

## **Curso de Tecnologia em Biocombustíveis**

# **TRÍPLICE MISTURA DE BIODIESEL: DESEMPENHO DE TRATOR AGRÍCOLA EM FUNÇÃO DA PROPORÇÃO COM DIESEL INTERIOR E METROPOLITANO BS 50**

**GUILHERME CAZADORI TREVIZOLLI**

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

**Coorientador: Prof. Dr. Leomar Paulo de Lima**

**Trabalho apresentado a Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal - Fatec, para obtenção do título de Tecnólogo em Biocombustíveis.**

**Jaboticabal – SP  
2º Semestre/2012**

Trevizolli, Guilherme Cazadori

T814t Tríplice mistura de biodiesel: Desempenho de trator em função da proporção com diesel interior e metropolitano BS 50. / Guilherme Cazadori Trevizolli.— Jaboticabal : Fatec, 2012.  
48f.

Orientador: Afonso Lopes

Coorientador: Leomar Paulo de Lima

Trabalho (graduação) – Apresentado ao Curso de Tecnologia em Biocombustíveis, Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal, 2012.

1. Tríplice mistura. 2. Biodiesel. 3. Desempenho. I. Lopes, A. II. Título.  
CDU 665.75

**Curso de Tecnologia em Biocombustíveis****CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO:** TRÍPLICE MISTURA DE BIODIESEL: DESEMPENHO DE TRATOR AGRÍCOLA EM FUNÇÃO DA PROPORÇÃO COM DIESEL INTERIOR E METROPOLITANO BS 50.

**AUTOR:** GUILHERME CAZADORI TREVIZOLLI

**ORIENTADOR:** PROF. DR. AFONSO LOPES

**COORIENTADOR:** PROF. DR. LEOMAR PAULO DE LIMA

Trabalho de Graduação aprovado pela Banca Examinadora como parte das exigências para conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Biocombustíveis, apresentado à FATEC-JB para a obtenção do título de Tecnólogo.

**AFONSO LOPES**

**GILBERTO HIROTSUGO AZEVEDO KOIKE**

**CLAUDENIR FACINCANI FRANCO**

Data da apresentação: 29 de novembro de 2012.

---

Presidente da Comissão Examinadora

## DEDICO

Dedico a minha mãe Maristher Cazadori Trevizolli, a meu pai Davi Aparecido Trevizolli, e toda a minha família pelo companheirismo e apoio que me ofereceram durante o meu curso de graduação.

Aos meus amigos de faculdade (FATEC), sendo em especial, Herick Nikuma (Miaguy), Diego Mario Cappi (Solimões), Guilherme Deomedece (7 Meis), Ilana Pinelli, Alaiane Vendramini, Sergio Monezi Jr. (Re-Fruxo), por ter passado uns dos melhores momentos da minha vida.

Aos meus amigos: Arthur Vinicius Sestari (Ney-Lor), Cristiano Zerbato, Wendel Costa (Dinho), Jorge Di Bello, Viviane Di Bello, Roberta Paganelli, Fabio Borba, Caio Rodrigues de Simone, Lucas Pavan, Diego Sanches (Prakinha), Bruno Queiroz, Marcelo Boamorte Raveli, Fabiana Mazzi, Ivan Matussita, Patrícia Soares, Alex Eduardo Moura e Fernando Ferreira por todos os dias que aproveitamos juntos.

Aos meus amigos e companheiros do Laboratório de Mecanização e Máquinas Agrícolas (LAMMA).

As minhas primas Caroline Cazadori Dianna e Roberta Franciscatti de Souza por passar os inesquecíveis carnavais em Dumont-SP e todas as amizades que fiz por lá, especialmente Vitória Hanashiro, Deyse Arruda e Sophia Biagi.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por ter dado forças em momento de desespero.

Ao LAMMA (Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola), por ceder os materiais para que este trabalho fosse realizado.

Ao meu amigo e Prof. Dr. Afonso Lopes, por ter concedido a bolsa CNPq.

Ao Prof<sup>o</sup> Dr. Afonso Lopes, Gilberto Hirutsugu Azevedo Koike, Melina Cais Jejc de Oliveira, Fabiano dos Santos, Thaisa Cantele, Leomar Paulo de Lima, Camila Grazielle Liotte Pavanelo; aos Operadores de Máquinas Valdecir Aparício (Maranhão) e Sebastião Francisco da Silva Filho (Tiãozinho), por ajudar na realização deste trabalho.

Ao Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza (FATEC), por ter oferecido o ensino e aprendizado.

Aos funcionários da FATEC de Jaboticabal, Dona Simone Roberta Scattolin, Dona Janaina Hunch Castilho Mirabelli, Sr. Leonardo Lucas Madaleno, por toda a paciência e compreensão quando precisei de ajuda.

Aos Professores da FATEC de Jaboticabal: Claudenir Facincani Franco, Celso Antonio Jardim, Fábio Camilotti, Leonardo Lucas Madaleno, Rita de Cássia Vieira Macri, João Roberto da Silva, por serem os professores que mais me identifiquei e por passar o aprendizado.

Ao CNPq pelo apoio financeiro do meu TCC.

E a todos os meus amigos: Arthur Vinicius Sestari (Ney-Lor), Cristiano Zerbato, Wendel Costa (Dinho), Jorge Di Belo, Caio Rodrigues de Simone, Lucas Pavan, Diego Sanches (Prakinha), Bruno Queiroz, Fabiana Mazzi (Bia), Herick Nikuma (Miaguy),

Diego Mario Cappi (Solimões), Guilherme Deomedece (7 Meis), por ajudar de maneiras direta e indireta na realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

1. LISTA DE FIGURAS .....	10
2. LISTA DE TABELAS .....	11
3. RESUMO .....	12
4. ABSTRACT .....	13
5. INTRODUÇÃO .....	14
6. REVISÃO DE LITERATURA.....	16
6.1. Biodiesel.....	16
6.2. Processo de produção de biodiesel .....	17
6.3. Soja .....	19
6.4. Dendê .....	23
6.5. Óleo Residual .....	24
6.6. Desempenho de um trator agrícola utilizando biodiesel.....	26
7. MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
7.1. MATERIAIS .....	28
7.1.1. Área experimental.....	28
7.1.2. Solo .....	28
7.1.3. Biodiesel.....	29
7.1.4. Diesel .....	29
7.1.5. Trator.....	29

7.1.6. Instrumentação do trator de teste para o ensaio de desempenho .....	29
7.1.7. Velocidade de deslocamento .....	30
7.2. MÉTODOS .....	31
7.2.1. Condução do trabalho .....	31
7.2.2. Delineamento experimental.....	31
7.2.3. Tratamentos .....	32
7.2.4. Análise estatística .....	32
7.2.4.1. Análise de variância e teste de médias .....	32
7.2.4.2. Análise de regressão.....	33
7.3. Desempenho do Trator.....	33
7.3.1. Uso dos tratores .....	33
7.3.2. Velocidade real de deslocamento .....	35
7.3.3. Força média na barra de tração.....	35
7.3.4. Potência na barra de tração.....	35
7.3.5. Consumo de combustível .....	36
7.3.6. Consumo horário volumétrico .....	35
7.3.7. Consumo horário ponderal .....	36
7.3.8. Consumo específico .....	37
8. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	38
8.1. Força de tração .....	38
8.2. Potência na barra de tração .....	38
8.3. Velocidade de deslocamento.....	39
8.4. Consumo horário volumétrico.....	40
8.5. Consumo horário ponderal.....	41
8.6. Consumo específico.....	41

