

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

**BIODIESEL DE DENDÊ, MAMONA E TUCUMÃ NO
DESEMPENHO DE UM TRATOR AGRÍCOLA NA OPERAÇÃO
DE PREPARO DO SOLO**

Leomar Paulo de Lima

Licenciado em Ciências Agrárias

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

2012

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

**BIODIESEL DE DENDÊ, MAMONA E TUCUMÃ NO
DESEMPENHO DE UM TRATOR AGRÍCOLA NA OPERAÇÃO
DE PREPARO DO SOLO**

Leomar Paulo de Lima

Orientador: Prof. Dr. Afonso Lopes

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

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Agosto de 2012

L732b

Lima, Leomar Paulo de
Biodiesel de dendê, mamona e tucumã no desempenho de um
trator agrícola na operação de preparo do solo / Leomar Paulo de
Lima. -- Jaboticabal, 2012
ix, 119 f.: il.; 28 cm

Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade
de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2012

Orientador: Afonso Lopes

Banca examinadora: Newton La Scala Júnior, Gilberto Hirotsugu
Azevedo Koike, José Marques Júnior, Carlos Alberto Alves de
Oliveira.

Bibliografia

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

CDU 631.372 : 662.7

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

LEOMAR PAULO DE LIMA – Filho de João Pereira de Lima e Antônia Gonçalves de Lima, nasceu em Santana de Patos, Minas Gerais, no dia 13 de abril de 1966. cursou o primeiro grau na Escola Estadual Irmãos Guimarães, em Guimarães – MG, e o Segundo (Técnico em Agropecuário concomitante com ensino médio) na Escola Agrotécnica Federal de Uberlândia - MG (atual Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro – Câmpus de Uberlândia). Em 05 de dezembro de 1988, por meio de concurso público, ingressou no Quadro de Pessoal Permanente da Escola Agrotécnica Federal de Uberlândia, como Técnico em Agropecuário. Nessa função, desenvolve e coordena atividades relacionadas a Máquinas e Mecanização Agrícola, permanecendo no referido cargo até a presente data. Em 1996, iniciou o Curso Superior de Formação de Professores de Disciplinas Especializadas no Ensino de 2º Grau (Licenciatura Plena em Agricultura, Infraestrutura Rural e Zootecnia) no Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, em Curitiba - PR, concluindo em outubro de 1999. Em setembro de 1999, iniciou o curso de Especialização em Máquinas Agrícolas (Projetos, Aplicações e Regulagens), na Universidade Federal de Lavras - MG, concluindo em setembro de 2000. Em março de 2006, iniciou o curso de Mestrado em Agronomia (Solos), na Universidade Federal de Uberlândia, concluindo em outubro de 2007. Em maio de 2006, iniciou o curso de Qualificação “Interpretação de análise do solo e manejo de adubação, na Universidade Federal de Lavras, concluindo em novembro de 2006. Em maio de 2009, iniciou o curso de Extensão em Regulagem e manutenção de máquinas agrícolas, na Universidade Federal de Lavras, concluindo em novembro de 2009. Em março de 2009, 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 em agosto de 2012.

O segredo para viver em paz com todos
consiste na arte de compreender cada qual
segundo a sua individualidade.

(Friederich Ludwig Jahn)

O que vale na vida não é o ponto de partida e
sim a caminhada. Caminhando e semeando,
no fim terás o que colher.

(Cora Coralina)

A Deus e nosso Senhor Jesus Cristo, por tudo.

Agradeço

A minha esposa Geralda Luisa Moreira de Lima e meus filhos João Pedro Moreira de Lima, Arthur Chimango de Lima e Maria Cecília de Lima.

Homenageio

Aos meus pais: João Pereira de Lima (in memoriam) e Antônia Gonçalves de Lima e

Aos meus irmãos: Maria, Vanilda, Nilson, Nilda, Neuza, Nilza, Adailtom e Ademar.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me proporcionar saúde, sabedoria e forças para concretizar mais esta etapa de minha vida; além disso, proporcionando-me, ao longo desse percurso, o encontro de grandes amigos.

À Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal - SP, em especial ao Departamento de Engenharia Rural.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Triângulo Mineiro, Câmpus de Uberlândia - MG, pela concessão da licença para a capacitação.

Ao Prof. Dr. Afonso Lopes, do Departamento de Engenharia Rural da FCAV/UNESP, pela orientação segura, atenção, dedicação, compreensão, sinceridade, além de um grande amigo, um profissional incomparável, bem como uma referência para quem almeja um mundo mais justo.

Aos Professores, Dr. Carlos Eduardo Angeli Furlani e Dr. Rouverson Pereira da Silva, pelas amizades e oportunidades de trabalharmos juntos, sempre dispostos a realizar novos projetos, proporcionando engrandecimento científico e pessoal.

Ao Prof. Ruben Carlos Benvegnú Minussi, pelo incentivo e apoio a esta importante conquista.

À AGCO – Valtra do Brasil e à Coopercitrus, pela parceria a qual resultou na disponibilidade do trator de teste, em especial aos Senhores Rogério Zanotto e José Geraldo da Silveira Mello, respectivamente.

Ao CNPq e à FAPESP, pelo apoio financeiro para a execução do projeto.

Aos servidores do Departamento de Engenharia Rural, o Secretário Davi Aparecido Trevizolli, o Técnico Agrícola 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.

Ao LAMMA – Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola da FCAV/UNESP de Jaboticabal, pelo apoio e suporte técnico.

Aos colegas de curso, Rafael Bertonha, Rafael Noronha, Fábio Cavichioli, Marcelo Tufaile, Marcelo Boamorte, Carlos Chioderoli, José Maria, Melina Cais Jejcic,

Anderson Toledo e Murilo Coelho, pela efetiva participação neste projeto, pela amizade e pelo companheirismo.

Ao LADETEL (Laboratório de Desenvolvimento de Tecnologias Limpas), da Universidade de São Paulo-USP, em Ribeirão Preto - SP, pela parceria a qual resultou no fornecimento de Biodiesel para a execução deste trabalho, em especial ao Prof. Dr. Miguel Joaquim Dabdoub Paz, responsável pelo laboratório.

Ao Prof. Dr. Pedro Henrique Ferreira Tomé, do Instituto Federal do Triângulo Mineiro – Câmpus de Uberlândia - MG, pela assessoria nas análises estatísticas.

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

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
I INTRODUÇÃO	1
II REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
1 Matriz energética mundial	3
2 Combustível biodiesel	6
3 Características dos combustíveis para motor diesel	9
3.1 Número de cetano	10
3.2 Poder calorífico	12
3.3 Viscosidade.....	13
3.4 Lubricidade	15
3.5 Ponto de névoa, fluidez e ponto de entupimento de filtro.....	16
3.6 Densidade	18
4 Especificações do biodiesel B100 no Brasil	19
5 Cultura do dendê (<i>Elaeis guineensis</i> L.).....	21
6 Biodiesel de dendê (<i>Elaeis guineensis</i> L.)	24
7 Cultura da mamona (<i>Ricinus communis</i> L.)	26
8 Biodiesel de mamona (<i>Ricinus communis</i> L.)	30
9 Cultura do tucumã (<i>Astrocaryum aculeatum</i>)	32
10 Biodiesel de tucumã (<i>Astrocaryum aculeatum</i>)	35
11 Desempenho de um trator agrícola	38
12 Emissões residuais dos motores diesel	39
13 Óleo lubrificante.....	45

III MATERIAL E MÉTODOS	48
1 Área Experimental.....	48
2 Solo	48
3 Biodiesel.....	49
4 Diesel	49
5 Tratores.....	49
6 Instrumentação do trator de teste para o ensaio de desempenho	50
6.1 Rotação dos rodados.....	50
6.2 Velocidade de deslocamento.....	50
6.3 Força na barra de tração.	51
6.4 Consumo de combustível.	51
6.5 Sistema de aquisição de dados.	52
7 Instrumentação do trator de teste para o ensaio de opacidade da fumaça...	53
7.1 Opacímetro.....	53
8 Condução do trabalho.....	55
9 Delineamento experimental.....	56
10 Tratamentos	57
11 Ensaio I – Densidade do biodiesel de tucumã em função da temperatura e da proporção de mistura	60
12 Ensaio II - Desempenho do trator.....	61
12.1 Escarificador	61
12.2 Uso dos tratores.....	62
12.3 Patinação dos rodados.	64
12.4 Velocidade de deslocamento.	64
12.5 Força média na barra de tração.	65
12.6 Potência na barra de tração.....	65
12.7 Consumo de combustível.....	66
12.8 Consumo horário volumétrico.	66
12.9 Consumo horário ponderal.....	66

	Página
12.10 Consumo específico.....	67
13 Ensaio III, IV e V – Opacidade da fumaça do motor do trator	67
14 Análise estatística.	68
14.1 Análise de variância e teste de médias.....	68
14.2 Análise de regressão.....	68
IV RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	69
1 Ensaio I – Densidade do biodiesel de tucumã em função da temperatura e proporção de mistura	69
2 Ensaio II – Desempenho de trator agrícola em função do tipo de biodiesel e suas proporções de mistura com diesel.....	71
2.1 Patinagem média dos rodados.....	72
2.2 Velocidade de deslocamento	73
2.3 Potência média na barra de tração	73
2.4 Consumo horário volumétrico.....	75
2.5 Consumo horário ponderal.....	75
2.6 Consumo específico.....	76
3 Ensaio III – Opacidade da fumaça em função do tipo de biodiesel e suas proporções de mistura com diesel.....	78
4 Ensaio IV – Opacidade da fumaça em função do período de amaciamento do motor e da proporção de mistura de biodiesel de dendê com diesel	81
5 Ensaio V – Opacidade da fumaça em função das condições do óleo lubrificante do cárter e da proporção de mistura de biodiesel de dendê com diesel.....	84
V CONCLUSÕES.....	88
VI REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
APÊNDICE.....	113

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1. Especificação do biodiesel B100 no Brasil.....	20
2. Comparação da produtividade das principais oleaginosas.	25
3. Propriedade físico-químicas de alguns óleos vegetais	31
4. Características físico-químicas do óleo de polpa de tucumã	36
5. Relação e designação dos tratamentos do ensaio I.....	57
6. Relação e designação dos tratamentos dos ensaios II e III	58
7. Relação e designação dos tratamentos do ensaio IV	59
8. Relação e designação dos tratamentos do ensaio V.	59
9. Densidade do biodiesel de tucumã em função da temperatura e proporção de mistura (kg m^{-3})	70
10. Síntese de análise de variância e teste de médias para as variáveis patinagem média dos rodados, velocidade de deslocamento (V) e potência média na barra de tração (PB).....	72
11. Síntese da análise de variância e teste de médias para as variáveis consumo horário volumétrico (Chv), consumo horário ponderal (Chp) e consumo específico (Cesp)	74
12. Síntese da análise de variância e teste de médias para a variável opacidade da fumaça (Opac), em função da proporção de mistura de biodiesel de dendê, mamona e tucumã com diesel.....	78
13. Síntese do desdobramento da interação tipo e proporção de biodiesel para a variável opacidade da fumaça (Opac).....	79

