

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DESEMPENHO DE TRATOR AGRÍCOLA EM OPERAÇÃO DE
PREPARO DO SOLO UTILIZANDO DIESEL E
PROPORÇÕES DE BIODIESEL DE BABAÇU**

Ariston Pinto Santos

Licenciado em Ciências Agrárias

2014

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DESEMPENHO DE TRATOR AGRÍCOLA EM OPERAÇÃO DE
PREPARO DO SOLO UTILIZANDO DIESEL E
PROPORÇÕES DE BIODIESEL DE BABAÇU**

Ariston Pinto Santos

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).

Santos, Ariston Pinto
S237d Desempenho de trator agrícola em operação de preparo do solo utilizando diesel e proporções de biodiesel de babaçu / Ariston Pinto Santos. -- Jaboticabal, 2014
xv, 69 p.: il.; 28 cm

Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2014

Orientador: Afonso Lopes

Banca examinadora: Daniel Junior de Andrade, Marcílio Vieira Martins Filho, Gilberto Hirotsugu Azevedo Koike, Leomar Paulo de Lima.

Bibliografia

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

CDU 631.3:664.34

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

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: DESEMPENHO DE TRATOR AGRÍCOLA EM OPERAÇÃO DE PREPARO DO SOLO UTILIZANDO DIESEL E PROPORÇÕES DE BIODIESEL DE BABAÇU

AUTOR: ARISTON PINTO SANTOS

ORIENTADOR: Prof. Dr. AFONSO LOPES

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. AFONSO LOPES

Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. DANIEL JUNIOR DE ANDRADE

Departamento de Fitossanidade / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. MARCILIO VIEIRA MARTINS FILHO

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. GILBERTO HIROTSUGU AZEVEDO KOIKE

Consultor Autônomo / Ribeirão Preto/SP


Prof. Dr. LEOMAR PAULO DE LIMA

Instituto Federal do Triângulo Mineiro / Uberlândia/MG

Data da realização: 18 de dezembro de 2014.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

ARISTON PINTO SANTOS – Filho de Santana da Conceição Santos e Marilourdes Pinto Santos, nasceu em Bacabal - MA, no dia 29 de novembro de 1965. Em 1986, iniciou o Curso Superior de Licenciatura Plena em Ciências Agrícolas na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, concluindo-o em 1991. Em 1992, iniciou e concluiu estágio na BELTEC TANGUA Tratores e Implementos Agrícolas Ltda. (Revendedora Autorizada Massey Ferguson e Yanmar do Estado do Rio de Janeiro) ¹. Nessa função, coordenou e ministrou cursos de treinamento em Operação e Manutenção de Tratores e Implementos Agrícolas. Em 1994, ingressou como Professor Substituto no Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Maranhão – Câmpus Maracanã, São Luís – MA. Nessa função, ministrou aulas na Disciplina Máquinas e Mecanização Agrícola, permanecendo até 1995. Em 1998, por meio de Concurso Público, ingressou como Professor Efetivo no Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Maranhão – Câmpus Codó – MA. Em 2001, iniciou e concluiu o Curso de Automação em Piscicultura na Ecole Nationale de Formation Agronomique ENFA – França. Em 2003, iniciou o curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, na Universidade Federal de Lavras - MG, concluindo-o em fevereiro de 2006. Como Professor Efetivo, ocupou os cargos de: Chefe do Setor de Máquinas e Mecanização (1999 – 2002); Membro do Conselho Diretor (1999 - 2003); Coordenador Geral de Produção e Pesquisa (2002 e 2003). Permaneceu na referida Instituição até julho de 2012. Em agosto de 2012, por meio de Concurso Público, ingressou na Universidade Estadual do Maranhão - Câmpus São Luís – MA, como Professor Assistente I, no Departamento de Engenharia Agrícola. Ministrou aulas nas disciplinas: 31301 Mecanização e Máquinas Agrícolas; UZ0035 Máquinas Motores e Mecanização Agrícola; 3150105 Mecanização e Máquinas Agrícolas. Atualmente, é membro do Comitê Técnico-Científico e responsável pela Manutenção de Máquinas e Implementos Agrícolas das Fazendas Escola da Universidade. Em março de 2011, iniciou o curso de Doutorado em Agronomia (Ciência do Solo), na Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV/UNESP, Câmpus de Jaboticabal - SP, concluindo-o em dezembro de 2014.

¹ Nomes de Marcas/Modelos não significam preferência por parte do autor.

A virtude consiste em saber
encontrar o meio-termo entre
dois extremos.

Aristóteles

Feliz aquele que transfere o que
sabe e aprende o que ensina.

Cora Coralina

A Nosso Senhor Jesus Cristo, companheiro em todos os momentos.

Agradeço

A meus irmãos, em especial a Benemérito Pinto Santos e Demóstenes Pinto Santos.

Homenageio

Aos meus pais: Santana da Conceição Santos (in memoriam) e Marilourdes Pinto Santos

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me proporcionar saúde, forças, equilíbrio e sabedoria para concluir mais esta jornada da vida.

À Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal - SP, em especial aos servidores do Departamento de Engenharia Rural, o Secretário Davi Aparecido Trevizolli, o Técnico Agropecuário Aparecido Alves e os Operadores de Máquinas Agrícolas Valdecir Aparício e Sebastião Francisco da Silva Filho, que sempre estiveram dispostos a contribuir para a melhoria dos trabalhos realizados.

À Universidade Federal do Maranhão.

À CAPES, por ter concedido a Bolsa de estudo.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Maranhão, em especial ao Prof. Dr. Hilton Gomes Rangel, pelo empenho e concessão da licença para a capacitação, o incentivo e o apoio a esta importante conquista.

Ao Prof. Dr. Afonso Lopes, do Departamento de Engenharia Rural da FCAV/UNESP, pela orientação, atenção, dedicação, compreensão, sinceridade e espontaneidade para o trabalho, ressaltando a importância do laboratório IPBEN, Unidade de Ensaio de Máquinas/Jaboticabal-SP.

Aos Professores do programa de Pós-Graduação, Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho, Dr. Marcílio Vieira Martins Filho, Dr. Gener Tadeu Pereira, Dr. Itamar Andrioli, Dr. Jairo Osvaldo Cazetta, Dr. José Marques Júnior, Dr. José Renato Zanini e Dr. Renato de Mello Prado, por repassarem os conhecimentos que contribuíram para minha formação e preparação para a conclusão, com sucesso, de mais essa jornada.

À AGCO – Valtra do Brasil e à Coopercitrus, pela parceria que resultou na disponibilidade do trator de teste, em especial aos Senhores Rogério Zanotto e José Geraldo da Silveira Mello, respectivamente, e à FAPESP e ao CNPq, pelo apoio financeiro para a execução do projeto.

Ao IPBEN – Unidade Ensaio de Máquinas - FCAV/UNESP de Jaboticabal, pelo apoio e suporte técnico, e em especial aos colegas, Doutorando Murilo Coelho Theodoro Neves, Doutoranda Melina Cais Jejcic de Oliveira, Doutoranda Priscila

Sawasaki Iamaguti, Doutorando Thyago Augusto Medeiros Lira e Doutoranda Thaisa Calvo Fugineri Moreti, pela efetiva participação neste projeto, pela amizade, apoio e companheirismo.

À Professora Dra. Alana das Chagas Ferreira Aguiar, Coordenadora do programa de Pós-Graduação UFMA, e aos demais colegas do curso: Carlos Magno dos Anjos Veras, José Maria do Amaral Resende, Jussara Silva Dantas, Ana Zélia Silva, Ismênia Ribeiro de Oliveira, James Ribeiro de Azevedo, Edson Fernandes da Silva, José Roberto Brito de Freitas, Marcelino Silva Farias Filho, Paulo Sergio Silva Bezerra, Fredgardson Costa Martins, Jeane Rodrigues de Abreu, Ivo Guilherme Ribeiro de Araújo, Yzummy Pinheiro Doihara, Cristiane Rego Oliveira, Telmo José Mendes, Rogério de Abreu Silva, Sandra Maria da Costa Cruz, Alexsandra Sousa Nascimento e Liliane Pereira Campos, pela amizade e pelo companheirismo.

À COPALJ - Cooperativa dos Pequenos Produtores Agroextrativistas de Lago do Junco – MA, pelo fornecimento da matéria-prima-o óleo de babaçu orgânico.

Ao LADETEL (Laboratório de Desenvolvimento de Tecnologias Limpas), da Universidade de São Paulo-USP, em Ribeirão Preto - SP, pela parceria que resultou na transformação do óleo de babaçu em biodiesel para a execução deste trabalho, e em especial ao Prof. Dr. Miguel Joaquim Dabdoub Paz, responsável pelo laboratório.

À equipe da Seção Técnica de Pós-Graduação: Moysés Vicari, Diego Henrique Mafra, Edna Aparecida Martins, Gabriela Morello da Silva Marçal Oliveira, Fernanda dos Santos Raymundo, Izabel Cristina Gerbasi Beraldo, Maria da Consolata Mulotto Nunes, Branca Rochidali José, Gibson Caetano Pádua, e em especial à Supervisora da Seção, Márcia Luciana Natareli dos Santos, pela tolerância e o acompanhamento até o final desta jornada.

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

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	xiv
ABSTRACT	xv
I INTRODUÇÃO	1
II REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Diesel	3
2.2 Cultura do babaçu	7
2.2.1 Óleo de babaçu	12
2.2.1.1 Características físico-químicas do óleo de babaçu	14
2.3 Biodiesel.....	15
2.4 Emissões de material particulado	19
2.5 Ensaio de tratores agrícolas.....	22
III MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1 Área Experimental.....	24
3.2 Solo.....	25
3.3 Biodiesel	25
3.4 Diesel	26
3.5 Tratores.....	26
3.6 Instrumentação do trator de teste para o ensaio de desempenho	26
3.6.1 Velocidades de deslocamento.....	27
3.6.2 Força na barra de tração.....	28
3.6.3 Consumo de combustível.....	29
3.6.4 Sistema de aquisição de dados.....	31
3.7 Instrumentação do trator de teste para o ensaio de opacidade da fumaça..	32
3.7.1 Opacímetro....	32
3.8 Condução do trabalho.....	34
3.9 Delineamento experimental.....	34
3.10 Tratamentos.....	35
3.11 Densidade do biodiesel de babaçu em função da temperatura e da proporção de mistura	35
3.12 Ensaio I – Desempenho do trator	36

	Página
3.12.1 Escarificador	36
3.12.2 Uso dos tratores.	37
3.12.3 Velocidade de deslocamento.	38
3.12.4 Força média na barra de tração.	39
3.12.5 Potência na barra de tração.	39
3.12.6 Consumo de combustível.	39
3.12.7 Consumo horário volumétrico.	39
3.12.8 Consumo horário ponderal.	40
3.12.9 Consumo específico.	41
3.13 Ensaio II – Opacidade da fumaça do motor do trator	41
3.14 Análise estatística.	42
3.14.1 Análise de variância e teste de médias.	42
3.14.2 Análise de regressão.	42
IV RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1 Ensaio I – Desempenho operacional	42
4.1.1 Potência média na barra de tração.	43
4.1.2 Velocidade de deslocamento	43
4.1.3 Consumo de combustível	44
4.1.3.1 Consumo horário volumétrico.	44
4.1.3.2 Consumo horário ponderal	47
4.1.3.3 Consumo específico	48
4.2 Ensaio II – Opacidade da fumaça do trator	51
V CONCLUSÕES	56
VI REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
APÊNDICE	68

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1. Estados produtores de amêndoas de babaçu	12
2. Composição em ácidos graxos do óleo de babaçu	13
3. Caracterização físico-química do óleo de babaçu	15
4. Propriedades físico-químicas do biodiesel metílico e etílico de babaçu	19
5. Características das partículas	21
6. Relação e designação do tratamento dos ensaios I e II	35
7. Síntese de análise de variância e teste de médias para as variáveis, potência média na barra de tração (PB), velocidade de deslocamento (V) e consumo horário volumétrico de combustível.....	44
8. Síntese do desdobramento da interação tipo de diesel e proporção de biodiesel metílico de babaçu para a variável consumo volumétrico de combustível (Chv).....	45
9. Síntese da análise de variância e teste de médias para variáveis, consumo horário ponderal de combustível (Chp) e consumo específico de combustível (Cesp)	47
10. Síntese do desdobramento da interação tipo de diesel e proporção de biodiesel metílico de babaçu para a variável consumo ponderal de combustível (Chp).....	48
11. Síntese do desdobramento da interação tipo de diesel e proporção de biodiesel metílico de babaçu para a variável consumo específico de combustível (Cesp)	49
12. Síntese dos valores da análise de variância e do teste de médias para a variável opacidade da fumaça (Opac)	52
13. Síntese do desdobramento da interação tipo de diesel e proporção de mistura de biodiesel metílico de babaçu para a variável opacidade da fumaça (m^{-1})	53

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Produtos típicos de refinação e destilação de petróleo bruto	4
2. Repartição da oferta interna de energia	6
3. Consumo para fins de transporte	7
4. Produção de oleaginosa no Brasil	8
5. Palmeira de babaçu com inúmeros cachos ^(A) e detalhe do cacho com inúmeros frutos de coco babaçu ^(B)	9
6. Dimensões, transversal, longitudinal, e percentuais médios de massa das partes constituintes dos frutos do babaçu	10
7. Quebra manual do coco babaçu para extração das amêndoas ^(A) e detalhe das amêndoas expostas para secar ao ar livre ^(B)	11
8. Aplicações dos constituintes do coco babaçu	14
9. Protótipo e instrumentação do trator de teste para ensaio de desempenho	27
10. Radar instalado na lateral direita do trator para a determinação da velocidade real de deslocamento	28
11. Célula de carga acoplada à barra de tração	28
12. Protótipo usado para medição de combustível	30
13. Micrologger CR23X montado na cabine de operação do trator	31
14. Instrumentação utilizada no ensaio de opacidade da fumaça (opacímetro, controlador serial, sonda de captação e computador com <i>software</i> IGOR)	32
15. Vista geral do trator instrumentado para o ensaio de opacidade da fumaça ..	33
16. Esquema das parcelas	34
17. Dinâmica do ensaio de desempenho	38
18. Ajuste de modelo de regressão que explica o consumo específico de combustível (Cesp) em função do tipo de diesel e das proporções de mistura de biodiesel metílico de babaçu com diesel	51
19. Ajuste de modelo de regressão que explica a opacidade da fumaça (Opac) em função do tipo de diesel e das proporções de mistura de biodiesel metílico de babaçu com diesel	55

DESEMPENHO DE TRATOR AGRÍCOLA EM OPERAÇÃO DE PREPARO DO SOLO UTILIZANDO DIESEL E PROPORÇÕES DE BIODIESEL DE BABAÇU

RESUMO – O biodiesel de babaçu pode contribuir para a substituição do diesel. A hipótese levantada foi que o uso do diesel B S1800 e B S50, e proporções de mistura com biodiesel de babaçu não alterassem o desempenho do trator agrícola e não comprometessem seu funcionamento. Os objetivos foram avaliar a potência na barra de tração, a velocidade de deslocamento, os consumos de combustível: horário ponderal, volumétrico e específico, e também a opacidade da fumaça. O experimento foi desenvolvido na UNESP/FCAV – IPBEN - Unidade de Ensaio de Máquinas, do departamento de Engenharia Rural – Jaboticabal-SP. No ensaio dinâmico, utilizou-se de um trator de teste que percorreu três parcelas de 40 m espaçadas de 15 m, no final dos percursos o trator foi estacionado e mediu-se a opacidade da fumaça. O biodiesel de babaçu apresentou 11,1% e 14,3% de aumento no consumo específico e redução de 68,6% e 58% na opacidade da fumaça, comparado ao diesel B S1800 e B S50, respectivamente. Conclui-se que o biodiesel de babaçu e proporções com diesel B S1800 e B S50 não comprometem o funcionamento do motor do trator agrícola.

Palavras-chave: consumo de combustível, emissões de particulados, ensaio de trator agrícola

PERFORMANCE OF AGRICULTURAL TRACTORS IN SOIL PREPARATION USING DIESEL AND PROPORTIONS OF BABASSU BIODIESEL

ABSTRACT - Babassu biodiesel can contribute to the replacement of regular diesel. The hypothesis given was that the use of diesel B S1800 and B S50 and proportions of babassu biodiesel did not alter the performance of agricultural tractors and nor compromise their operation. The objective was to evaluate the power in the drawbar, travel speed, fuel consumption: mass, volume and time specific, as well as the opacity of the exhaust gas. The experiment was conducted at UNESP/FCAV - IPBEN - Machine Testing Unit, at the Rural Engineering Department located in Jaboticabal, SP, Brazil. For the dynamic test, a test tractor was used. It ran three 40 m parcels with a 15 m space between them. At the end of the course, the tractor parked and the opacity of the exhaust gas was measured. When comparing it with the B S1800 and B S50 diesel, the babassu biodiesel showed an 11.1% and 14.3% increase in specific fuel consumption and a reduction of 68.6% and 58% in gas opacity, respectively. Thus, proportions of babassu biodiesel with diesel B S1800 and B S50 do not compromise the operation of tractor engines.

Keywords: fuel consumption, particle emissions, agricultural tractor test

1 INTRODUÇÃO

As atividades econômicas dependem de fontes seguras de energia, seja para atender a necessidades básicas, como produção de alimentos, bens de serviço e lazer, seja para suprir bens de consumo, promovendo o desenvolvimento econômico, social e cultural de uma comunidade. Nas últimas décadas, o mundo vem buscando um desenvolvimento sustentável, ambientalmente correto, socialmente justo e economicamente viável. A preocupação com diversas questões ambientais não se limita apenas à preservação do planeta.

O setor de transportes é um dos maiores responsáveis pela emissão de poluentes. No ano de 2014, a maior preocupação foi o transporte rodoviário que apresentou crescimento considerável, principalmente nos países emergentes, em decorrência do aumento da população e das riquezas geradas e distribuídas. Estimativas sinalizam que, nas próximas décadas, o uso de energia em transporte nos países em desenvolvimento representarão aproximadamente 40% do consumo da energia mundial.

