16,4 a	382 a
<b>Proporção de Biodiesel (Bn)</b>			
B0	18,2 a	15,4 a	357 a
B5	18,7 b	15,8 ab	371 ab
B25	19,1 bc	16,3 b	375 b
B50	19,6 c	16,7 c	393 c
B100	20,4 d	17,7 d	415 d
<b>TESTE F</b>			
TA	2,79 <sup>NS</sup>	2,60 <sup>NS</sup>	1,88 <sup>NS</sup>
B <sub>n</sub>	37,24 <sup>**</sup>	53,98 <sup>**</sup>	40,53 <sup>**</sup>
TAxB <sub>n</sub>	0,61 <sup>NS</sup>	0,48 <sup>NS</sup>	0,82 <sup>NS</sup>
C.V.%	2,09	2,18	2,74

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

\*\* : significativo (P<0,01); \* : significativo (P<0,05); NS: não significativo; C.V.: coeficiente de variação.

## **5 Consumo horário volumétrico**

Pela Tabela 10, observa-se que o tempo de armazenamento não influenciou no consumo volumétrico de combustível. Porém, em relação à proporção de biodiesel, ao comparar B0 e B100, o consumo aumentou 10,7%. Esse aumento é função do menor poder calorífico do biodiesel em relação ao diesel, tornando-se necessário utilizar maior quantidade de combustível para realizar a mesma quantidade de trabalho.

Nota-se, ainda, que a partir de B5 ocorre acréscimo no consumo volumétrico, com este sendo semelhante ao B25, o B25 semelhante ao B50 e esse inferior ao B100.

Os resultados do presente trabalho condizem com os encontrados por MONYEM & VAN GESPEN (2001), PETERSON et al. (1996), OLIVEIRA & COSTA (2002) e SORANSO et al. (2008). Destaca-se que a importância de apresentar o consumo horário na forma volumétrica é uma informação que atende diretamente os agricultores, assim como todos aqueles sem acesso às medidas de laboratório.

## **6 Consumo horário ponderal**

Pela Tabela 10, nota-se que o consumo ponderal foi semelhante entre as proporções B0 e B5, com B5 sendo semelhante ao B25, com as demais proporções sendo diferentes e promovendo um maior consumo de combustível ponderal. Esta alteração, com B0 semelhante a B5, ocorreu quando corrigiu o efeito da densidade do biodiesel de dendê com base na temperatura do combustível, no momento do ensaio. Lembra-se que, para o funcionamento do motor, existe relação ideal entre massa de ar e massa de combustível, daí a necessidade de transformar a forma volumétrica em ponderal.

## **7 Consumo específico**

Pela Tabela 10, verifica-se que não houve diferença significativa para o consumo específico de biodiesel em função do tempo de armazenamento, como também



observado para os consumos volumétrico e ponderal. Isto pode ser explicado em função de o armazenamento por até seis meses não influenciar na qualidade do biodiesel a ponto de interferir no funcionamento do motor. Com relação às proporções de mistura, nota-se que o consumo foi semelhante ao ponderal, verificando-se que a partir da adição de 25% de biodiesel de dendê, ocorreu diferença significativa no consumo específico, quando comparado ao diesel. Todavia, comparando B0 a B100, o consumo aumentou 14%. Esse aumento deve-se ao menor poder calorífico do biodiesel em relação ao diesel. Tais resultados são semelhantes aos encontrados por LOPES et al. (2005) trabalhando com biodiesel residual de fritura filtrado e destilado, com aumento no consumo de B0 a B100 de 18%, valor maior do que o encontrado neste trabalho (14%), uma vez que a força exigida na barra de tração foi semelhante entre os experimentos.

A importância de expressar o consumo de combustível na forma específica é atender à comunidade científica e também a fabricantes de tratores e motores, pois, na referida modalidade, leva-se em consideração o volume de combustível, a densidade do mesmo e a potência desenvolvida na barra de tração. Por este motivo, tal modalidade é a maneira mais recomendada para comparar tratamentos.

O comportamento do consumo específico em função da proporção de mistura foi ajustado a um modelo linear de regressão e está ilustrado conforme Figura 10.

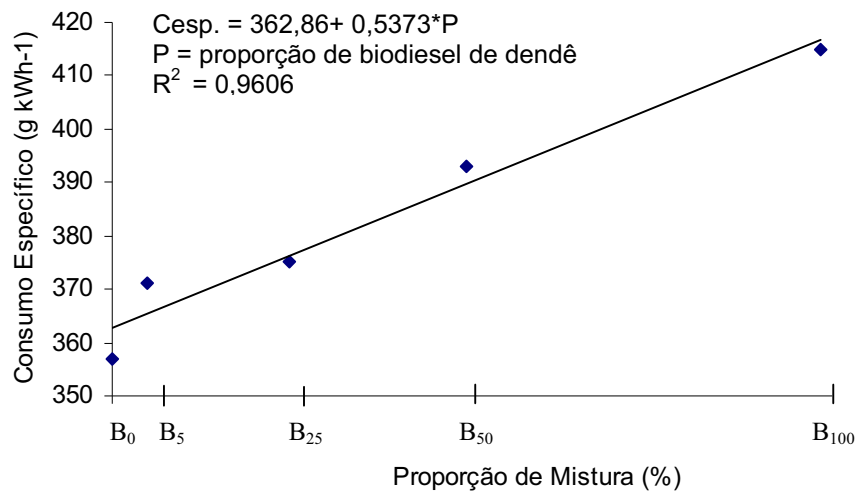


FIGURA 10. Modelo linear de regressão para o consumo específico em função da proporção de biodiesel.

#### 4 Ensaio IV – Opacidade da fumaça

Na Tabela 11, encontram-se os resultados da opacidade da fumaça. Na referida tabela, verifica-se que a opacidade da fumaça em função do tempo de armazenamento foi semelhante, evidenciando que o armazenamento por três ou seis meses não interfere na qualidade do combustível a ponto de influenciar na opacidade da fumaça do trator. Quando se avaliou a opacidade em função da proporção de mistura, houve redução significativa com o acréscimo de biodiesel a mistura, mesmo em pequenas quantidades, conforme observado na proporção B5, atingindo uma melhoria de 50,4% comparando B100 com B0. Esse fato é devido à menor emissão de material particulado quando se utiliza biodiesel, pois, no referido biocombustível, há a presença de oxigênio livre na molécula, e, sendo assim, aumenta a eficiência na combustão. Resultados semelhantes também foram observados por MAZZIERO et al. (2006).

TABELA 11. Síntese da análise de variância e teste de médias para a variável opacidade da fumaça.