14. Síntese da análise de variância e teste de médias para a variável opacidade da fumaça (Opac), em função do período de amaciamento do motor e da proporção de mistura de biodiesel de dendê com diesel 81
15. Síntese da análise de variância e teste de médias para a variável opacidade da fumaça (Opac), em função das condições do óleo lubrificante do cárter e da proporção de mistura de biodiesel de dendê com diesel 84

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Oferta interna de energia.....	4
2. Evolução do marco regulatório.....	4
3. Dendê (<i>Elaeis guianensis</i>) e fruto da palma dendê.....	22
4. Cultura da mamona (<i>Ricinus communis</i> L).....	27
5. Principais produtos oleoquímicos da mamona e seus usos finais.....	29
6. Cachos de tucumã (<i>Astrocaryum aculeatum</i>) com frutos verdes	33
7. Analisador de gases ciclo diesel (fluxo parcial)	44
8. Vista lateral do trator de teste com instrumentação completa.....	53
9. Instrumentação utilizada no ensaio de opacidade da fumaça (opacímetro, controlador serial, sonda de captação e computador com <i>software</i> IGOR)...	54
10. Vista geral do trator instrumentado para o ensaio de opacidade da fumaça.	55
11. Esquema das parcelas.....	57
12. Dinâmica do ensaio de desempenho.	63
13. Superfície de resposta de segunda ordem ajustada à densidade do biodiesel de tucumã em função da temperatura e da proporção de mistura	71
14. Representação gráfica para consumo específico (Cesp) em função da proporção de mistura de biodiesel de dendê, mamona e tucumã com diesel.	77
15. Representação gráfica para opacidade da fumaça (Opac) em função da proporção de mistura de biodiesel de dendê, mamona e tucumã com diesel.	80
16. Representação gráfica para opacidade da fumaça (Opac) em função do período de amaciamento do motor (novo, 50 e 100 horas) e da proporção de mistura de biodiesel de dendê com diesel.....	83

17. Representação gráfica para opacidade da fumaça (Opac) em função das condições do óleo lubrificante do cárter com 250 horas de trabalho e novo (logo após a troca) e da proporção de mistura de biodiesel de dendê com diesel.	87
--	----

BIODIESEL DE DENDÊ, MAMONA E TUCUMÃ NO DESEMPENHO DE UM TRATOR AGRÍCOLA NA OPERAÇÃO DE PREPARO DO SOLO

RESUMO: A introdução do biodiesel na matriz energética do Brasil é motivada principalmente pela possibilidade de desenvolvimento econômico e social para o País, gerando emprego e renda, além dos benefícios ambientais decorrentes da substituição de recursos fósseis por renováveis. O presente trabalho teve por objetivo avaliar comparativamente desempenho operacional do trator agrícola em operação de preparo de solo e opacidade da fumaça em função da utilização de diferentes tipos de biodiesel. Também foi objeto deste trabalho medir opacidade da fumaça em função do período de amaciamento do motor e das condições do óleo lubrificante do cárter, cujos fatores estudados foram tipo de biodiesel e proporções de mistura biodiesel/diesel. O experimento foi conduzido no Departamento de Engenharia Rural, da UNESP de Jaboticabal-SP, em parceria com o LADETEL da USP de Ribeirão Preto-SP. O tipo de biodiesel foi de dendê, mamona e tucumã, e as proporções de mistura de biodiesel com diesel foram B0, B5, B25, B50, B75 e B100 (em que o número indica a percentagem de biodiesel no diesel), o tempo de amaciamento do motor foi novo, 50 e 100 horas de trabalho, e as condições do óleo lubrificante do cárter foram 250 horas de trabalho e novo, utilizando proporções de biodiesel de dendê. Para comparar os tratamentos, foram avaliados consumo de combustível, força de tração na barra, velocidade real de deslocamento, patinagem das rodas, potência na barra de tração e opacidade da fumaça de combustão. Os resultados evidenciaram aumento no consumo específico a partir da mistura com 50% de biodiesel; entretanto, o tipo de biodiesel não influenciou no consumo. Com relação à opacidade da fumaça, houve redução com aumento das proporções de biodiesel, com o tipo de biodiesel influenciando, aumento no período de amaciamento do motor e quando se utilizou óleo lubrificante novo no cárter do motor do trator.

PALAVRAS-CHAVE: biocombustíveis, força de tração, escarificação, consumo específico e emissões.

BIODIESEL FROM PALM, CASTOR AND TUCUMÃ IN THE PERFORMANCE OF AN AGRICULTURAL TRACTOR IN OPERATION TO SOIL PREPARATION

ABSTRACT: The introduction of biodiesel in Brazil's energy matrix is motivated mainly by the possibility of economic and social development for the country, generating jobs and income, in addition to the environmental benefits of replacing fossil fuels for renewable ones. The present study aimed to comparatively evaluate the operating performance of the agricultural tractor in operation of soil preparing and smoke opacity due to the use of different types of biodiesel. It was also object of this work to measure the smoke opacity according to the engine softening period and carter lubricating oil conditions, in which the factors studied were type of biodiesel and mixing portions of biodiesel/diesel. The experiment was conducted in the Department of Agricultural Engineering, UNESP of Jaboticabal-SP, in partnership with the LADETEL the USP of Ribeirão Preto-SP. The type of biodiesel was palm, castor and tucumã, and the proportions of biodiesel blend with diesel were B0, B5, B25, B50, B75 and B100 (in which the number indicates the percentage of biodiesel in diesel), the time of engine softening was new, 50 and 100 hours of work, and the carter lubricating oil conditions were 250 hours of work and new, using proportions of biodiesel from palm oil. In order to compare the treatments were evaluated fuel consumption, bar traction power, real displacement speed, wheel slip, potential in traction bar and opacity of combustion smoke. The results showed an increase in specific consumption from the mixture of 50% biodiesel, however the type of biodiesel did not influence consumption. Regarding the smoke opacity, there was a decrease with increasing proportions of biodiesel, with the type of biodiesel influencing increase in engine softening period and when used lubricating oil in the new carter of tractor engine.

KEYWORDS: biofuels, traction power, scarification, specific consumption and emissions.

I INTRODUÇÃO

No atual estágio de desenvolvimento, a utilização de energias alternativas tornou-se uma grande prioridade para o mundo, e o biodiesel na qualidade de combustível renovável assume importância cada vez maior nessa questão. Existe uma relação direta entre consumo de energia e desenvolvimento econômico e, em virtude do grande desenvolvimento que o mundo vem experimentando, a demanda por energia tem crescido significativamente.

As sucessivas crises causadas pela possível depressão das reservas mundiais de petróleo foram o reconhecimento do potencial dos biocombustíveis como elementos menos agressivos ao ambiente do que os derivados de petróleo. Também, a rápida difusão dos conhecimentos gerados pela pesquisa com biocombustíveis, que continuamente favorece a minimização dos custos de produção e de utilização, contribuiu para esse novo cenário mundial.

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

Obtido principalmente a partir de óleos e gorduras de origem vegetal e animal, o biodiesel assume cada vez maior importância quando utilizado 100% (B100) ou misturado ao diesel de petróleo, na geração de energia elétrica ou no transporte veicular. O biodiesel tem longa trajetória tanto no mundo como no Brasil. Nos idos de 1893, o primeiro motor a diesel do mundo foi abastecido com óleo de amendoim. Na década de 1920, o Brasil testava combustíveis alternativos e renováveis, com base nos óleos de palma, algodão e amendoim, e na década de 1970, a Universidade Federal do Ceará passou a realizar pesquisas sobre fontes alternativas de energia que permitiram, em seguida, o registro da primeira patente de biodiesel no Brasil (PI - 8007959).

No caso do Brasil, foi lançado em dezembro de 2004 o programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), que definiu a expressão "biodiesel" como

biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento, para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil.

Este programa busca inserir o biodiesel no Brasil de maneira sustentável, dando prioridade à agricultura familiar e geração de empregos. Através desse programa, o Brasil busca inserção do biodiesel na matriz energética, tornando-se um país com uma dependência cada vez menor em relação às fontes provenientes de petróleo.

De acordo com vários estudos, dada a extensão territorial e as condições de solo e clima, o Brasil é mundialmente apontado como o país com as maiores potencialidades para a produção dos combustíveis renováveis. Desse modo, vem ocorrendo interesse cada vez maior no Brasil para o desenvolvimento desse combustível.

Várias pesquisas têm sido conduzidas para avaliar o comportamento dos biocombustíveis em motores de trator agrícola. Porém, não se encontraram trabalhos que relacionassem um comparativo entre biodiesel de dendê, mamona e tucumã e suas proporções de mistura no diesel de petróleo com desempenho de tratores agrícolas. Pressupõe-se que o comparativo destas fontes de biodiesel acrescente os bons resultados já obtidos pelo Programa Biodiesel do Brasil, e o acréscimo de biodiesel às proporções de mistura não afetem o desempenho do trator agrícola. O tipo de biodiesel, período de amaciamento do motor e condições do óleo lubrificante do cárter não influenciará na opacidade da fumaça.

Diante o exposto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho e a opacidade da fumaça do trator agrícola funcionando com diferentes tipos e proporções de mistura de biodiesel com diesel de petróleo. Também foi objeto deste trabalho ensaiar a densidade do combustível em seis proporções de mistura biodiesel de tucumã e diesel, medir a opacidade da fumaça em função do período de amaciamento do motor (novo, 50 e 100 primeiras horas de trabalho) e do óleo lubrificante do cárter nas condições com 250 horas de trabalho e novo (logo após a troca) do trator agrícola funcionando com diferentes proporções de biodiesel de dendê com diesel.

II REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1 Matriz energética mundial

A energia é essencial para o desenvolvimento, que é uma das aspirações fundamentais dos povos de todos os países. O mundo depende, para funcionamento, do abastecimento de fontes energéticas modernas que são o carvão, o petróleo, o gás natural, a energia nuclear e a hidroeletricidade. Os quatro primeiros são as principais fontes energéticas primárias, porém não são renováveis e dispõem de reservas limitadas. O quinto, que é renovável, encontra-se em quantidade limitada e concentra-se sobretudo em alguns países. As fontes de energia renováveis já demonstraram poder sustentar a economia mundial de várias maneiras. No entanto, é fato que os combustíveis fósseis e a eletricidade ainda se constituem a base para operar o modelo tecnológico e manter o estilo de vida rural e urbano contemporâneo (BARROS, 2007).

A matriz energética mundial tem participação total de 81,2% de fontes de carbono fóssil, sendo 33,1% de petróleo; 27% de carvão e 21,1% de gás natural. O Brasil destaca-se entre as economias industrializadas pela elevada participação das fontes renováveis em sua matriz energética. Isso se explica por alguns privilégios da natureza, como uma bacia hidrográfica contando com vários rios de planalto, fundamental à produção de eletricidade (14,2%), e o fato de ser o maior país tropical do mundo, diferencial positivo para a produção de energia de biomassa (30,2%). A Figura 1, a seguir, mostra a oferta interna de energia no Brasil e no mundo (MME, 2011).