9. CONCLUSÃO .....	42
10. REFERÊNCIAS.....	43

## **1. LISTA DE FIGURAS**

FIGURA 1. Fluxograma do processo de produção do biodiesel.....	18
FIGURA 2. Planta de soja.....	20
FIGURA 3. Vista lateral do trator de teste com instrumentação completa.....	30
FIGURA 4. Esquema das parcelas experimentais.....	31
FIGURA 5. Dinâmica do ensaio de desempenho.....	34

## **2. LISTA DE TABELAS**

TABELA 1. Oleaginosas e suas características de produtividade.....	22
TABELA 2. Relação e designação dos tratamentos .....	32
TABELA 3. Síntese da análise de variância e o teste de médias para as variáveis: força média na barra, potência na barra de tração e velocidade de deslocamento .....	39
TABELA 4. Síntese da análise de variância e o teste de médias para as variáveis, consumo horário volumétrico, ponderal e consumo específico de combustível .....	40

## **RESUMO**

### **TRÍPLICE MISTURA DE BIODIESEL: DESEMPENHO DE TRATOR AGRÍCOLA EM FUNÇÃO DA PROPORÇÃO COM DIESEL INTERIOR E METROLIPOLITANO BS 50**

Considerando-se o petróleo um recurso natural não renovável, o biodiesel apresenta-se como uma alternativa de combustível, sendo o mesmo renovável, biodegradável e produzido a partir de óleo vegetal e gordura animal transesterificado e com álcool anidro na presença de um catalisador. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de um trator agrícola funcionando com tríplice mistura de biodiesel (soja 40%, dendê 40% e óleo residual 20%), cuja variação foi o tipo de diesel e a proporção de mistura biodiesel/diesel. O experimento foi conduzido no Departamento de Engenharia da UNESP- JABOTICABAL em parceria com o LADETEL/USP- Ribeirão Preto. No presente estudo, utilizou-se um trator VALTRA BM 125i 4x2 TDA de 92 kW (125 cv) no motor a 2.300 rpm. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 7x2, com três repetições. O primeiro fator representa sete proporções percentuais de biodiesel + diesel [B0 (0+100), B5 (5+95), B15 (15+85), B25 (25+75), B50 (50+50), B75 (75+25) e B100 (0+100)], e o segundo fator representa dois tipos de diesel (interior/BS1.800 e metropolitano/BS50). Os resultados evidenciaram que os fatores tipo de diesel e proporções de mistura não influenciaram no desempenho do trator.

## **ABSTRACT**

### **TRIPLE MIX OF BIODIESEL: FARM TRACTOR PERFORMANCE AS A FUNCTION OF PROPORTION WITH DIESEL AND INTERIOR METROLIPOLITAN BS 50**

Considering the petroleum is a non-renewable natural resource, the biodiesel is an alternative fuel, being the same renewable, biodegradable and made from vegetable oil and animal fat transesterificated and anhydrous alcohol in the presence of a catalyst. The purpose of this work was to evaluate the performance of an agricultural tractor working with triple biodiesel blend (soybean 40 %, palm 40% and residual oil 20% ), whose variation was the type of diesel and the mixture ratio biodiesel/diesel. The experiment was conducted at the Department of Engineering of São Paulo State University - Jaboticabal in partnership with the LADETEL/USP- Ribeirão Preto. In the present study, we used a tractor VALTRA BM 125i 4x2 TDA of 92 kW (125 hp) engine to 2,300 rpm. The experimental design was a factorial 7x2, with three repetitions. The first factor represents seven proportions percentages of biodiesel + diesel [B0 (0 +100), B5 (5 +95), B15 (15 +85), B25 (25 +75), B50 (50 +50), B75 (75 +25) and B100 (0 +100)], and the second factor is two types of diesel (interior/BS1.800 and metropolitan/BS50). The results showed that the factors type of diesel and blend ratios did not influence the performance of the tractor.

## 5. INTRODUÇÃO

Em 1973, ocorreu a crise do petróleo, provocada por fatores políticos e econômicos. Conseqüentemente, todos os países importadores desse produto fóssil foram afetados, inclusive o Brasil. Desde então, a busca por novas fontes alternativas de energia tem motivado a classe científica a desenvolver tecnologias, as quais permitam substituir gradualmente o combustível fóssil por fontes energéticas renováveis. E atualmente, estas pesquisas vêm sendo aceleradas devido às mudanças climáticas associadas à liberação de gases da queima de combustíveis fósseis, ao alto preço internacional do petróleo e à preocupação com o desenvolvimento sustentável (CANDEIA, 2008).

O biodiesel é uma mistura de ésteres de ácidos graxos com monoalcoóis de cadeia curta, como o metanol ou o etanol (Suarez *et al.*, 2007). Essa mistura obtida pelos processos de transesterificação ou esterificação é a que vem sendo comercializada no Brasil com o nome de biodiesel. Apesar de suas propriedades possibilitarem a substituição do diesel, a composição química do biodiesel é bem diferente da do diesel. O óleo diesel é um combustível obtido a partir do refino do petróleo por destilação fracionada em temperaturas na faixa de 150 a 400°C. É constituído basicamente por hidrocarbonetos, apresentando em baixas concentrações átomos de enxofre, oxigênio e nitrogênio. A cadeia de hidrocarbonetos que forma o óleo diesel varia, podendo chegar até vinte e oito átomos de carbono (TERUYA, 2008).

O biodiesel é produzido das mais variadas fontes de óleos vegetais, gorduras animais e/ou residuais, e estas, por sua vez, são de origem e características físico-químicas diversificadas. Faz-se necessária, uma padronização do controle de qualidade para o combustível, com o intuito de garantir um bom desempenho do motor a diesel, sem que este sofra não-conformidade. Logo, a padronização é um pré-requisito para que o produto desejado (por exemplo, biodiesel), seja introduzido no mercado comercial. Deste modo, países como: a Alemanha (primeiro país no mundo a definir e aprovar os padrões do biodiesel

proveniente do óleo de canola como combustível), Áustria, Itália, França, República Tcheca e os Estados Unidos estabeleceram padrões e diretrizes para a qualidade do biodiesel (CANDEIA, 2008).

Devido à grande diversidade climática e edáfica, o Brasil apresenta suntuosa capacidade produtiva de diferentes espécies vegetais, o que pode se traduzir em expressivo aumento dos parâmetros de produção do biodiesel. Todavia, qualquer que seja a matéria-prima utilizada, deve-se estudar as características físico-químicas dos combustíveis gerados, bem como seu efeito no desempenho mecânico do motor. Dentre as vantagens do biodiesel, cita-se a semelhança das suas propriedades às do diesel de origem mineral, que possibilita a utilização sem maiores alterações em motores de ciclo Diesel, acarretando também a redução na emissão de grande parte dos poluentes gerados (SANTOS & AZEVEDO, 2008).

A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) é o órgão regulamentador de derivados de petróleo e combustíveis no Brasil e determinou que no período de 2005 a 2007 o biodiesel fosse utilizado de forma facultativa misturado ao óleo diesel mineral na proporção máxima de 2% de biodiesel para 98% de diesel, formando o chamado combustível B2. Sua adição ao óleo diesel nesta proporção passou a ser obrigatória em janeiro de 2008. Contudo, a Resolução 02/2008 do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) tornou obrigatório o uso do combustível B3, ou seja, com a adição de 3% de biodiesel ao diesel a partir de 1º de julho de 2008 (SOUZA, 2009).

A partir de 2013, esta proporção aumentará para 5% de biodiesel no diesel (B5), com perspectivas de crescimento deste percentual para os anos seguintes. Desta forma, existe hoje uma preocupação em controlar a qualidade do biodiesel, devido seu processo natural de degradação, corrosão ou adulteração, e conseqüentemente as suas misturas ao diesel (ANP 2012).