Fatores	Opacidade
<b>Tempo de armazenamento (TA)</b>	(m <sup>-1</sup> )
0 mês	0,92 a
3 meses	0,88 a
6 meses	0,94 a
<b>Proporção de biodiesel (Bn)</b>	
B0	1,13 a
B5	1,07 b
B25	0,88 c
B50	0,72 d
B100	0,56 e
<b>TESTE F</b>	
TA	1,54 <sup>NS</sup>
B <sub>n</sub>	7456,21 <sup>**</sup>
TAxB <sub>n</sub>	0,98 <sup>NS</sup>
C.V.%	2,01

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.  
 \*\*: significativo (P<0,01); \*: significativo (P<0,05); NS: não significativo; C.V.: coeficiente de variação

O comportamento da opacidade da fumaça em função da proporção de mistura foi quadrático, conforme se nota na Figura 11.

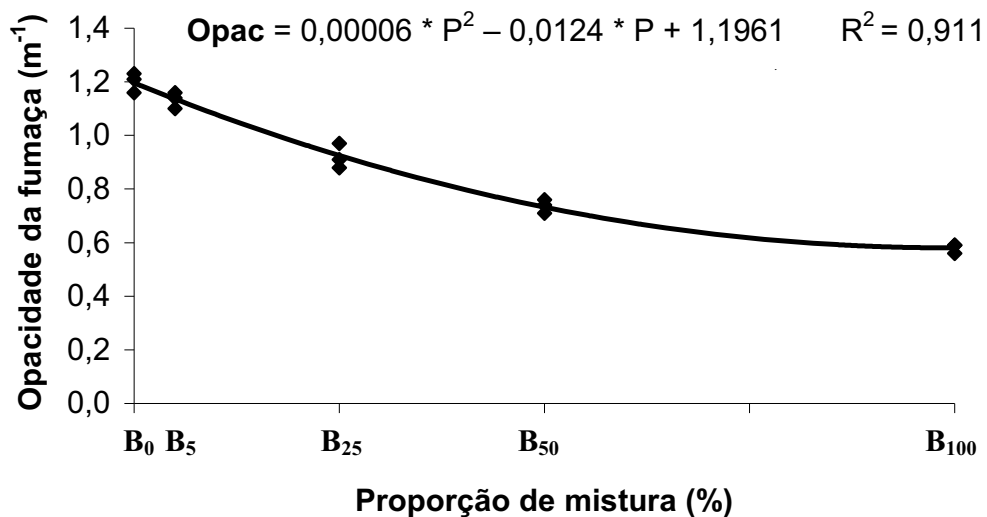


Figura 11. Modelo de regressão quadrática da opacidade da fumaça em função da proporção de mistura de biodiesel etílico destilado de dendê com diesel.

## V CONCLUSÕES

1. O comportamento da vazão da bomba de abastecimento foi semelhante com o uso de diesel, biodiesel de dendê, bem como nas proporções avaliadas.

2. A densidade do biodiesel de dendê foi maior que a do diesel, aumentou com a redução de temperatura e, em todas as situações testadas, atendeu às especificações da ANP.

3. A proporção de mistura diesel/biodiesel de dendê não comprometeu o funcionamento do motor do trator.

4. O aumento das proporções de biodiesel na mistura provocou redução na rotação do motor, sem reduzir a velocidade de trabalho e a potência na barra de tração

5. O incremento de biodiesel de dendê a partir de B25, comparado com B0, provocou aumento significativo no consumo específico de combustível do trator na operação de preparo do solo com escarificador.

6. Em relação ao B0, quando se utilizou biodiesel na proporção B100, o consumo específico de combustível aumentou em 14%, e a opacidade da fumaça reduziu em 50,4%.

7. O tempo de seis meses de armazenamento do biodiesel etílico destilado de dendê, em condição ambiente, não comprometeu a opacidade da fumaça de combustão e o desempenho do trator.

## VI REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOISSA óleos vegetais. Disponível em: <  
<http://www.aboissa.com.br/palma/prodmund.htm>>. Acesso em: 22 jan. 2008.

AGRIANUAL 2007: anuário da agricultura brasileira. São Paulo: Instituto FNP, 2007. p. 14- 21.

ALBUQUERQUE, G. A; CONCEIÇÃO, M. M.; SILVA, M. C. D.; SANTOS, I. M. G.; FERNANDES Jr., V.J. Avaliação Reológica e Caracterização Físico-Química do Biodiesel de Canola e Misturas. In: Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel, 1., 2006, Brasília. **Anais...** Brasília: SETEC/MCT/ABIPTI, 2006, p. 175 – 180.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Agricultural tractor test code. In: **ASAE standards 1989**: Standards engineering practices data. St. Joseph, 1989. p.44-8. (ASAE S209.5)

ANP – Agência Nacional do Petróleo. Disponível em:  
<http://www.anp.gov.br/biocombustiveis/biodiesel.asp>. Acesso em: 02 de junho de 2009.

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

BANZATTO, D.A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. 4<sup>a</sup> ed. Jaboticabal: FUNEP, 2006. 237 p.

BELMIRO, T.; FURLAN, J. J.; NODARI, A. Riqueza para a Amazônia, **Agroanalysis**, São Paulo, v. 27, n. 7, p 27- 28, jul. 2007.

BELTRÃO, N. E. M. Agronegócio das oleaginosas no Brasil. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 26, n. 229, p. 14-17, 2005.

BILICH, F.; DA SILVA, R. Análise da produção de biodiesel utilizando multicritério. Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel, 1., 2006, Brasília. **Anais...** Brasília: SETEC/MCT/ABIPTI, 2006, p. 18 – 23.

BIODIESEL I: balanço da União Europeia. **Agroanalysis**, São Paulo, v. 27, n. 8, p. 38, ago. 2007.

BRASIL. Agência Nacional de Petróleo. **Portaria nº 180, de dezembro de 1998**. Disponível em: <[www.anp.gov.br/petro/legis\\_biodiesel.asp](http://www.anp.gov.br/petro/legis_biodiesel.asp)>. Acesso em: 3 jan. 2003.

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. **Portaria nº 240, de 25 de agosto de 2003a**. Disponível em: <[www.anp.gov.br/petro/legis\\_biodiesel.asp](http://www.anp.gov.br/petro/legis_biodiesel.asp)>. Acesso em: 9 jun. 2003.

BRASIL. Agência Nacional de Petróleo. **Portaria nº 03, de 15 de setembro de 2003b**. Disponível em: <[www.anp.gov.br/petro/legis\\_biodiesel.asp](http://www.anp.gov.br/petro/legis_biodiesel.asp)>. Acesso em: 9 jan. 2006.

BRASIL. Agência Nacional de Petróleo. **Resolução nº 41, 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: 28 mar. 2005.

BRASIL. Agência Nacional de Petróleo. **Resolução nº 42, de 24 de setembro de 2004b**. Disponível em: <[www.anp.gov.br/petro/legis\\_biodiesel.asp](http://www.anp.gov.br/petro/legis_biodiesel.asp)>. Acesso em: 7 jan. 2006.

BRASIL. Agência Nacional de Petróleo. **Resolução do Conselho Nacional de Política Energética nº 3, de 23 de setembro de 2005a**. Disponível em: <[www.anp.gov.br/petro/legis\\_biodiesel.asp](http://www.anp.gov.br/petro/legis_biodiesel.asp)>. Acesso em: 10 jan. 2006.