Oferta Interna de Energia

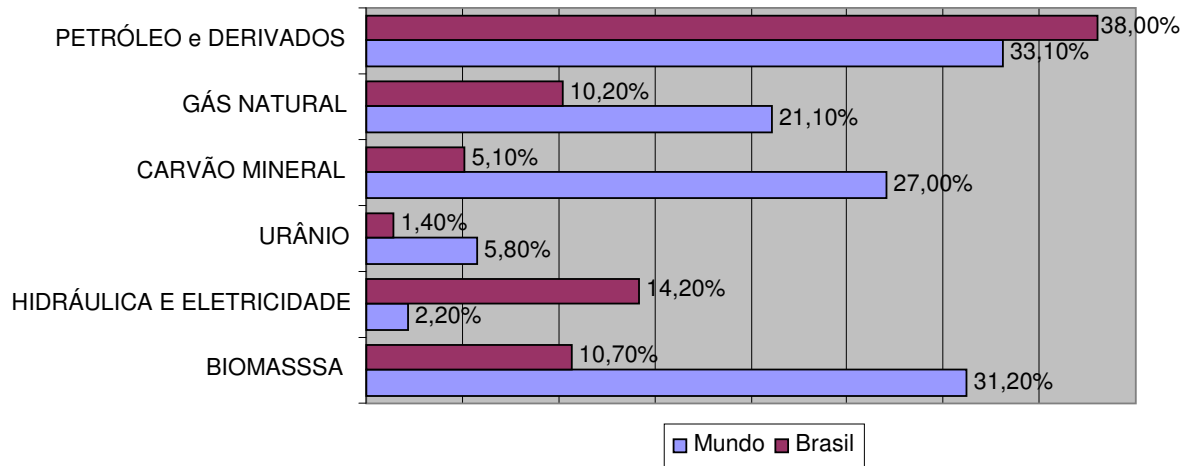


FIGURA 1. Oferta interna de energia (Adaptado MME, 2011).

O biodiesel insere-se na matriz energética brasileira a partir da criação do marco regulatório, por meio da Lei 11.097/2005, A Figura 2 apresenta linha histórica, que vai desde a criação da referida lei até a obrigatoriedade do uso do B5 (biodiesel a 5% no óleo diesel), a partir de 2013.



FIGURA 2. Evolução do marco regulatório

Fonte: Adaptado de ANP, 2010.

Segundo PLÁ et al. (2005), existe uma série de vantagens na inserção do biodiesel na matriz energética brasileira, entre as quais se destacam:

a) Vantagens ecológicas - A emissão de gases da combustão dos motores que operam com biodiesel não contém óxidos de enxofre, principal causador da chuva ácida e de irritações das vias respiratórias. A produção agrícola que origina as matérias-primas para biodiesel capta CO₂ da atmosfera durante o período de crescimento, sendo que apenas parte desse CO₂ é liberada durante o processo de combustão nos motores, ajudando a controlar o “efeito estufa”, apontado como causador do aquecimento global do planeta.

b) Vantagens macroeconômicas - A expansão da demanda por produtos agrícolas deverá gerar oportunidades de emprego e renda para a população rural; a produção de biodiesel poderá ser realizada em localidades próximas dos locais de uso do combustível, evitando custo desnecessário de uma movimentação redundante.

c) Diversificação da matriz energética - por meio da introdução dos biocombustíveis. É necessário definir metodologia específica para os estudos de alternativas de investimentos na introdução de novas tecnologias para a produção e a distribuição e logística dos biocombustíveis.

d) Vantagens financeiras - A produção de biodiesel permitirá atingir as metas propostas pelo Tratado de Quioto, através do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, habilitando o País para participar no mercado de “créditos de carbono”.

e) Desenvolvimento regional - A dinâmica da globalização é renovar-se continuamente, sendo realidade que todo padrão de consumo capitalista é ditado pelas escalas mais elevadas, ou seja, por aqueles países detentores do padrão tecnológico mais avançado. Logo, é vital reestruturar o sistema produtivo, demonstrando necessidade por inovações produtivas, inserindo-se aí a constituição de uma cadeia competitiva do biodiesel como resposta de desenvolvimento local ante o desafio global.

2 Combustível biodiesel

O combustível óleo diesel (comumente conhecido como diesel ou diesel automotivo), especificado pela Agência Nacional do Petróleo, é um dos vários derivados do petróleo, sendo utilizado para funcionamento de máquinas térmicas conhecidas como motores ciclo diesel. Um motor que opera com combustível óleo diesel, é um motor a combustão interna por compressão, o qual se inicia por autoignição do combustível injetado no ambiente da massa de ar comprimido até ultrapassar a temperatura de ignição do combustível (CAMARGO, 2003).

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

Destaca AGARWAL & DAS (2001) que, quando Rudolph Diesel inventou o motor de ignição por compressão, fê-lo para funcionar com grande quantidade de combustíveis, incluindo emulsão de carvão pulverizado em água, óleos minerais pesados e óleos vegetais *in natura*. Algumas das primeiras experiências foram catastróficas, mas, com o passar do tempo, o motor funcionou com óleo de amendoim como o fez na tradicional Exposição de Paris, no ano de 1900.

Há registros de utilização de óleos vegetais como combustível desde 1912. As primeiras experiências no Brasil que utilizaram óleos de palma, amendoim e algodão em motores diesel aconteceram ainda na década de 1920. Também há informações de ensaios realizados na década de 1940, com diversas oleaginosas, pelo Instituto Nacional de Tecnologias (INT) e outros órgãos governamentais. Na década de 1950, foram solicitados os primeiros registros de patentes feitos no mundo (FURLAN JR. et al., 2006).

O biodiesel é produzido a partir de óleos vegetais extraídos de espécies oleaginosas, ou gorduras animais, e até mesmo esgotos, que, submetidos a reação química chamada de transesterificação, associados a um álcool que pode ser de

origem etílica ou metílica, e na presença de catalisador, resultam como produto um éster de ácido graxo metílico ou etílico, e como subproduto a glicerina (SANTOS, 2008).

Mundialmente, passou-se a adotar nomenclatura bastante apropriada para identificar a proporção do biodiesel na mistura. É o biodiesel BXX, em que o XX representa a percentagem em volume do biodiesel à mistura e o B (*Blend*) é a abreviação da palavra “mistura” na língua inglesa. Por exemplo, o B2, B5, B20 e B100 são combustíveis com proporção de 2%, 5%, 20% e 100% de biodiesel, respectivamente. A experiência de utilizar biodiesel no mercado de combustíveis tem-se dado em quatro níveis de concentração: O B100 corresponde ao uso de 100% de biodiesel. Na sequência, aparece o B20-B30, usado para misturas. O B5 é considerado um aditivo. E o B2, aditivo de lubricidade (COSTA & HOESCHL, 2006).

A viabilidade técnica dos combustíveis destinados aos motores diesel, segundo PARENTE (2003), deve ser vista sob os aspectos de combustibilidade, de impacto ambiental das emissões, de compatibilidade de uso e de manuseio. A combustibilidade do combustível diesel é definida como a facilidade de se produzir a combustão no equipamento utilizado e da forma desejada. A combustibilidade é função do poder calorífico e do número de cetano, da viscosidade e da tensão superficial, pois definem a qualidade da injeção. Atualmente, o impacto ambiental é fator primordial para definir a viabilidade do combustível. Isso, pelo fato de o teor de enxofre e hidrocarbonetos aromáticos, juntamente com a combustibilidade, serem características que se expressam diretamente nas emissões gasosas.

A compatibilidade ao manuseio está relacionada ao transporte, à estabilidade de armazenamento e à distribuição do combustível, em que corrosividade, toxidez e ponto de fulgor são as principais propriedades. A compatibilidade ao uso diz respeito à vida útil do motor e de seus componentes, e está representada pela lubricidade e pela corrosividade, que são ligadas ao teor de enxofre e ao grau de acidez do combustível.

O índice de cetano do biodiesel é maior do que o do óleo diesel, o que significa que o biodiesel sofre queima mais completa no motor e apresenta melhor combustibilidade do que óleo diesel. Os impactos ambientais das emissões estão diretamente relacionados com combustibilidade e com teor de enxofre, e de

hidrocarbonetos aromáticos presentes no combustível. O biodiesel é naturalmente livre de enxofre e de metais, sendo que, dos 21 compostos hidrocarbonetos tóxicos que podem provocar câncer, sete são metais e não estão presentes no biodiesel (EPA, 2002).

A compatibilidade ao uso, que diz respeito à longevidade do motor e dos seus entornos, relaciona-se principalmente com lubricidade e com corrosividade do combustível. O biodiesel não é corrosivo e possui lubricidade muito superior à do diesel comum. Entretanto, quando utilizado 100% (B100), o biodiesel pode dissolver algumas categorias de plásticos que, algumas vezes, são utilizados na confecção de periféricos, como tanques, filtros e torçais. Dessa forma, é possível afirmar que, do ponto de vista técnico, o biodiesel é um combustível que pode ser utilizado vantajosamente como substituto total ou parcial do diesel utilizado nos motores, exigindo para isso pouca ou nenhuma necessidade de adaptações dos motores (PARENTE, 2003).

Os biocombustíveis evidenciam diversas vantagens adicionais em comparação ao combustível fóssil, além de ser miscível e compatível ao diesel em quase todas as propriedades. Trata-se de substância biodegradável e que promove redução nas principais emissões presentes aos gases de exaustão, com exceção dos óxidos de nitrogênio (NOx). O biodiesel também é mais seguro em relação ao manuseio, transporte e armazenamento, se comparado com o diesel (KNOTHE et al., 2006).

De acordo com GUARIEIRO et al. (2008) e KNOTHE et al. (2006), a adição do biodiesel ao diesel requer metodologias analíticas específicas para que se possa garantir qualidade dessas misturas e quantifica a contribuição do biodiesel na mistura final. Assim, os autores descreveram a utilização de espectrofotometria no infravermelho com utilização de calibração univariada para monitorar o processo de transesterificação dos óleos vegetais com o metanol ou etanol, possibilitando a determinação da taxa de conversão da reação.

No âmbito internacional, as especificações adotadas para o biodiesel podem variar consideravelmente de país para país. De acordo com estudo realizado em 2007 por especialistas das organizações de normalização do Brasil, dos Estados Unidos e da

União Europeia, apenas 6 das 24 especificações identificadas para o biodiesel foram consideradas alinhadas entre si (TRIPARTITE TASK FORCE BRAZIL, 2007).

Para garantir bom desempenho do biodiesel como combustível e evitar que provoque eventuais danos aos motores, a especificação para uso comercial é fundamental. Quando dentro das especificações, praticamente não existem restrições como substituto parcial do óleo diesel em mistura de 5% em volume, sendo que os diversos fabricantes mundiais de motores mantêm a garantia dos equipamentos com o uso de misturas contendo até 20% em volume de biodiesel (HOLANDA, 2004).