Superando o desafio de atender à crescente necessidade por energia sustentável, que ocasione menor impacto ao meio ambiente, cresce a motivação para o desenvolvimento de tecnologias que possibilitem a utilização de fontes renováveis de energias, podendo substituir os combustíveis fósseis. É nesse contexto que os biocombustíveis vêm ganhando força e destaque, principalmente no Brasil, que possui um excelente potencial natural para a produção desses combustíveis.

Segundo levantamento feito no ano de 2013 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Brasil é o maior produtor de babaçu do mundo. (IBGE, 2013). Produz anualmente 97.820 toneladas de amêndoas, sendo o Estado do Maranhão responsável por 93,45% da produção.

Dentre as diversas oleaginosas utilizadas na síntese de biodiesel, o óleo da amêndoa de babaçu apresenta grande potencial de produção, visto que, além de ser encontrado em várias regiões do País, apresenta uma produção de óleo de cerca de $900 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$. O óleo de babaçu possui características excelentes para a produção de biodiesel, devido a sua composição ser

2

predominantemente láurica. O fato de estes ésteres láuricos serem compostos de cadeias curtas faz com que a reação de obtenção do biodiesel seja facilitada.

Para avaliar a viabilidade do biodiesel, torna-se fundamental o conhecimento das características do funcionamento dos motores com o combustível ou mistura dele com diesel, as quais podem ser conhecidas através de ensaios de desempenho.

O presente trabalho teve o objetivo de avaliar o desempenho do trator agrícola em operação de preparo do solo e a opacidade da fumaça do motor funcionando com diesel B S1800, B S50 e suas proporções de mistura com biodiesel metílico de babaçu (B0, B5, B15, B25, B50, B75 e B100).

A hipótese levantada é que o uso do diesel B S1800 e B S50 e suas proporções de mistura com biodiesel de babaçu não alterem significativamente o desempenho e a opacidade da fumaça do trator agrícola, bem como o comprometimento de seu funcionamento.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Diesel

O diesel é o combustível mais utilizado em motores de combustão interna de alta potência (ZHU et al., 2010). Sua importância teve início quando o engenheiro alemão, especialista em ciclos térmicos, Rudolf Christian Karl Diesel, teve a ideia de aperfeiçoar o motor de combustão interna à gasolina e desenvolveu um protótipo no qual a mistura de ar-combustível era comprimida a uma determinada pressão em um motor monocilíndrico alimentado com óleo de amendoim. A mistura era então aquecida e provocava a autoignição. Após a morte de Rudolf Diesel, a indústria do petróleo desenvolveu um tipo de óleo que denominou de “óleo Diesel”, em homenagem ao inventor (SOUZA, 2008).

Um dos principais problemas da utilização do diesel é o teor de enxofre nele contido, que reagindo com o oxigênio durante a combustão, resulta em dióxido de enxofre, um dos maiores poluentes do ar (MUZIC et al., 2010).

No Brasil, para o sistema rodoviário, são disponibilizados três tipos de óleo diesel, sendo: óleo diesel metropolitano (B S50: combustível com teor de enxofre máximo de 50 mg kg^{-1}), apresentando coloração usualmente de incolor a amarelada, podendo apresentar-se ligeiramente alterada para as tonalidades marrom e alaranjada devido à coloração do biodiesel, utilizado nos grandes centros urbanos; e óleo diesel interior (B S1800: combustível com teor de enxofre máximo de 1.800 mg kg^{-1}), apresentando coloração avermelhada devido à adição de corante, comercializado nas demais localidades. Essa medida foi tomada para reduzir a quantidade de gases poluentes emitidos na atmosfera em locais onde existem grande concentração de veículos automotores (BRASIL, 2009a). De acordo com a referida Resolução ANP, a partir de 1º de janeiro de 2014, o óleo diesel B S1800 deixará de ser comercializado como óleo diesel de uso rodoviário e será substituído integralmente pelo óleo diesel B S50. Em janeiro de 2013, também passou a ser oferecido no Brasil, tanto para centros urbanos quanto para uso rodoviário, o diesel

B S10, com teor de enxofre máximo de 10 mg/kg^{-1} , conforme Resolução ANP nº. 31/2012 (BRASIL, 2012b).

O óleo diesel é um produto derivado do processo de destilação fracionada do petróleo, à pressão atmosférica, cujo ponto de ebulição varia de 180 a 380 °C e cujas cadeias de hidrocarbonetos variam de 6 a 30 carbonos, podendo conter algumas moléculas denominadas contaminantes, como: enxofre, nitrogênio, oxigênio e alguns íons metálicos (PETROBRAS, 2013a).

O processo de produção inicia-se com a destilação atmosférica, na qual, através do fornecimento de calor, há a decomposição do petróleo em diversos produtos finais. São obtidas, então, frações, isto é, misturas de hidrocarbonetos. Essas misturas passam por uma etapa de craqueamento catalítico, na qual as frações mais pesadas sofrem uma quebra na cadeia carbônica, transformando-se em cadeias menores. No final, podem ser agregadas outras frações, como a nafta, o querosene e o gasóleo leve de vácuo, resultando no produto conhecido como óleo diesel. A incorporação destas frações e de outras obtidas por processos de refinação dependerá da demanda global dos derivados de petróleo pelo mercado consumidor (PETROBRAS, 2013b). Os produtos tipicamente obtidos do petróleo bruto são mostrados na Figura 1.

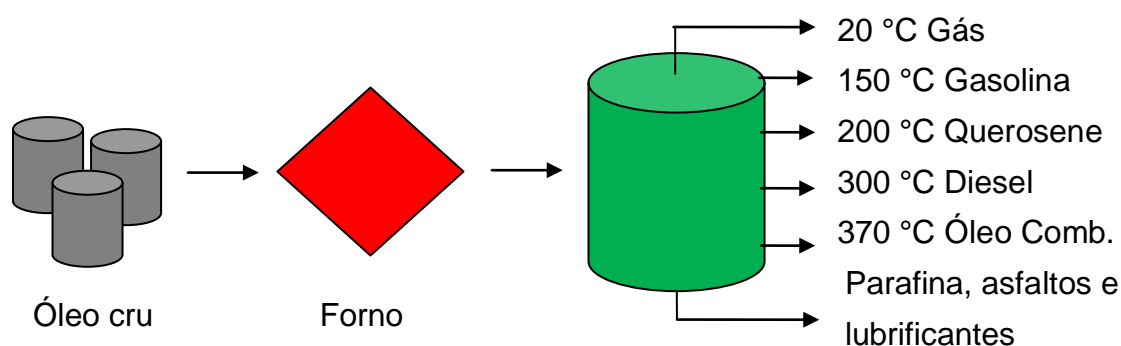


Figura 1. Produtos típicos de refinação e destilação de petróleo bruto (MACALLISTER; CHEN; FERNANDEZ-PELLO, 2011).

De acordo com a Resolução (BRASIL, 2012a), o diesel rodoviário no Brasil é classificado da seguinte forma:

- a) Óleo diesel tipo A: combustível proveniente de processos de refino de petróleo, centrais de matérias-primas petroquímicas ou autorizadas, sem adição de biodiesel;
- b) Óleo diesel tipo B: óleo diesel tipo A com adição de biodiesel.

Estes tipos de diesel são subclassificados de acordo com seu teor de enxofre, seguindo a nomenclatura adotada pela referida resolução, válida a partir do dia 1º de janeiro de 2012:

- a) Óleo diesel A S10 e B S10: contendo no máximo 10 mg kg^{-1} de enxofre;
- b) Óleo diesel A S50 e B S50: contendo no máximo 50 mg kg^{-1} de enxofre;
- c) Óleo diesel A S500 e B S500: contendo no máximo 500 mg kg^{-1} de enxofre;
- d) Óleo diesel A S1800 e B S1800: contendo no máximo 1.800 mg kg^{-1} de enxofre.

A substituição do diesel B S1800 pelo B S500 foi iniciada em 2012, ficando vedado o comércio do primeiro a partir de 2014. Em relação ao diesel com menores concentrações de enxofre, o período de adaptação para o B S50 ocorreu em 2012 e foi substituído totalmente pelo diesel B S10 em 2013.

Além do baixo teor de enxofre, esse combustível apresenta uma faixa de densidade mais controlada ($0,82$ a $0,85 \text{ g}\cdot\text{cm}^3$), maior número de cetano (NC mínimo de 46) e curva de destilação com T90% evaporados de 360° C no máximo. Como vantagens para o veículo, podem ser observadas melhor partida a frio, diminuição da formação de depósitos no motor e redução na incidência de contaminantes no lubrificante. Para o meio ambiente, há uma redução nas emissões de enxofre (até 90%) e de material particulado (SILVEIRA, 2013).

Essa alteração de concentração de enxofre no diesel visa a reduzir a poluição do ar nos centros urbanos em obediência às exigências da fase L6 do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), cuja descrição se encontra no capítulo III da Resolução nº. 415/2009 (BRASIL, 2009b) do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Apesar de benéfico à saúde e ao meio ambiente, a redução de enxofre diminui a lubricidade do combustível, acarretando problemas de desgaste em algumas partes do motor e sua estabilidade à oxidação, já que alguns compostos sulfurados funcionam como lubrificante e antioxidante inerentes do diesel (KARAVALAKIS; STOURNAS; KARONIS, 2010).

O Brasil é fortemente dependente dos derivados de petróleo, e em especial do diesel, visto que nosso modelo energético se apoia na estrutura de cargas dependentes do setor rodoviário (VICHI; MANSOR, 2009). Além do mais, em razão da flexibilidade do diesel, há uma tendência crescente de utilização dos motores ciclo diesel na agricultura, transporte e indústria devido a sua elevada eficiência de combustão, confiabilidade, adaptabilidade e custo-efetividade (DAWODY; BHATTI, 2014; LABECKAS; SLAVINSKAS; MAZEIKA, 2014; RASHEDUL et al., 2014).

De acordo com dados preliminares da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME) (EPE, 2014), o Balanço Energético Nacional (BEN) 2014, ano base 2013, indica que, para a repartição da oferta interna de energia, o petróleo e seus derivados lideram a lista, sendo o óleo diesel o principal produto consumido para fins de transporte. A estrutura da repartição da oferta interna e o consumo para fins de transporte no Brasil são mostrados nas Figuras 2 e 3, respectivamente.

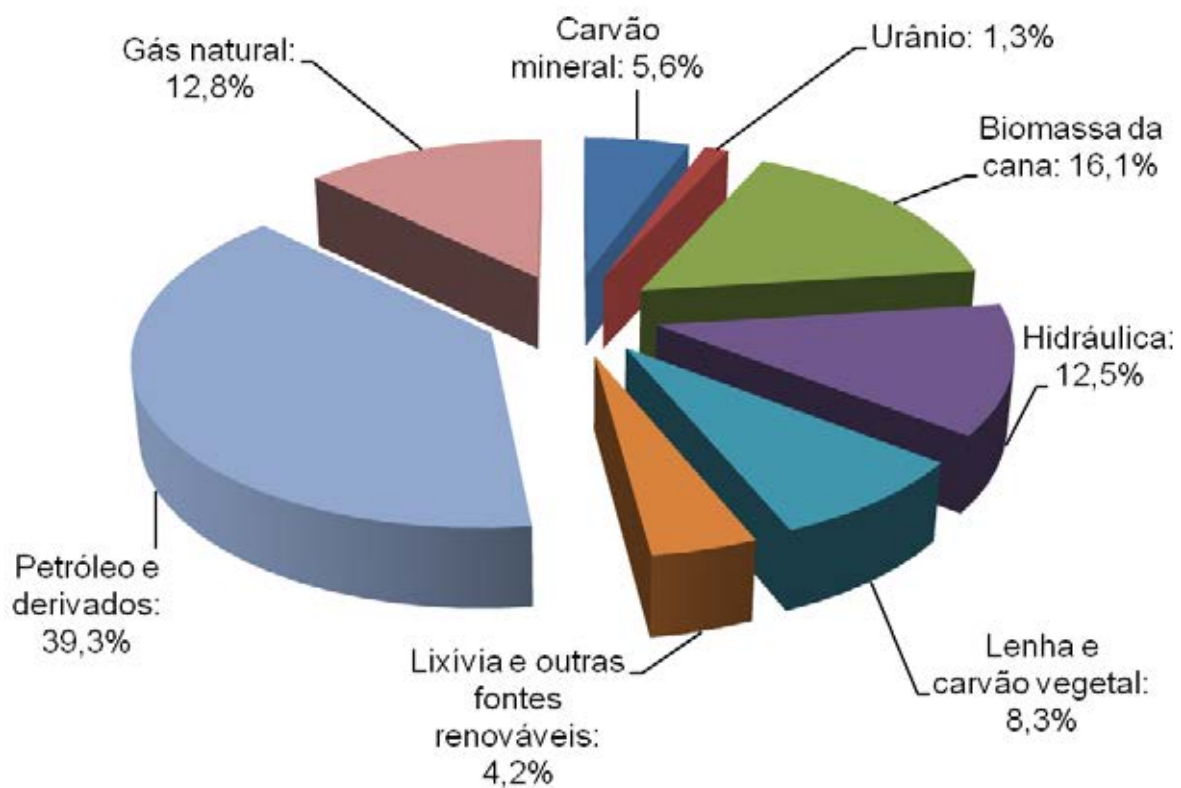


Figura 2. Repartição da oferta interna de energia (BRASIL, 2014).

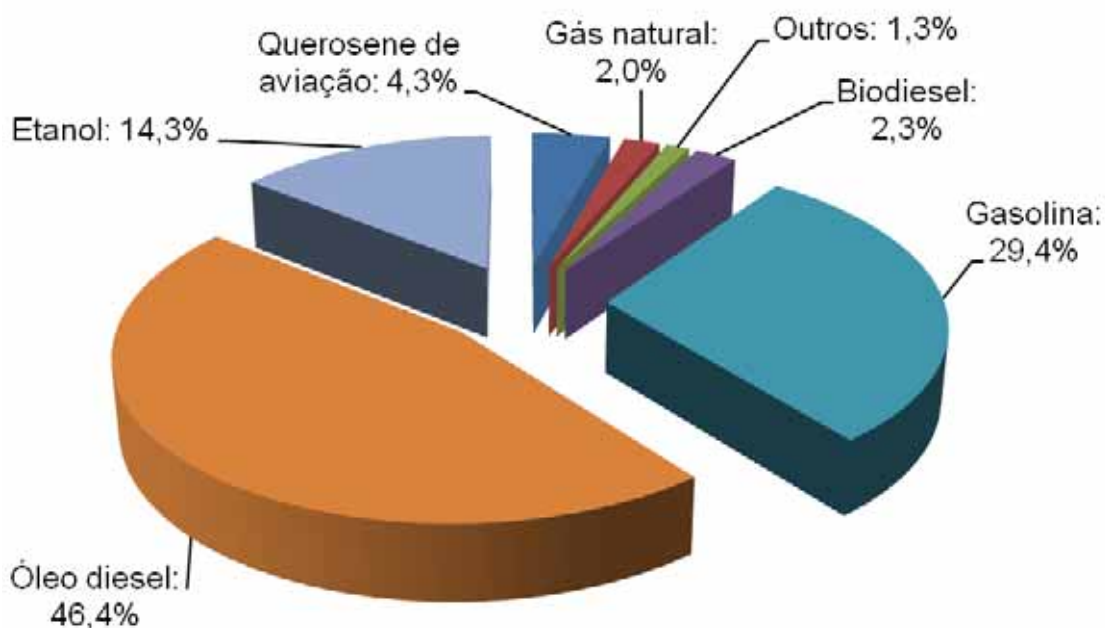


Figura 3. Consumo para fins de transporte (BRASIL, 2014).

2.2 Cultura do babaçu

Existem várias possíveis fontes de matéria-prima que podem contribuir com pequenas quantidades de óleo para a produção do biodiesel. Globalmente, há mais de 350 culturas identificadas como matéria-prima com potencial para a indústria de biodiesel (KARMAKAR; KARMAKAR; MUKHERJEE, 2010; ATABANI et al., 2012). Dentre o número de fontes autorizadas a produzir biodiesel, o Brasil destaca-se pela grande extensão territorial e os tipos de clima adequados, que favorecem a plantação de sementes oleaginosas, que o caracterizam como um País com grande potencial para a exploração de biomassa para fins alimentícios, químicos e energéticos. Na Figura 4, ilustram-se as principais oleaginosas cultivadas dentre as grandes regiões do Brasil.