BRASIL. Agência Nacional de Petróleo. **Resolução nº 15, de 17 de julho de 2006a**. Disponível em: <[www.anp.gov.br/petro/legis](http://www.anp.gov.br/petro/legis)>. Acesso em: 20 set. 2007.

BRASIL. Agência Nacional de Petróleo. **Resolução nº 45, de 11 de dezembro de 2007a**. Disponível em: <[www.anp.gov.br/petro/legis\\_biodiesel.asp](http://www.anp.gov.br/petro/legis_biodiesel.asp)>. Acesso em: 7 abr. 2009.

BRASIL. Agência Nacional de Petróleo. **Resolução nº 18, de 22 de junho de 2007b**. Disponível em: <[www.anp.gov.br/petro/legis\\_biodiesel.asp](http://www.anp.gov.br/petro/legis_biodiesel.asp)>. Acesso em: 7 abr. 2009.

BRASIL. Agência Nacional de Petróleo. **Resolução nº 34, de 1º de novembro de 2007c**. Disponível em: <[www.anp.gov.br/petro/legis\\_biodiesel.asp](http://www.anp.gov.br/petro/legis_biodiesel.asp)>. Acesso em: 7 abr. 2009.

BRASIL. Agência Nacional de Petróleo. **Resolução nº 07, de 19 de março de 2008**. Disponível em: <[www.anp.gov.br/petro/legis\\_biodiesel.asp](http://www.anp.gov.br/petro/legis_biodiesel.asp)>. Acesso em: 7 abr. 2009.

BRASIL. **Decreto nº 5.297, de 6 de dezembro de 2004d**. Disponível em: <[www.planalto.gov.br](http://www.planalto.gov.br)>. Acesso em: 10 jan. 2006.

BRASIL. **Decreto nº 5.457, de 7 de junho de 2005b**. Disponível em: <[www.planalto.gov.br](http://www.planalto.gov.br)>. Acesso em: 19 jan. 2006.

BRASIL. **Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997**. Disponível em: <[www.planalto.gov.br](http://www.planalto.gov.br)>. Acesso em: 7 jan. 2002.

BRASIL. **Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005c.** Disponível em: <[www.planalto.gov.br](http://www.planalto.gov.br)>. Acesso em: 21 fev. 2006.

BRASIL. **Lei nº 11.116, de 18 de maio de 2005d.** Disponível em: <[www.planalto.gov.br](http://www.planalto.gov.br)>. Acesso em: 19 jan. 2006.

BRASIL. **Medida Provisória nº 214, de 13 de setembro de 2004e.** Disponível em: <[www.planalto.gov.br](http://www.planalto.gov.br)>. Acesso em: 10 jan. 2006.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Portaria Ministerial nº 702, de 30 de outubro de 2002.** Disponível em: <[www.mct.gov.br/legis/legis/portarias](http://www.mct.gov.br/legis/legis/portarias)>. Acesso em: 7 jan. 2003.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Portaria Ministerial nº 1.265, de 24 de julho de 2003c.** Disponível em: <[www.mct.gov.br/legis/portarias](http://www.mct.gov.br/legis/portarias)>. Acesso em: 7 jan. 2006.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Portaria Ministerial nº 31, de 10 de janeiro de 2004f.** Disponível em: <[www.mct.gov.br/legis/portarias](http://www.mct.gov.br/legis/portarias)>. Acesso em: 7 jan. 2006.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Portaria Ministerial nº 483, de 3 de outubro de 2005e.** Disponível em: <[www.anp.gov.br/petro/legis\\_biodiesel.asp](http://www.anp.gov.br/petro/legis_biodiesel.asp)>. Acesso em: 10 jan. 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Nacional de Agroenergia 2006- 2011.** 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006b. p. 96-98.



BROCK, J.; NOGUEIRA, M.R.; ZAKRZEWSKI, C.; CORAZZA, F.C.; CORAZZA, M.L.; OLIVEIRA, J.V. de. Determinação experimental da viscosidade e condutividade térmica de óleos vegetais. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 3, p. 564-570, 2008.

BUENO, L. de S. R.; VELÁSQUEZ, J. A. Estudo da Influência da Composição do Biodiesel Sobre o Atraso de Ignição de Misturas B10 no Motor. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 2., 2007, Brasília. **Anais...** Brasília: SETEC/MCT/ABIPTI, 2007. 1 CD-ROM.

CAMARA, F. T.; LOPES, A.; DABDOUB, M. J.; BORSATTO, E. A.; ZANOTTO, R. P. C.; REIS, G. N. Biodiesel de dendê: opacidade da fumaça de um trator agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL- "BIODIESEL: COMBUSTÍVEL ECOLÓGICO", 4., 2007, Varginha. **Anais...** Lavras: UFLA, 2007. p. 586-591.

CARNEIRO, R. A. F. A produção de biodiesel na Bahia. **Conjuntura & Planejamento**, Salvador, n. 112, 2003.

CARVALHO, T.S.; PEROBELLI, F.S. Avaliação da intensidade de emissões de CO<sub>2</sub> setoriais e na estrutura de exportações: um modelo inter-regional de insumo-produto São Paulo/restante do Brasil. **Economia Aplicada**, Ribeirão Preto, v.13, n.1, p.99-124, 2009.

CASTELLANELLI, M.; SOUZA, S.N.M.; SILVA, S.L.; KAILER, E.K. Desempenho de motor ciclo diesel em bancada dinâmométrica utilizando misturas diesel/biodiesel. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.1, p.145-153, 2008.

CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 7, de 31 de agosto de 1993.** Disponível em:

<[http://www.ibama.gov.br/ambtec/legislacao/7\\_1993\\_Proconve\\_prog\\_Insp\\_Manut\\_Veic.doc](http://www.ibama.gov.br/ambtec/legislacao/7_1993_Proconve_prog_Insp_Manut_Veic.doc)>. Acesso em: 22 jan. 2008.

CONDE, A. P. **Desempenho de motor ciclo diesel alimentado com biodiesel de óleo de soja e oliva**. 2007. 66 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola, Máquinas e Automação Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

CONTROLE do aquecimento ainda tem custo baixo. **Estado de Minas**, Belo Horizonte, 1º maio 2007. *Ciência*, p. 18. c, 1- 3.

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

CORTEZ, J. W.; GROTTA, D. C. C.; REIS, G. N.; FURLANI, C. E. A.; LOPES, A.; DABDOUB, J. M. Biodiesel x Velocidade: desempenho de um trator agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL- “BIODIESEL: combustível ecológico”, 4., 2007, Varginha. **Anais...** Lavras: UFLA, 2007. p. 525- 530.

COSTA, F. C.; HOESCHL, H. C. Gestão do conhecimento na cadeia produtiva de Biodiesel. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 1., 2006, Brasília **Anais...** 2006

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**, Curitiba, v. 23, n. 4, p. 531-537, 2000.