De acordo com SCHUCHARDT et al. (1998), transesterificação tem-se apresentado como o processo químico mais viável em todo o mundo para a produção do biodiesel, visto ser um processo relativamente simples. Os autores destacam que a reação de transesterificação pode ser realizada empregando diversos tipos de álcoois, preferencialmente os de baixo peso molecular, sendo os mais estudados metanol e etanol. Quanto ao catalisador, podem-se empregar os do tipo ácido ou alcalino ou, ainda, catálise enzimática. Entretanto, geralmente a reação empregada na indústria é feita em meio ácido, além de apresentar menores problemas relacionados à corrosão dos equipamentos empregados no processo (OLIVEIRA, 2004).

FREEDMAN et al. (1986) observaram que a reação com metanol é tecnicamente mais viável do que a reação com etanol hidratado que apresenta dificuldade na separação da glicerina, além do fato de que o teor de água aumenta o tempo da reação. O uso do etanol anidro minimiza este inconveniente, porém a dificuldade na separação da glicerina permanece a mesma do etanol hidratado, enquanto no caso da reação com metanol essa separação pode ser feita por simples decantação (COSTA NETO et al., 2000).

3 Características dos combustíveis para motor diesel

Um bom combustível para motores diesel deverá apresentar características que permitem boa partida, aquecimento uniforme, aceleração suave e operação suave do

motor. Não deve apresentar problemas de detonação e corrosão, minimizar desgaste e produção de fumaça. Também, deve promover limpeza dos injetores e da câmara de combustão e, ainda, permitir longa vida aos filtros, proporcionando máxima autonomia possível em termos de consumo. Por fim, deve evitar excessiva diluição do óleo lubrificante (LEONTSINIS,1988).

A combustão é definida como o conjunto de fenômenos físicos, químicos e termodinâmicos que acompanha a reação de oxidação do combustível. Combustível é a denominação dada a toda substância cuja reação de oxidação é altamente exotérmica, isto é, a reação com oxigênio resulta em grande desprendimento de calor. Por outro lado, toda substância que, ao se combinar com outra, dá lugar à combustão dessa, recebe a denominação de comburente, sendo o oxigênio comburente e não combustível (MIALHE, 1980). Como o biodiesel é alternativa energética ao óleo diesel, torna-se necessária a discussão de algumas propriedades, evidenciando que especificações técnicas e métodos de avaliação das propriedades do biodiesel devem estar de acordo com a regulamentação da Resolução ANP nº. 14, de 11 de maio de 2012 (BRASIL, 2012).

Assim, combustíveis para motores diesel devem estar de acordo com especificações técnicas que são parametrizadas mediante o emprego das normas, para que venham garantir desempenho satisfatório dos motores, com custo mais baixo possível e da adequabilidade para os vários tipos de motores nas diferentes condições de operação (CONDE, 2007).

Dentre as especificações técnicas exigidas do bom combustível destinado aos motores de ignição por compressão, podem-se citar:

3.1 Número de cetano

O número de cetano representa o percentual volumétrico de cetano e alifametilnaftaleno presentes no óleo combustível. Essa variável qualifica a combustão dos combustíveis empregados em motores a ciclo diesel. Relaciona-se diretamente

com velocidade de ignição, que corresponde ao período entre o início da injeção de combustível e o início da combustão. Combustão de qualidade ocorre quando há rápida ignição seguida de combustão suave e completa do combustível.

BOSCH (2005) explica que qualidade de ignição traduz adequação do combustível para a combustão espontânea no motor de ignição por compressão. O número de cetano é valor adimensional que exprime a qualidade da ignição do combustível. Quanto maior for o valor, maior será a aptidão para a ignição. O número de cetano é obtido em motores normalizados, em que os combustíveis são ensaiados e comparados com certos padrões estabelecidos em normas internacionais.

Número de cetano de valor igual a 100 foi atribuído ao hexadecágono (cetano), padrão de ignição muito fácil, enquanto a naftalina metílica (alfametilnaftaleno), que apresenta queima muito lenta, recebeu valor 0. Número de cetano superior a 50 é desejável para que se garanta boa operação dos motores modernos, cujo funcionamento deve ser uniforme e com baixos níveis de emissão de escapamento. Número de cetano superiores aos obtidos, comercialmente, de derivados de petróleo pode produzir combustão incompleta com emissão de fumaça preta pelo escapamento, se o período de retardo de ignição é demasiado curto para permitir mistura apropriada de ar e combustível durante o tempo disponível para a combustão (LILJEDHAL et al., 1984).

A variação no número de cetanos depende da matéria-prima empregada na produção, sendo geralmente maior o número de cetano do biodiesel em relação ao diesel comum. Tal variável apresenta maiores valores de acordo com o aumento do tamanho da cadeia e decresce com o aumento no número de duplas ligações (LIMA, 2004). Este valor médio do número de cetano pode variar muito entre as matérias-primas utilizadas na produção do biodiesel, conforme observado por PERES et al. (2007), que, avaliando número de cetano para diversos tipos de biodiesel, observaram valores de 52,15 (soja), 46,50 (mamona), 55,15 (pinhão-manso), 58,70 (óleo de frango) e 69,00 (sebo bovino).

Em relação as normalizações, na Europa, por exemplo, tanto para diesel quanto para biodiesel, o valor mínimo aceitável é de 51. Já na parametrização americana, o

valor fixado é de 40 para diesel e de 47 para biodiesel. No Brasil, não há norma regulamentadora que estabeleça valores mínimos para biodiesel, sendo apenas solicitado registro dos valores mensurados (CRUZ et al., 2009). Destaca-se que, no Brasil, o número médio de cetano para diesel é em torno de 40, e para biodiesel, em torno de 60 (KNOTHE, 2005).

Conforme VAN GERPEN & KNOTHE (2006), combustíveis com elevados números de cetano terão pequenos retardos de ignição, e pequenas quantidades de combustível estarão presentes na fase de combustão em pré-mistura, em função do reduzido tempo de preparo da mistura para a combustão. Muitos tipos de biodiesel apresentam número de cetano superiores ao do óleo diesel de petróleo, e a prática demonstra que o número de cetano do biodiesel depende, fundamentalmente, das matérias-primas de origem. Biodiesel produzido com elementos saturados apresenta número de cetano mais elevado que aqueles produzidos a partir de matérias-primas menos saturadas.

Se os valores de número de cetano forem muito altos, ou muito baixos, podem causar problemas operacionais no motor. Se muito elevados, a combustão pode iniciar antes que o combustível e o ar estejam apropriadamente misturados, resultando, assim, numa combustão incompleta e na emissão de fumaça preta pelo escapamento. Por outro lado, se o número de cetano for muito baixo, o motor pode falhar e trepidar, demorar a aquecer e surgirem fenômenos característicos da combustão incompleta (HIGGINS et al., 1998).

3.2 Poder calorífico

O poder calorífico de combustíveis é definido como a quantidade de energia interna contida no combustível; desse modo, quanto mais alto for o poder calorífico, maior será a energia contida. Essa é uma importante propriedade através da qual foi possível definir o biodiesel como substituto do óleo diesel de petróleo. No caso do biodiesel, encontra-se próximo de 40 MJ/kg^{-1} , não importando as matérias-primas

utilizadas. O óleo diesel apresenta valores em torno de 45 MJ/kg^{-1} (LANG et al., 2001; GRABOSKI & MICCORMICK, 1998).

O biodiesel é menos energético se comparado ao diesel mineral, pois não contém hidrocarbonetos aromáticos, elementos que conferem alto poder calorífico ao diesel. Entretanto, o biodiesel possui ésteres alquílicos com diferentes níveis de saturação, que levam ao fato de o biodiesel ter menor poder calorífico, tendo por base o valor mássico, mas possuindo maior valor por unidade de volume, aspecto este atribuído à maior densidade. Em motores utilizando biodiesel como combustível, observa-se a redução de cerca de 8,9% na potência, baseando-se no fato de os mesmos funcionarem com sistema de injeção por deslocamento volumétrico de combustível (KNOTHE et al., 2006).

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

3.3 Viscosidade

A viscosidade é a medida da resistência interna ao escoamento de um determinado líquido, ou seja, propriedade responsável pela resistência à deformação. A razão entre a viscosidade e a massa específica é denominada coeficiente de viscosidade cinemática (AZEVEDO NETTO & ALVAREZ, 1997).

Segundo MORETTO & FETT (1998), a viscosidade aumenta com o comprimento das cadeias dos ácidos graxos dos triglicerídeos e diminui com o aumento do número de insaturações. Assim, a viscosidade dos óleos é relativamente alta, superior à da água, devido às atrações intermoleculares existentes nas grandes cadeias dos ácidos graxos, que constituem os triglicerídeos.

A viscosidade necessita de especificações precisas, pois tem efeito direto na operação do motor. Combustível viscoso em demasia aumenta as perdas por

bombeamento no sistema de alimentação, resultando numa pulverização deficiente, que afeta o processo de combustão. Em contraponto, redução excessiva de viscosidade resultará no incremento das perdas internas da bomba injetora, por vazamento, reduzindo-se o volume liberado para o bico injetor e retardando a abertura da agulha. A viscosidade insuficiente pode causar o emperramento da bomba injetora devido à má lubrificação dos seus elementos (GUIBET, 1999).

PARENTE (2003) complementa dizendo que as características físico-químicas do biodiesel, independentemente da origem, são semelhantes entre si e não dependem da matéria-prima ou do agente de transesterificação, se etanol ou metanol. As propriedades fluidodinâmicas de óleo diesel mais importantes para a injeção e para a circulação do combustível são viscosidade e densidade. Tais propriedades do biodiesel assemelham-se às das do diesel mineral, indicando que “não é necessária qualquer adaptação ou ajuste no sistema de injeção dos motores”. O biodiesel oriundo do óleo de mamona foge um pouco dessa regra no quesito viscosidade, sempre mais elevado, mas mantendo equivalência para as demais propriedades.

A faixa de viscosidade do biodiesel é superior à do diesel de petróleo e se a viscosidade é excessiva, como no caso de óleos vegetais *in natura*, ocorre degradação da pulverização do óleo no interior da câmara de combustão, reduzindo-se a eficiência de pulverização e de formação da mistura. A deficiência de pulverização promove contaminação do óleo lubrificante e aumenta a produção de fumaça preta pelo escapamento (VAN GERPEN et al., 2006).

Em relação ao diesel, os óleos vegetais possuem valores bem elevados de viscosidade, podendo excedê-lo em até 100 vezes, como é o caso do óleo de mamona (COSTA NETO et al., 2000). A viscosidade do óleo transesterificado (biodiesel) é muito menor que os óleos originais, sendo, em alguns casos, semelhante ao diesel (KNOTHE & STEIDLEY, 2005). Conforme trabalho de ALBUQUERQUE et al. (2006), o óleo de canola, com temperatura de 25 °C, antes do processo de transesterificação, apresentava valores de viscosidade de 58,9 mm²/s⁻¹, e após o processo, este valor foi reduzido para 5,68 mm²/s, similar ao diesel, cuja viscosidade foi de 4,16 mm²/s⁻¹.

Segundo EJIM et al. (2007), os resultados da análise da influência das propriedades físicas do combustível sobre a pulverização mostraram que a viscosidade responde pela maior contribuição, com cerca de 90,0% nas mudanças no tamanho de gotas, enquanto a densidade contribui com apenas 2,0% das mudanças. Em pesquisas com combustíveis alternativos, os autores recomendam que a redução da viscosidade deve ser a primeira opção entre as propriedades físicas, como forma de melhorar a atomização nos injetores.