A partir deste contexto, o objetivo do presente trabalho foi continuar os estudos de biodiesel, avaliar o desempenho de um trator em função do tipo de diesel (interior/BS1.800 e metropolitano/BS50) e suas proporções de mistura com biodiesel (tríplice mistura, sendo: soja 40%, dendê 40% e óleo residual 20% - B0, B5, B15, B25, B50, B75 e B100).

## 6. REVISÃO DE LITERATURA

### 6.1. Biodiesel

A maior parte de toda a energia consumida no mundo provém do petróleo, do carvão e do gás natural. Essas reservas são limitadas e com previsão de esgotamento no futuro, portanto, a busca por fontes sustentáveis de energia é de suma importância. Neste contexto, os óleos vegetais aparecem como alternativa para substituição ao óleo diesel de petróleo, sendo o seu uso testado em motores de combustão interna com ignição por compressão já em fins do século XIX, produzindo resultados satisfatórios (FERRARI *et al.*, 2005).

No começo do século XX, ficou comprovado que a utilização de óleos vegetais sem qualquer modificação causava problemas ao funcionamento dos motores. O uso prolongado desses óleos, devido a uma combustão incompleta, produzia depósitos carbonosos nos motores, provocando a adesão dos anéis, assim como o entupimento dos injetores, o que conduzia, eventualmente, à falha geral dos motores. Esses problemas foram contornados por convenientes modificações nos óleos, que originaram os diversos tipos de biodiesel. Tais processos podem ser caracterizados como de pirólise, de transesterificação com catalisador alcalino ou com catalisador ácido. Na atualidade, o método mais difundido é o de transesterificação com catalisador alcalino (RANESES *et al.*, 1999).

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 XX, 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, irá se tornar tão importante quanto o petróleo e o carvão são atualmente” (SANTOS, 2007).

Os fatores que contribuíram para a adesão de muitos países ao uso de combustíveis alternativos são as crises do petróleo, ocorridas na década de 1970, 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).

Estrategicamente, tornou-se necessário intensificar estudos sobre novas fontes de energias renováveis, com o objetivo de 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).

## **6.2. Processo de produção de biodiesel**

O processo de produção de biodiesel empregado mundialmente é a transesterificação de triacilglicerídico, que compreende os óleos vegetais e as gorduras animais, com um álcool (geralmente metanol ou etanol) na presença de um catalisador (usualmente alcalino) para formar, majoritariamente, ésteres monoalquílicos, que compõem o bioLdiesel, e glicerol. (VARGAS *et al.*, 1998; ZAGONEL & RAMOS, 2001).

A reação de transesterificação pode ser descrita, de maneira geral, como o processo químico mais viável em todo o mundo para a produção do biodiesel. Consiste em reagir um triacilglicerídeo com um álcool inferior, na presença de um catalisador, resultando na produção de uma mistura de ésteres alquílicos de ácidos graxos (denominado de biodiesel) e glicerol. Essa transformação ocorre em três etapas sequenciais: inicialmente, as moléculas de triacilglicerídeos são convertidas em diacilglicerídeos, depois em monoacilglicerídeos e, finalmente, em glicerol, produzindo um mol de éster a cada etapa reacional e liberando a glicerina como co-produto, que possui um alto valor agregado, com importante aplicação comercial, por exemplo: nas indústrias químicas, farmacêuticas e de cosméticos (ZHANG *et al.*, 2003).

O processo de produção de biodiesel é composto basicamente das seguintes etapas: preparação da matéria-prima, reação de transesterificação, separação de fases, recuperação e desidratação do álcool, destilação da glicerina e purificação do combustível, conforme mostra a Figura 1.

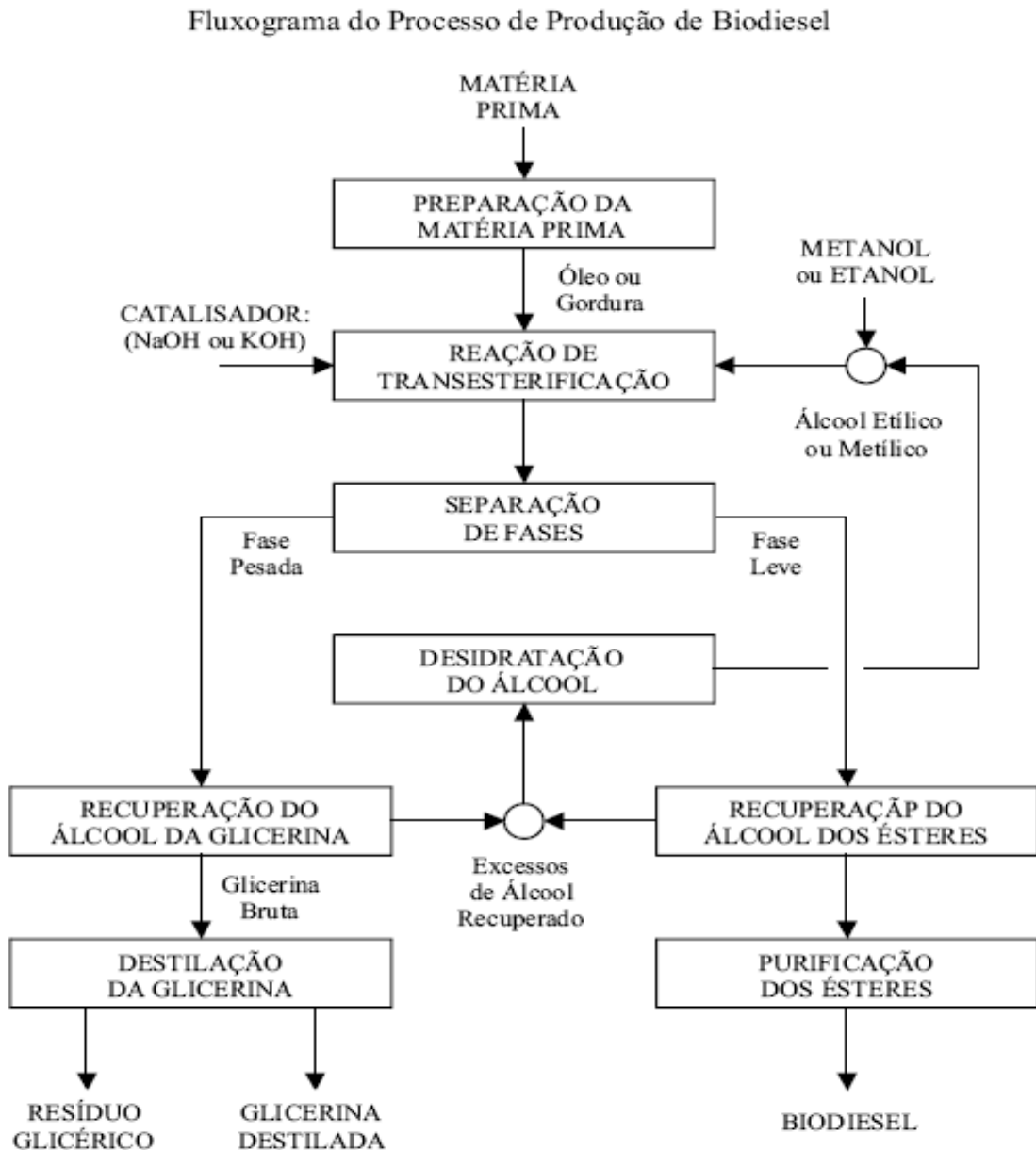


FIGURA 1. Fluxograma do processo de produção do biodiesel.

FONTE: PARENTE, 2003.

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, em que X é a percentagem de biodiesel adicionada à mistura, e 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).