CRUZ, R. S.; PIRES, M. M.; NETO, J. A. A.; ALVES, J. M. A.; ROBRA, S.; SOUZA, G. S.; ALMEIDA, C. M.; SOARES, S. M.; XAVIER, G. S. Biodiesel: uma nova realidade energética no Brasil. **Bahia Análise & Dados**, Salvador, v. 16, n. 1, p. 97- 106, 2006.

D'AGOSTO, M. A. **Análise da eficiência da cadeia energética para as principais fontes utilizadas em veículos rodoviários no Brasil**. 2004. 259 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/biocombustiveis/biodiesel.asp>> Acesso em: 23 jan. 2008.

DUNN, R. O. Cold weather properties and performance of biodiesel. In: KNOTHE, G.; GERPEN, H. V.; KRAHL, J. (Ed.) **The biodiesel handbook**. Illinois: AOCS PRESS, 2005. cap. 6.3.

EMBRAPA. 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.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro nacional de pesquisas de solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 1999. 412 p.

FAGUNDES, F. P.; BEZERRA, J. P.; GARCIA, M. A.; MEDEIROS, A. C. R.; BORGES, M. R.; GARCIA, R. B.; COSTA, M. Avaliação das propriedades do óleo de mamona na produção de biocombustível. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS, 3., Salvador, 2005. **Anais...** Salvador: IBP, 2005. Disponível em: [http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/3/trabalhos/IBP0617\\_05.pdf](http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/3/trabalhos/IBP0617_05.pdf). Acesso em: 20 de jan. 2009.

FENKER, E. **Sustentabilidade**: considerações socioeconômicas do impacto ambiental. Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br/noticias/index.php3?action=ler&id=35949>>. Acesso em: 3 jan. 2008.

FERRARI, R. A.; OLIVEIRA, V. S.; SCABIO, A. Estabilidade oxidativa de biodiesel de ésteres etílicos de ácidos graxos de soja. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.62, n.3, p.291-295, 2005.

FERRARI, R. A.; SOUZA, W.L. Avaliação da estabilidade oxidativa de biodiesel de óleo de girassol com antioxidantes. **Química Nova**, Campinas, v.32, n.1, p.106-111, 2009.

HOLANDA, A. **Biodiesel: Combustível para a cidadania**. Brasília: Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações, 2004. p. 23-60.

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

KNOTHE, G. Oxidative stability of biodiesel. In: KNOTHE, G.; GERPEN, H. V.; KRAHL, J. (Ed.) **The biodiesel handbook**. Illinois: AOCS PRESS, 2005b. cap. 6.4.

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

LAURINDO, J.C. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOCOMBUSTÍVEIS LÍQUIDOS, 1998, Curitiba, PR. **Anais...** p. 22.

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

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

LOPES, A.; SILVA, R.P.; FURLANI, C.E.A.; CASTRO NETO, P.; FRAGA, A.C.; REIS, G.N.; NAGAOKA, A.K. Potencialidades do Biodiesel no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS VEGETAIS E BIODIESEL, 1., Varginha, 2004. **Anais...** Varginha: UFLA, 2004a. 1 CD-ROM.

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 e de petróleo. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 3., 2004, Belém. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Ciências Mecânicas, 2004b. 1 CD-ROM.

LOPES, A.; REIS, G. N. dos; DABDOUB, M. J.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P. da; CAMARA, F. T.; BATISTA, A. C. F. Biodiesel filtrado x biodiesel destilado: uso em trator agrícola Biodiesel filtrado X biodiesel dstilado: uso em trator agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 34., 2005, Canoas. **Anais...** Jaboticabal: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2005. 1 CD-ROM.

LUCON, O.; GOLDEMBERG, J. Crise financeira, energia e sustentabilidade no Brasil. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 23, n. 65, p. 121 – 130, 2009.

MAIA, R.; CORREA, E.; CORREIA, E.; ROBERTO, J.; CHAVES, S.; DABDOUB, M. J.; TREVISAN, J. E.; NAGAOKA, A. K.; NETO, P. C.; FRAGA, A. C. Desempenho de um motor ciclo diesel quatro tempos usando 100% de biodiesel. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL-“BODIESEL: combustível ecológico”, 4., 2007, Varginha. **Anais...** Lavras: UFLA, 2007. p. 1.984- 1.989.

MAZIERO, J. V. G.; CORREA, I. M.; TRIELLI, M. A.; BERNARDI, J. A.; D'AGOSTINHO, M. F. Avaliação de emissões poluentes de um motor diesel utilizando biodiesel de

girassol como combustível, **Engenharia na Agricultura**, São Paulo, v. 14, n. 4, p. 287-292, 2006.

MIALHE, L. G. **Máquinas motoras na agricultura**. São Paulo: EPU, 1980. v.1.

MIRAGAYA, J. C. G. Biodiesel: tendências no mundo e no Brasil. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 26, n. 229, p. 7-13, 2005.

MONYEM, A.; VAN GERPEN, J.H. The effect of Biodiesel oxidation on engine performance and emissions. **Biomass and Bioenergy**, v.20, p.317-325, 2001.

NASCIMENTO, J. E.; DALLAN, J. C. F. O consumo e a produção de biodiesel e a necessidade de ações mitigadoras de efeito estufa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL- "BIODIESEL: COMBUSTÍVEL ECOLÓGICO", 4., 2007, Varginha. **Anais...** Lavras: UFLA, 2007. p. 73-83.

O FRUTO da Guiné. **Anuário Brasileiro da Agroenergia**, São Paulo, v. 12, n. 45, p. 5-15, 2007.

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, 2002. v.1, p.445-53.

OSWALDO LUCON, O.; GOLDEMBERG, J. Crise financeira, energia e sustentabilidade no Brasil. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 23, n.65, 2009.

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

PEREIRA, D. P.; DANTAS, A. A. A. Potencial de redução da poluição do ar causada pelas emissões de motores diesel, com a implementação do biodiesel. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL- "BIODIESEL: COMBUSTÍVEL ECOLÓGICO", 4., 2007, Varginha. **Anais...** Lavras: UFLA, 2007. p. 383-397.

PERES, S.; SCHULER, A.; ALMEIDA, C.H.T.; SOARES, M.B.; CAMPOS, R.; LUCENA, A. Caracterização e Determinação do Poder Calorífico e do Número de Cetano de Vários Tipos de Biodiesel Através da Cromatografia In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 2., 2007, Brasília. **Anais...** Brasília: SETEC/MCT/ABIPTI, 2007. 1 CD-ROM.

PETERSON, L.; REECE, D.L.; THOMPSON, J.C.; BECK, S.M.; CHASE, C. Ethyl ester of rapeseed used as a Biodiesel fuel – a case study. **Biomass and Bioenergy**, Moscow, v.10, n. 5/6, p. 331-345, 1996.

PIMENTEL GOMES, F. **A estatística moderna na pesquisa agropecuária**. 3. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 162 p.

PIMENTEL, V. S. B.; BELCHIOR, C. P. R. Análise e diagnose de diesel geradores operando com óleo de dendê "in- natura". Disponível em: <<http://paginas.agr.unicamp.br/energia/agre2002/pdf/0084.pdf>>. Acesso em: 28 jan. 2008.