A viscosidade é influenciada pela temperatura, conforme observado por BROCK et al. (2008), que verificaram queda desse parâmetro à medida que se aumentava a temperatura, com o óleo de canola apresentando valores de 73,1 e 14,9 mm²/s⁻¹ quando estava com 20 e 70 °C, respectivamente. Outro fator que pode interferir na viscosidade são as porcentagens utilizadas de catalisador, conforme observado por RINALDI et al. (2007) que, trabalhando com hidróxido de potássio (KOH), observaram que o biodiesel preparado com diferentes quantidades de catalisador apresentou viscosidades ligeiramente diferentes, devido a distintos teores de sabão e mono e diglicerídeos presentes no produto final.

No caso de biodiesel (B100), a viscosidade deve acompanhar os valores padronizados para diesel fóssil, que pode variar entre 3,0 e 6,0 mm²/s⁻¹, conforme determinado na Resolução ANP nº. 14, de 11 de maio de 2012 (BRASIL, 2012).

3.4 Lubricidade

Lubricidade pode ser definida de várias formas, como, por exemplo, a habilidade de um líquido em fornecer lubrificação hidrodinâmica de contato para prevenir desgaste entre partes que se movem. Define-se também como sendo a habilidade de reduzir a fricção entre superfícies sólidas em movimento relativo. Outra definição aceita conceitua a lubricidade como qualidade que evita desgaste quando duas partes metálicas em movimento entram em contato entre si. Todas essas definições podem ser aplicadas à

função de lubrificação desenvolvida pelo combustível em motor ciclo diesel (KNOTHE et al., 2006).

A necessidade de reduzir os agentes poluidores das emissões de motores diesel tem estimulado o desenvolvimento de motores tecnologicamente mais avançados, e, juntamente com o avanço tecnológico, surgem outras necessidades, como é o caso de combustíveis com maior lubricidade. Para tanto, uma possibilidade consiste na produção de diesel mais limpo, com vistas a assegurar a redução da emissão de enxofre abaixo de 15 ppm; entretanto, tal procedimento resulta em decréscimo na lubricidade desse combustível. Por outro lado, o uso de biodiesel é uma solução para aumentar a lubricidade do diesel de baixo teor de enxofre (WAIN et al., 2005).

Foi verificado, mediante testes nos quais se adicionaram vários percentuais de biodiesel ao diesel fóssil, que essa adição trouxe aumentos significativos à lubricidade dos combustíveis. Constatou-se, também, que esse acréscimo deve ser de aproximadamente 5 a 6%, levando a lubricidade do diesel a um nível capaz de atender às recomendações de órgãos reguladores internacionais (MOURAD, 2006).

3.5 Ponto de névoa, fluidez e ponto de entupimento de filtro

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

Ponto de fluidez é a menor temperatura na qual o óleo combustível ainda escoar. Por isso trata-se de medida importante para a determinação das características de

armazenagem e de transporte do combustível. Não há relação direta entre ponto de fluidez e viscosidade do óleo combustível (KNOTHE et al., 2006).

O óleo diesel está sujeito a problemas de ignição na partida e no desempenho quando o motor e o sistema de alimentação (bomba injetora, linhas de combustível, filtros) estão expostos a baixas temperaturas, podendo haver formação de parafinas e cristais de cera. A formação dessas substâncias nos combustíveis pode ser quantificada por parâmetros como viscosidade, ponto de fluidez e ponto de névoa (KNOTHE et al., 2006).

Apesar das inúmeras vantagens que o biodiesel apresenta, o desempenho a baixas temperaturas pode afetar a viabilidade comercial ao longo de todo o ano, particularmente em regiões climáticas de temperaturas moderadas. Testes de desempenho de biodiesel em climas frios evidenciam que, quando a temperatura ambiente se aproxima de 0 - 2 °C, aumenta-se a ocorrência de problemas de desempenho dos motores (CHIU et al., 2004). Quedas bruscas na temperatura ambiente resulta no aumento da viscosidade e na cristalização de ésteres graxos saturados que podem causar o entupimento no sistema de alimentação do motor. Obviamente, este problema não é exclusivo do biodiesel, pois o diesel contém parafinas que apresentam o mesmo comportamento.

Quando exposto a baixas temperaturas, o biodiesel apresenta perda de fluidez, desencadeando problemas para o sistema de alimentação do motor, como entupimentos de linhas de alimentação de combustível e dificuldade de partida a frio. Essas características acentuam-se com o aumento da cadeia e do grau de saturação. Tais aspectos são importantes para a análise da aplicabilidade de determinados combustíveis em regiões frias. Geralmente, o biodiesel proveniente de gorduras animais apresenta maiores valores em relação ao de óleos vegetais, devido à grande quantidade de ácidos graxos saturados na composição (CRUZ et al., 2009).

Além dos variados teores de cadeias hidrocarbônicas saturadas e insaturadas que o biodiesel pode apresentar, o grau de insaturação e o tamanho da cadeia hidrocarbônica fazem com que cada tipo de biodiesel, produzido a partir de diferentes fontes, apresente propriedades particulares (KNOTHE et al., 2004).

3.6 Densidade

A densidade do combustível para motores diesel é propriedade fundamental, pois a bomba injetora e os bicos injetores são construídos para dosar volumes predeterminados do combustível-padrão, enquanto o fator determinante na câmara de combustão é a relação entre massa de ar e de combustível. Assim, mudanças na densidade do combustível produzem efeitos sobre a combustão (GUIBET, 1999).

Alguns desses efeitos, como as variações no poder calorífico e na taxa de energia equivalente, são bem conhecidos. Porém outros, como as variações que ocorrem nas características das emissões, são mais difíceis de serem determinados.

Para BOSCH (2005), existe correspondência razoavelmente constante entre o valor calorífico do combustível e a densidade. Combustíveis de densidade mais elevada apresentam valor calorífico mais alto. Se os volumes de injeção são constantes, o uso de combustíveis com densidades diferentes em um dado sistema injetor provoca variações nos coeficientes de mistura, derivando em flutuações do valor calorífico. Combustíveis mais densos causam aumento na emissão de particulados, enquanto densidades mais baixas diminuem o rendimento do motor.

Explicam VAN GERPEN & KNOTHE (2006) que alta densidade pode compensar baixo conteúdo energético por unidade de massa do combustível. Como a bomba injetora dosa volumes, combustível com baixo conteúdo energético (por unidade de volume) causará redução na potência produzida pelo motor.

O biodiesel não contém compostos aromáticos, mas contém alguns ésteres insaturados, que têm baixo conteúdo energético por unidade de massa, mas como apresentam alta densidade, têm mais energia por unidade de volume.

Testes têm mostrado que a eficiência real de conversão da energia do combustível, em potência, é a mesma para biodiesel e diesel de petróleo (VAN GERPEN & KNOTHE, 2006).

4 Especificações do biodiesel B100 no Brasil

No dia 11 de maio de 2012, por meio do Regulamento Técnico ANP nº. 4/2012, contido na Resolução ANP nº. 14 (BRASIL, 2012), foram redefinidas as especificações técnicas e os métodos de avaliação das características do biodiesel, que serão realizados mediante o emprego das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), das normas internacionais "American Society for Testing and Materials" (ASTM), da "International Organization for Standardization" (ISO) e do "Comité Européen de Normalisation" (CEN).

Na Tabela 1, apresentam-se a especificação da ANP para o biodiesel e os métodos para a determinação destas propriedades, conforme a Resolução ANP nº 14 (BRASIL, 2012).

TABELA 1. Especificações do biodiesel B100 no Brasil. (SIC)

CARACTERÍSTICAS	UNIDADE	LIMITE	MÉTODO		
			ABNT NBR	ASTM D	EN/ISO
Aspecto	-	LII (1)	-	-	-
Massa específica a 20 °C	kg/m ³	850-900	7148 14065	1298 4052	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Viscosidade cinemática a 40 °C	mm ² /s ⁻¹	3,0-6,0	10441	445	EN ISO 3104
Teor de água, máx. (2)	mg/kg ⁻¹	(2)	-	6304	EN ISO 12937
Contaminação Total, máx.	mg/kg ⁻¹	24	-	-	EN ISO 12662 NBR 15995
Ponto de fulgor, mín. (3)	°C	100,0	14598	93	EN ISO 3679
Teor de éster, mín.	% massa	96,5	15764	-	EN 14103
Resíduo de carbono, máx. (4)	% massa	0,050	15586	4530	-
Cinzas sulfatadas, máx.	% massa	0,020	6294	874	EN ISO 3987
Enxofre Total, máx.	mg/kg ⁻¹	10	15867	5453	EN ISO 20846 EN ISO 20884
Sódio + Potássio, máx.	mg/kg ⁻¹	5	15554 15555 15553 15556	-	EN 14108 EN 14109 EN 14538
Cálcio + Magnésio, máx.	mg/kg ⁻¹	5	15553 15556	-	EN 14538
Fósforo, máx.	mg/kg ⁻¹	10	15553	4951	EN 14107
Corrosividade ao cobre, 3h a 50 °C, máx.	-	1	14359	130	EN ISO 2160
Número de cetano (5)	-	Anotar	-	613 6890 (6)	EN ISO 5165
Ponto de entupimento de filtro a frio, máx.	°C	(7)	14747	6371	EN 116
Índice de acidez, máx.	mg KOH/g ⁻¹	0,50	14448	664	EN 4104 (8)
Glicerol livre, máx.	% massa	0,02	15341 (8) 15771	6584 (8)	EN 14105 (8) EN 14106 (8)
Glicerol total, máx. (9)	% massa	0,25	15344 15908	6584 (8) -	EN 14105 (8)
Monoacilglicerol, máx.	% massa	0,80	15342 (8) 15344 15908	6584 (8)	- EN 14105 (8)
Diacilglicerol, máx	% massa	0,20	15342 (8) 15344 15908	6584 (8)	EN 14105 (8)
Triacilglicerol, máx.	% massa	0,20	15342 (8) 15344 15908	6584 (8)	EN 14105 (8)
Metanol e/ou Etanol, máx.	% massa	0,20	15343	-	EN 14110 (8)
Índice de iodo	g/100g ⁻¹	Anotar	-	-	EN 14111 (8)
Estabilidade à oxidação a 110 °C, mín. (10)	h ⁻¹	6	-	-	EN 14112 EN 15751 (8)

Fonte: Resolução ANP nº. 14, de 11 de maio de 2012, publicada no Diário Oficial da União de 18 subsequente.