### **6.3. Soja**

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é a oleaginosa mais cultivada no mundo; originária do Extremo Oriente, é a base da alimentação dos povos da região da China, Japão e Indonésia (MATOS, 1987). O cultivo da soja é muito antigo, há relatos que revelam plantios que datam cerca de 2.800 anos A.C, na China (CISOJA, 2011). Por séculos, a cultura permaneceu restrita ao Oriente, só sendo introduzida no Ocidente, pela Europa, por volta do século XV, não com finalidade de alimentação, como acontecia na China e no Japão, mas de ornamentação. As primeiras tentativas de produção de soja na Europa fracassaram, provavelmente devido a fatores climáticos, ausência de conhecimento sobre a cultura e suas exigências. Os norte-americanos foram os que conseguiram desenvolver o cultivo comercial da soja, por volta do século XX, criando novas variedades, com teor de óleo mais elevado, o que impulsionou a expansão do seu cultivo.

De acordo com USDA (2011) e CONAB (2011), atualmente a soja apresenta produção mundial de 263,6 milhões de toneladas em uma área correspondente a 103,5 milhões de hectares, sendo os Estados Unidos o maior produtor do grão (90,6 milhões t, em 31 milhões ha). O Brasil é o segundo maior produtor mundial, com 75 milhões t em 24,2 milhões ha, sendo o estado do Mato Grosso o maior produtor do País (20,4 milhões t e 4,2 milhões ha), seguido pelo Paraná (15,4 milhões t e 4,6 milhões ha). Assim, evidencia-se a importância

econômica do complexo agroindustrial da soja no País já que a soja tem aproximadamente 7% de participação no PIB brasileiro e cerca de 30% de participação no PIB agrícola (EMBRAPA, 2011).



FIGURA 2. Planta, óleo e grão de soja.

FONTE: RESEARCHES\_SOJA e CODETEC, respectivamente.

O Brasil possui uma condição de solo e clima bastante favorável para a produção de oleaginosas sendo possível utilizar qualquer um dos óleos vegetais seja, por exemplo, culturas nativas como o babaçu, seja cultivadas como soja, dendê, mamona e outras. Segundo Ladatel (2005), a possibilidade de produção agrícola dessa ampla quantidade de matérias-primas para a produção de biodiesel é uma vantagem comparativa que o País possui em relação a todos os outros países produtores de oleaginosas.

Sluzz & Machado (2006) citam que, atualmente, no Brasil, a possibilidade que mais se utiliza é a de culturas já estabelecidas comercialmente como a soja, que mostra condições tecnológicas que possibilitam sua exploração na maioria das regiões do País comparada a outras oleaginosas. Segundo Peres & Bendrano (2006), a soja pode ser considerada a cultura que permitiu a abertura do mercado de biocombustíveis baseados em óleos vegetais, possibilitando a inserção de produtos com maior eficiência energética como o caso do girassol e da canola.

Dentro deste contexto a soja é a oleaginosa-chave para o sucesso do Programa Nacional de Produção de Biodiesel (PNPB), desde que sua contribuição seja mantida na faixa de 64-68%, e não 92%, como ocorrem atualmente. Segundo Dias *et al.*, (2009), a redução da grande contribuição da soja implica ampliar a contribuição de outras matérias-primas que podem ser produzidas pela agricultura familiar, a exemplo do pinhão-manso (*Jatropha curcas L.*) e da macaúba (*Acrocomia aculeata*).

A principal vantagem do biodiesel de soja perante aos outros tipos de biodiesel se deve ao fato de que após o processo de transesterificação já se encontra pronto para o consumo, devido ao fato de sua viscosidade se encontrar dentro dos padrões estabelecidos pela Agência Nacional de Petróleo (ANP), conseqüentemente não necessitando assim de outros processos. Conforme determinação da resolução da ANP nº 14, de 11 de maio de 2012 o biodiesel (B100) com relação à viscosidade deve acompanhar os valores padronizados para o óleo diesel fóssil, podendo variar de 3,0 a 6,0 mm<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>. Atualmente a maioria dos diferentes tipos de biodiesel utilizados, como o caso da soja, se enquadram na faixa de viscosidade em que se encontra o óleo diesel oferecido no mercado (BRASIL, 2012).

Fator que desaconselha o uso da soja como matéria-prima para a produção de biodiesel por se tratar de uma *commoditie*, no qual o preço está sujeito a sofrer grande influência do mercado internacional. Este fato causa efeitos positivos quanto negativos, principalmente no caso do Brasil, grande produtor mundial dessa cultura. Quando o preço da soja está em alta ocorre a concentração dos esforços para maior comercialização com o mercado externo, com isso os estoques destinados à produção de biodiesel são afetados diretamente (MEDRANO, 2007).

O biodiesel de soja, como pode ser visto, apresenta enorme potencial por permitir a abertura de novos mercados para a agricultura tradicional. Apesar disso, os efeitos causados no meio ambiente pela produção em larga escala dessa cultura são provocados se forem acompanhados de aumento de área cultivada. Segundo Pasquis (2004), esse fator acaba sendo uma das desvantagens do biodiesel de soja, pois acaba ocorrendo à restrição da entrada de algumas empresas no mercado, levando, assim, a concentrar o controle do setor de esmagamento em grandes grupos econômicos.

Perante esse quadro é possível verificar que a grande desvantagem do biodiesel de soja perante outras oleaginosas como a mamona e o dendê está na sustentabilidade da cultura, uma vez que a produção dessa cultura é uma atividade excludente e concentradora de renda.

Na Tabela 1, pode-se visualizar as características relevantes das oleaginosas.

TABELA 1. Oleaginosas e suas características de produtividade

Espécie	Origem do óleo	Teor de óleo (%)	Meses de colheita/ano	Produtividade (t óleo/ha)
Canola	Grão	37 a 50	3	0,8 a 1,1
Girassol	Grão	38 a 48	3	0,5 a 1,9
Soja	Grão	18	3	0,2 a 0,4
Mamona	Grão	45 a 50	3	0,5 a 0,9
Algodão	Grão	15	3	0,1 a 0,2

FONTE: TEIXEIRA, 2005.

Quanto ao seu uso para o biodiesel, segundo Faccini (2008), várias oleaginosas podem ser utilizadas para a produção de biodiesel, tendo demonstrado competitividade técnica e sócio-ambiental restando apenas a implementação de projetos e estudos agrônômicos que venham a garantir a disponibilidade da matéria-prima nos momentos de maior importância. Dados de 2007 revelam a preferência dos produtores de oleaginosas e, conseqüentemente, das indústrias de biodiesel: 80% do biodiesel produzidos pelas usinas instaladas pelo Brasil utilizaram o óleo de soja como matéria-prima, 15% corresponde a gordura animal e 5% a outras oleaginosas. Portanto, tendo a soja como a importância da produção de óleo das demais oleaginosas.

Existe uma série de fatores responsáveis por a soja ter essa preferência para a produção de biodiesel:

- a cadeia da soja é bem estruturada;
- tecnologias de produção são bem definidas e modernas;
- ampla rede de pesquisa que assegura pronta solução de qualquer novo problema que possa aparecer na cultura;
- é um cultivo tradicional e adaptado para produzir com igual eficiência em todo território nacional;
- oferece rápido retorno de investimento;
- pode ser armazenada por longos períodos, aguardando a melhor oportunidade para o mercado;
- o biodiesel produzido a partir do óleo de soja não apresenta qualquer restrição para consumo em climas quentes ou frios (FACCINI *et. al.*, 2008).

#### 6.4. Dendê

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 et. al., 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 dendezaís 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 1960, 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 1970, 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 *et al.* (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.

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.*, 2007).

### **6.5. Óleo Residual**

Dentre as alternativas estudadas, a reutilização de óleos e gorduras vegetais residuais (OGR) de processos de fritura de alimentos tem-se mostrado atraente na medida em que aproveita o óleo vegetal como combustível após a sua utilização na cadeia alimentar, resultando assim num segundo uso, ou mesmo numa destinação alternativa a um resíduo da produção de alimentos (ANGGRAINI, 1999).