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.

RINALDI, R.; GARCIA, C.; MARCINIUK, L.L.; ROSSI, A.V.;SCHUCHARDT, U. Síntese de biodiesel: uma proposta contextualizada de experimento para laboratório de química geral. **Química Nova**, Campinas, v. 30, n. 5, p. 1374-1.380, 2007.

SANTANA, G. C. S.; ANDRADE, T. C. Q.; FLORÊNCIO, A. Oleaginosas para produção de biodiesel no Estado da Bahia a partir da agricultura familiar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL- “BIODIESEL: COMBUSTÍVEL ECOLÓGICO”, 4., 2007, Varginha. **Anais...** Lavras: UFLA, 2007. p. 1.217-1.226.

SANTOS, M. A. **Inserção do biodiesel na matriz energética brasileira: aspectos técnicos e ambientais relacionados ao seu uso em motores de combustão.** 2007. 118 f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Faculdade de Economia e Administração da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007. Disponível em: <[http://www.iee.usp.br/biblioteca/producao/2007/Teses/Mauro\\_Dissertacao.pdf](http://www.iee.usp.br/biblioteca/producao/2007/Teses/Mauro_Dissertacao.pdf)>. Acesso em: 22 jan. 2008.

SANTOS, N. R. **Dendeicultura no Estado do Amazonas: viabilidade econômica, social e ambiental, utilização do óleo de dendê como fonte alternativa de energia e considerações sobre incentivos governamentais e a pesquisas.** 2005. 22f. Monografia (Trabalho de conclusão do curso de Economia) - Instituto de Economia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005. Disponível em: <<http://www.pet.ie.ufu.br/artigos2005.htm>> . Acesso em: 10 fev. 2009.

SANTOS, G. L.; INOUE, G. H.; FERNANDES, H. C.; VIEIRA, L. B.; LACERDA FILHO, A. F. Avaliação do desempenho de um motor diesel de baixa potência alimentado com mistura de óleo de soja refinado e óleo diesel. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL- “BIODIESEL: COMBUSTÍVEL ECOLÓGICO”, 4., 2007, Varginha. **Anais...** Lavras: UFLA, 2007. p. 1981- 1989.



SÃO PAULO (Estado). Secretaria da Agricultura e Abastecimento. Câmara Setorial de Biocombustíveis do Estado de São Paulo. Resolução RAA-13, de 30 de junho de 2004.

**Diário Oficial do Estado de São Paulo**, São Paulo, v. 114, n. 122, seção I, 2004.

SATURNINO, H. M.; PACHECO, D. D.; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N.; GONÇALVES, N. P. Cultura do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 26, n. 229, p. 44-78, 2005.

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

SORANSO, A.M.; GABRIEL FILHO, A.; LOPES, A.; SOUZA, E.G. De, DABDOUB, M.J.; FURLANI, C.E.A.; CAMRA, F.T. Desempenho dinâmico de um trator agrícola utilizando biodiesel destilado de óleo residual. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 5, p. 553-559, 2008.

TECNOMOTOR, Tecnomotor Eletrônica do Brasil Ltda., OPACER TM 133 Opacímetro de amostragem. **Manual de Operação**. São Carlos, 2001. Ed. 07/01, 26 p.

TEIXEIRA, L. C. Potencialidades de oleaginosas para produção de biodiesel. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 26, n. 229, p. 18-27, 2005.

UNESP. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”– CÂMPUS DE JABOTICABAL. Departamento de Ciências Exatas: Estação meteorológica -Dados normais. 2006. Disponível em: <[www.fcav.unesp.br](http://www.fcav.unesp.br)>. Acesso em: 7-1-2006.

## APÊNDICE

## APÊNDICE A. Especificações técnicas dos tratores.

Item		Trator 1	Trator 2
Marca		VALTRA	VALTRA
Modelo		BM 100	BH 140
Motor			
Marca		Valtra	Valtra
Modelo		420DS	
Tipo		Turboalimentado	Turboalimentado
Arrefecimento		Líquido	Líquido
Cilindrada		4.400 cm <sup>3</sup>	6.600 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		2.300 rpm	2.400 rpm
Torque máximo		367 Nm	475 Nm
Rotação de torque máximo		1.400 rpm	1.400 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		2.525 mm	2.763 mm
Bitola máxima		2.240 mm	2.128 mm
Altura da barra de tração		400 mm	400 mm
Distribuição de massa	Dianteiro	1.406 kg	2.020 kg
Trator sem lastro	Traseiro	2.109 kg	3.030 kg
	Total	3.515 kg	5.050 kg
Distribuição de massa	Dianteiro	2.160 kg	2.930 kg
Trator com lastro	Traseiro	3.240 kg	4.395 kg
	Total	5.400 kg	7.325 kg

APÊNDICE B1. Ensaio original de opacidade da fumaça do trator funcionando com diesel (novo).

#### Dados do veículo

Fabricante: VALTRA DO BRASIL, CATEGORIA MÁQUINAS AGRÍCOLAS

Trator BM100, Ano: a partir de 1995

Combustível: Diesel (novo)

#### Dados da inspeção

Data: 15-5-2007

Horário: 15h50 às 16h05

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	
1	900	2.300	1,35	1,42	1,14	2,00
2	900	2.300	1,33	1,21	1,22	2,00
3	900	2.300	1,21	1,27	1,16	2,00
4	900	2.300	1,23	1,20	1,26	2,00
5	900	2.300	1,10	1,12	1,25	2,00
6	900	2.300	1,20	1,23	1,18	2,00
7	900	2.300	1,31	1,25	1,24	2,00
8	900	2.300	-	-	-	2,00
9	900	2.300	-	-	-	2,00
10	-	-	-	-	-	2,00
Média em cada repetição			1,21	1,20	1,23	
<b>Média geral da opacidade</b>			<b>1,21 (m<sup>-1</sup>)</b>			

#### OBSERVAÇÕES SOBRE O TESTE

##### 1 Resultados do teste de aceleração:

a) Rotação de marcha lenta: 900 rpm

b) Rotação de corte: 2.300 rpm

##### 2 Condições do teste:

a) Umidade relativa:

b) Temperatura do ar:

c) Pressão atmosférica: 94,2 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 B2. Ensaio original de opacidade da fumaça do trator funcionando com Biodiesel etílico destilado de óleo de dendê (novo) – B5.