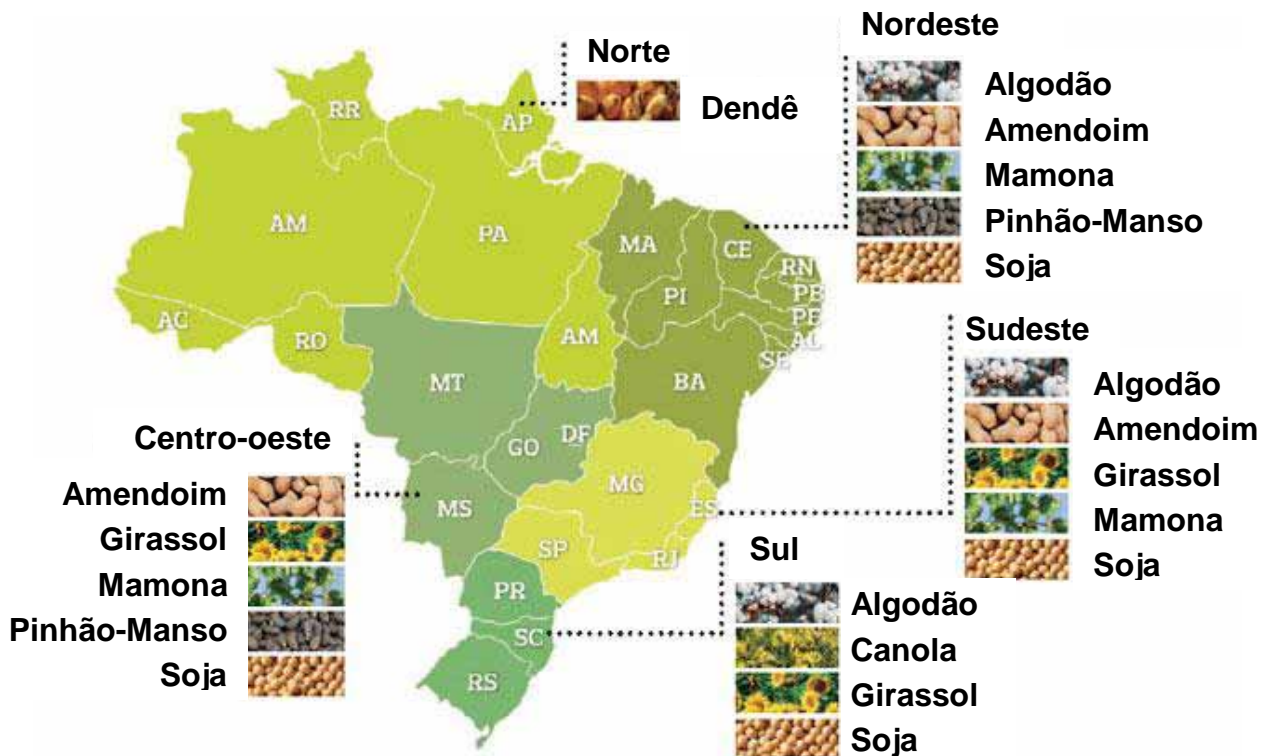


Figura 4. Produção de oleaginosa no Brasil (IBGE, 2013).

As propriedades físico-químicas dos derivados de biodiesel a partir de diferentes matérias-primas podem variar de acordo com a composição de ácidos graxos (PEHAN et al., 2009; HOEKMAN et al., 2012). Este fato estimula estudos mais específicos de caracterização e de comportamento térmico e oxidativo do óleo utilizado e do biodiesel produzido. Isto evita problemas de funcionamento do motor e indica os procedimentos necessários para o armazenamento e o transporte adequados para o bicomcombustível (DABDOUB; BRONZEL; RAMPIN, 2009).

Babaçu é uma palmácea de tronco simples, robusto, imponente, que pode medir entre 10-30 metros de altura, e entre 20-50 cm de diâmetro (caule). Frutifica a partir do oitavo ano e alcança a produção plena após 15 anos. Dentre as diversidades de espécies de babaçu, as mais conhecidas e com o uso mais difundido são *Attalea phalerata* e *Attalea speciosa* (LORENZI et al., 2010).

O babaçu destaca-se como uma das melhores fontes alternativas de energia renovável, além de benefícios econômicos e sociais, e traz vantagens ecológicas, pois é uma alternativa de produção energética ecologicamente sustentável, ou seja,

diminui os impactos ambientais provenientes do emprego de energia hidráulica. O óleo da amêndoa pode ser usado como combustível na produção de biodiesel e na indústria de alimentos e cosméticos (ALMEIDA et al., 2011; CINELLI et al., 2010). Uma palmeira de babaçu pode produzir anualmente 2.000 frutos (CHAVES; MACHADO; ANTONIASSI, 2006), cresce espontaneamente nas matas brasileiras, e produz inúmeros cachos compostos de inúmeros frutos chamados de coco babaçu (Figura 5).

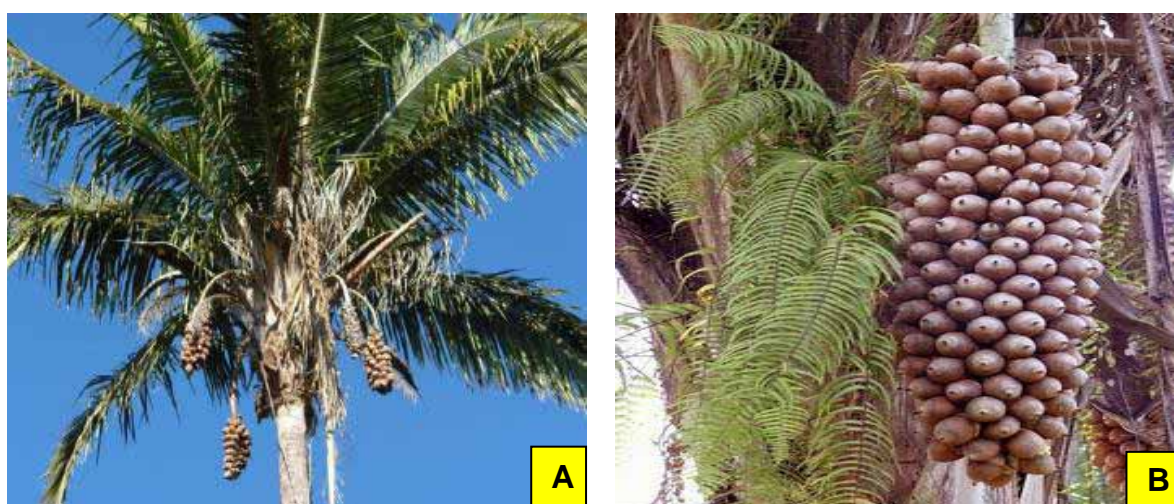


Figura 5. Palmeira de Babaçu com inúmeros cachos ^(A) e detalhe do cacho com inúmeros frutos de coco babaçu ^(B) Gomes et al. (2009).

O fruto da Palmeira de Babaçu, conhecido como coco babaçu, tem entre 8 e 15 cm de comprimento, sendo sua composição física descrita abaixo e ilustrada conforme a Figura 6.

- **Externa** – fibrosa (epicarpo);
- **Intermediária** – fibrosa-amilácea (mesocarpo);
- **Interna** – lenhosa (endocarpo), na qual estão inseridas as amêndoas.

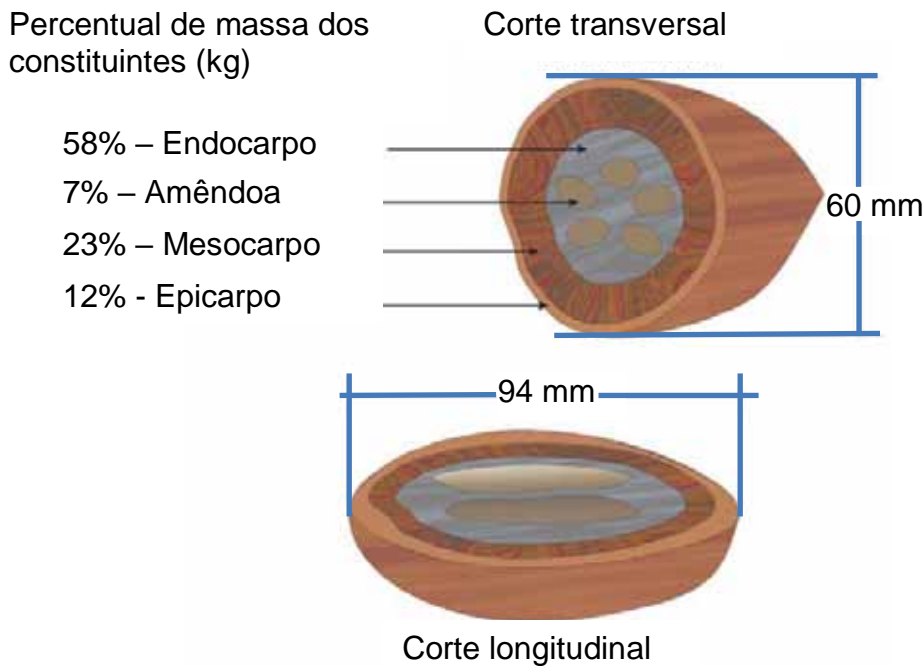


Figura 6. Dimensões: transversal, longitudinal, e percentuais médios de massa das partes constituinte do fruto do babaçu (NASCIMENTO, 2004).

As amêndoas correspondem de 6 a 8% da massa do coco integral e estão envoltas por um tegumento castanho, sendo separadas umas das outras por paredes divisórias. Pesam, em média, de 3 a 4 g, e contêm entre 60 e 68% de óleo, podendo alcançar 72% em condições mais favoráveis de crescimento da palmeira. As amêndoas secas ao ar livre contêm aproximadamente 4% de umidade, sem que este teor interfira na qualidade do óleo, sendo o componente do fruto mais intensivamente utilizado. A extração do babaçu é feita pela população extremamente pobre da região amazônica por absoluta falta de outras oportunidades. As amêndoas são extraídas manualmente com a quebra do fruto lenhoso (coco babaçu) (Figura 7), e são vendidas às fabricas para a extração do óleo ou são transformadas em óleo de forma caseira para o consumo da família (MARTINS, 2011).



Figura 7. Quebra manual do coco babaçu para a extração das amêndoas ^(A) e detalhe das amêndoas expostas para secar ao ar livre ^(B) (MARTINS, 2011).

No ano de 2011, 102.500 toneladas de amêndoas de babaçu foram coletadas. O Estado do Maranhão concentrou 94,2% da produção nacional. Conforme é visto na Tabela 1, os sete maiores Estados produtores são das regiões Norte e Nordeste do Brasil (IBGE, 2011).

Tabela 1. Estados produtores de amêndoa de babaçu.

Sete maiores Estados produtores	Babaçu (amêndoa)
	Quantidade produzida (Toneladas)
Brasil	102.500
Norte/Brasil	425
Amazonas	9
Pará	29
Tocantins	385
Nordeste/Brasil	102.077
Maranhão	96.160
Piauí	5.268
Ceará	341
Bahia	308

Fonte: IBGE (2011).

2.2.1 Óleo de babaçu

O óleo de babaçu é extraído das amêndoas contidas nos frutos da palmeira de babaçu, denominada por alguns botânicos como *Orbignya oleifera*, *O. speciosa*, *O. martiana* ou, ainda, *O. phalerata*. A palmeira do coco babaçu é de origem brasileira, encontrada na região amazônica e Mata Atlântica do Estado da Bahia e do Maranhão. É uma planta típica da região de transição entre o cerrado, a mata amazônica e o semiárido nordestino brasileiro. Com crescimento espontâneo nas matas da região amazônica, cada palmeira pode produzir anualmente 2.000 frutos (CHAVES; MACHADO; ANTONIASSI, 2006).

Segundo Teixeira (2008), os frutos possuem um formato elipsoidal, mais ou menos cilíndrico, tendo massa entre 90 e 280 g, apresentando, geralmente, de 3 a 5 amêndoas em cada fruto, cuja camada externa rija é denominada epicarpo e envolve uma camada secundária rica em amido, denominada mesocarpo. O endocarpo é uma camada celulósica mais rígida e contém as amêndoas das quais é extraído o óleo.

O óleo de babaçu tem excelentes características para a produção de biodiesel, uma vez que sua composição é predominantemente ácido graxo láurico, cerca de aproximadamente 44% (OLIVEIRA et al., 2013). Quimicamente, o óleo de babaçu é considerado do tipo saturado, visto que 82 a 88% de sua composição são de ácidos saturados (Tabela 2). O coco babaçu possui, em média, 7% de amêndoas, das quais são extraídos cerca de 65% de óleo, com composição predominantemente láurica (LIMA et al., 2007).

Tabela 2. Composição em ácidos graxos do óleo de babaçu

Ácido graxo	Composição de ácidos graxos (%)
Ácido caprílico (C8:0)	5
Ácido cáprico (C10:0)	6
Ácido láurico (C12:0)	44
Ácido mirístico (C14:0)	17
Ácido palmítico (C16:0)	8
Ácido esteárico (C18:0)	4
Ácido oleico (C18:1)	14,0
Ácido linoleico (C18:2)	2,0

Fonte: SANTOS (2008)

Informações da literatura sobre a viabilidade econômica para a produção de energia a partir dos recursos da biomassa, disponíveis no Brasil, apontam o babaçu como uma possível fonte sustentável de biomassa para a geração de biocombustíveis. De suas amêndoas, obtém-se o óleo que possui elevados rendimentos de biodiesel dentro dos padrões de qualidade exigidos pelas legislações vigentes (NASCIMENTO, 2004).

O babaçu tem 64 usos catalogados, dos quais cerca de uma dezena poderia ser economicamente viável, contudo o potencial desta palmácea continua inexplorado devido à falta de escala e estrutura produtiva. O extrativismo de babaçu no Maranhão gera cerca de 300 mil empregos. Os produtos dele obtidos estão ilustrados na Figura 8 (SANTOS, 2008).

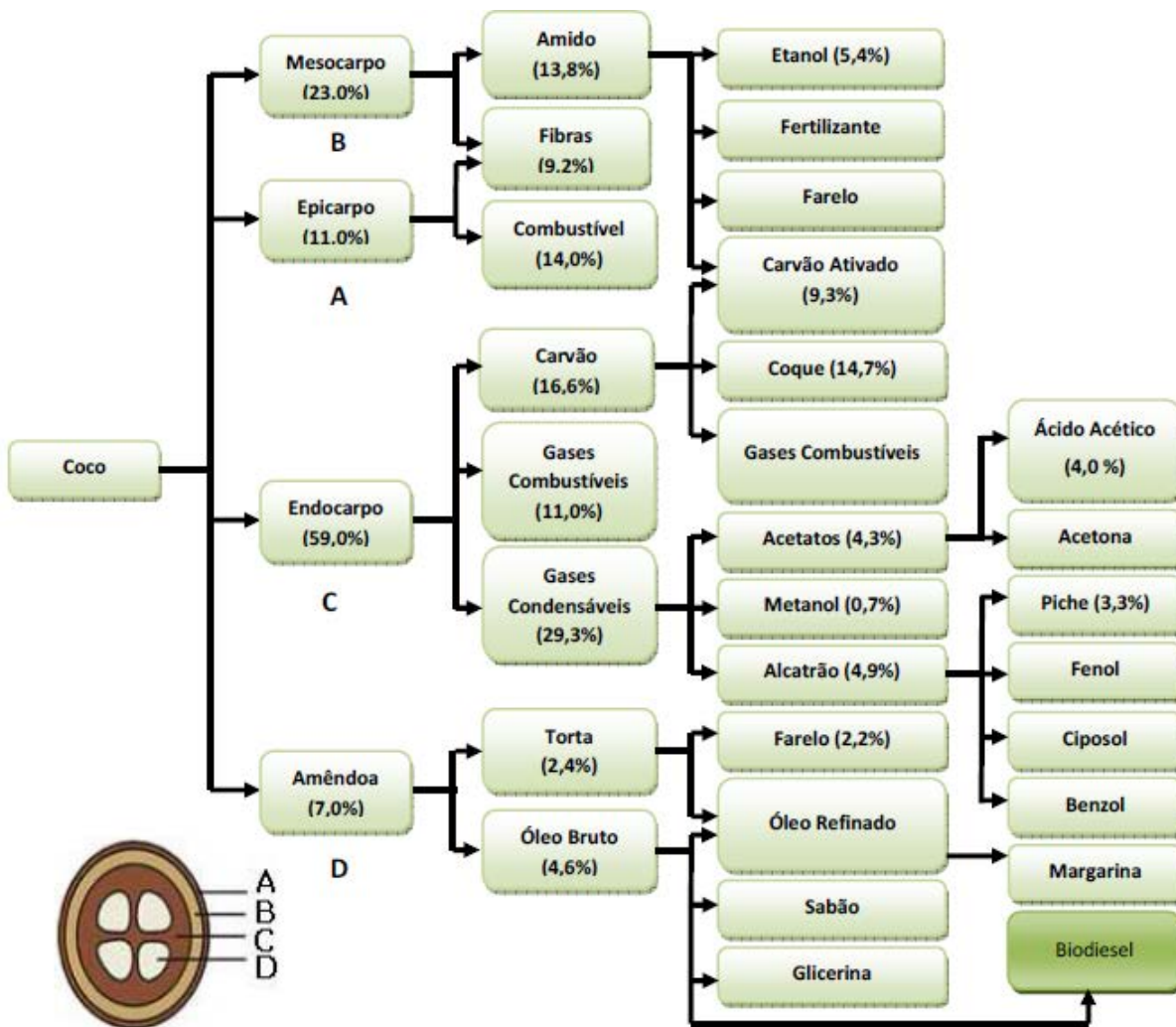


Figura 8. Aplicações dos constituintes do coco babaçu (SANTOS, 2008).

2.2.1.1 Características físico-químicas do óleo de babaçu

As características físico-químicas do óleo influenciam na reação de transesterificação. Assim, o óleo utilizado na síntese de biodiesel por esse método deve apresentar um índice de acidez inferior a 2 mg KOH.g^{-1} óleo (CANAKCI; GERPEN, 2001), já que um excesso de ácidos graxos livres pode levar a reações de saponificação, que competem com a reação de transesterificação quando o processo ocorre na presença de hidróxidos (catálise básica). As propriedades físico-

-químicas do óleo de babaçu estão apresentadas na Tabela 3 e demonstram sua qualidade para a produção de biodiesel.

Tabela 3. Caracterização físico-química do óleo de babaçu

Parâmetros	Óleo de babaçu	ANVISA
Ácidos graxos livres (%)	0,06	0,3%
Índice de acidez (mg KOH/g óleo)	1,26	-
Índice de peróxido (meq/kg óleo)	1,14	Máximo 10
Índice de iodo (Wijs)	16,6	10 – 18
Índice de saponificação (Mg KOH/g óleo)	130	-
Umidade de matéria volátil (%)	0,038	-
Matéria insaponificável (g/100g óleo)	1,13	Máximo 1,2%
Massa Específica, 20 °C (g/cm ³)	0,92	0,011 – 0,914
Viscosidade Cinemática, 40 °C	30,1	-

Fonte: SANTOS, 2008.