Dentre os diversos processos de preparo dos alimentos, a fritura causa alterações físicas e químicas nos óleos e gorduras, o que pode trazer implicações nutricionais, tornando-o um produto de descarte, que é altamente poluente. Estes são lançados na rede de esgoto e não passam por nenhum processo de tratamento na maior parte dos municípios, sendo lançados diretamente em rios, causando poluição e degradação ambiental (MENDONÇA *et al.*, 2008).

A aceitação de alimentos processados por fritura é universal e apreciada por diferentes grupos populacionais. As diversas mudanças registradas nas atitudes do consumidor ao longo dos últimos anos fizeram com que as indústrias de alimentos passassem a dispor de produtos específicos para o processo de fritura, como os alimentos congelados, que são largamente aceitos pelo mercado consumidor (CORSINI & JORGE, 2006).

Segundo Santos Filho *et al.* (2006), o óleo utilizado em frituras pode ser reciclado para a produção de diversos produtos, como cola e tinta para uso industrial. Outra alternativa de utilização destes óleos é a produção de sabão, que já ocorre artesanalmente, e como matéria-prima para a produção de biodiesel.

A utilização do óleo residual para a produção de biodiesel, que como combustível vem apresentando um potencial promissor no mundo inteiro, é um mercado que cresce aceleradamente. Isto ocorre devido a sua enorme contribuição ao meio ambiente com a redução qualitativa e quantitativa dos níveis de poluição ambiental, principalmente nos grandes centros urbanos, e como fonte estratégica de energia renovável em substituição ao óleo diesel e outros derivados do petróleo (FERRARI, *et al.*, 2005).

As rotas de obtenção dos chamados biocombustíveis de segunda geração, tais como a produção de hidrocarbonetos a partir de materiais graxos, também têm sido investigadas. Os processos alternativos mais discutidos atualmente no Brasil são o craqueamento, o hidrocrackeamento (H-Bio) e o eletrocrackeamento. Estas rotas têm a vantagem de permitir o uso de insumos residuais de baixa pureza e baixo custo (SUAREZ *et al.*, 2009).

Atualmente, a reciclagem de um modo geral, vem se mostrando cada vez mais necessária e vantajosa no setor empresarial, quer seja por razões econômicas quer seja pelas ambientais. No Brasil, parte do óleo vegetal residual oriundo do consumo humano é destinado à fabricação de sabões (MITTELBAACH & TRITTHART, 1988) e, em menor volume, à produção de biodiesel (FERRARI *et al.*, 2005). Entretanto, a maior parte deste resíduo é descartado na rede de esgotos, sendo considerado um crime ambiental inadmissível. A presença deste material, além de acarretar problemas de origem estética, diminui a área de contato entre a superfície da água e o ar atmosférico impedindo a transferência do oxigênio da atmosfera para a água e os óleos e graxas em seu processo de decomposição, reduzem o oxigênio dissolvido elevando a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), causando alterações no ecossistema aquático (DABDOUB, 2006).

Testes demonstraram que o óleo residual como matéria-prima para o biodiesel é uma opção viável e de fácil realização, sendo necessário alguns cuidados básicos para a sua produção (COSTA NETO & ROSSI, 2000).

As principais características do biodiesel, que o tornam vantajoso sobre o diesel convencional são: energia proveniente de fonte renovável, ter várias fontes (qualquer óleo vegetal pode ser matéria-prima) e emitir menos gases de efeito estufa que o diesel obtido a partir do petróleo (TAGLIARI, 2006).

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.

### **6.6. Desempenho de um trator agrícola utilizando biodiesel**

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, que o configura como uma alternativa capaz de atender à frota já existente no setor de transportes brasileiro (SORANSO *et al.*, 2008).

Estudos para avaliar o desempenho operacional de motores utilizando Biodiesel não apontaram indícios de aumento de desgaste, comprometimento de potência ou redução na durabilidade, entretanto vários autores observaram aumento no consumo de combustível à medida que se aumenta a proporção de uso do biocombustível. Comparando B0 com B100, Lopes *et al.* (2004), ensaiando trator agrícola, verificaram que o consumo de combustível específico aumentou 11%, entretanto não foram observadas anomalias no funcionamento. Camara (2004), em experimento similar, evidenciou que, a partir de B25, houve aumento no consumo específico, chegando a 22,0%, relacionando B0 com B100. Na mesma linha de pesquisa, Grotta *et al.* (2008) verificaram que o consumo de combustível horário aumentou 4,9%, o consumo ponderal 13,0% e o consumo específico 11,4%, confrontando B0 com B100.

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).

## **7. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **7.1. MATERIAIS**

#### **7.1.1. Área experimental**

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola - LAMMA, do Departamento de Engenharia Rural, da Universidade Estadual Paulista - UNESP, Câmpus de Jaboticabal. A área está situada lateralmente à Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, km 5, 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 próxima de 94,3 kPa. O clima da região, segundo a classificação de Köeppen, é do tipo Aw, definido como tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno.

#### **7.1.2. 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 (ANDREOLI & CENTURION, 1999). O teor médio de água no dia do ensaio, 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 considerada como textura argilosa.

### **7.1.3. Biodiesel**

O biodiesel utilizado foi do tipo dendê, soja e óleo residual. 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.

### **7.1.4 Diesel**

Foi utilizado o óleo diesel classificado de acordo com a resolução da ANP nº 65, de 9 de dezembro de 2011 (BRASIL, 2011), como óleo diesel interior, tendo quantidade de enxofre total máxima de  $1.800 \text{ mg kg}^{-1}$  (BS 1.800) e massa específica a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  entre  $820$  e  $880 \text{ kg m}^{-3}$ , e como óleo diesel metropolitano, tendo quantidade de enxofre total máxima de  $50 \text{ mg kg}^{-1}$  (BS 50) e massa específica a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  entre  $820$  e  $850 \text{ kg m}^{-3}$ , advindo da cidade de Jaboticabal – SP.

### **7.1.5. Trator**

Trator de teste marca Valtra, modelo BM 125i, 4x2, com tração dianteira auxiliar (TDA), potência de  $92 \text{ kW}$  ( $125 \text{ cv}$ ) no motor a  $2.300 \text{ rpm}$ , massa total de  $7.000 \text{ kg}$ , 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.

Sistema de frenagem constituído por um trator marca Valmet, modelo 118-4, 4x2, com tração dianteira auxiliar (TDA), potência de  $83 \text{ kW}$  ( $112 \text{ cv}$ ) e um carretão carregado com  $11$  bags de fertilizante (em forma de comboio), totalizando massa de  $22.390 \text{ kg}$ , resultando em uma força média de  $11 \text{ kN}$ .

O trator de teste está ilustrado na Figura 3.

### **7.1.6. Instrumentação do trator de teste para o ensaio de desempenho**

O trator de ensaios utilizado encontra-se instrumentado com um protótipo desenvolvido e descrito por Lopes (2006).

### 7.1.7. 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>.



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

FONTE: (LOPES, 2006).

## 7.2. MÉTODOS

### 7.2.1. Condução do trabalho

O trabalho foi realizado em condições de campo, com o intuito de avaliar o desempenho do trator.

### 7.2.2. Delineamento experimental

O ensaio foi realizado em delineamento experimental inteiramente casualizado, esquema fatorial 7 x 2, com três repetições, totalizando 42 observações. As combinações dos fatores foram sete proporções de mistura biodiesel/diesel (B0, B5, B15, B25, B50, B75 e B100, em que o número indica a percentagem de biodiesel no diesel) e dois tipos de diesel (BS1.800/interior e BS50/Metropolitano). As misturas de biodiesel/diesel foram preparadas horas antes do ensaio. Ressalta-se que, para o ensaio de desempenho, cada parcela experimental possuía 40 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 motomecanizado em cada tratamento. A localização e a distribuição das repetições de cada tratamento na área do ensaio de desempenho encontram-se ilustradas na Figura 4.