#### Dados do veículo

Fabricante: VALTRA DO BRASIL, CATEGORIA MÁQUINAS AGRÍCOLAS

Trator BM100, Ano: a partir de 1995

Combustível: Biodiesel etílico destilado de óleo de dendê (novo) – B5

#### Dados da inspeção

Data: 15-5-2007

Horário: 16h10 às 16h20

Código do inspetor: LAMMA-UNESP-JABOTICABAL

#### Medição da opacidade

Amostra	Rotação de marcha lenta	Rotação de corte rpm	Repetições da opacidade			Máximo
	Rpm		R1	R2	R3	
1	900	2.300	1,25	1,26	1,29	2,00
2	900	2.300	1,20	1,18	1,19	2,00
3	900	2.300	1,18	1,11	1,10	2,00
4	900	2.300	1,16	1,10	1,13	2,00
5	900	2.300	1,21	1,10	1,18	2,00
6	900	2.300	1,16	1,19	1,31	2,00
7	900	2.300	1,17	1,22	1,11	2,00
8	900	2.300	-	-	-	2,00
9	900	2.300	-	-	-	2,00
10	-	-	-	-	-	2,00
Média em cada repetição			1,17	1,15	1,10	
<b>Média geral da opacidade</b>			<b>1,14 (m<sup>-1</sup>)</b>			

#### OBSERVAÇÕES SOBRE O TESTE

##### 1 Resultados do teste de aceleração:

a) Rotação de marcha lenta: 900 rpm;

b) Rotação de corte: 2.300 rpm.

##### 2 Condições do teste:

a) Umidade Relativa:

b) Temperatura do ar:

c) Pressão atmosférica: 94,2 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 B3. Ensaio original de opacidade da fumaça do trator funcionando com Biodiesel etílico destilado de óleo de dendê (novo) – B25.

#### Dados do veículo

Fabricante: VALTRA DO BRASIL, CATEGORIA MÁQUINAS AGRÍCOLAS

Trator BM100, Ano: a partir de 1995

Combustível: Biodiesel etílico destilado de óleo de dendê (novo) – B25

#### Dados da inspeção

Data: 15-5-2007

Horário: 16h30 às 16h45

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	
1	900	2.300	1,09	1,04	1,09	2,00
2	900	2.300	1,10	0,98	1,04	2,00
3	900	2.300	1,06	1,02	0,98	2,00
4	900	2.300	0,90	0,91	0,89	2,00
5	900	2.300	0,96	0,93	0,93	2,00
6	900	2.300	0,88	0,94	0,86	2,00
7	900	2.300	0,87	0,86	0,97	2,00
8	900	2.300	-	-	-	2,00
9	900	2.300	-	-	-	2,00
10	-	-	-	-	-	2,00
Média em cada repetição			0,90	0,91	0,91	
<b>Média geral da opacidade</b>			<b>0,91 (m<sup>-1</sup>)</b>			

#### OBSERVAÇÕES SOBRE O TESTE

##### 1 Resultados do teste de aceleração:

a) Rotação de marcha lenta: 900 rpm;

b) Rotação de corte: 2.300 rpm.

##### 2 Condições do teste:

a) Umidade Relativa:

b) Temperatura do ar:

c) Pressão atmosférica: 94,2 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 B4. Ensaio original de opacidade da fumaça do trator funcionando com Biodiesel etílico destilado de óleo de dendê (novo) – B50.

#### Dados do veículo

Fabricante: VALTRA DO BRASIL, CATEGORIA MÁQUINAS AGRÍCOLAS

Trator BM100, Ano: a partir de 1995

Combustível: Biodiesel etílico destilado de óleo de dendê (novo) – B50

#### Dados da inspeção

Data: 15-5-2007

Horário: 16h55 às 17h15

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	
1	900	2.300	0,77	0,77	0,80	2,00
2	900	2.300	0,81	0,72	0,78	2,00
3	900	2.300	0,80	0,63	0,74	2,00
4	900	2.300	0,76	0,73	0,75	2,00
5	900	2.300	0,70	0,72	0,73	2,00
6	900	2.300	0,78	0,72	0,74	2,00
7	900	2.300	0,76	0,75	0,69	2,00
8	900	2.300	-	-	-	2,00
9	900	2.300	-	-	-	2,00
10	-	-	-	-	-	2,00
Média em cada repetição			0,75	0,73	0,73	
<b>Média geral da opacidade</b>			<b>0,74 (m<sup>-1</sup>)</b>			

#### OBSERVAÇÕES SOBRE O TESTE

##### 1 Resultados do teste de aceleração:

a) Rotação de marcha lenta: 900 rpm;

b) Rotação de corte: 2.300 rpm.

##### 2 Condições do teste:

a) Umidade Relativa:

b) Temperatura do ar:

c) Pressão atmosférica: 94,2 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 B5. Ensaio original de opacidade da fumaça do trator funcionando com Biodiesel etílico destilado de óleo de dendê (novo) – B100.

#### Dados do veículo

Fabricante: VALTRA DO BRASIL, CATEGORIA MÁQUINAS AGRÍCOLAS

Trator BM100, Ano: a partir de 1995

Combustível: Biodiesel etílico destilado de óleo de dendê (novo) – B100

#### Dados da inspeção

Data: 15-5-2007

Horário: 17h30 às 17h45

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	
1	900	2.300	0,68	0,66	0,59	2,00
2	900	2.300	0,66	0,58	0,60	2,00
3	900	2.300	0,62	0,62	0,52	2,00
4	900	2.300	0,59	0,68	0,56	2,00
5	900	2.300	0,61	0,55	0,61	2,00
6	900	2.300	0,62	0,60	0,51	2,00
7	900	2.300	0,61	0,61	0,53	2,00
8	900	2.300	-	-	-	2,00
9	900	2.300	-	-	-	2,00
10	-	-	-	-	-	2,00
Média em cada repetição			0,61	0,61	0,55	
<b>Média geral da opacidade</b>			<b>0,59 (m<sup>-1</sup>)</b>			

#### OBSERVAÇÕES SOBRE O TESTE

##### 1 Resultados do teste de aceleração:

a) Rotação de marcha lenta: 900 rpm;

b) Rotação de corte: 2.300 rpm.

##### 2 Condições do teste:

a) Umidade Relativa:

b) Temperatura do ar:

c) Pressão atmosférica: 94,2 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 B6. Ensaio original de opacidade da fumaça do trator funcionando com diesel (três meses armazenado).

#### Dados do veículo

Fabricante: VALTRA DO BRASIL, CATEGORIA MÁQUINAS AGRÍCOLAS

Trator BM100, Ano: a partir de 1995

Combustível: Diesel (três meses armazenado)

#### Dados da inspeção

Data: 20-8-2007

Horário: 14h40 às 14h55

Código do inspetor: LAMMA-UNESP-JABOTICABAL

#### Medição da opacidade

Amostra	Rotação de marcha lenta	Rotação de corte rpm	Repetições da opacidade			Máximo
	Rpm		R1	R2	R3	
1	900	2.300	1,32	1,63	1,54	2,00
2	900	2.300	1,23	1,19	1,34	2,00
3	900	2.300	1,18	1,23	1,23	2,00
4	900	2.300	1,14	1,12	1,15	2,00
5	900	2.300	1,16	1,10	1,18	2,00
6	900	2.300	1,20	1,15	1,22	2,00
7	900	2.300	1,14	1,13	1,19	2,00
8	900	2.300	-	-	-	2,00
9	900	2.300	-	-	-	2,00
10	-	-	-	-	-	2,00
Média em cada repetição			1,16	1,13	1,19	
<b>Média geral da opacidade</b>			<b>1,16 (m<sup>-1</sup>)</b>			

#### OBSERVAÇÕES SOBRE O TESTE

##### 1 Resultados do teste de aceleração:

a) Rotação de marcha lenta: 900 rpm;

b) Rotação de corte: 2.300 rpm.