Nota: (SIC)

Nota:

- (1) Límpido e isento de impurezas, com anotação da temperatura de ensaio.
- (2) Será admitido o limite de 380 mg/kg^{-1} 60 dias após a publicação da Resolução. A partir de 1º de janeiro de 2013 até 31 de dezembro de 2013 será, admitido o limite máximo de 350 mg/kg^{-1} , e a partir de 1º de janeiro de 2014, o limite máximo será de 200 mg/kg^{-1} .
- (3) Quando a análise de ponto de fulgor resultar em valor superior a $130 \text{ }^\circ\text{C}$, fica dispensada a análise de teor de metanol ou etanol.
- (4) O resíduo deve ser avaliado em 100% da amostra.
- (5) Essas características devem ser analisadas em conjunto com as demais constantes da tabela de especificação a cada trimestre civil. Os resultados devem ser enviados à ANP pelo Produtor de biodiesel, tomando uma amostra do biodiesel comercializado no trimestre e, em caso de neste período haver mudança de tipo de material graxo, o Produtor deverá analisar o número de amostras correspondente ao número de tipos de materiais graxos utilizados.
- (6) O método ASTM D6890 poderá ser utilizado como método alternativo para a determinação do número de cetano.
- (7) Limites conforme Tabela II. Para os estados não contemplados na tabela, o ponto de entupimento a frio permanecerá $19 \text{ }^\circ\text{C}$.
- (8) Os métodos referenciados demandam validação para os materiais graxos não previstos no método e na rota de produção etílica.
- (9) Poderá ser determinado pelos métodos ABNT NBR 15908, ABNT NBR 15344, ASTM D6584 ou EN14105, sendo aplicável o limite de 0,25% em massa. Para biodiesel oriundo de material graxo predominantemente láurico, deve ser utilizado método ABNT NBR 15908 ou ABNT NBR 15344, sendo aplicável o limite de 0,30% em massa.
- (10) O limite estabelecido deverá ser atendido em toda a cadeia de abastecimento do combustível.

5 Cultura do dendê (*Elaeis guineensis* L.)

A primeira aparição da espécie *Elaeis Guineensis* no Brasil ocorreu no início do século XVII, no litoral baiano. Essa cultura foi trazida pelos escravos oriundos da África,

e a produção era voltada, basicamente, para subsistência de famílias de baixa renda da região (HOMMA et al., 2000).

O dendezeiro, originário da Costa Ocidental da África (Golfo da Guiné), pertence à família das Palmáceas (subfamília Ceroxilneas). É típica de regiões tropicais e, dentre os diversos tipos de dendezeiros, o único que adquiriu importância econômica foi o gênero *elaeis*, e a espécie *guineensis* é a principal utilizada para a exploração intensiva (VIANNA, 2006). Em 1949, o dendê foi introduzido na região Norte do País, no Estado do Pará, pelo Instituto Agrônomo do Norte (IAN). Foram utilizadas sementes oriundas dos dendezais da Bahia. Em 1951, aquele Instituto usou linhagens provenientes da África para avaliar produtividade e adaptação das plantas às condições da Amazônia (CONDE, 2007).

Conforme COSTA (2007), por ser palmeira de cultura permanente, o dendezeiro possui vida útil na faixa de 20 a 30 anos, sendo que a produção de cachos tem início três anos e meio após o plantio. A partir dos frutos do dendê, é possível extrair dois tipos de óleos. Por meio da polpa (mesocarpo), obtém-se o óleo de dendê ou óleo de palma e, com base na amêndoa, estrai-se o óleo de palmiste. A Figura 3 apresenta o fruto do dendê e indica de onde os óleos de palma e de palmiste são extraídos.



FIGURA 3. Dendê (*Elaeis guineensis* L.) e fruto da palma dendê

Fonte: VIANNA (2006).

A densidade do plantio de dendê mais utilizada é de 143 plantas por hectare, dispostos em triângulo equilátero de 9 m de lado, ou seja, espaçamento de 7,8 m entre as linhas de plantio e 9 m entre as plantas na linha (BERTHAUD et al., 2000). Além disso, por se tratar de cultura permanente, há produção contínua ao longo do ano, sem problemas de sazonalidade.

As exigências climáticas do dendezeiro limitam o estabelecimento da cultura aos trópicos, em geral a faixa de ± 10 graus de latitude em torno do Equador, onde 95% dos plantios existentes no mundo estão localizados (FURLAN JR. et al., 2006). Desta forma, são poucos os países onde a cultura pode ser estabelecida, apenas trechos da América do Sul, África e Sudeste da Ásia. De acordo com FURLAN JR. et al. (2006), os fatores climáticos mais importantes ao desenvolvimento da palma são:

a) Exigência pluviométrica em torno de 2.500 mm/ano. Mais do que o volume de chuvas, é essencial sua distribuição regular ao longo do ano. Provavelmente, é fator que mais influencia na produtividade, pois não tolera mais do que três meses com menos de 100 mm de precipitação, em cujo caso deve haver complementação com irrigação. A falta de água afeta o crescimento da palmeira, a emissão foliar, o número e a massa média dos cachos e o rendimento do óleo.

b) A insolação é fator decisivo para a dendeicultura, dada a intensa atividade fotossintética, exigindo 2.000 horas de luz, bem distribuídas ao longo do ano. Locais com luminosidade inferior a 1.500 horas/ano não são recomendáveis, pois a eficiência do brilho solar reflete-se negativamente no teor de óleo dos frutos e na uniformidade de sua maturação.

c) A temperatura média adequada deve estar entre 24 °C e 28 °C, com temperatura mínima absoluta não inferior a 18 °C, ponto crítico para o desenvolvimento da espécie, pois ocasiona forte diminuição no ritmo de crescimento das plantas jovens e redução acentuada na produção das adultas.

d) A umidade relativa, média mensal, deve permanecer em torno de 75 a 90%.

Antes de 2010, a área estimada para o plantio de palma no Brasil era de aproximadamente 232,8 milhões de hectares (MDA, 2010). Entretanto, no ano de 2010, foi lançado um instrumento para a regulação da expansão dos plantios de palma no

mundo, que foi o Zoneamento Agroecológico por meio do Decreto 7.172/2010, diminuindo a área de palma agricultável para 31,8 milhões de hectares, podendo plantar no Estado do Acre, passando por Amazonas e Pará, chegando até ao norte do Rio de Janeiro, sendo totalmente proibido o cultivo em áreas nativas.

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

O dendê é altamente exigente em mão de obra, proporcionando a geração de um emprego a cada seis hectares de plantio, sendo excelente opção para a agricultura familiar. São 195 homens/dia/ano para fazer a manutenção do plantio de cinco hectares, sendo esta área correspondente ao módulo mínimo recomendado para projetos de agricultura familiar (O FRUTO, 2007).

6 Biodiesel de dendê (*Elaeis guineensis* L.)

O óleo de palma é conhecido, internacionalmente, pelas múltiplas aplicações. Tem larga utilização na agroindústria alimentar. Após o refino, encontram-se importantes aplicações na fabricação de margarinas, biscoitos, pães e sorvetes, devendo ser ressaltado que, atualmente, o óleo de palma já vem sendo utilizado na fabricação de sabões, detergentes, velas, produtos farmacêuticos, cosméticos e corantes naturais (SANTOS et al., 1998). O óleo de palmiste encontra aplicações na fabricação de sabonete, detergentes, pomadas, maioneses, entre outros.

O dendê, quando comparado a outras oleaginosas, destaca-se pela alta produtividade de óleo por hectare. Conforme destacado por CAVALIERO (2003), a produtividade do óleo de dendê é aproximadamente 10 vezes a do óleo de soja, o dobro da do óleo de coco e cerca de quatro vezes maior que a do óleo de amendoim. A comparação sobre a produtividade das principais oleaginosas é apresentada na Tabela 2.

TABELA 2. Comparação da produtividade das principais oleaginosas.

Espécie	Origem do óleo	Conteúdo de óleo (%)	Ciclo Máximo Eficiência (anos)	Meses de colheita	Rendimento (t óleo/ha)
Dendê (Palma)	Amêndoa	20	8	12	3,0 – 6,0
Abacate	Fruto	7,0 – 35,0	7	12	1,3 – 1,5
Coco	Fruto	55,0 – 60,0	7	12	1,3 – 1,9
Babaçu	Amêndoa	66	7	12	0,1 – 0,3
Girassol	Grão	38,0 – 48,0	Anual	3	0,5 – 1,9
Colza/Canola	Grão	40,0 – 48,0	Anual	3	0,5 – 0,9
Mamona	Grão	43,0 – 45,0	Anual	3	0,6 – 0,8
Amendoim	Grão	40,0 – 43,0	Anual	3	0,6 – 0,8
Soja	Grão	17	Anual	3	0,2 – 0,4
Algodão	Grão	15	Anual	3	0,1 – 0,2

Fonte: SANTOS (2008).

O óleo de palma é extraído da polpa do fruto do dendê denominado mesocarpo. Na polpa do dendê, pode ocorrer muito facilmente hidrólise enzimática, uma vez que o óleo se encontra disperso na célula do tecido úmido. Por esta razão, na etapa de preparação da oleaginosa, os cachos não devem ser armazenados, pois a atividade enzimática inicia-se logo em seguida que o cacho é cortado da palmeira. Para desativar as enzimas, os cachos, inteiros, passam por tratamento térmico, em esterilizadores.

Os produtos primários do fruto do dendezeiro são dois tipos de óleo e uma torta. Da polpa do fruto (mesocarpo), é extraído o óleo de dendê, conhecido no mercado internacional como óleo de dendê ou de palma ("palm oil"). Da amêndoa (endosperma), é extraído o óleo de palmiste ("palm kernel oil"). A relação entre as quantidades desses óleos é de aproximadamente nove partes de óleo de dendê para uma de palmiste. A torta resulta do processo de extração do óleo da amêndoa e contém de 17 a 19% de proteína (RODRIGUEZ et al., 2008).

O ácido oleico monoinsaturado é o principal ácido graxo insaturado, respondendo por 40% do teor de ácidos graxos, e os saturados consistem em 44% de ácido palmítico e aproximadamente 5% de ácido esteárico (CORLEY & TINKER, 2003).

BARRETO et al. (2007) realizaram caracterização físico-química em biodiesel de dendê B100 e obtiveram índice de iodo 70g/100 g, teor de água e sedimentos <0,005

v/v, viscosidade cinemática 4,4 a 40 °C ($\text{mm}^2/\text{s}^{-1}$), ponto de fulgor 152 °C e índice de acidez 0,79 mg KOH/g⁻¹, indicando que o biodiesel B100 utilizado em seu trabalho está em conformidade com as especificações da ANP. A grande vantagem do biodiesel de dendê é a alta estabilidade oxidativa devido aos teores elevados de ácidos graxos saturados.

Um dos fatores limitantes da utilização de biodiesel de dendê em regiões de clima ameno, como o Sul do Brasil, são características físico-químicas deste produto. Segundo TEIXEIRA (2005), o ponto de solidificação do biodiesel de dendê é muito alto, em torno de 15 °C positivos, temperatura comumente verificada em qualquer local de clima ameno ou temperado.

Os ácidos graxos saturados são lineares e apresentam maior capacidade de acomodação das moléculas, acarretando elevação do ponto de fusão, sendo encontrados no estado sólido à temperatura ambiente (BOEHMAN, 2005). É indispensável o acompanhamento da conversão da reação nas características finais do produto, no que diz respeito aos pontos de névoa e solidificação.