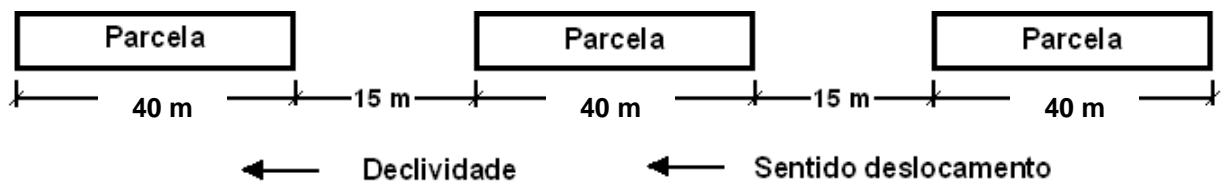


FIGURA 4. Esquema das parcelas experimentais.

### 7.2.3. Tratamentos

As combinações e respectivas designações dos tratamentos são apresentadas, respectivamente, na Tabela 2.

TABELA 2. Relação e designação dos tratamentos.

Tratamentos	Fatores comparativos		Designação	
	Tipo de diesel	Proporção %		
		Biodiesel		Diesel
T1		0	100	TBS1800-B0
T2		5	95	TBS1800-B5
T3	Diesel	15	85	TBS1800-B15
T4	BS1.800	25	75	TBS1800-B25
T5		50	50	TBS1800-B50
T6		75	25	TBS1800-B75
T7		100	0	TBS1800-B100
T8		0	100	TBS50-B0
T9		5	95	TBS50-B5
T10	Diesel	15	85	TBS50-B15
T11	BS50	25	75	TBS50-B25
T12		50	50	TBS50-B50
T13		75	25	TBS50-B75
T14		100	0	TBS50-B100

### 7.2.4. Análise estatística

#### 7.2.4.1 Análise de variância e teste de médias

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

#### **7.2.4.2. Análise de regressão**

Para o consumo específico, foi estudado um 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 seleccionar o modelo de equação de maior expoente significativo.

### **7.3. DESEMPENHO DO TRATOR**

#### **7.3.1. Uso dos tratores**

O conjunto de frenagem foi acoplado ao trator de teste por meio de um cabo de aço, formando um comboio. Foi realizado um ensaio preliminar, também denominado de experimento-piloto, com a finalidade de definir a carga correspondente ao esforço máximo, tecnicamente viável, que o trator de teste pôde tracionar. Ressalta-se que tal carga foi obtida por meio da combinação de marchas do trator de teste, com tal força fixa sendo de 13 kN.

O trator de frenagem foi utilizado desligado e desengrenado, 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 conforme Figura 5.



FIGURA 5. 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 40 m de comprimento da parcela, momento em que o centro do rodado traseiro coincidia com a segunda baliza.

Referente ao ensaio de desempenho, simultaneamente, em cada parcela, o sistema de instrumentação fornecia, diretamente:

- Tempo de percurso;
- Velocidade real de deslocamento;
- Força integrada;
- Volume de combustível consumido;
- Temperatura do combustível na entrada da bomba injetora;
- Temperatura do combustível no retorno dos bicos e da bomba injetora;

### 7.3.2. Velocidade real de deslocamento

A velocidade de deslocamento foi medida de forma direta pelo radar.

### 7.3.3. Força média na barra de tração

A força média na barra de tração exercida pelo trator de teste foi determinada de forma direta pela célula de carga acoplada ao trator de teste. Os valores fornecidos em kgf foram transformados em kN, conforme equação (1):

$$FT = \left( \frac{Ft}{1.000} \right) * 9,81 \quad (1)$$

em que,

FT = força média de tração na barra (kN);

Ft = força de tração média (kgf), e

1.000 e 9,81 = fatores de conversão.

### 7.3.4. Potência na barra de tração

A potência na barra de tração foi determinada de forma indireta, conforme equação (2):

$$PB = FT * \frac{Vel}{3,6} \quad (2)$$

em que,

PB = potência na barra de tração (kW);

FT = força média na barra de tração (kN);

Vel = velocidade real de deslocamento (km h<sup>-1</sup>), e

3,6 = fator de conversão.

### 7.3.5. Consumo de combustível

O consumo de combustível foi medido, em cada parcela, em unidade de volume (mL), obtendo-se o volume total de alimentação na entrada da bomba injetora e o volume total retornado, sendo o combustível consumido a diferença entre as duas medidas. De posse desses dados, determinaram-se o consumo horário (volumétrico e ponderal) e o consumo específico.

### 7.3.6. Consumo horário volumétrico

Com base no volume consumido e no tempo de percurso em cada parcela, foi determinado o consumo horário volumétrico, conforme equação (3):

$$Chv = \left( \frac{Va - Vr}{t} \right) * 3,6 \quad (3)$$

em que,

Chv = consumo horário volumétrico ( $L h^{-1}$ );

Va = volume do combustível de alimentação (mL);

Vr = volume do combustível de retorno (mL);

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

3,6 = fator de conversão.

### 7.3.7. Consumo horário ponderal

Para o cálculo do consumo horário ponderal, considerou-se a influência da densidade do combustível de alimentação e o retorno no momento do teste, conforme equação (4):

$$Chp = \frac{Va * Dca - Vr * Dcr}{t} * 0,0036 \quad (4)$$

em que,

Chp = consumo horário ponderal ( $kg h^{-1}$ );

Va = volume do combustível de alimentação (mL);

Dca = densidade do combustível de alimentação ( $kg m^{-3}$ );

Vr = volume do combustível de retorno (mL);

Dcr = densidade do combustível de retorno ( $kg m^{-3}$ );

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

0,0036 = fator de conversão.

### 7.3.8. Consumo específico

Consumo específico é o consumo de combustível expresso em unidade de massa por unidade de potência requerida na barra de tração, conforme equação (5):

$$C_e = \left( \frac{C_{hp}}{PB} \right) * 1.000 \quad (5)$$

em que,

$C_e$  = consumo específico ( $g \text{ kW h}^{-1}$ );

$C_{hp}$  = consumo horário ponderal ( $kg \text{ h}^{-1}$ );

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

1.000 = fator de conversão.

## **8. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Os resultados de desempenho do trator foram apresentados na forma de Tabelas, Figuras e Equações. A síntese da análise estatística foi apresentada para grupos de variáveis nas Tabelas 3 e 4. Nessas tabelas, os dados referentes aos fatores tipo de diesel 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.

### **8.1. Força de tração**

Verifica-se, na Tabela 3, que a força exigida na barra de tração não variou para o fator tipo de diesel e para as proporções de mistura, resultado esperado, uma vez que o objetivo foi controlar esta variável por meio de um trator de frenagem engrenado na marcha 4<sup>a</sup>, gama L.

### **8.2. Potência na barra de tração**

Verifica-se, na Tabela 3, que as variáveis período de armazenamento e proporção de biodiesel não influenciaram na potência na barra de tração, que apresentou média de 10,79 kW, explicado por essa ser o produto da força com a velocidade, que, neste experimento, apresentaram pequenas variações: os resultados do presente trabalho corroboram os encontrados por Oliveira (2012).

TABELA 3. Síntese da análise de variância e o teste de médias para as variáveis força média na barra, potência na barra de tração e velocidade de deslocamento.