##### 2 Condições do teste:

a) Umidade relativa:

b) Temperatura do ar:

c) Pressão atmosférica: 94,2 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 B7. Ensaio original de opacidade da fumaça do trator funcionando com Biodiesel etílico destilado de óleo de dendê (três meses armazenado) – B5.

#### Dados do veículo

Fabricante: VALTRA DO BRASIL, CATEGORIA MÁQUINAS AGRÍCOLAS

Trator BM100, Ano: a partir de 1995

Combustível: Biodiesel etílico destilado de óleo de dendê (três meses armazenado) – B5

#### Dados da inspeção

Data: 20-8-2007

Horário: 14h10 às 14h30

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	900	2.300	1,23	1,26	1,28	2,00
2	900	2.300	1,18	1,13	1,24	2,00
3	900	2.300	1,14	1,14	1,15	2,00
4	900	2.300	1,14	1,09	1,17	2,00
5	900	2.300	1,11	1,17	1,09	2,00
6	900	2.300	1,06	1,11	1,11	2,00
7	900	2.300	1,04	1,10	1,12	2,00
8	900	2.300	-	-	-	2,00
9	900	2.300	-	-	-	2,00
10	-	-	-	-	-	2,00
Média em cada repetição			1,08	1,12	1,12	
<b>Média geral da opacidade</b>			<b>1,11 (m<sup>-1</sup>)</b>			

#### OBSERVAÇÕES SOBRE O TESTE

##### 1 Resultados do teste de aceleração:

a) Rotação de marcha lenta: 900 rpm;

b) Rotação de corte: 2.300 rpm.

##### 2 Condições do teste:

a) Umidade Relativa:

b) Temperatura do ar:

c) Pressão atmosférica: 94,2 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 B8. Ensaio original de opacidade da fumaça do trator funcionando com Biodiesel etílico destilado de óleo de dendê (três meses armazenado) – B25.

#### Dados do veículo

Fabricante: VALTRA DO BRASIL, CATEGORIA MÁQUINAS AGRÍCOLAS

Trator BM100, Ano: a partir de 1995

Combustível: Biodiesel etílico destilado de óleo de dendê (três meses) – B25

#### Dados da inspeção

Data: 20-8-2007

Horário: 15h25 às 15h50

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	900	2.300	1,06	0,98	0,95	2,00
2	900	2.300	0,92	1,02	0,92	2,00
3	900	2.300	0,85	0,94	0,96	2,00
4	900	2.300	0,71	0,91	0,87	2,00
5	900	2.300	0,88	0,86	0,89	2,00
6	900	2.300	0,87	0,93	0,83	2,00
7	900	2.300	0,85	0,87	0,84	2,00
8	900	2.300	-	-	-	2,00
9	900	2.300	-	-	-	2,00
10	-	-	-	-	-	2,00
Média em cada repetição			0,88	0,89	0,86	
<b>Média geral da opacidade</b>			<b>0,88 (m<sup>-1</sup>)</b>			

#### OBSERVAÇÕES SOBRE O TESTE

##### 1 Resultados do teste de aceleração:

a) Rotação de marcha lenta: 900 rpm;

b) Rotação de corte: 2.300 rpm.

##### 2 Condições do teste:

a) Umidade Relativa:

b) Temperatura do ar:

c) Pressão atmosférica: 94,2 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 B9. Ensaio original de opacidade da fumaça do trator funcionando com Biodiesel etílico destilado de óleo de dendê (três meses armazenado) – B50.

#### Dados do veículo

Fabricante: VALTRA DO BRASIL, CATEGORIA MÁQUINAS AGRÍCOLAS

Trator BM100, Ano: a partir de 1995

Combustível: Biodiesel etílico destilado de óleo de dendê (três meses) – B50

#### Dados da inspeção

Data: 20-8-2007

Horário: 15h00 às 15h20

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	900	2.300	0,84	1,05	0,89	2,00
2	900	2.300	0,70	0,81	0,79	2,00
3	900	2.300	0,76	0,85	0,77	2,00
4	900	2.300	0,75	0,68	0,73	2,00
5	900	2.300	0,74	0,76	0,75	2,00
6	900	2.300	0,62	0,65	0,69	2,00
7	900	2.300	0,67	0,80	0,72	2,00
8	900	2.300	-	-	-	2,00
9	900	2.300	-	-	-	2,00
10	-	-	-	-	-	2,00
Média em cada repetição			0,69	0,72	0,72	
<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: 900 rpm;

b) Rotação de corte: 2.300 rpm.

##### 2 Condições do teste:

a) Umidade Relativa:

b) Temperatura do ar:

c) Pressão atmosférica: 94,2 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 B10. Ensaio original de opacidade da fumaça do trator funcionando com Biodiesel etílico destilado de óleo de dendê (três meses armazenado) – B100.

#### Dados do veículo

Fabricante: VALTRA DO BRASIL, CATEGORIA MÁQUINAS AGRÍCOLAS

Trator BM100, Ano: a partir de 1995

Combustível: Biodiesel etílico destilado de óleo de dendê (três meses) – B100

#### Dados da inspeção

Data: 20-8-2007

Horário: 13h55 às 14h05

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	900	2.300	0,55	0,59	0,58	2,00
2	900	2.300	0,43	0,52	0,56	2,00
3	900	2.300	0,44	0,58	0,62	2,00
4	900	2.300	0,54	0,52	0,56	2,00
5	900	2.300	0,53	0,67	0,58	2,00
6	900	2.300	0,51	0,56	0,54	2,00
7	900	2.300	0,57	0,61	0,55	2,00
8	900	2.300	-	-	-	2,00
9	900	2.300	-	-	-	2,00
10	-	-	-	-	-	2,00
Média em cada repetição			0,54	0,59	0,56	
<b>Média geral da opacidade</b>			<b>0,56 (m<sup>-1</sup>)</b>			

#### OBSERVAÇÕES SOBRE O TESTE

##### 1 Resultados do teste de aceleração:

a) Rotação de marcha lenta: 900 rpm;

b) Rotação de corte: 2.300 rpm.

##### 2 Condições do teste:

a) Umidade Relativa:

b) Temperatura do ar:

c) Pressão atmosférica: 94,2 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 B11. Ensaio original de opacidade da fumaça do trator funcionando com diesel (seis meses armazenado).