Os ácidos graxos constituem as unidades básicas dos lipídeos, e sua determinação é fundamental para o conhecimento da qualidade dos óleos, para a verificação do efeito de processamentos, para a adequação nutricional do lipídeo ou do alimento que o contém. A composição em ácidos graxos, em esteróis e em triacilglicerídeos são as principais análises utilizadas na determinação da identidade dos óleos. Para os óleos e as gorduras refinados, as análises mais usuais na avaliação da qualidade são os índices de peróxido e de acidez.

2.3 Biodiesel

Historicamente, o uso de óleos vegetais como combustível teve início com o desenvolvimento dos motores diesel, no final do século XIX, por Rudolph Diesel (KNOTHE, 2001). Todavia, no início do século XX, o diesel passou a ser o combustível utilizado para esse tipo de motor devido ao seu baixo custo e por razões

técnicas. Além disso, houve maior preocupação em atender à crescente demanda energética mundial, o que, conseqüentemente, levou ao crescimento da consciência ambiental devido às mudanças climáticas associadas à liberação de gases da queima de combustíveis fósseis. Todos esses fatores impulsionaram a busca por combustíveis de fontes renováveis, os quais voltaram a ser fortemente discutidos e pesquisados (LÔBO; FERREIRA, 2009).

As reservas mundiais de petróleo totalizam 1.383,2 bilhões de barris, sendo o consumo próximo a 87.382 mil barris/dia. Seguindo o mesmo padrão de consumo, haveria petróleo disponível até 2054; entretanto, para esta estimativa, não se leva em conta as tendências de crescimento no consumo, tampouco novas reservas que eventualmente possam ser descobertas. Aproximadamente 87% da energia consumida no mundo provêm de fontes não renováveis (petróleo, gás e carvão mineral) (BP, 2014).

O biodiesel é visto como uma possível solução para as incertezas do futuro energético (LAM et al., 2009). Apresenta diversas vantagens em relação ao diesel: é biodegradável, praticamente isento de enxofre e sua combustão é mais eficiente que o diesel. Apesar dessas vantagens, foi demonstrado que há um aumento da emissão de NOx relacionado ao uso do biodiesel (KOIKE et al., 2010). A adição de biodiesel ou de outros biocombustíveis ao diesel tem sido uma das medidas tomadas, uma vez que esse biocombustível não apresenta enxofre em sua composição, ao mesmo tempo em que reduz as emissões de gases tóxicos e materiais particulados que são lançados na atmosfera. Desde 1º de julho de 2014, o óleo diesel rodoviário dispõe, em sua composição, de 6% de biodiesel (BRASIL, 2014).

Dentre as fontes para a produção do biodiesel, apresenta-se o babaçu (*Orbinya martiana*), palmeira oleaginosa nativa que está distribuída em grande parte no Nordeste (maior região produtora), Norte e Centro-Oeste do Brasil, mas também cresce no México e na Bolívia (SILVA et al., 2014). Segundo levantamento feito no ano de 2013 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, o Brasil é o maior produtor de babaçu do mundo. Produz anualmente 97.820 toneladas de amêndoas, sendo o Estado do Maranhão o maior produtor, responsável por 93,45% da produção nacional (IBGE 2013).

Sousa et al. (2013) determinaram o percentual de ácidos graxos presentes no óleo de babaçu por meio de cromatografia gasosa e observaram que a grande concentração de ácidos graxos saturados encontrados na amostra tinha excelentes características para a produção de biodiesel por possuir cadeias curtas. No entanto, os ácidos graxos saturados apresentaram tendência a cristalizar em temperaturas baixas, que podem limitar o uso desse biocombustível em regiões de clima frio.

O Brasil é o terceiro país com maior produção de Biodiesel no mundo, somente atrás dos Estados Unidos e da Alemanha. Segundo o Boletim Mensal de Biodiesel da Agência Nacional do Petróleo, Gás natural e Biocombustíveis de março de 2012, existem 58 plantas produtoras de biodiesel autorizadas pela ANP para operação no País, correspondendo a uma capacidade total autorizada de 21.163,57 m³/dia, sendo que a principal matéria-prima para produção de óleo no Brasil se encontra fortemente concentrada na cultura da soja. Outras oleaginosas tradicionais, como algodão, girassol, canola, amendoim e mamona, contribuem com pequenas quantidades de óleo. Há ainda uma nova planta de biodiesel autorizada para construção e duas plantas de biodiesel autorizadas para o aumento da capacidade de produção. Com a finalização das obras e posterior autorização para operação, a capacidade total de produção de biodiesel autorizada poderá ser aumentada em 1.081 m³/dia, que representa um acréscimo de 5% na capacidade atual.

A partir de julho de 2008, a mistura obrigatória passou a ser de 3% (BRASIL, 2008). Em julho de 2009, 4% de biodiesel e, a partir de 1^o de janeiro de 2010, a adição de 5% de biodiesel no diesel (BRASIL, 2010). Em 11 de maio de 2012, foi publicada a Resolução 14 (BRASIL, 2012b) que estabelece as especificações do biodiesel comercializado no Brasil. Com a Medida Provisória n^o 647 (BRASIL, 2014) foi alterado o percentual obrigatório do biodiesel misturado ao óleo diesel comercializado ao consumidor final, passando de 5% para 6% a partir de 1^o de julho. Segundo a MP n^o 647, aprovada no Senado em 09 de agosto 2014, este percentual passará para 7% a partir de 1^o de novembro de 2014; porém, por motivo justificado de interesse público, o Conselho Nacional de Política Energética poderá reduzi-lo até o limite de 6%.

Conforme ANP n^o 14, (BRASIL, 2012a), em março de 2012, “cerca de 45% da energia e 18% dos combustíveis consumidos no Brasil já são renováveis. No resto

do mundo, 86% da energia vêm de fontes energéticas não renováveis”. Pioneiro mundial no uso de biocombustíveis, o Brasil alcançou posição almejada por muitos países que buscam fontes renováveis de energia como alternativas estratégicas ao petróleo.

Tabile et al. (2009), em ensaio com trator agrícola, verificaram que o tipo de diesel influenciou no consumo de combustível e na opacidade da fumaça, e o diesel metropolitano, contendo 500 mg kg^{-1} de enxofre, apresentou melhor resultado do que o diesel interior com 200 mg kg^{-1} de enxofre. Observaram que, com o aumento na proporção de biodiesel de mamona de B0 até B100 nos dois tipos de diesel, o consumo aumentou, e a opacidade da fumaça reduziu com acréscimo de biodiesel de mamona até B75.

Silva et al. (2012), estudando o desempenho de um motogerador em função da variação da carga aplicada ao gerador, alimentado com diesel e proporções de misturas com biodiesel de soja, concluíram que o consumo específico foi maior quando as cargas eram relativamente baixas, menores que 1,5 kW, e que utilizando somente óleo diesel, o consumo específico foi menor que as misturas com biodiesel testadas: B20, B40, B60 e B100. Informações da literatura sobre a viabilidade econômica para a produção de energia, a partir dos recursos da biomassa disponíveis no Brasil, apontam o babaçu como uma possível fonte sustentável de biomassa para a geração de biocombustíveis, obtendo elevados rendimentos de biodiesel de babaçu dentro dos padrões de qualidade exigidos pelas legislações vigentes (NASCIMENTO; VASCONCELOS; AZEVEDO, 2009).

Lima et al. (2007), obtiveram biodiesel de babaçu via transesterificação alcalina, utilizando rotas metílica e etílica. A reação alcançou rendimentos de 71,8% (biodiesel metílico) e 62,2% (biodiesel etílico) em massa.

Amostras de biodiesel metílico e etílico de babaçu foram avaliadas por meio de alguns parâmetros de caracterização, utilizando-se para este fim de normas estabelecidas pela Resolução ANP 7/2008 (BRASIL, 2008). Os resultados obtidos mostraram que as propriedades físico-químicas do biodiesel encontram-se dentro dos limites estabelecidos (Tabela 4), confirmando o potencial do biodiesel de babaçu como fonte alternativa de combustível (SANTOS, 2008).

Tabela 4. Propriedades físico-químicas do biodiesel metílico e etílico de babaçu.

Propriedades físico-químicas	Biodiesel de babaçu		Limite (ANP)	Métodos
	Metílico	Etílico		
Massa específica, 20 °C (kg/m ³)	877,8	880,5	850-900	ASTM D 4052
Viscosidade cinemática, 40 °C (mm ² /s)	3,07	3,5	3,6-6,0	ASTM D 445
Ponto de fulgor (°C), mín.	116	120	100	ASTM D 93
Corrosividade ao cobre, 50 °C, máx.	1	1	1	ASTM D 130
Enxofre Total (mg/kg), máx.	0	0	50	ASTM D 5453
Índice de cetano	38,6	38,4	Anotar	ASTM D 976
Ponto de entupimento (°C)	-3	+9	19	ASTM D 6371
Índice de acidez (mg KOH/g), máx.	0,10	0,20	0,50	ASTM D 664
Estabilidade oxidativa	Superior a 6 h	Superior a 6 h	6 h	EN 14112
Teor de ésteres (%), mínimo	98,0	97,6	96,5	EN 14103
Glicerina livre (%), máximo	0,02	0,01	0,02	ASTM D 6584

Fonte: SANTOS, 2008.

2.4 Emissões de material particulado

O uso do biodiesel tem aumentado substancialmente, principalmente devido às características de ser um combustível livre de enxofre, sendo uma fonte vegetal renovável que contribui para o ciclo do carbono (SILITONGA et al., 2011; MOFIJUR et al., 2012; ZHOU et al., 2012), devido à recuperação do CO₂ produzido pela combustão do biocombustível, que é reciclado pela planta produtora do óleo, enquanto o CO₂ liberado pela combustão de combustíveis fósseis em repouso há milhões de anos fica sobrando na atmosfera para ser absorvido pelas plantas.

Segundo o relatório anual da British Petroleum (BP, 2014), entre 2000 e 2013, as energias renováveis tiveram crescimento de 81%, com destaque para os biocombustíveis com 622%. A previsão para 2035 é o aumento de 40% na demanda geral de energia com maior crescimento das fontes renováveis.

Estudos têm viabilizado a utilização de biodiesel de pongamia, mamona, soja, dendê, tucumã, murumuru e buriti em motores do ciclo diesel através de avaliações do desempenho de tratores agrícolas (FARIA; PINTO; VALLE, 2010; NIETIEDT et al., 2011), e também da opacidade da fumaça proveniente da combustão (LIMA et al., 2012; NEVES et al., 2013; IAMAGUTI, 2014), resultando em não comprometimento no funcionamento de motores de tratores agrícolas e redução substancial da opacidade da fumaça.

Souza et al. (2009) avaliaram as chamas de biodiesel de óleo vegetal usado e diesel em um forno de calorimetria. Após observarem as imagens obtidas por um pirômetro infravermelho, concluíram que a temperatura da chama do óleo diesel é maior do que a do biodiesel, o que explica a taxa de transferência de calor mais elevada do óleo diesel.

A formação do material particulado gerado na combustão do diesel é bastante complexa e envolve uma sequência de etapas reacionais (pirólise, nucleação, crescimento e coagulação, agregação e oxidação). Além disso, dependem de vários fatores, como tipo de motor, condições de operação e composição do combustível (MENEZES et al., 2008).

Os gases de escape de motores são formados por componentes redutores (H_2 , hidrocarbonetos, e CO), oxidantes (O_2 , NO , NO_2 , SO_2 ,) e inerentes (CO_2 , N_2 , H_2O), além dos materiais particulados que, segundo Martins (2011), são considerados poluentes: o CO , os NO_x , SO_2 , os hidrocarbonetos e os particulados.

O material particulado, ou opacidade da fumaça, é definido segundo Martins (2011) como partículas sólidas ou líquidas que possuem geralmente dimensões menores que $1 \mu m$, em suspensão no ar, e que obstruem, refletem ou difundem a luz. O controle da fumaça é realizado por medição da opacidade expressa em % ou pelo coeficiente de absorção de luz expresso em k , com um aparelho chamado de opacímetro. Neste equipamento, um feixe de luz é emitido, atravessa a fumaça e é absorvido por um receptor. Quando nenhuma luminosidade emitida for detectada no

receptor, a opacidade é 100%; se a mesma quantidade de luminosidade emitida for detectada pelo receptor, a opacidade será 0%.

Buyukkaya (2010), investigando a emissão de combustão de um motor diesel com óleo de colza (B100) e as misturas (B5, B20 e B70) em comparação ao combustível diesel-padrão, separadamente, observou que a utilização de biodiesel produz menor opacidade de fumaça (até 60%) em comparação com o combustível diesel. Quando o biodiesel é adicionado ao óleo diesel, o teor de oxigênio na mistura do combustível aumenta e, assim, é necessário menos oxigênio para a combustão. No entanto, o oxigênio/combustível é a principal razão para uma combustão mais completa e, por isso, resulta na redução de emissões de poluentes (REIS et al., 2013).

As partículas estão entre os poluentes que apresentam maiores riscos ao meio ambiente. Elas aumentam as taxas de reação na atmosfera, reduzem a visibilidade e alteram os níveis da radiação solar que atinge o solo. Por este último fato, as partículas alteram a temperatura do solo e influenciam no crescimento das plantas. O comportamento das partículas na atmosfera depende principalmente de seu tamanho, que varia de 0,001 a 500 μm . A maior parte das partículas tem diâmetro variando entre 0,1 e 10 μm . Partículas muito pequenas movem-se aleatoriamente como moléculas de gás e, na prática, não se depositam no solo, permanecendo na atmosfera durante períodos indefinidos de tempo. Por sua vez, partículas maiores depositam-se rapidamente e permanecem por muito pouco tempo na atmosfera (CARVALHO JÚNIOR, 2003). As características gerais das partículas, em razão de seu tamanho, são mostradas na Tabela 5.

Tabela 5. Características das partículas

Tamanho	Velocidade de deposição	Característica do movimento
< 0,1 μm	$4 \times 10^{-5} \text{ cm.s}^{-1}$ a 0,1 μm	Movimento aleatório, similar ao de moléculas de gás.
< 0,1 - 20 μm	$4 \times 10^{-3} \text{ cm.s}^{-1}$ a 1 μm	Partículas seguem o movimento do gás no qual se encontram.
> 20 μm	30 cm.s^{-1} a 100 μm	Partículas depositam-se facilmente.

Fonte: CARVALHO JÚNIOR, 2003.

O uso do biodiesel reduz a emissão de poluentes para a atmosfera, assim como a transformação de óleo residual de frituras em combustível, e minimiza o efeito deste sobre o solo e os cursos d'água (LOPES et al., 2008). O setor agrícola responde por parte das emissões de poluentes para atmosfera, uma vez que praticamente todo o sistema depende de combustíveis derivados do petróleo. Segundo relatório do Ministério de Minas e Energia (EPE, 2011), o Brasil consumiu, em 2010, mais de 40 milhões de toneladas equivalente de petróleo de diesel, e deste montante, 5,7 milhões (14,25%) foram empregados no setor agrícola.

Vários trabalhos têm sido realizados sobre as propriedades do biodiesel e de suas emissões (ZHU et al., 2010). As substituições de diesel por misturas com biodiesel a partir de oleaginosas, como dendê e babaçu, permitem ao País obter créditos de carbono, sob o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

O biodiesel é visto como possível solução para as incertezas e dúvidas do futuro energético, principalmente dos países em desenvolvimento. Devido à grande semelhança com o diesel, em termos de estrutura química e conteúdo de energia, o biodiesel é compatível com os motores diesel, uma vez que não necessita de modificações (LAM et al., 2009).

Para verificar a intensidade de material particulado presente na fumaça, utiliza-se a opacidade da fumaça, que indica a impenetrabilidade da luz, sendo 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 expelido, coletando somente parte do fluxo de gás, através da sonda e do tubo de captação acoplados no cano de escape do trator. Verificou-se que, utilizando-se de biodiesel de dendê e tucumã, ocorreu redução de 36 e 60%, respectivamente, na opacidade da fumaça quando comparado com o diesel (LIMA et al., 2012).

2.5 Ensaio de tratores agrícolas

A invenção dos primeiros motores de combustão interna ocorreu no século XIX. Em 1892, o Engenheiro Francês Rudolf Diesel patenteou o motor de ignição espontâneo, hoje conhecido por motor do ciclo diesel. O desenvolvimento do

trabalho de Diesel durou aproximadamente 10 anos antes que fosse realizada a patente (BRUNETTI, 2012). Os tratores usam motores a combustão interna para se mover e tracionar equipamentos e máquinas agrícolas.

Gabriel Filho et al. (2010), avaliando um trator em três diferentes tipos de superfície do solo, averiguaram que, no solo firme e sem cobertura vegetal, o desempenho do trator foi melhor, seguido pelo solo com a superfície coberta com palha de milho e braquiária e, por último, o solo com a superfície mobilizada.

Monteiro (2011) utilizou um controlador lógico programável (CLP) com interface homem-máquina incorporado (IHM) que permitia a aquisição, leitura e armazenamento dos sinais enviados pelos sensores instalados na UMEB (Unidade Móvel de Ensaio na Barra de Tração) para as medidas de forças de tração instantânea e integrada, pertencente ao Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agroflorestais - NEMPA, do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônomicas, FCA - UNESP, Botucatu.

Fonseca (2009) cita exemplos de termopares que medem a temperatura, sensores de pressão de silício integrado para medir a pressão, células de carga para medir força na barra de tração e afirma que a medição é o processo de associar números a entidades e eventos no mundo real, e a eletrônica embarcada em tratores agrícolas faz parte da tecnologia moderna chamada instrumentação, gerando informações ao produtor rural, aperfeiçoando as operações de campo, proporcionando melhor rendimento energético e menor desgaste das máquinas agrícolas.

Montanha et al. (2012) utilizaram sensores de fluxo de combustível instalados em série e auxiliados por três reguladores de fluxo para mensurar o consumo de combustível de um trator agrícola em função do tipo de solo e da pressão de inflação dos pneus para a cultura do algodão irrigado.