<b>Fatores</b>	<b>Força</b> kN	<b>Potência</b> kW	<b>Velocidade</b> km h <sup>-1</sup>
<b>Tipo de diesel (TD)</b>			
Interior BS1800	10,76 a	19,49 a	6,51 a
Metropolitano BS500	10,81 a	19,57 a	6,51 a
<b>Proporção de Biodiesel (Bn)</b>			
B0	10,90 a	19,59 a	6,46 a
B5	10,89 a	19,97 a	6,60 a
B15	11,12 a	20,15 a	6,52 a
B25	10,70 a	19,34 a	6,50 a
B50	10,69 a	19,42 a	6,53 a
B75	10,58 a	19,20 a	6,52 a
B100	10,63 a	19,02 a	6,43 a
<b>TESTE F</b>			
TD	0,2393 <sup>NS</sup>	0,1485 <sup>NS</sup>	0,0062 <sup>NS</sup>
B <sub>n</sub>	2,3236 <sup>NS</sup>	2,3423 <sup>NS</sup>	1,7139 <sup>NS</sup>
TDxB <sub>n</sub>	1,5415 <sup>NS</sup>	1,8115 <sup>NS</sup>	1,3107 <sup>NS</sup>
<b>C.V.(%)</b>	<b>2,83</b>	<b>3,36</b>	<b>1,5</b>

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.

### 8.3. Velocidade de deslocamento

Verifica-se, na Tabela 3, que o tipo de diesel, bem como as proporções de mistura não influenciaram na velocidade de deslocamento do trator. Tais resultados são semelhantes aos encontrados por Soranzo *et al.* (2008), trabalhando com biodiesel de óleo residual de soja, com força média na barra de tração de 20 kN.

Na Tabela 4, encontram-se os resultados médios para as variáveis consumo horário volumétrico, consumo horário ponderal e consumo específico.

TABELA 4. Síntese da análise de variância e o teste de médias para as variáveis consumo horário volumétrico, ponderal e consumo específico de combustível.

<b>Fatores</b>	<b>Chv</b> L h <sup>-1</sup>	<b>Chp</b> kg h <sup>-1</sup>	<b>Cesp</b> g kW h <sup>-1</sup>
<b>Tipo de diesel (TD)</b>			
Interior BS1800	8,87 a	7,68 a	399,32 a
Metropolitano BS500	9,22 a	7,93 a	408,51 a
<b>Proporção de Biodiesel (Bn)</b>			
B0	8,73 a	7,47 a	386,51 a
B5	9,25 a	7,92 a	400,52 a
B15	9,05 a	7,77 a	389,47 a
B25	8,86 a	7,62 a	399,49 a
B50	9,14 a	7,89 a	408,21 a
B75	9,29 a	8,09 a	424,49 a
B100	8,98 a	7,88 a	418,72 a
<b>TESTE F</b>			
TD	1,9841 NS	1,3418 <sup>NS</sup>	0,6223 NS
B <sub>n</sub>	0,3824 NS	0,5573 <sup>NS</sup>	0,8439 NS
TDxB <sub>n</sub>	0,7480 NS	0,7745 <sup>NS</sup>	0,6172 NS
C.V.(%)	8,9	8,7	9,3

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.

#### 8.4. Consumo horário volumétrico

Pela Tabela 4, observa-se que o tipo de diesel e proporção de biodiesel não influenciaram no consumo volumétrico de combustível. Os resultados do presente trabalho discordam com os encontrados por (MONYEM & VAN GERPEN, 2001), (PETERSON *et al.*, 1996) e (OLIVEIRA & COSTA, 2002), ressaltando-se que o consumo volumétrico é a informação mais utilizada entre os agricultores pela facilidade de medição.

### **8.5. Consumo horário ponderal**

Pela Tabela 4, nota-se que o consumo ponderal teve comportamento semelhante ao volumétrico. A relevância dessa medida é para os profissionais que trabalham na distribuição dos combustíveis, com a quantidade de massa que sai da origem sendo a mesma que chega a seu destino. Ademais, serve também para acompanhar a qualidade do produto que se considera a densidade.

### **8.6. Consumo específico**

Pela Tabela 4, verifica-se que, para o consumo específico de biodiesel, não houve diferença em função do tipo de diesel e proporções de mistura de biodiesel. Tais resultados diferem aos encontrados por Lopes *et al.* (2006), que trabalharam com biodiesel residual de fritura filtrado e destilado, com aumento no consumo de B0 a B100 de 18%. Por outro lado, Tabile *et al.* (2007), trabalhando com biodiesel de mamona em dois tipos de diesel, observaram aumento de 38,3%.

O consumo específico é a forma mais utilizada no meio científico para comparar tratamentos, pois leva em consideração a quantidade de combustível consumida, a potência desenvolvida e a densidade do produto.

## CONCLUSÃO

A tríplice mistura de biodiesel (soja 40%, dendê 40% e óleo residual 20%) e suas proporções de mistura com o tipo de diesel (interior e metropolitano) não comprometeram o desempenho do trator.

Com relação às proporções de biodiesel avaliadas, o consumo específico de combustível não apresentou diferença significativa para os fatores tipo de diesel e proporções de mistura.

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREOLI, I., CENTURION, J. F. Levantamento detalhado dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., 1999. Brasília, **Anais...**, Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 1999. 32p. (T025-3 CD-ROM)

ANGGRAINI-SÜß, A.A. **Wiederverwertung von gebrauchten Speiseölen/-fetten im energetisch-technischen Bereich: Ein Verfahren und dessen Bewertung.** (Tese doutorado). Fortschr. Ber. VDI Série 15 n<sup>o</sup> 219, Editora VDI. Duesseldorf, 1999, 210 p.

ANP, (Agencia Nacional do Petróleo) Qualidade do Biodiesel disponível em <<http://www.anp.gov.br/>> acessado dia: 17/01/2012.

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

BRASIL. Agência Nacional de Petróleo. **Resolução n<sup>o</sup> 14, de 11 de maio de 2012.** Disponível em: <[www.anp.gov.br/petro/legis\\_biodiesel.asp](http://www.anp.gov.br/petro/legis_biodiesel.asp)>. Acesso em: 26 mai. 2012.

BRASIL. Agência Nacional de Petróleo. **Resolução n<sup>o</sup> 65, de 9 de dezembro de 2011.** Disponível em: <[www.anp.gov.br/petro/legis\\_biodiesel.asp](http://www.anp.gov.br/petro/legis_biodiesel.asp)>. Acesso em: 26 mai. 2012.

CAMARA, F. T. Desempenho de um trator agrícola com biodiesel etílico destilado. 2004. 54 f. Monografia (Trabalho de Graduação em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2004.

CANDEIA, R. A. Biodiesel de Soja: Síntese, Degradação e Misturas Binárias. João Pessoa, **Programa de Pós-Graduação em Química**, UFPB, Tese de Doutorado, 2008.  
CISOJA - CENTRO DE INTELIGÊNCIA DE SOJA. Disponível em: <<http://www.cisoja.com.br/>>. Acesso em: 8 de ago. 2011.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Levantamentos de safra: 11<sup>o</sup> levantamento de grãos – agosto/2011.** Disponível em: [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11\\_08\\_09\\_11\\_44\\_03\\_boletim\\_agosto-2011.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_08_09_11_44_03_boletim_agosto-2011.pdf) . Acesso em: 8 de ago. 2011.

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.

CORSINI, M. S.; JORGE, N. Estabilidade oxidativa de óleos vegetais utilizados em frituras de mandioca palito congelada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 1, p. 27-32, 2006.

CORTEZ, W. J. *et al.* Biodiesel x velocidade: desempenho de um trator agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 4., 2007, Varginha. **Anais...** Lavras: UFLA, 2007.

COSTA NETO, P. R.; ROSSI, L. F. S. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel Através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras. **Revista Química Nova**, n. 23, ano 4, . p. 5 31, 2000

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

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 maio 2012.