#### Dados do veículo

Fabricante: VALTRA DO BRASIL, CATEGORIA MÁQUINAS AGRÍCOLAS

Trator BM100, Ano: a partir de 1995

Combustível: Diesel (seis meses armazenado)

#### Dados da inspeção

Data: 23-11-2007

Horário: 13h25 às 13h35

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	
1	900	2.300	1,22	1,33	1,32	2,00
2	900	2.300	1,21	1,23	1,43	2,00
3	900	2.300	1,25	1,21	1,21	2,00
4	900	2.300	1,19	1,24	1,24	2,00
5	900	2.300	1,23	1,22	1,19	2,00
6	900	2.300	1,26	1,25	1,21	2,00
7	900	2.300	1,24	1,28	1,20	2,00
8	900	2.300	-	-	-	2,00
9	900	2.300	-	-	-	2,00
10	-	-	-	-	-	2,00
Média em cada repetição			1,23	1,25	1,21	
<b>Média geral da opacidade</b>			<b>1,23 (m<sup>-1</sup>)</b>			

#### OBSERVAÇÕES SOBRE O TESTE

##### 1 Resultados do teste de aceleração:

a) Rotação de marcha lenta: 900 rpm;

b) Rotação de corte: 2.300 rpm.

##### 2 Condições do teste:

a) Umidade relativa:

b) Temperatura do ar:

c) Pressão atmosférica: 94,2 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 B12. Ensaio original de opacidade da fumaça do trator funcionando com Biodiesel etílico destilado de óleo de dendê (seis meses armazenado) – B5.

#### Dados do veículo

Fabricante: VALTRA DO BRASIL, CATEGORIA MÁQUINAS AGRÍCOLAS

Trator BM100, Ano: a partir de 1995

Combustível: Biodiesel etílico destilado de óleo de dendê (seis meses armazenado) – B5

#### Dados da inspeção

Data: 23-11-2007

Horário: 13h40 às 14h00

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	900	2.300	1,21	1,27	1,22	2,00
2	900	2.300	1,22	1,18	1,14	2,00
3	900	2.300	1,18	1,24	1,21	2,00
4	900	2.300	1,20	1,15	1,14	2,00
5	900	2.300	1,15	1,19	1,10	2,00
6	900	2.300	1,13	1,16	1,14	2,00
7	900	2.300	1,18	1,18	1,18	2,00
8	900	2.300	-	-	-	2,00
9	900	2.300	-	-	-	2,00
10	-	-	-	-	-	2,00
Média em cada repetição			1,16	1,17	1,15	
<b>Média geral da opacidade</b>			<b>1,16 (m<sup>-1</sup>)</b>			

#### OBSERVAÇÕES SOBRE O TESTE

##### 1 Resultados do teste de aceleração:

a) Rotação de marcha lenta: 900 rpm;

b) Rotação de corte: 2.300 rpm.

##### 2 Condições do teste:

a) Umidade Relativa:

b) Temperatura do ar:

c) Pressão atmosférica: 94,2 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 B13. Ensaio original de opacidade da fumaça do trator funcionando com Biodiesel etílico destilado de óleo de dendê (seis meses armazenado) – B25.

#### Dados do veículo

Fabricante: VALTRA DO BRASIL, CATEGORIA MÁQUINAS AGRÍCOLAS

Trator BM100, Ano: a partir de 1995

Combustível: Biodiesel etílico destilado de óleo de dendê (seis meses) – B25

#### Dados da inspeção

Data: 23-11-2007

Horário: 14h10 às 14h30

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	900	2.300	1,12	1,08	1,02	2,00
2	900	2.300	0,96	1,01	1,05	2,00
3	900	2.300	0,91	0,99	0,92	2,00
4	900	2.300	0,98	0,96	0,95	2,00
5	900	2.300	0,96	0,91	0,92	2,00
6	900	2.300	1,01	0,99	0,99	2,00
7	900	2.300	0,96	0,97	0,98	2,00
8	900	2.300	-	-	-	2,00
9	900	2.300	-	-	-	2,00
10	-	-	-	-	-	2,00
Média em cada repetição			0,98	0,96	0,97	
<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: 900 rpm;

b) Rotação de corte: 2.300 rpm.

##### 2 Condições do teste:

a) Umidade Relativa:

b) Temperatura do ar:

c) Pressão atmosférica: 94,2 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 B14. Ensaio original de opacidade da fumaça do trator funcionando com Biodiesel etílico destilado de óleo de dendê (seis meses armazenado) – B50.

#### Dados do veículo

Fabricante: VALTRA DO BRASIL, CATEGORIA MÁQUINAS AGRÍCOLAS

Trator BM100, Ano: a partir de 1995

Combustível: Biodiesel etílico destilado de óleo de dendê (seis meses) – B50

#### Dados da inspeção

Data: 23-11-2007

Horário: 14h45 às 15h10

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	900	2.300	0,97	0,98	0,98	2,00
2	900	2.300	0,95	0,89	0,89	2,00
3	900	2.300	0,82	0,81	0,72	2,00
4	900	2.300	0,72	0,79	0,73	2,00
5	900	2.300	0,75	0,81	0,79	2,00
6	900	2.300	0,69	0,78	0,77	2,00
7	900	2.300	0,71	0,78	0,75	2,00
8	900	2.300	-	-	-	2,00
9	900	2.300	-	-	-	2,00
10	-	-	-	-	-	2,00
Média em cada repetição			0,73	0,78	0,76	
<b>Média geral da opacidade</b>			<b>0,76 (m<sup>-1</sup>)</b>			

#### OBSERVAÇÕES SOBRE O TESTE

##### 1 Resultados do teste de aceleração:

a) Rotação de marcha lenta: 900 rpm;

b) Rotação de corte: 2.300 rpm.

##### 2 Condições do teste:

a) Umidade Relativa:

b) Temperatura do ar:

c) Pressão atmosférica: 94,2 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 B15. Ensaio original de opacidade da fumaça do trator funcionando com Biodiesel etílico destilado de óleo de dendê (seis meses armazenado) – B100.

#### Dados do veículo

Fabricante: VALTRA DO BRASIL, CATEGORIA MÁQUINAS AGRÍCOLAS

Trator BM100, Ano: a partir de 1995

Combustível: Biodiesel etílico destilado de óleo de dendê (seis meses) – B100

#### Dados da inspeção

Data: 23-11-2007

Horário: 15h25 às 15h50

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	900	2.300	0,64	0,65	0,66	2,00
2	900	2.300	0,56	0,61	0,61	2,00
3	900	2.300	0,61	0,54	0,58	2,00
4	900	2.300	0,61	0,57	0,54	2,00
5	900	2.300	0,63	0,61	0,59	2,00
6	900	2.300	0,60	0,53	0,56	2,00
7	900	2.300	0,59	0,56	0,63	2,00
8	900	2.300	-	-	-	2,00
9	900	2.300	-	-	-	2,00
10	-	-	-	-	-	2,00
Média em cada repetição			0,61	0,57	0,58	
<b>Média geral da opacidade</b>			<b>0,59(m<sup>-1</sup>)</b>			

#### OBSERVAÇÕES SOBRE O TESTE

##### 1 Resultados do teste de aceleração:

a) Rotação de marcha lenta: 900 rpm;

b) Rotação de corte: 2.300 rpm.

##### 2 Condições do teste:

a) Umidade Relativa:

b) Temperatura do ar:

c) Pressão atmosférica: 94,2 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**