Fioresi et al. (2012) utilizaram um medidor de fluxo da marca OVAL, modelo M-III LSF41L0-M2, alimentado por corrente contínua (12-24V), interligado a um microllogger CR1000, marca Campbell Scientific, acoplado a um notebook e a um dinamômetro de correntes parasitas (correntes de Foucault), modelo NL 480, da fabricante MWD, para avaliar o desempenho de um motor de trator agrícola em

bancada dinamométrica, com biodiesel de óleo de frango e misturas binárias com óleo diesel.

Campos (2009) desenvolveu um programa com a linguagem de programação Microsoft Visual Basic 6, para aquisição, processamento e armazenamento de dados de ensaio de tração de tratores, que apresentou economia de tempo para o usuário ao gerar, automaticamente, os relatórios de ensaio na barra de tração, sendo chamado de “Aplicativo para Ensaio de Tração – AET”.

A utilização da mecanização agrícola intensiva requer maiores investimentos e máquinas mais potentes com tecnologia moderna para atender a uma grande demanda. Na empresa, à medida que aumentam o número, o tamanho e a complexidade das máquinas, mais importante torna-se o gerenciamento da rentabilidade do sistema (PIACENTINIL et al., 2012).

Segundo Masiero et al. (2012), a análise dos sistemas mecanizados tem o objetivo de implementar técnicas de previsão, planejamento, controle e coordenação das atividades para ter o máximo rendimento útil das máquinas, com mínimo de dispêndio energético, tornando-se necessário conhecer a força e a potência disponíveis na barra de tração dos tratores agrícolas, uma vez que, a partir do conhecimento desta potência, podem-se dimensionar equipamentos adequados à sua capacidade.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área experimental

O trabalho foi realizado em área do Laboratório IPBEN, Unidade de Ensaio de Máquinas, do departamento de Engenharia Rural da Universidade Estadual Paulista UNESP, Câmpus de Jaboticabal-SP. A área está situada lateralmente à Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, km 5, possui localização geodésica definida pelas coordenadas 21°15'26,43" latitude sul e 48°17'12,79" longitude oeste, com altitude média de 581 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 classificação de Köppen, é do tipo Aw, definido como tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno.

3.2 Solo

O solo da área experimental utilizada em função do escarificador foi classificado como Latossolo Vermelho euroférico típico, com relevo suave ondulado e declividade média de 3%, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (ANDREOLI; CENTURION, 1999).

A análise referente ao solo seguiu a rotina do Departamento de Ciência do Solo da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP/Jaboticabal, conforme descrito na 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 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.

3.3 Biodiesel

O biodiesel utilizado foi do tipo metílico de babaçu (*Orbignya phalerata*, Mart.). O processo de produção e o fornecimento dos biocombustíveis ficaram a cargo do Laboratório de Desenvolvimento de Tecnologias Limpas - LADETEL, da Universidade de São Paulo, USP, Câmpus de Ribeirão Preto - SP, num sistema de parceria com a FCAV/UNESP, Jaboticabal - SP. As misturas de biodiesel no diesel foram realizadas no momento de cada ensaio, utilizando-se de provetas (vidro) de 500 mL e 250 mL, funil e recipientes.

3.4 Diesel

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

3.5 Tratores

O trator de teste foi da marca Valtra, modelo BM125i, turbo e *intercooler*, 4x2, com tração dianteira auxiliar (TDA), potência de 92 kW (125 cv) no motor a 2.300 rpm , massa total de 6.750 kg , distribuídos a 40 e 60% nos eixos dianteiro e traseiro, respectivamente, equipado com pneus $14.9-24$ no eixo dianteiro e $23.1-30$ no eixo traseiro, sendo tal trator instrumentado para a realização do teste.

O trator de frenagem foi da 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 a 40 e 60% nos eixos dianteiro e traseiro, respectivamente, equipado com pneus $14.9-28$ no eixo dianteiro e $23.1-30$ no eixo traseiro.

3.6 Instrumentação do trator de teste para o ensaio de desempenho

O trator de teste utilizado no ensaio e desempenho estava instrumentado conforme protótipo desenvolvido e descrito por Lopes (2006), como mostra a Figura 9.



Figura 9. Protótipo e instrumentação do trator de teste para ensaio de desempenho. Fonte: LOPES, (2006).

3.6.1 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⁻¹, instalado na parte inferior do trator de teste, fazendo ângulo de 45° com a superfície do solo, conforme recomendação do fabricante (Figura 10). Considerou-se a velocidade real de deslocamento aquela obtida pelo radar no momento em que o trator de teste estava em operação.



Figura 10. Radar instalado na lateral direita do trator para a determinação da velocidade real de deslocamento (LOPES, 2006).

3.6.2 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 kN.

Para a montagem da célula de carga, utilizou-se de sistema em formato de berço para acomodação e proteção. Tal estrutura foi fixada no trator de teste e teve a função de absorver todo 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 (Figura 11).

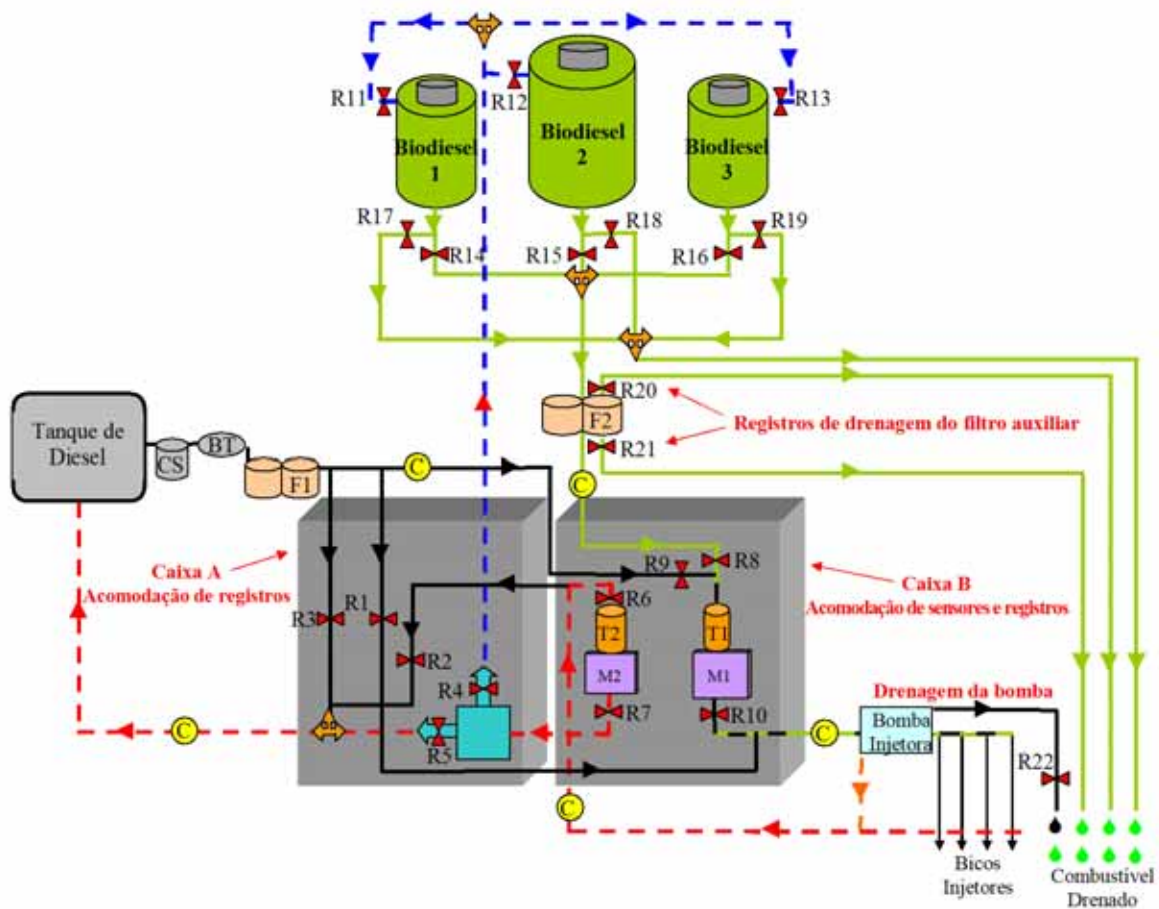


Figura 11. Célula de carga acoplada à barra de tração (LOPES, 2006).

3.6.3 Consumo de combustível

O consumo de combustível foi determinado, obtendo-se volume e temperatura do combustível que alimenta a bomba injetora e volume e temperatura do combustível que retorna ao tanque, sendo combustível consumido a diferença entre as duas medidas. A temperatura do combustível medida foi utilizada para a correção da densidade do combustível.

O protótipo para a medição do consumo de combustível foi desenvolvido, construído e validado por Lopes et al. (2003), conforme mostra a Figura 12. O sistema consiste em dois conjuntos: um para a alimentação da bomba injetora e o outro para o retorno. Cada conjunto contém medidor de fluxo da marca Oval Corporation, modelo Flowmate LSF41, com precisão de 1% sobre a vazão nominal e vazão máxima de 100 L h^{-1} , e sensor de temperatura do tipo resistivo, modelo PT 100 (resistência de 100 Ohms a $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$), com faixa de medida de $-200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a $800 \text{ }^{\circ}\text{C}$. 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 diesel e misturas diesel/biodiesel sem contaminar o tanque original do trator.



LEGENDA

BT: Bomba de transferência

F: Filtros

C: Conexões

S: Sangrias

T: Termômetros (PT 100)

M: Medidores de fluxo

CS: Copo sedimentador

R: Registros

▶ : Sentido do fluxo de combustível

↔ : Conexão de mangueiras

● : Ponto de emenda das mangueiras

--- : Linhas tracejadas (Retorno)

ESQUEMA DE USO

Medir Biodiesel

Abrir R3; R4; R6; R7; R8; R10; (R11; R12 ou R13) e (R14; R15 ou R16)

Fechar R1; R2; R5; R9; R17; R18; R19; R20; R21 e R22

Medir Diesel

Abrir R5; R6; R7; R9 e R10

Fechar R1; R2; R3; R4; R8; R11; R12; R13; R14; R15; R16; R17; R18; R19; R20; R21 e R22

Funcionar Sem Medir Combustível

Abrir R1 e R2

Fechar R3; R4; R5; R6; (R7; R8; R9 até R22)

Figura 12. Protótipo usado para medição de combustível.

Fonte: LOPES et al. (2003).

3.6.4 Sistema de aquisição de dados

Todos os transdutores e sensores foram alimentados a partir da bateria auxiliar, montada junto ao sistema de aquisição de dados. 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 em sistema de aquisição de dados marca Campbell Scientific, modelo Micrologger CR23X, programado para obter dados na frequência de 1 Hz, sendo posteriormente transferidos via porta de comunicação serial (RS232) para computador, a fim de serem processados (Figura 13).



Figura 13. Micrologger *CR23X* montado na cabine de operação do trator.
Fonte: LOPES, (2006).

3.7 Instrumentação do trator de teste para o ensaio de opacidade da fumaça

3.7.1 Opacímetro

A opacidade da fumaça foi medida por 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.

No momento do ensaio, o opacímetro esteve ligado ao controlador serial da marca Tecnomotor, modelo TM 616, que recebe os sinais do sensor e converte-os em unidade de medida. Tal equipamento exporta os dados convertidos para computadores, por meio de conexão serial, cuja interface é o *software* denominado IGOR versão 1.4, que gerencia os ensaios. Os equipamentos são apresentados na Figura 14.

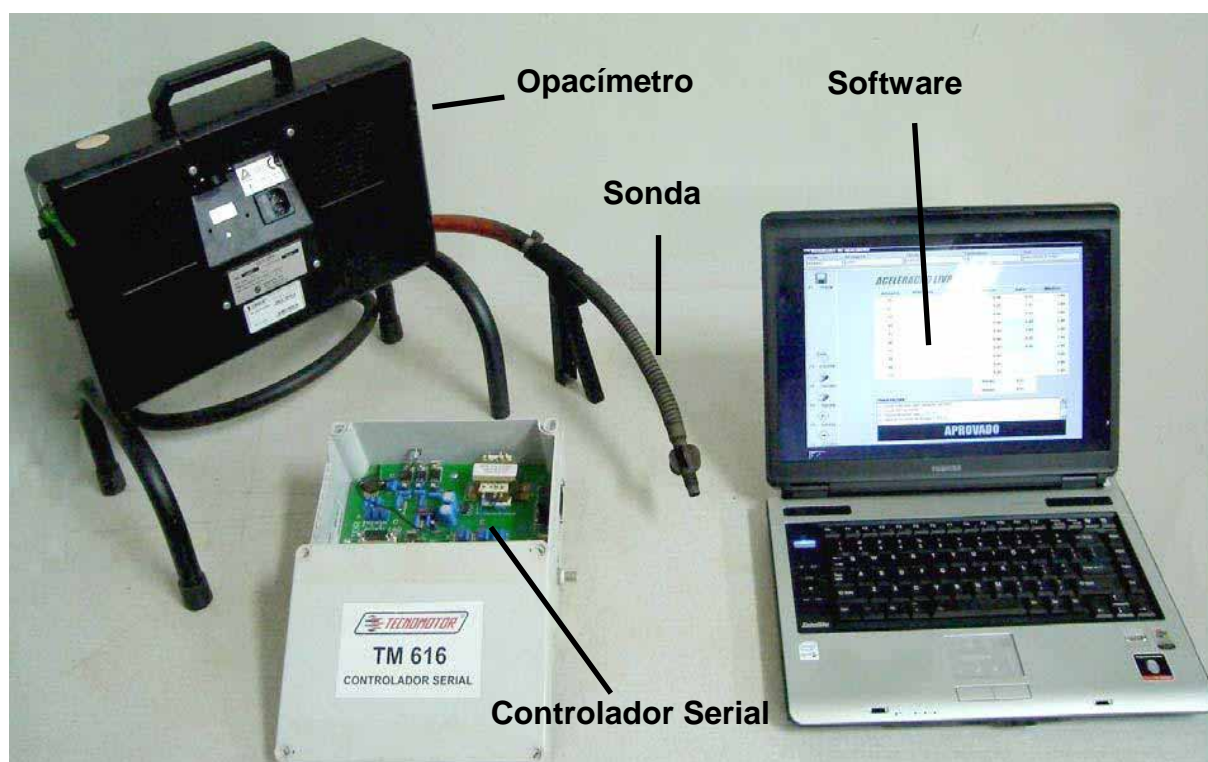


Figura 14. Instrumentação utilizada no ensaio de opacidade da fumaça (opacímetro, controlador serial, sonda de captação e computador com *software* IGOR).
Fonte: LOPES (2006).

O opacímetro é o equipamento destinado a medir a opacidade da fumaça, constituindo-se de: elemento principal e uma sonda coletora. Esta, por sua vez, foi inserida no escapamento do trator. Em motor diesel, o gás de escapamento contém partículas suspensas que, ao serem atravessadas por 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 da sonda e da 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 emissor de luz e 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 15.



Figura 15. Vista geral do trator instrumentado para o ensaio de opacidade da fumaça
Fonte: LOPES (2006).

3.8 Condução do trabalho

O trabalho foi dividido em duas etapas: a primeira, dinâmica, realizada em condições de campo, com intuito de avaliar o desempenho do trator; a segunda foi estática, realizada com trator estacionado, com intuito de avaliar a opacidade da fumaça do motor do trator. Os experimentos foram divididos em tópicos, apresentados da seguinte forma:

- Ensaio I – Desempenho de trator agrícola em função do tipo de diesel e suas proporções de mistura com biodiesel metílico de babaçu;
- Ensaio II – Opacidade da fumaça do motor do trator agrícola em função do tipo de diesel e suas proporções de mistura com biodiesel metílico de babaçu.

3.9 Delineamento experimental

Os ensaios (I e II) foram realizados em delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 7×2 , com três repetições, totalizando 42 observações. As combinações dos fatores foram sete proporções de mistura (B0, B5, B15, B25, B50, B75 e B100, em que o número indica a porcentagem de biodiesel no diesel) e dois tipos de diesel (B S1800 e B S50). 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 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 mecanizado, conforme a Figura 16.

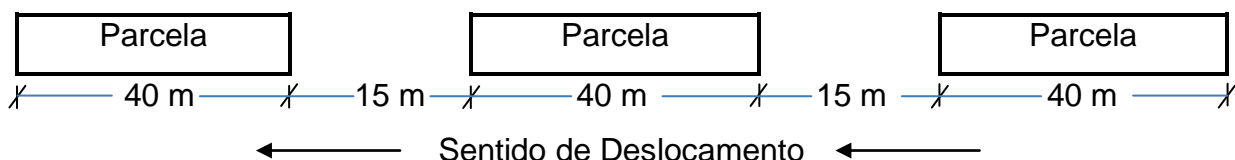


Figura 16. Esquema das parcelas.

3.10 Tratamentos

As combinações e as respectivas designações dos tratamentos dos ensaios I e II são representadas, respectivamente, na Tabela 6.

Tabela 6. Relação e designação dos tratamentos dos ensaios I e II.

Tratamentos	Fatores comparativos		Designação	
	Tipo de diesel	Proporção (%)		
		Biodiesel		Diesel
T01	B S1800	0	100	BS1800-B0
T02		5	95	BS1800-B5
T03		15	85	BS1800-B15
T04		25	75	BS1800-B25
T05		50	50	BS1800-B50
T06		75	25	BS1800-B75
T07		100	0	BS1800-B100
T01		B S50	0	100
T02	5		95	BS50-B5
T03	15		85	BS50-B15
T04	25		75	BS50-B25
T05	50		50	BS50-B50
T06	75		25	BS50-B75
T07	100		0	BS50-B100

3.11 Densidade do biodiesel de babaçu em função da temperatura e da proporção de mistura

Ao longo da 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 (2014). 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 sua densidade 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 sete 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.

$$D = C + C1xT + C2xBn + C3xT^2 + C4xTxBn + C5xBn^2 \quad (1)$$

em que,

D = densidade do combustível (g L⁻¹);

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

Bn = proporção de biodiesel de babaçu (%), e

T = temperatura do combustível (°C).