DABDOUB, M.J. Biodiesel em casa e nas escolas: programa coleta de óleos de fritura, 2006. DIAS, A.C.F.; COSTA, F.E.C.; ANDREOTE, F.D.; LACAVA, P.T.; TEIXEIRA, M.A.; ASSUMPÇÃO, L.C.; ARAÚJO, W.L.; AZEVEDO, J.L.; MELO, I.S. Isolation of micropropagated strawberry endophytic bacteria and assessment of their potential for plant growth promotion. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v.25, p.189-195, 2009.

EMBRAPA Soja. **Soja em números (Safrá 2010/2011)**. Disponível em: [http://www.cnpso.embrapa.br/index.php?cod\\_pai=2&op\\_page=294](http://www.cnpso.embrapa.br/index.php?cod_pai=2&op_page=294). Acesso em: 9 de agosto 2011.

FACCINI, S. C., **Uso de Adsorvestes na Purificação do Biodiesel de Óleo de Soja**, Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Instituto de Química, Porto Alegre, p. 6 a 8, maio de 2008.

FERRARI, R. A.; OLIVEIRA, V. S.; SCABIO, A. Biodiesel de soja – taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia. **Química Nova**, v.28, n.1, p.19-23, 2005.

GROTTA, D.C.C.; LOPES, A.; FURLANI, C.E.A.; SILVA, R.P.; REIS, G.N.; CORTEZ, J.W. Biodiesel etílico de óleo residual de soja: desempenho de um trator agrícola na operação de gradagem. **Acta Scientiaru Technology**, Maringá, v.30, n.1, p.135-138, 2008.

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

LABORATÓRIO DE DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIAS LIMPAS. **Biodiesel: estratégias para produção e uso no Brasil**. Unicorp, São Paulo, 2005 (Palestra).

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

LOPES, A.; GROTTA, D.C.C.; FURLANI, C.E.A.; CAMARA, F.T.; DABDOUB, M.J.; HURTADO, G.R. Biodiesel etílico de óleo residual: consumo de combustível de um trator agrícola em função do percentual de mistura biodiesel e diesel e de petróleo. In:

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

MANTOVANI, E.C.; LEPLATOIS, M.; INAMASSU, R.Y. Automação do processo de avaliação de desempenho de tratores e implementos em campo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.34, n.7, p.1.241-1.246, 1999.

MATOS, M.P. de. **Soja: a mais importante oleaginosa da agricultura moderna**. São Paulo: Ícone Editora Ltda, 1987. 73p.

MEDRANO, M. F. **Avaliação da sustentabilidade do biodiesel de soja no Brasil**. 98f. 2007. Dissertação (Mestrado em Política e Gestão Ambiental) – Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2007.

MENDONÇA *et al.* Alterações físico-químicas em óleos de soja submetidos ao processo de fritura em unidades de produção de refeição no Distrito Federal. **Com. Ciências Saúde**. 2008, v. 19, p. 115-122. Disponível em: <[http://www.fepecs.edu.br/revista/Vol19\\_2art04.pdf](http://www.fepecs.edu.br/revista/Vol19_2art04.pdf)>. Acesso em: 9 jun. 2012.

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

MITTELBAACH, M. & P. TRITTHART: **Diesel fuel derived from vegetable oils, III. Emission tests using methyl esters of used frying oil**. *JAOCS*, Vol. 65, n° 7, Julho 1988, p. 1185-1187.

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.

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.

OLIVEIRA, M. C. J. **Biodiesel de mamona em trator**: desempenho em função do período de armazenamento e da proporção biodiesel/diesel em condição de preparo de solo agrícola. 2012. 82f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2012.

PARENTE, E. J. de S. **Biodiesel**: Uma Aventura Tecnológica Num País Engraçado. Fortaleza: Tecbio, 2003. 68p.

PASQUIS, R. Etude préliminaire en vue de l'évolution des projets de Reforme agraire en Amazonie Legal. Relatório de Pesquisa, CIRAD-UnB-CenDoTec, Brasília, 2004.

PERES, J. R. R.; BELDRANO, N. E. M. Oleaginosas para Biodiesel : situação e potencial. In : FERREIRA, J.R., CRISTO, C.M.P.N. (coord.). **O futuro da indústria**: biodiesel-coletânea de artigos. Brasília: MDIC-STI/IEL, 2006. p. 67-82.

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.

RANESES, A.R.; GLASER, L.K.; PRICE, J. M.; DUFFIELD, J. A. Potential biodiesel markets and their economic effects on the agricultural sector of the United states. **Industrial Crops and Products**, v.9, p.151–162, 1999.

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- 4., 2007, Varginha. **Anais...** Lavras: UFLA, 2007. p. 1.217-1.226.

SANTOS *et al.* **Comparação de Desempenho de um Motor Monocilindro do Ciclo Diesel Operando com Diesel e Biodiesel (B100)**. CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL. Jun. 2005, Varginha.

SANTOS FILHO, L.C.M.; AMARAL, G.N.; PARAGINSKI, G.L.; JAHN S.L. FOLETTTO, E.L. Aproveitamento de óleo de fritura para a produção de sabão de baixo custo. Congresso de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia, 21ª Feira de Protótipos, 6., 2006, Rio de Janeiro. **Anais...**

SANTOS, M. A. **Inserção no biodiesel na matriz energética brasileira**: aspectos técnicos e ambientais relacionados ao seu uso em motores de combustão. 2007. 117f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Curso de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

SANTOS, M.A.; AZEVEDO, C. J. V. **Aspectos técnicos e ambientais relativos ao uso de biodiesel em motores de combustão. Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente**, v.3, n.1, p.1-18, 2008. Disponível em:

<<http://www.revistaic.sp.senac.br/index.php/ITF/article/viewFile/94/119>>. Acessado em 17/01/2012.

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.

SLUSZZ, T.; MACHADO, J. A. D. Características das potenciais culturas matérias-primas do biodiesel e sua adoção pela agricultura familiar. **Anais... 6.**, 2006, Campinas. **Anais... Campinas: Unicamp**, 2006. p.1-10.

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.

SOUZA, C. D. R., **Caracterização físico-química das misturas binárias de biodiesel e diesel comercializados no Amazonas**, Acta Amaz. vol.39, nº 2, Manaus, 2009.

SUAREZ, P. A. Z.; SANTOS, A. L. F.; RODRIGUES, J. P. and ALVES, M. B. Biocombustíveis a partir de óleos e gorduras: desafios tecnológicos para viabilizá-los. **Química Nova**, 2009, vol.32, n.3, pp. 768-775. ISSN 0100-4042.

TABILE, R. A. *et al.* Biodiesel de mamona no diesel interior e metropolitano em trator agrícola. **Engenharia Agrícola.**, 2009, v.29, n. 3, p. 412-423. ISSN 0100-6916. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162009000300008>.

TAGLIARI, C. V. *et al.* Produção enzimática de biodiesel. In.: SEPEX, 6., 2006, Florianópolis. **Anais... Florianópolis: UFSC**, 2006.

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

TERUYA, C. L., **Biodiesel: Possibilidades e desafios**, química nova na escola, n. 28, maio 2008.

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. 2011. Disponível em <http://www.usda.gov/wps/portal/usda/usdahome>

VARGAS, R. M.; SCHUCHARDT, U.; SERCHELI, R. Transesterification of vegetable oils: a review. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 9, p. 199, 1998.

ZAGONEL, G. F.; RAMOS, L. P. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleos vegetais. **Revista de Química Industrial**, v. 717p. 17, 2001.

ZHANG, Y.; DUBÉ, M. A.; MCLEAN, D. D.; KATES, M. Biodiesel production from waste cooking oil: economic assessment and sensitivity analysis. **Biosource Technology**, v. 90, p. 229, 2003.