Para produzir combustíveis alternativos, o Brasil possui diversas espécies de oleaginosas. No entanto, o dendê apresenta-se como oleaginosa de grande significado comercial, sendo capaz de produzir grande quantidade de óleo por hectare, podendo atingir até 6.000 kg de óleo por hectare e por ano, além de possuir menor custo de produção, quando comparado com outras oleaginosas (SANTANA et al., 2007).

7 Cultura da mamona (*Ricinus communis* L.)

A mamona (*Ricinus communis* L.) despontou como uma das mais importantes oleaginosas cultiváveis, sobretudo pela diversidade de aplicações industriais. A mamoneira é cultivada principalmente na Índia, Brasil e China, com produção mundial de cerca de 0,5 milhão de toneladas de óleo. É bastante tolerante a diferentes climas e tipos de solos, além de ser disponível a baixo custo, pois cresce até mesmo sem cultivo (NDIAYE et al., 2006; GALVÃO, 2007).

A mamoneira (*Ricinus communis* L.) pertence à família *Euphorbiaceae* Jussieu, a qual contém cerca de 290 gêneros e aproximadamente 7.500 espécies (RODRIGUES et al., 2002).

A dificuldade em se determinar com precisão a origem da mamoneira decorre do fato da ampla adaptação às mais distintas condições climáticas, uma vez que, apesar de ser cultura de regiões predominantemente quentes, é encontrada em locais com clima ameno (WEISS, 1971).



FIGURA 4. Cultura da mamona (*Ricinus communis* L.).

Fonte: AZEVEDO & LIMA, 2001.

A mamoneira é espécie conhecida desde os tempos mais remotos. Existem relatos de que as sementes foram encontradas por arqueólogos em sarcófagos egípcios, e acredita-se que essa civilização já cultivava a mamona há mais de 4.000 anos, para fins medicinais e também para iluminação, com óleo extraído das sementes (OPLINGER et al., 1997; OLSNES, 2004).

Não existem informações precisas sobre a época da introdução da mamoneira no Brasil, mas a maioria dos autores acredita que tenha sido introduzida no País pelos colonizadores portugueses, no primeiro século do descobrimento (VASCONCELOS,

1990). No Brasil, a planta aclimatou-se extraordinariamente, sendo encontrada vegetando em estado subespontâneo em quase todo o território nacional (GONÇALVES et al., 1981).

A mamoneira é espécie de elevada complexidade morfológica e fisiológica (BELTRÃO & SILVA, 1999), variando muito o hábito de crescimento, cor da folhagem e do caule, e na coloração e teor de óleo da semente. Desse modo, as cultivares são por vezes muito distintas entre si (TÁVORA, 1982). Possui crescimento indeterminado, consistindo em uma série de caules ou ramos encerrados por racemo, numa disposição simpodial que lhe é peculiar. Produz em média três importantes ordens de racemos denominados de primários, secundários e terciários, as quais são expostas a diferentes condições ambientais que influenciam significativamente na participação de cada uma delas na produtividade total da cultura (VIJAYA KUMAR et al., 1997).

Praticamente, todas as partes desta planta podem ser utilizadas para algum proveito. Ela é considerada como “petróleo verde”: as folhas servem como forragem para bovinos (ativa glândulas produtoras de leite) e podem ser utilizadas para criação de *attacus ricim* (produtor de seda); a torta é rica em nitrogênio e pode ser usada como adubo ou, depois de neutralizar algumas toxinas, na alimentação animal; da sua haste pode produzir-se celulose e tecido grosseiro; e, finalmente, o óleo, pelas características químicas e físicas, possui inúmeras utilizações na indústria (AZEVEDO et al., 2001). Na literatura, é encontrada vasta publicação sobre a utilização, como óleo ideal para motores de alta rotação e para foguetes espaciais e sistemas de freios dos automóveis (AZEVEDO & LIMA, 2001). A Figura 5 mostra os principais produtos químicos do óleo da mamona e seus usos finais.



FIGURA 5. Principais produtos oleoquímicos da mamona e seus usos finais.

Fonte: AZEVEDO & LIMA, 2001.

Explorada comercialmente em função do óleo contido nas sementes, a mamoeira (*Ricinus communis* L.) é tradicionalmente cultivada por pequenos produtores no Brasil e

no mundo. O Brasil figura entre os três maiores produtores de mamona, rivalizando ao longo da história com a China e a Índia no cenário mundial. Atualmente, a Índia lidera a produção de óleo de mamona, sendo responsável por mais de 60% de todo o óleo comercializado no mundo (INDIAMART, 2008).

A cultura apresenta-se como alternativa de relevante importância econômica e social para o Brasil, particularmente para a região Nordeste, onde se concentram mais de 90% da produção (VIEIRA & LIMA, 2008). O cultivo comercial ocorre praticamente em todos os estados nordestinos, à exceção de Sergipe e Maranhão, onde não há registros de área cultivada com mamona (AMORIM NETO et al., 2001). A Bahia é o principal Estado produtor (VIEIRA & LIMA, 2008), pois produz cerca de 85% da safra no Brasil. Por ser planta com capacidade de produzir satisfatoriamente bem sob condições de baixa precipitação pluviométrica, é utilizada como cultura alternativa de grande importância para o semiárido brasileiro (VIEIRA & LIMA, 2008). Estes autores relatam que, em levantamento realizado pela Embrapa, a região Nordeste brasileira dispõe de mais de 45 milhões de hectares de terras com aptidão para a exploração econômica desta cultura.

Para a safra de 2008/2009, a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) tem a previsão para uma área de 157,5 mil hectares de cultivo da mamona no Brasil, sendo 148 mil hectares localizados nas regiões Norte e Nordeste do Brasil. A produção do País prevista para a referida safra é de 92,5 mil toneladas, com uma produtividade de 0,582 t/ha.

8 Biodiesel de mamona (*Ricinus communis* L.)

Diferente dos demais óleos vegetais, o óleo extraído das sementes da mamona tem na composição do triacilglicerídeo o ácido ricinoleico (monoinsaturado), sendo este majoritário (80 - 90%). Os demais ácidos graxos são principalmente oleico e linoleico (CONCEIÇÃO et al., 2007). Esse ácido possui três grupos funcionais altamente reativos que permitem síntese de grande número de derivados com diversas aplicações

industriais (Carbonila, Reações no Grupo Hidroxila e Pirólise), além da capacidade de manutenção da viscosidade a temperaturas extremas (CÂMARA & CHIAVENATO, 2001).

A semente da mamoneira constitui-se de massa celulósica proteica e, em média, 48% de óleo de mamona ou rícino, segundo HEMERLY (1981), que contém 90% de ácido ricinoleico, sendo fonte praticamente pura deste ácido graxo, fato raro na natureza. Não comestível, é o único glicerídeo natural solúvel em álcool (FREIRE, 2001).

A viscosidade do óleo de mamona é a mais alta entre os óleos vegetais, como mostrados na Tabela 3.

TABELA 3. Propriedade físico-químicas de alguns óleos vegetais.

Óleos vegetais	Viscosidade cinemática 40 °C (mm² s⁻¹)	Densidade (g cm⁻³)	Acidez (mg KOH g⁻¹)
Pinhão-manso	24,5	0,8900	17,3
Dendê	36,8	0,9118	4,9
Soja	36,8	0,9200	0,2
Mamona	285,0	0,9578	9,5

Fonte: OLIVEIRA et al. (2008).

MACHADO et al. (2006) estudaram propriedades físico-químicas de misturas formuladas com biodiesel de mamona e biodiesel oriundo das oleaginosas: soja, algodão e canola, com o intuito de determinar uma ótima razão de mistura que atenda às especificações brasileira e europeia. Observou-se que o biodiesel de mamona 100% (B100) não atende às especificações, em função da densidade e da viscosidade elevadas. Verificou-se, também, que, para atender às especificações, é necessário misturar pelo menos 80% em volume com outro Biodiesel.

O uso do óleo de mamona tido como promissor passou a não ser mais recomendado pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) para se produzir biodiesel desde março de 2008. A alta viscosidade do biodiesel de mamona é prejudicial para os motores a diesel, tornando-o inadequado para ser

utilizado nos tanques. Somente como mistura ao diesel fóssil ou a outro biodiesel menos viscoso, enquadrar-se-á às exigências da especificação da ANP (3,0 - 6,0 mm²/s⁻¹) (TEIXEIRA et al., 2010).

A presença do grupamento hidroxila pode ser responsável por uma série de desvantagens para uso dos ésteres metílicos ou etílicos do ácido ricinoleico como biodiesel, dentre as quais pode ser citada a maior dificuldade de remoção da água que permanece dissolvida devido à formação de ligações de hidrogênios com o grupamento hidroxila presente no ácido ricinoleico (DABDOUB et al., 2009).

A produção do biodiesel de mamona, em escala laboratorial, não teria importância relevante, porém, em escala industrial, representaria custos bem maiores de processamento, pois haveria maior consumo energético em relação à secagem de outro tipo de biodiesel não hidroxilado, uma vez que o volume de água dissolvida, no caso da mamona, pode ser até 5 vezes maior do que no biodiesel de soja ou outro tipo de biodiesel (DABDOUB et al., 2009).

Nem todos os óleos vegetais são próprios para serem utilizados na produção de biodiesel, uma vez que podem apresentar viscosidade elevada ou grande número de ligações insaturadas na cadeia carbônica dos ácidos graxos que constituirão o biodiesel (KNOTHE & STEIDLEY, 2005).

9 Cultura do tucumã (*Astrocaryum aculeatum*)

Entre as riquezas que povoam a região Amazônica Sul – Ocidental encontram-se espécies cujos frutos encerram quantidade apreciável de óleo com valor econômico para diferentes aplicações industriais (PALLET, 2002; ARAÚJO et al., 2002), como a produção de biocombustível.

As espécies que ocorrem naturalmente na região Amazônica diferem muito entre si, seja pela forma, seja pela qualidade e teor do óleo que produzem, o que as caracterizam como importante matéria-prima para obtenção de óleo, que pode ser

extraído do endosperma das sementes oleaginosas ou do pericarpo de frutas ricas em óleo (OZDEMIR & TOPUZ, 2004; TANGO et al., 2004).

Os estudos iniciais de caracterização do óleo para a produção de biodiesel foram realizados com uma espécie da família Arecaceae (*Astrocaryum aculeatum*), típica da Floresta Amazônica Sul-Occidental, cujo nome popular é tucumã (Figura 6).



FIGURA 6. Cachos de tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) com frutos verdes.

Fonte: ZANINETT, 2009.

Em estudos sobre a região amazônica, HAYNES & McLAUGHLIN (2000) relataram que as palmeiras representam a terceira família de plantas mais importantes dessa região quanto ao uso humano, pois são obtidos numerosos produtos alimentares, como frutos, nozes e óleos.

As espécies de palmeiras amazônicas silvestres ricas em óleo apresentam vantagens sobre outras fontes naturais de substâncias gordurosas, por serem abundantes, renováveis e praticamente inesgotáveis, desde que processadas racionalmente, além de terem cultivo e produção não poluente, não esgotando o solo (MORÓN-VILLARREYES, 1998).