3.12 Ensaio I – Desempenho do trator

3.12.1 Escarificador

Com a finalidade de oferecer carga à barra de tração do trator de teste, no ensaio preliminar, foi utilizado um escaificador de arrasto Marchesan, modelo

AST/MATIC 7, com massa total de 1.400 kg. Esse equipamento é constituído de 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.

Foi realizado um ensaio preliminar também denominado de experimento-piloto, com a finalidade de definir a carga na barra de tração do trator de teste correspondente ao esforço máximo, tecnicamente viável, que o trator de teste pôde tracionar. O ensaio compreendia a operação de escarificação da área experimental a 30 cm de profundidade. A força de tração necessária para realizar essa operação foi mensurada em aproximadamente 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.

Para a força mensurada, a patinagem ficou em torno de 10%, conforme recomendada pela ASAE (1997).

3.12.2 Uso dos tratores

No momento dos ensaios, o trator de teste operou a 2.100 rpm, com tração dianteira auxiliar (TDA) ligada, sendo a velocidade de trabalho conseguida com a combinação do câmbio 3^a L.

O trator de frenagem foi acoplado ao trator de teste por meio de cabo de aço, formando 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, ressaltando-se que tal carga foi obtida por meio da combinação de marchas do trator de frenagem (4^a L), com tal força sendo de aproximadamente 25 kN. O referido trator foi tracionado desligado e engrenado, com a tração dianteira auxiliar (TDA) acionada, pois a única função era oferecer carga na barra de tração do trator de teste o mais uniforme possível. A dinâmica do ensaio é ilustrada conforme Figura 17.



Figura 17. Dinâmica do ensaio de desempenho.

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 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 de tração;
- Volume de combustível consumido;
- Temperatura do combustível na entrada da bomba injetora, e
- Temperatura do combustível no retorno dos bicos e da bomba injetora.

3.12.3 Velocidade de deslocamento

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

3.12.4 Força média de tração na barra

A força média de tração na barra de tração do trator de teste foi determinada de forma direta em kN, pela célula de carga acoplada entre o trator de teste e o trator de frenagem.

3.12.5 Potência na barra de tração

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

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

em que,

PB = potência na barra de tração (kW);

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

Vel = velocidade real de deslocamento (km h^{-1}), e

3,6 = fator de conversão.

3.12.6 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.

3.12.7 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):

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

em que,

Chv = consumo horário (L h⁻¹), e

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.

A metodologia utilizada para a aquisição dos dados do consumo horário volumétrico é a informação mais utilizada entre os agricultores para o gerenciamento de gastos de combustível no maquinário, uma vez que este dado é de simples obtenção e de fácil análise.

3.12.8 Consumo horário ponderal

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

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

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.

Importante para profissionais da distribuição de combustíveis, porque leva em consideração o volume de combustível que sai da origem e a que chega ao destino.

3.12.9 Consumo específico

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

$$C_e = \left(\frac{Chp}{PB} \right) \times 1.000 \quad (5)$$

em que,

C_e = consumo específico (g kWh^{-1});

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

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

1.000 = fator de conversão.

A importância de expressar o consumo de combustível na forma específica é atender à comunidade científica e também a fabricantes de tratores agrícolas e motores, pois, na referida modalidade, levam-se em consideração o volume de combustível, sua densidade e a potência desenvolvida na barra de tração.

3.13 Ensaio II – Opacidade da fumaça do motor do trator

Os ensaios foram realizados de acordo com o método da aceleração livre, que é o regime de rotação a que o motor é submetido com o acelerador no curso máximo, permanecendo nessa condição por tempo máximo de cinco segundos, sendo a potência desenvolvida absorvida somente pela inércia dos componentes mecânicos do motor, uma vez que o trator estava estacionado (ABNT, 2001). As

medições de opacidade são feitas em K , que é o coeficiente de absorção de luz, e tem como unidade m^{-1} (TECNOMOTOR, 2012).

3.14 Análise estatística

3.14.1 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 e Kronka (2006).

3.14.2 Análise de regressão

Para consumo específico e opacidade da fumaça, foi estudado modelo de ajuste de regressão que melhor explicasse o comportamento dos mesmos, em função da proporção de biodiesel. Utilizou-se da análise de variância (teste F) para selecionar o modelo de equação de maior expoente significativo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Ensaio I – Desempenho operacional

Os resultados de cada variável foram discutidos em tópicos separados para facilitar o entendimento e estão apresentados na forma de tabelas, figuras e equações. A síntese das análises estatísticas foi apresentada para grupos de variáveis, nas Tabelas 7 e 9. Nessas tabelas, os dados referentes aos fatores tipo de diesel e proporção de biodiesel representaram médias de 14 e 6 observações, respectivamente.

4.1.1 Potência média na barra de tração

A partir dos dados do experimento apresentados na Tabela 7, verificou-se que os fatores tipo de diesel e proporção de biodiesel metílico de babaçu não influenciaram na variável potência média na barra de tração, sendo as médias de 43 kW. Esse comportamento pode ser explicado em função da referida variável ser produto da força, mantida próxima a 25 kN. Estes resultados evidenciaram que o uso do diesel B S1800, B S50 e proporções com biodiesel metílico de babaçu não afetaram a potência disponível na barra de tração, pois a forma de compensação do menor poder calorífico do biodiesel, em relação ao diesel, é o aumento no consumo de combustível para que a potência na barra não seja comprometida. Tal comportamento está de acordo com Neves (2012).

4.1.2 Velocidade de deslocamento

Verifica-se, na Tabela 7, que os fatores tipo e proporção de biodiesel não influenciaram na velocidade de deslocamento do trator de teste. Estes resultados são semelhantes aos encontrados por Lima et al. (2012), que avaliaram o desempenho de um trator marca Valtra, modelo BM110, funcionando com biodiesel de dendê e tucumã como combustível e força média na barra de tração de 23 kN.

Tabela 7. Síntese da análise de variância e teste de médias para as variáveis, potência média na barra (PB), velocidade de deslocamento (V) e consumo horário volumétrico de combustível (Chv).

Fatores	Potência kW	Velocidade km h ⁻¹	Chv L h ⁻¹
Tipo de Diesel (TD)			
B S1800	42,9 a	6,0 a	14,8
B S50	43,1 a	6,0 a	13,8
Proporção de Biodiesel (Bn)			
B0	43,2 a	6,0 a	14,2
B5	42,8 a	6,1 a	14,1
B15	43,1 a	6,1 a	13,9
B25	42,7 a	6,0 a	14,3
B50	43,1 a	6,0 a	14,1
B75	43,0 a	6,0 a	14,5
B100	43,1 a	6,0 a	14,8
TESTE F			
TD	1,218 ^{NS}	0,135 ^{NS}	124,869 ^{**}
B _n	0,507 ^{NS}	1,083 ^{NS}	5,926 ^{**}
TD x B _n	0,593 ^{NS}	0,476 ^{NS}	5,808 ^{**}
C.V.(%)	1,4	0,6	1,9
Média	43	6	14,3

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

4.1.3 Consumo de combustível

4.1.3.1 Consumo horário volumétrico

Observou-se que, para consumo horário volumétrico, a interação entre os fatores tipo de diesel e proporção de biodiesel foi significativa, por isso a referida

variável foi analisada utilizando-se de tabela complementar de desdobramento (Tabela 8).

Tabela 8. Síntese do desdobramento da interação tipo de diesel e proporção de biodiesel metílico de babaçu para variável consumo horário volumétrico (Chv).

Tipo de Diéssel	Proporção de Biodiesel						
	B0	B5	B15	B25	B50	B75	B100
B S1800	14,8Aa	14,9Aa	14,7Aa	14,7Aa	14,7Aa	14,8Aa	14,8Aa
B S50	13,7Bab	13,2Ba	13,2Ba	13,8Bab	13,6Bab	14,2Bbc	14,8Ac

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não deferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Na Tabela 8, analisando-se o fator tipo de diesel (na linha), verifica-se que o consumo horário volumétrico aumentou 7,4%, para o diesel B S50, quando comparado B0 com B100, não havendo diferença significativa para o diesel B S1800. Estes resultados diferem dos encontrados por Lima et al. (2012), que avaliaram um trator marca Valtra, modelo BM110, motor equipado com turbo-compressor, funcionando com óleo diesel interior, tendo quantidade de enxofre total de 1.800 mg kg⁻¹ e proporções de biodiesel de dendê e tucumã como combustível. Os autores observaram aumento no consumo horário volumétrico de 23,0% quando comparado biodiesel B100 com diesel B0; segundo estes autores, o aumento no consumo horário volumétrico (Chv) ocorreu em função do menor poder calorífico do biodiesel de dendê e tucumã em relação ao diesel, sendo necessário desprender maior quantidade de combustível para realizar a mesma quantidade de trabalho.

As explicações de Lima et al. (2012) corroboram as de Souza et al. (2009), que avaliaram as chamas de biodiesel de óleo vegetal residual e diesel. Essas contradições podem ser justificadas devido ao fato de que os tipos de biodiesel são de origens diferentes. O biodiesel metílico de babaçu possui ponto de fulgor a 112 °C e viscosidade a 4 mm² s⁻¹ sendo este mais próximo do diesel (38 °C e 2 a 5 mm² s⁻¹) do que o biodiesel de dendê com ponto de fulgor mínimo de 180 °C e viscosidade de 4,7 mm² s⁻¹ (SANTOS et al., 2010).

Ainda na Tabela 8, comparando na coluna B S1800 com B S50, quando o trator utilizou o diesel B S50, houve redução significativa de 7,43% no consumo horário volumétrico. Também se observaram reduções significativas de 11,4%, 10,2%, 6,1%, 7,4% e 4,0% nas proporções B5, B15, B25, B50 e B75 entre os dois tipos de diesel. Estes resultados coincidem com os encontrados por Tabile et al. (2009), que trabalharam com o diesel B S2000 e B S500 com proporções de misturas com biodiesel de mamona no funcionamento de um trator marca Valtra, modelo BM100, motor turbo. Os autores concluíram que os menores consumos ocorreram para o B S500 e justificaram essas ocorrências devido à melhor qualidade do B S500 em relação ao B S2000.

De acordo com Uzun (2010) e Neves et al. (2013), quando o motor possui sistema turbocompressor *intercooler*, o consumo de combustível de um motor diesel decaiu entre 3 e 12%, sendo admissível que o efeito diminutivo observado para diesel se aplique também para o biodiesel devido às semelhanças químicas e físicas entre os dois combustíveis.

Na Tabela 9, encontram-se a síntese de análise de variância e o teste de médias para as variáveis: consumo horário ponderal (Chp) e consumo específico (Cesp).

Tabela 9. Síntese da análise de variância e teste de médias para as variáveis consumo horário ponderal de combustível (Chp) e consumo específico de combustível (Cesp).

Fatores	Chp kg h ⁻¹	Cesp g kW h ⁻¹
Tipo de Diesel (TD)		
B S1800	12,7	298,1
B S50	12,3	286,1
Proporção de Biodiesel (BN)		
B0	12,1	280,7
B5	12,0	282,4
B15	12,0	279,1
B25	12,4	290,2
B50	12,4	288,7
B75	12,9	302,1
B100	13,4	321,6
TESTE F		
TD	29,145 **	27,818 **
B _n	36,629 **	25,131 **
TD x B _n	4,734 **	3,715 **
C.V.(%)	2,1	2,5
Média	12,5	292,1

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

4.1.3.2 Consumo horário ponderal

Notou-se que ocorreu interação significativa entre os fatores tipo de diesel e proporção de biodiesel, sendo o desdobramento apresentado na Tabela 10.

Tabela 10. Síntese do desdobramento da interação tipo de diesel e proporção de biodiesel metílico de babaçu para a variável consumo ponderal de combustível (Chp).

Tipo de diesel	Proporção de Biodiesel						
	B0	B5	B15	B25	B50	B75	B100
B S1800	12,4Aa	12,6Aa	12,4Aa	12,5Aa	12,6Aa	12,8Aa	13,8Ab
B S50	11,8Bab	11,5Ba	11,5Bab	12,2Ab	12,2Ab	13,0Ac	13,8Ad

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

Analisando-se na Tabela 10 o fator tipo de diesel na linha (diesel B S1800), verificou-se que só houve diferença significativa entre B0 e B100, com 10% de aumento no consumo ponderal. Fazendo-se a mesma análise para B S50, verificou-se aumento significativo no consumo ponderal de 3,3%, 3,3%, 9,2% e 14,5%, respectivamente, a partir de B25 até B100, em relação a B0. Segundo Murugesan et al. (2009) e Tabile et al. (2009), esse resultado pode ser explicado em função do menor poder calorífico e do aumento da densidade do biodiesel em relação ao diesel. Analisando-se o consumo ponderal na coluna (Tabela 10), comparando-se B S1800 com B S50, verifica-se que, quando o trator utilizou o diesel B S50, reduziu significativamente o consumo ponderal em 4,8%. Também houve reduções significativas entre os dois tipos de diesel quando comparados às respectivas proporções de diesel/biodiesel de ambos, ou seja, 8,7% e 7,2% para B5 e B15, respectivamente. Estes resultados diferem dos encontrados por lamaguti (2014), que desenvolveu trabalho semelhante com biodiesel de buriti, concluindo que não houve diferença significativa no consumo ponderal quando ela comparou B S1800 com B S50.

4.1.3.3 Consumo específico

Devido à interação ocorrida, os dados de consumo específico foram desdobrados e apresentados na Tabela 11.

TABELA 11. Síntese do desdobramento da interação tipo de diesel e proporção de biodiesel metílico de babaçu para variável consumo específico de combustível (Cesp).

Tipo de diesel	Proporção de Biodiesel						
	B0	B5	B15	B25	B50	B75	B100
B S1800	285,9Aa	296,8Aa	291,9Aa	293,9Aa	295,4Aa	301,5Aa	321,6Ab
B S50	275,5Aab	267,9Bab	266,2Ba	286,5Abc	282,0Bab	302,7Acd	321,6Ad

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não deferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Observando a Tabela 11, na linha tipo de diesel B S 1800, verificou-se que só houve diferença significativa entre B0 e B100, com 11,1% de aumento no consumo específico. Fazendo a mesma análise para B S50, verificou-se que ocorreu aumento significativo no consumo específico de 3,8%, 2,3%, 8,9% e 14,3% em B25, B50, B75 e B100, respectivamente, em relação a B0. Tais resultados são semelhantes aos encontrados por Neves et al. (2013), que trabalharam com diesel B S1800 e proporções com biodiesel de murumuru, e observaram diferença significativa entre B0 e B100, com 10,6% de aumento no consumo específico. Iamaguti (2014), trabalhando com B S1800 e proporções com biodiesel de buriti, observou aumento de 14,8% no consumo específico de combustível. Essas diferenças ocorrem devido à maior densidade e ao menor poder calorífico do biodiesel em relação ao diesel, conforme Murugesan et al. (2009); Tabile et al. (2009).

Resultados semelhantes, com aumento no consumo específico, também foram encontrados por Faria; Pinto; Valle (2010), concluindo que o aumento na porcentagem de biodiesel no diesel acarreta má qualidade na atomização, redução do alcance do jato pelos bicos injetores, resultando em aumento no consumo e emissão. Resultados com a mesma tendência, atribuídos à má qualidade na atomização, foram obtidos por Nietiedt et al. (2011), que citaram o aumento de 10,9% no consumo específico de combustível quando foi utilizado B100 (biodiesel metílico de soja) comparado ao diesel comercial contendo 5% de biodiesel adicionado ao diesel de origem mineral (B5), no funcionamento de um trator com motor Perkins 4000, injeção direta, desempenhando potência nominal de 45 kW, a 1900 rpm, em bancada dinamométrica.

Observando a Tabela 11, na coluna, e comparando B S1800 com B S50, verifica-se que a utilização do diesel B S50 não afetou o consumo específico. Fazendo a mesma analogia entre os dois tipos de diesel para as proporções de diesel/biodiesel de ambos, verificaram-se reduções de 9,7%, 8,8% e 4,5% no consumo específico de combustível, nas proporções B5, B15 e B50, respectivamente. Segundo Lôbo e Ferreira (2009) e Dabdoub, Bronzel e Rampin (2009), essas diferenças podem estar relacionadas à qualidade do combustível.

Nas pesquisas, alguns autores apontaram que o uso de combustível com 100% de biodiesel (B100), quando comparado com diesel (B0), provoca aumentos em maiores escalas no consumo específico. Tabile et al. (2009), trabalhando com diesel interior (2.000 mg kg^{-1} de enxofre), metropolitano (500 mg kg^{-1} de enxofre) e biodiesel etílico destilado de mamona, observaram aumento de 38,3% no consumo específico. Oliveira (2012), trabalhando com biodiesel de mamona, observou aumento de 31,3% no consumo específico, comparando B0 a B100. Já Neves et al. (2013) observaram 15,85% de aumento no consumo específico de combustível quando utilizaram biodiesel de soja em um trator agrícola equipado com o sistema *intercooler*.

O comportamento do consumo específico, em função da proporção de mistura, foi ajustado a um modelo linear de regressão, conforme Figura 18.

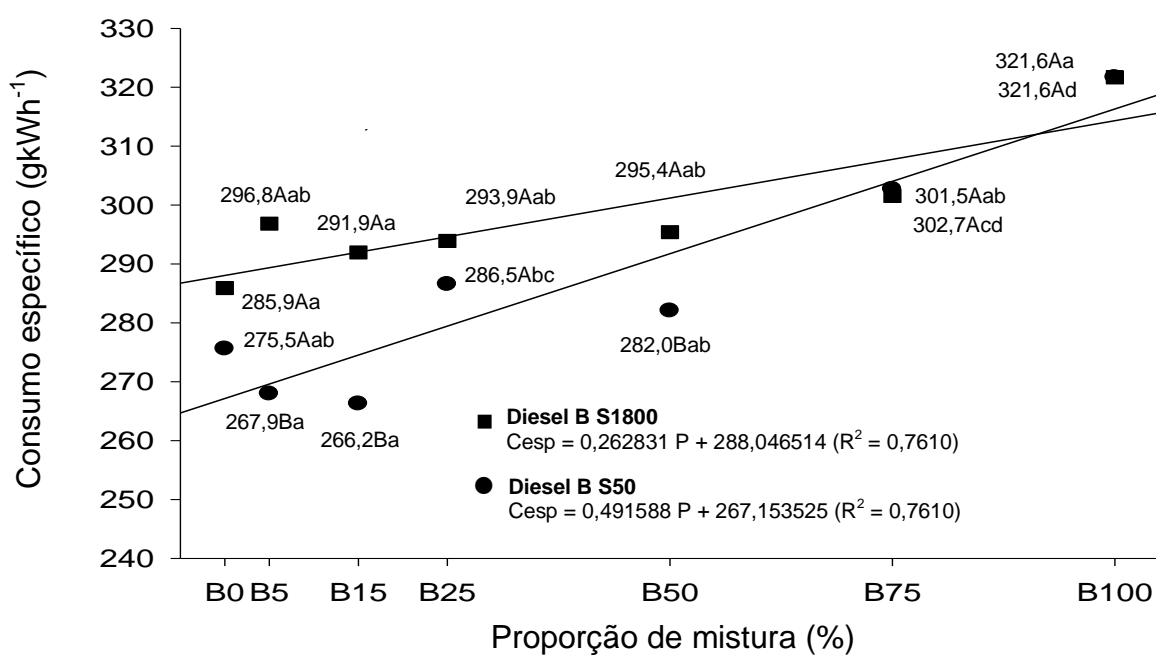


Figura 18. Ajuste de modelo de regressão que explica o consumo específico de combustível (C_{esp}) em função do tipo de diesel e das proporções de mistura de biodiesel metílico de babaçu com diesel.

4.2 Ensaio II – Opacidade da fumaça

A síntese das análises estatísticas para a variável opacidade da fumaça é apresentada na Tabela 12. Os dados referentes aos fatores tipo de diesel e proporção de biodiesel representaram médias de 14 e 6 observações, respectivamente. Nota-se que ocorreu interação entre os fatores tipo de diesel e proporções de biodiesel, por isso a referida variável foi analisada, utilizando-se de uma tabela complementar de desdobramento (Tabela 13).

Tabela 12. Síntese dos valores da análise de variância e do teste de médias para variável opacidade da fumaça (Opac).

FATORES	OPACIDADE m ⁻¹
TIPO DE DIESEL (TD)	
B S1800	1,92
B S50	1,65
PROPORÇÕES DE BODIESEL (Bn)	
B0	2,34
B5	2,33
B15	2,14
B25	2,02
B50	1,61
B75	1,21
B100	0,84
TESTE F	
TD	262,169 **
Bn	702,960 **
TD x Bn	26,392 **
C.V.%	5,9
Média	1,78

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

Tabela 13. Síntese do desdobramento da interação tipo de diesel e proporção de mistura de biodiesel metílico de babaçu para a variável opacidade da fumaça (m^{-1}).

Tipo de diesel	Proporção de Biodiesel						
	B0	B5	B15	B25	B50	B75	B100
B S1800	2,68Aa	2,54Ab	2,27Ac	2,12Ad	1,73Ae	1,25Af	0,84Ag
B S50	2,00Bab	2,12Ba	2,00Bab	1,92Bb	1,50Bc	1,18Ad	0,84Ae

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

Na Tabela 13, analisando-se na linha o fator tipo de diesel B S1800 e B S50, verifica-se que, à medida que se aumentou a quantidade de biodiesel metílico de babaçu à mistura de B0 a B100, ocorreu redução na opacidade da fumaça de 68,6% e 58%, para o diesel B S1800 e B S50, respectivamente. Essa situação pode ser explicada devido à presença de oxigênio livre na molécula de biodiesel, e, sendo assim, aumenta a eficiência na combustão do motor ciclo diesel. Esse comportamento também foi observado por Lima et al. (2012), que obtiveram redução de 36,25% e 60,0% na opacidade da fumaça do motor de um trator agrícola funcionando com proporções de mistura de biodiesel de dendê e tucumã, respectivamente. Já Neves et al. (2013), trabalhando com proporções crescentes de biodiesel de soja e murumuru, observaram redução de 26,1% e 53,5%, respectivamente, quando utilizaram um trator agrícola equipado com motor turbo e *intercooler*.

Ainda na Tabela 13, analisando-se e comparando na coluna B S1800 com B S50, verifica-se que, quando o trator utilizou o diesel B S50, houve redução de 25,4% na opacidade da fumaça. Fazendo a mesma analogia para as demais proporções, verificaram-se reduções de 16,5%, 11,9%, 9,4% e 13,3% na opacidade da fumaça, nas proporções B5, B15, B25 e B50, respectivamente. A redução da opacidade é representativa e favorável ao uso do biodiesel, o que, em parte, é explicado pelo fato de o biodiesel não apresentar enxofre na constituição, com presença de oxigênio livre na molécula de biodiesel (redução da formação de zonas ricas em combustível na câmara de combustão e maior rendimento durante a

combustão por difusão), aumentando a eficiência na combustão e diminuindo consideravelmente a produção de material particulado (SAHOO et al., 2009; CHAUHAN; KUMAR; CHO, 2012). A queima do biodiesel em motores diesel produz redução significativa das emissões de material particulado, quando comparado ao óleo diesel (JANAUN; ELLIS, 2010; ONG et al., 2011; XUE; GRIFT; HANSEN, 2011; BORA; BARUAH, 2012).

Os resultados encontrados com redução na opacidade, comparando o biodiesel com diesel, corroboram os resultados encontrados por Buyukkaya (2010), investigando a emissão de combustão de um motor diesel com óleo de colza (B100) e as misturas (B5, B20 e B70), em comparação ao combustível diesel-padrão, separadamente, e observou que a utilização de biodiesel produz menor opacidade de fumaça (até 60%) em comparação com o combustível diesel.

Após analisados os resultados obtidos da opacidade da fumaça, para visualizar o comparativo entre os tipos de diesel B S1800 e B S50 e as proporções de misturas destes com biodiesel metílico de babaçu, os dados ajustaram-se a um modelo linear de regressão que se encontra na Figura 19.

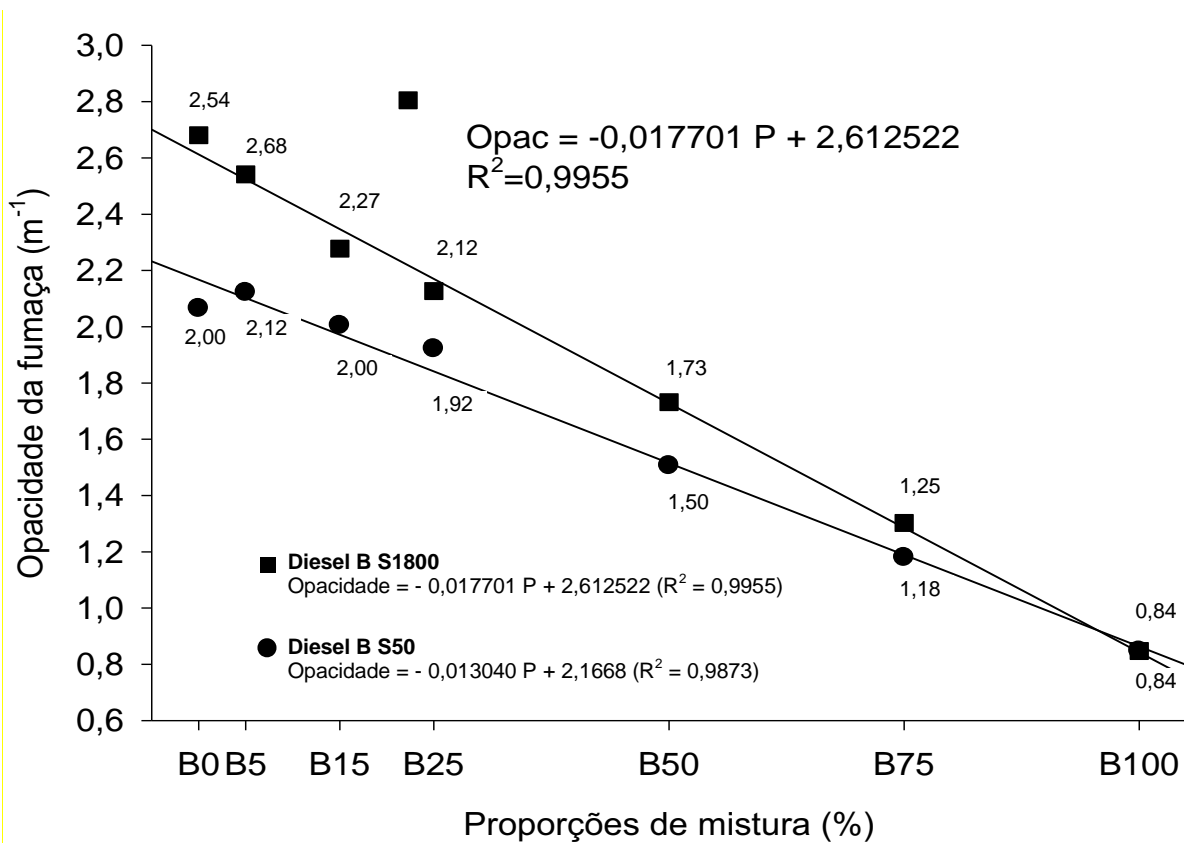


Figura 19. Ajuste de modelo de regressão que explica a opacidade da fumaça (Opac) em função do tipo de diesel e das proporções de mistura de biodiesel metílico de babaçu com diesel.

5 CONCLUSÕES

1. O diesel B S1800 e B S50, bem como as proporções de mistura com biodiesel metílico de babaçu não comprometem o funcionamento do motor do trator agrícola.

2. Não houve diferença significativa entre os resultados observados para as variáveis potência na barra de tração e velocidade de deslocamento, comparando diesel e proporções de mistura com biodiesel.

3. O consumo específico de combustível aumenta 3,6% quando o trator agrícola funciona com B S1800 em comparação a B S50. Nas proporções, comparando (B0) com biodiesel metílico de babaçu (B100), o aumento no consumo específico é de 11,1% e 14,3% em relação a B S1800 e B S50, respectivamente.

4. A opacidade da fumaça do motor é 14% menor quando se utilizou diesel B S50 em comparação a B S1800. Confrontando as proporções de mistura B0 com B100, a opacidade da fumaça reduz-se 68,6% e 58%, quando o trator agrícola funciona com diesel B S1800 e B S50, respectivamente.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, R. R.; LACERDA, G. L.; MURAKAMI, F. S.; BANNACH, G.; DEMIATE, I. M.; CARLOS RICARDO SOCCOL, C. R.; CARVALHO FILHO, M. A. S.; SCHNITZLER, E. Thermal analysis as a screening technique for the characterization of babassu flour and its solid fractions after acid and enzymatic hydrolysis. **Thermochimica Acta**. V.519, p.50–54, 2011. Disponível em: < doi:10.1016/j.tca.2011.02.029>.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS (ASAE). Terminology and definitions for agricultural tillage implements. In: ASAE, **Standards 1997**: standards engineering practices data. St. Joseph, 1997. p. 254-275.

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.

ATABANI, A. E.; SILITONGA, A. S.; BADRUDDIN, I. A.; MAHLIA, T. M. I.; MASJUKI, H. H.; MEKHILEF, S. A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Kidlington, V.16, p.2070– 2093, 2012. Disponível em: < doi:10.1016/j.rser.2012.01.003>. Acesso em: 1º jul. 2014

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13037**: *Veículos rodoviários automotores – Gás de escapamento emitido por motor em aceleração livre – Determinação da opacidade*. Rio de Janeiro: 2001.

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

BOLETIM MENSAL DE BIODIESEL. Rio de Janeiro. **Agência Nacional do Petróleo, Gás natural e Biocombustíveis** (ANP), mar. 2012. Mensal. Disponível em: < http://www.anp.gov.br/?dw=60128>. Acesso em: 12 set. 2014.

BORA, D. K.; BARUAH, D. C. Assessment of tree seed oil biodiesel: A comparative review based on biodiesel of a locally available tree seed. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, p. 1.616–1.629, 2012.

BP GROUP COMPANIES. **BP Statistical Review of World Energy, June 2014**. 63 ed. [S.l.], 2014. 45 p. Disponível em: <<http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Energy-economics/statistical-review-2014/BP-statistical-review-of-world-energy-2014-full-report.pdf>>. Acesso em: 1º jul. 2014.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás natural e Biocombustíveis (ANP). Resolução n. 7 de 19 de março de 2008 – **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 20 mar. 2008. Seção 1. Disponível em: <<http://www.diariodasleis.com.br/busca/exibelink.php?numlink=1-6-34-2008-03-19-7>> Acesso em: 12 set. 2014.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás natural e Biocombustíveis (ANP). Resolução n. 42 de 16 de dezembro de 2009. Estabelece, consoante as disposições contidas no Regulamento Técnico ANP nº 8/2009, parte integrante desta Resolução, as especificações do óleo diesel de uso rodoviário, para comercialização pelos diversos agentes econômicos em todo o território nacional. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 17 dez. 2009a. Seção 1. Disponível em: <http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2009/dezembro/ranp%2042%20-%202009.xml> Acesso em: 12 set. 2014.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução Nº 415, de 24 de setembro de 2009. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 25 set. 2009b. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=615>>. Acesso em: 19 set. 2014.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás natural e Biocombustíveis (ANP). Resolução n. 4 de 02 de fevereiro de 2010. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 03 fev. 2010. Disponível em: <<http://www.diariooficial.com>>. Acesso em: 12 set. 2014.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás natural e Biocombustíveis (ANP). Resolução n. 65 de 09 de dezembro 2011. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 12 dez. 2011. Disponível em: <<http://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=115435>>. Acesso em: 12 set. 2014.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás natural e Biocombustíveis (ANP). Resolução n. 14 de 11 de maio de 2012. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 18 maio 2012a. Disponível em: <<http://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=274064>>. Acesso em: 12 set. 2014.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás natural e Biocombustíveis (ANP). Resolução n. 31 de 1º outubro de 2012. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 02 out. 2012b. Disponível em: <http://www.lex.com.br/legis_23811766_RESOLUCAO_N_31_DE_1_DE_OUTUBRO_DE_2012.aspx>. Acesso em: 12 set. 2014.

BRASIL. Medida Provisória n. 647 de 28 de maio de 2014. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br>. Acesso em 12 setembro 2014. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 29 maio 2014. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2014/Mpv/mpv647.htm> Acesso em: 11 ago. 2014.

BRUNETTI, F. **Motores de combustão interna**. São Paulo: Edgard Blucher, 2012.

BUYUKKAYA, E. Effects of biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics. **Fuel**, Oxford, v. 89, n. 10, p. 3.099–3.105, 2010.

CAMPOS, F. H. **Desenvolvimento de um programa computacional destinado à unidade móvel de ensaio na barra de tração (UMEB) para a avaliação do desempenho de tratores**. 2009. 81 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

CANAKCI, M.; GERPEN, J. van. **Biodiesel production from oils and fats with high free fatty acids**. Transactions of the ASAE., St. Joseph, v. 44: n. 6, p. 1.429, 2001.

CARVALHO JUNIOR; J. A.; LACAVA, P. T. **Emissões em Processos de Combustão**. São Paulo: Editora UNESP, 2003. v. 1, 135 p.

CHAUHAN, B.S.; KUMAR, N.; CHO, H.M. A study on the performance and emission of a diesel engine fueled with Jatropha biodiesel oil and its blends. **Energy**, London, v. 37, n. 1, p. 616–622, 2012.

CINELLI, A. B.; LOPEZ, J. A.; CASTILHO, L. R.; FREIRE, D. M. G.; CASTRO, A. M. Granular starch hydrolysis of babassu agroindustrial residue: A bioprocess within the context of biorefinery. **Fuel**, Oxford, v. 124, p.41–48, 2010. Disponível em: <[doi:10.1016/j.fuel.2014.01.076](https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.01.076)>. Acesso em: 15 jul. 2014.

CHAVES, J. B. P.; MACHADO, G. C.; ANTONIASSI, R. Composição em ácidos graxos e caracterização física e química de óleos hidrogenados de coco babaçu. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 53, n. 308, p. 463-470, 2006.

DABDOUB, M. J.; BRONZEL, J. L.; RAMPIN, M. A. Biodiesel: visão crítica do status atual e perspectivas na academia e na indústria. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p.776-792, 2009.

DAWODY, M. F. A.; BHATTI, S. K. Experimental and Computational Investigations for Combustion, Performance and Emission Parameters of a Diesel Engine Fueled with Soybean Biodiesel-Diesel Blends. **Energy Procedia**. Amsterdam, v. 52, p. 421–430, 2014. Disponível em: <doi:10.1016/j.egypro.2014.07.094>. Acesso em: 15 jul. 2014

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco Energético Nacional 2014**: resultados preliminares. Rio de Janeiro, 2014. 51 p. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados_Pre_BEN_2014.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2014.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco Energético Nacional 2011**: resultados preliminares. Rio de Janeiro, 2011. 51 p. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados_Pre_BEN_2014.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2014.

FARIA, M. D. C.; PINTO, R. R. C.; VALLE, M. L. M. Efeito do biodiesel na atomização do combustível em motores diesel de injeção direta. **Revista de Química Industrial**, Rio de Janeiro, v. 727, p. 22-27, 2º trimestre 2010. Artigo técnico. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/rqi/Edição-727.html>>. Acesso em: 14 mar. 2013. Acesso em: 12 jul. 2014

FIORESI, D. A.; DALLMEYER, A. U.; ROMANO, L. N.; SCHLOSSER, J. F.; MACHADO, P. R. M. Desempenho de um motor de trator agrícola em bancada dinâmométrica com biodiesel de óleo de frango e misturas binárias com óleo diesel. **Revista Rural**. v. 42, n. 4, p. 660-666, 2012.

FONSECA, I. M. **Sensores, transdutores e conectores**. [S.l.: s.d.] 2009. Disponível em <www2.dem.inpe.br/ijar/SenTrand3.pdf>. Acesso em: 03 set. 2014.

GABRIEL FILHO, A; LANÇAS, K. P.; LEITE, F.; ACOSTA, J. J. B.; JESUINO, P. R. Desempenho do trator agrícola em três superfícies de solo e quatro velocidades de deslocamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.3, p.333-339, 2010.

GOMES, M.; BIOND, A.; BRIANEZI, T.; GLASS, V. **O Brasil dos Agrocombustíveis: Impactos das Lavouras sobre a terra, o meio e a sociedade-gordura animal, dendê, algodão, pinhão manso, girassol e canola.** [São Paulo]: ONG Reporter Brasil, 2009.

HOEKMAN, S. K.; BROCH, A.; ROBBINS, C.; CENICEROS, E.; NATARAJAN, M. Review of biodiesel composition, properties, and specifications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Kidlington, v. 16, n. 1, p. 143–169, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.143>>. Acesso em: 17 jul. 2014.

IAMAGUTI, P. S. **Biodiesel de buriti em trator: Desempenho em função do tipo de diesel e da proporção de mistura na operação de preparo do solo**, 2014. 61f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Anuário Estatístico do Brasil**. Rio de Janeiro, 2013. v. 73, 506 p. 2013. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 15: set. 2014.

_____. **Produção da Extração Vegetal e Silvicultura**. Rio de Janeiro, 2011. v. 26, 55p. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 15 set. 2014.

JANAUN, J.; ELLIS, N. Perspectives on biodiesel as a sustainable fuel. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Kidlington, v. 14, n. 4, p. 1.312-1.320, 2010.

KARAVALAKIS, G.; STOURNAS, S.; KARONIS, D. Evaluation of the oxidation stability of diesel/biodiesel blends. **Fuel**, Oxford, v. 89, n. 9, p. 2.483-2.489, 2010.

KARMAKAR, A.; KARMAKAR, S.; MUKHERJEE, S. Properties of various plants and animals feedstocks for biodiesel production. **Bioresource Technology**. Amsterdam, v.101, n. 19, p. 7.201–7.210, 2010. Disponível em: <[doi:10.1016/j.biortech.2010.04.079](http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2010.04.079)>. Acesso em: 13 jul. 2014

KNOTHE, G. Perspectivas históricas de los combustibles diesel basados em aceites vegetales. **Revista A&G**, Rosário, v. 47, n. 2, 2001. Tomo 12.

KOIKE, G. H. A.; LOPES, A.; PASSARINI, L. C.; CAMARA, F. T.; HIDEBRAND, J. L.; DAL BEM, A. J. Emissão de gases de Combustão em motor de ignição por compressão: ensaio comparativo entre diesel, biodiesel e biodiesel com injeção de etanol. **Revista Minerva-Pesquisa e Tecnologia**, São Carlos, v. 7. N. 1, p. 11-18, 2010.

LABECKAS, G.; SLAVINSKAS, S.; MAZEIKA, M. The effect of ethanol–diesel–biodiesel blends on combustion, performance and emissions of a direct injection diesel engine. **Energy Conversion and Management**, London, v.79, p.698–720, 2014. Disponível em: < doi:10.1016/j.enconman.2013.12.064>. Acesso em: 12 jul. 2014

LAM, M. K.; TAN, K. T.; LEE, K. T.; MOHAMED, A. R. Malaysian palm oil: Surviving the food versus fuel debate for a sustainable future. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Kidlington, v. 13, n. 6-7, p. 1.456-1.464 2009.

LIMA, J. R. O.; SILVA R. B.; SILVA C. C. M.; SANTOS, L.S.S; SANTOS JÚNIOR, J.R.; MOURA, E.M.; MOURA, C.V.R. Biodiesel de babaçu (*Orgignya* sp.) obtido por via etanólica. **Química Nova**. vol.30, n.3, p.600-603, 2007.

LIMA, L. P.; LOPES, A.; OLIVEIRA, M. C. J.; NEVES, M. C. T.; KOIKE, G. H. A. Comparativo entre biodiesel de dendê e tucumã no desempenho operacional de trator agrícola. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 20, n. 3, 2012. p. 234-243.

LÔBO, I. P.; FERREIRA, S. L. C. Biodiesel: Parâmetros de qualidade e métodos analíticos. **Química Nova**. v. 32, n. 6, p. 1.596-1.608, 2009.

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

LOPES, A. **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.; SENÔ, M. A. A. F.; CAMARA, F. T.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P.; CORTEZ, J. W. Biodiesel no Brasil: aspectos gerais e síntese da legislação. **Revista Atualidades Jurídicas**, Brasília, v. 1, p. 1-19, 2008.

LORENZI, H.; NOBLICK, L. R.; KAHN, F.; FERREIRA, E. **Flora brasileira: Lorenzi Arecaceae** (palmeiras). 1. ed. São Paulo: Nova Odessa-Plantarum, 2010, 367p.

MACALLISTER, S.; CHEN, J-Y.; FERNANDEZ-PELLO, A. C. Diesel engines. In: _____. Fundamentals of combustion processes. **Mechanical Engineering Series**. New York. Springer, p. 227-241, 2011

MARTINS, J. **Motores de combustão interna**. Porto: Publindústria Edições Técnicas, 2011.

MASIERO, F. C.; LANÇAS, K. P.; MARASCA, I.; RAMOS, C. R. G.; MONTANHA, G. K.; LYRA, G. A. Prova de Rendimento. **Cultivar Máquinas**, Pelotas, RS, v.11, p.31-33, 2012.

MENEZES, E. W. de; CATALUÑA, R. Amostragem do material particulado e fração orgânica volátil das emissões em motor ciclo diesel sem a utilização de túnel de diluição. **Química Nova**, São Paulo, vol. 31, n. 8, p. 2.027-2.030, 2008.

MOFIJUR, M.; MASJUKI, H.H.; KALAM, M.A.; SHAHABUDDIN, M. Experimental study of additive added palm biodiesel in a compression ignition engine. **Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research**, Trabzon, v.30, p.737-748, 2012. Disponível em: <<http://www.silascience.com/abstracts/22012013214736.html> >. Acesso em: 1º mar. 2014.

MONTANHA, G. K.; GUERRA, S. P. S.; ANDRADE, S. P.; HEUN, J.; LANÇAS, K.P. Consumo de Combustível de um Trator Agrícola em Função do Tipo de Solo e da Pressão de Inflação nos Pneus utilizando Equipamento Canteirador. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 27, n. 2, p. 44-59, 2012. Disponível em: <http://energia.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/623>. Acesso em: 18 jul. 2014

MONTEIRO, A. M. **Desempenho operacional e energético, segundo a norma OECD – CODE 2 de dois tratores agrícolas 4x2 tda com motores de 132 kW em pista concreto e solo agrícola**. 2011. 85 f. Tese (Doutorado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

MURUGESAN, A.; UMARANI, C.; SUBRAMANIAN, R.; NEDUNCHEZHIAN, N. Bio-diesel as an alternative fuel for diesel engines. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Uttaranchal, v.3, n.3, p.653-662, 2009.

MUZIC, M.; SERTIC-BIONDA, K.; GOMZI, Z.; PODOLSKI, S.; TELEN, S. Study of diesel fuel desulfurization by adsorption. **Chemical Engineering Research and Design**, London, v.88, n.4, p.487-495, 2010.

NASCIMENTO, U. M.; VASCONCELOS, A. C. S.; AZEVEDO, E.B. Otimização da produção de biodiesel a partir de óleo de coco babaçu com aquecimento por micro-ondas. **Eclética Química**, São Paulo, 34(4): p. 37 - 48, 2009.

NASCIMENTO, U. S. **Carvão de babaçu como fonte térmica para sistema de refrigeração por absorção no estado do Maranhão**. Dissertação de mestrado. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2004. 82p.

NEVES, M. C. T. **Desempenho operacional e opacidade da fumaça do trator agrícola em função do tipo de biodiesel (Soja X Murumuru) em operação de preparo do solo**. 2012. 76f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2012.

NEVES, M. T.; LOPES, A.; LIMA, L. P.; OLIVEIRA, M. C. J.; KOIKE, G. H. A. Desempenho do trator agrícola em função do tipo de biodiesel (soja x murumuru). **Engenharia na agricultura**, Viçosa, v. 21 n. 4, p. 351-360, 2013.

NIETIEDT, G.H.; SCHLOSSER, J.F.; RIBAS, R.L.; FRANTZ, U.G.; RUSSINI, A. Desempenho de motor de injeção direta sob misturas de biodiesel metílico de soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.7, p.1.177-1.182, 2011.

OLIVEIRA, L. E.; GIORDANI, D. S.; PAIVA, E. M.; CASTRO, H. F.; SILVA, M. L. C. P. Kinetic and thermodynamic parameters of volatilization of biodiesel from babassu, palm oil and mineral diesel by thermogravimetric analysis (TG). **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 111, p. 155-160, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10973-011-2163-8>>. Acesso em: 18 jul. 2014

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

ONG, H.C.; MAHLIA, T.M.I.; MASJUKI, H.H.; NORHASYIMA, R.S. Comparison of palm oil, *Jatropha curcas* and *Calophyllum inophyllum* for biodiesel: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Kidlington, v. 15, p. 3.501–3.515, 2011.

PEHAN, S.; JERMAN, M.S.; KEGL, M.; KEGL, B. Biodiesel influence on tribology characteristics of a diesel engine. **Fuel**, Oxford, v. 88, p. 976-979, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2008.11.027>>. Acesso em: 28 jul. 2014

PETROBRAS. **Portal BR: Óleo diesel**. Rio de Janeiro, 2013a. Disponível em: <<http://www.br.com.br>> Acesso em: 20 out. 2014.

PETROBRAS. **Produtos – Diesel**. Rio de Janeiro, 2013b. Disponível em <<http://www.br.com.br>>. Acesso em: 10 out 2013. 2014b.

PIACENTINIL, L. L.; SOUZA, E. G.; URIBE-OPAZO, M. A.; NÓBREGA L. H. P.; MILAN M. Software para estimativa do custo operacional de máquinas agrícola - MAQCONTROL. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.32, n.3, p. 609-623, 2012.

RASHEDUL, H. K.; MASJUKI, H. H.; KALAM, M. A.; ASHRAFUL, A. M.; ASHRAFUR RAHMAN, S. M.; SHAHIR, S. A. The effect of additives on properties, performance and emission of biodiesel fuelled compression ignition engine. **Energy Conversion and Management**. London, v. 88, p. 348–364, 2014. Disponível em: <[doi:10.1016/j.enconman.2014.08.034](https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.08.034)>. Acesso em: 12 jul. 2014.

REIS, E. F. dos; CUNHA, J. P. B.; MATEUS, D. L. S.; DELMOND, J. G.; COUTO, R.F. Desempenho e emissões de um motor-gerador ciclo diesel sob diferentes concentrações de biodiesel de soja. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**. v. 17, n. 5, p. 565-571, 2013.

SAHOO, P. K.; das, L. M.; BABU, M. K. G.; ARORA, P.; SINGH, V. P.; KUMAR, N.R.; VARYANI, T. S. Comparative evaluation of performance and emission characteristics of Jatropha, Karanja and Polanga based biodiesel as fuel in a tractor engine. **The Science and Technology of Fuel and Energy**, v. 88, p. 1698–1707, 2009.

SANTOS, A. G. D.; CALDEIRA, V. P. da S.; FARIAS M. F.; SILVA E. F. B. da; ARAUJO, A. S. de, FERNANDES JUNIOR, V. J.; SOUZA, L. de. Síntese, caracterização e estudo cinético do óleo de dendê e seu biodiesel. In: IV Congresso Brasileiro de Mamona e I Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas, João Pessoa, **Anais...** Campina Grande, 2010.

SANTOS, J.R.J. **Biodiesel de babaçu**: avaliação térmica, oxidativa e misturas binárias. Tese de Doutorado: João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2008. 103p.

SILITONGA, A.S.; ATABANI, A.E.; MAHLIA, T.M.I.; MASJUKI, H.H.; BADRUDDIN, I.A.; MEKHILEF, S. A review on prospect of *Jatropha curcas* for biodiesel in Indonesia. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Kidlington, v.15, n.8, p.3733-3756, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.011>>. Acesso em: 05 abr. 2014.

SILVA, M. C. D.; DA SILVA, L. M.; BRANDÃO, K. S.; SOUZA, A. G.; CARDOSO, L. P.; SANTOS, A. O. dos. Low temperature properties of winterized methyl babassu biodiesel. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, Budapest, v. 115, n.1, p. 635-640, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10973-013-3263-4>>. Acesso em: 15 abr. 2014.

SILVA, M.J.; SOUZA, S.N.M.; SOUZA, A.A.; MARTINS, G.I.; SECCO, D. Motor gerador ciclo diesel sob cinco proporções de biodiesel com óleo diesel. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.3, p.320–326, 2012.

SILVEIRA, M. B. **Estudo Do Sistema Álcool + Biodiesel + Diesel (Ab-Diesel): Equilíbrio E Propriedades Termofluidodinâmicas**. 2013. 124f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013

SOUSA, L. C.; ROCHA, E. D.; ROCHA, C. P. Análises de óleos vegetais e óleo residual bruto por cromatografia gasosa visando à produção do biodiesel. **Conexão Ciência**, Formiga, v. 8, n.2, p.85-91, 2013. Disponível em: <<http://glpi.uniformg.edu.br:21001/periodicos/index.php/testeconexaociencia/article/view/200/213>>. Acesso em: 08 out. 2014.

SOUZA, G. R de; SANTOS, A. M dos; FERREIRA, S. L.; MARTINS, K. C. R.; Módulo, D. L. Evaluation of the performance of biodiesel from waste vegetable oil in a flame tube furnace. **Applied Thermal Engineering**, Kidlington, v. 29 n. 11-12, p. 2.562 - 2566. 2009. Disponível em <<http://www.elsevier.com/locate/apthermeng>> doi: 10.1016/j.applthermaleng.2008.12.026. Acesso em: 15 abr. 2014.

SOUZA, T. B. **Revisão da equação de cálculo de índice de cetano para as características do diesel comercializado no Paraná**. 2008. 142f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Térmicos e Químicos)- Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008.

TABILE, R.A.; LOPES, A.; DABDOUB, M.J.; CAMARA, F.T.; FURLANI, C.E.A.; SILVA, R.P. Biodiesel de mamona no diesel interior e metropolitano em trator agrícola. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 412-423, set. 2009.

TECNOMOTOR. **OPACER TM 133, Opacímetro de amostragem.** Manual de Operação. São Carlos: Tecnomotor Eletrônica do Brasil Ltda. 2012. 26 p.

TEIXEIRA, M. A. Babaçu: Uma nova abordagem para um brasileiro biomassa. **Bioenergy Biomassa**, vol. 32, p. 57-86; 2008.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”– (UNESP) - CÂMPUS DE JABOTICABAL. **Departamento de Ciências Exatas:** Estação meteorológica - Dados normais. 2014. Disponível em: <www.fcav.unesp.br>. Acesso em: 07 jul. 2014.

UZUN, A. The effects of intercooling on performance of a turbocharged diesel engine's specific fuel consumption with neural network. **Scientific Research and Essays**, Vol.5 (23), pp.3781-3793, 4 December, 2010.

VICHI, F. M.; MANSOR, M. T. C. Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial. **Química nova**, v. 32, n. 3, p.757-767, 2009.

XUE, J.; GRIFT, T. E.; HANSEN, A. C. Effect of biodiesel on engine performances and emissions. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Kidlington v. 15, n. 2, p. 1.098–1.116, 2011.

ZHOU, W.; LI, Y.; ZHANG, Y.; ZHAO, Z. Energy efficiency evaluation of lipid production by oleaginous yeast *Rhodosporidium toruloides*. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, Budapest, v.108, n.1, p.119-126, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10973-011-1659-6>>. Acesso em: 14 abr. 2014.

ZHU, L.; ZHANG, W.; LIU, W.; HUANG, Z. Experimental study on particulate and NOx emission of a diesel engine fueled with ultra low sulfur diesel, RME-diesel blends and PME-diesel blends. **Science of the Total Environment**. 408. (2010) 1.050–1.058

APÊNDICE

APÊNDICE A. Especificações técnicas do trator de teste (Desempenho e Opacidade da fumaça).

Item	Trator 1	
Marca	Valtra	
Modelo	BM 125I	
Motor		
Marca	Valtra	
Modelo	420DRSA	
Tipo	Turbo Intercooler	
Arrefecimento	Líquido	
Cilindrada	4.400 cm ³	
Nº de cilindros	4	
Potência máxima no motor	74 kW (125 cv)	
Rotação de potência máxima	2.300 rpm	
Torque máximo	450 Nm	
Rotação de torque máximo	1.400 rpm	
Bomba injetora	ROTATIVA	
Tanque de combustível	180 litros	
Número de marchas	16 + 8 RÉ	
Dimensões		
Distância entre eixos	2.487 mm	
Bitola máxima	2.125 mm	
Altura da barra de tração	400 mm	
Distribuição de massa Trator sem lastro	Dianteiro	1.406 kg
	Traseiro	2.109 kg
	Total	3.515 kg
Distribuição de massa Trator com lastro	Dianteiro	2.760 kg
	Traseiro	3.832 kg
	Total	6.592 kg