O tucumã é uma palmeira monocaule que produz sementes que servem para a obtenção de azeite comestível e sabão (FAO, 1987). Essa espécie tem ocorrência no Acre, Amazonas, Rondônia, Pará, Mato Grosso e Roraima (LORENZI et al., 2004), desde sistemas agroflorestais a plantas daninhas invasoras de pastagens, permitindo assim exploração.

O tucumanzeiro é palmeira solitária, monoica, estirpe ereta de 10 - 25 m de altura, com espinhos nos entrenós e monocaule medindo em média 25 cm de diâmetro. A espécie é encontrada esporadicamente em pequenas densidades no interior da floresta, mas com grande abundância em áreas desmatadas, sendo a ocorrência, na maior parte, espontânea, formando grandes e, muitas vezes, densas manchas em roçados, pastagens, capoeiras e margens de estradas, sendo assim espécie excepcionalmente tolerante a solos pobres e degradados, podendo chegar à densidade de 50 indivíduos/hectare (LORENZI et al., 2004). Os frutos são produzidos durante o ano todo, porém o pico da produção ocorre nos meses de junho a janeiro.

Uma palmeira típica produz cerca de 50 kg de frutos/ano, mesmo em solos pobres. Em geral, as árvores produzem de dois a três cachos/ano, mas podem produzir até mais de cinco. Cada cacho tem entre 10 e 30 kg de massa e contém de 200 a 400 frutos. Os frutos são drupas globosas ou ovoides com medidas (volume e massa) bastante variadas (MIRANDA et al., 2001). O epicarpo (casca do fruto, 17,2% da massa do fruto fresco maduro) é verde-amarelado. O mesocarpo (polpa, 21,2% da massa do fruto fresco maduro) é amarelo-alaranjado, compacto, firme, com grande concentração de óleo e β -caroteno e com sabor agradável. O endocarpo (caroço) é pétreo, contendo no interior uma amêndoa (endosperma) (VERAS et al., 2005).

É comum o tucumanzeiro crescer em solos com baixa fertilidade da terra firme, onde produz por muitos anos sem aplicação de adubo (FAO, 1987). Com isso, é uma das poucas espécies arbóreas que os pequenos produtores, sem meios financeiros, podem cultivar em terrenos que abandonaram depois de cultivar a mandioca durante um a três anos.

O *Astrocaryum aculeatum* Meyer (tucumã) é palmeira que ocorre no ecossistema de terra firme da Amazônia central e sul-ocidental, e está frequentemente associada a

ambientes degradados, como de invasoras de pastagens e de vegetação secundária (capoeiras), raramente em florestas primárias (FAO, 1987). Sua importância econômica baseia-se principalmente na exploração da polpa dos frutos, que pode ser consumida ao natural ou na forma de sorvete, suco, licor e doce. Da polpa dos frutos e das sementes, podem ser extraídos diferentes tipos de óleos comestíveis, além de poderem ser utilizadas na suplementação alimentar humana e na fabricação de ração animal (MENDONÇA, 1996).

O tucumã é uma das várias espécies oleaginosas amazônicas que satisfazem os critérios fundamentais para o uso adequado e sustentável de espécies oleaginosas nativas na produção de biodiesel na Amazônia (FIGLIUOLO et al., 2007).

10 Biodiesel do tucumã (*Astrocaryum aculeatum*)

A extração do óleo contido nas várias partes do fruto pode ser feita por prensa hidráulica por batelada, prensa mecânica contínua e extração por solventes, porém a extração mecânica é tida como mais eficiente, de simples operação e baixo custo (WEISS, 1983). A prensa mecânica é indicada para materiais com alto teor de óleo (>35%), podendo ser prensa hidráulica ou prensa tipo Expeller, com capacidade de extrair mais de 300 toneladas de óleo por dia, enquanto o solvente é indicado para materiais com baixo teor de óleo (<25%) (PARENTE, 2006). Nesse processo, algumas variáveis são importantes: cozimento e aquecimento dos grãos antes da prensagem, temperatura, tempo e teor de água das matérias-primas (SINGH & BARGALE, 2000).

FIGLIUOLO et al. (2007), estudando o potencial das amêndoas de tucumã para a produção de biodiesel, obtiveram valores de lipídeos totais variando de 40 a 50%, sendo que a proporção no fruto foi de 36,9%, valor próximo ao obtido por NASCIMENTO et al. (2007), de 39,7%. Já CASTRO et al. (2006), estudando o potencial dos óleos de algumas espécies de palmeiras da Amazônia, para produção de biodiesel, obtiveram 36% de óleo na amêndoa de tucumã, conseguindo dessa forma a extração do óleo das amêndoas por prensagem mecânica.

Os valores das características físico-químicas do óleo de polpa de tucumã estão apresentados na Tabela 4.

TABELA 4. Características físico-químicas do óleo de polpa de tucumã.

Parâmetros	Frutos maduros	Frutos não maduros	Média
Densidade (g cm ⁻³)	0,902	0,908	0,903
Viscosidade (mm ² s ⁻¹)	77,1	73,5	76,3
Índice de Acidez (mg KOH g ⁻¹)	6,35	9,49	7,11
Índice de Iodo (g I ₂ 10 ⁻² g ⁻¹)	114,62	110,28	113,84
Índice de peróxido (meq kg ⁻¹)	30,31	31,31	30,79
Índice de Saponificação (mg KOH g ⁻¹)	210,41	213,32	211,38

Fonte: ZANINETT, 2009.

O conhecimento do comportamento reológico dos produtos é essencial para várias aplicações, entre as quais o controle de qualidade dos óleos e do biodiesel. Os altos valores de viscosidade podem prejudicar o mecanismo de atomização do combustível e o funcionamento do sistema de injeção (COSTA NETO et al., 2000; KNOTH & STEIDLEY, 2005; MAIA et al. 2006).

FERREIRA et al. (2008) e URAKAWA et al. (2008), estudando as características físico-químicas de óleos extraídos da polpa de tucumã (*Astrocaryum vulgare*), obtiveram valores de índice de acidez de 5,58 e 8,8 mg KOH g⁻¹ de amostra, respectivamente. Para a produção de biodiesel, uma acidez elevada do óleo é fator indesejável, pois o catalisador é consumido para neutralizar os ácidos graxos livres, em uma reação de saponificação, a qual compete com a reação de transesterificação, diminuindo o rendimento do processo de produção do biocombustível (DANTAS, 2006).

Segundo ANGELUCCI et al. (1987), o alto teor de acidez do óleo bruto diminui o poder de neutralização, sendo também indicador de sementes de baixa qualidade, de manuseio e armazenamento impróprios ou de processamento insatisfatório.

O valor do índice de iodo é importante, porque serve para estimar o grau de insaturação do óleo. Esta propriedade influencia extremamente a oxidação do biocombustível e o tipo de produtos e depósitos do envelhecimento formados no sistema de alimentação dos motores, sendo que os óleos a serem utilizados como biocombustíveis devem ter um valor de iodo abaixo de $115 \text{ I}_2 \cdot 10^{-2} \text{ g}^{-1}$ (PEREIRA Jr et al. 2007).

Conforme CECCHI (2003), o índice de peróxido é um dos métodos mais utilizados para medir o estado de oxidação de óleos e gorduras. Ressalta-se que a degradação oxidativa e a estabilidade à oxidação do óleo ou do biodiesel podem ser avaliadas com o aumento do índice de peróxido (FERREIRA et al., 2005).

FERREIRA et al. (2005) e FERREIRA et al. (2008), estudando características físico-químicas de óleos de polpa de tucumã (*Astrocaryum vulgare*), obtiveram como resultados para índice de saponificação: $316 \text{ mg KOK g}^{-1}$ e $202 \text{ mg KOK g}^{-1}$, respectivamente.

A reação de saponificação é indicador do grau de deterioração e da estabilidade dos óleos. O índice de saponificação permite verificar se as propriedades do óleo estão de acordo com as especificações e identificar possíveis fraudes e adulterações (RIBEIRO & SERAVALLI, 2004).

O estado de conservação do óleo está intimamente relacionado à natureza, qualidade da matéria-prima, grau de pureza do óleo e com as condições de armazenamento, pois a decomposição dos glicerídeos é acelerada por aquecimento e luz, enquanto a rancidez é quase sempre acompanhada da formação de ácido graxo livre (RIBEIRO & SERAVALLI, 2004).

ZANINETTI (2009), trabalhando com a caracterização do óleo de frutos de tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) para produção de biodiesel, concluiu que o óleo extraído da polpa apresentou características físico-químicas que o recomendaram para ser utilizado na produção de biodiesel. O autor recomenda que o ponto de colheita dos frutos, as condições de armazenamento e principalmente a extração do óleo devem ser realizados com cuidado, para que o óleo não sofra alterações nas características.

11 Desempenho de um trator agrícola

Os tratores usam motores a combustão interna para se mover, tracionar implementos e máquinas agrícolas. As perdas de potência aparecem ao desenvolver tração pelas rodas, no eixo da TDP (tomada direta de potência) e sistema hidráulico. O desempenho do trator agrícola pode ser avaliado pela força e potência desenvolvida na barra de tração, potência e torque na tomada de potência, eficiência de tração, patinagem das rodas motrizes e consumo de combustível (SILVA & BENEZ, 1997).

De acordo com ZOZ (1997), os estudos da teoria de tração têm apresentado progressos consideráveis, sendo desenvolvidos critérios para avaliar o desempenho do trator com base nos resultados de ensaios realizados em pista de concreto. Entretanto, para as condições de campo, são necessárias mais pesquisas para fornecer informações úteis e estimar desempenho de tratores.

Segundo SILVA et al. (1997), o objetivo da avaliação do desempenho de tratores agrícolas, em ensaios de campo, tem sido gerar informações que possibilitem dimensionar e racionalizar o uso de conjuntos motomecanizados na agricultura.

O desempenho na barra de tração do trator depende, primariamente, da potência do motor, da distribuição de peso sobre os rodados, altura e posição dos engates da barra e da superfície do solo (ASAE D497. 4, 1999).

A maneira mais comum de utilização da potência desenvolvida pelo motor é através da barra de tração, devido à versatilidade, porém é a menos eficiente, quando comparada à TDP e ao sistema hidráulico (SORANSO, 2006).

Segundo GABRIEL FILHO et al. (2002), o baixo desempenho na barra de tração ocorre devido ao tipo de solo, distribuição de peso sobre os rodados, características do rodado, transferência de peso durante a operação, cobertura vegetal, entre outros. Estes mesmos autores, avaliando o desempenho do trator, concluíram que, em função da cobertura de matéria seca sobre o solo, há aumento nos índices de patinamento, que faz diminuir a eficiência de tração. Assim, os autores reafirmam que a tração é resultado da interação entre rodado e superfície. Uma preocupação dos pesquisadores

diz respeito à eficiência no consumo de combustível, pois representa custo elevado no processo produtivo, além de ser de origem fóssil e não renovável.

O consumo de combustível é influenciado por fatores como lastro, carga demandada na barra de tração, tipo de pneu e velocidade de deslocamento (LOPES et al., 2003). Outro problema que afeta o desempenho do trator é patinamento das rodas motrizes, o qual está diretamente relacionado à diminuição da força de tração e aumento no consumo de combustível. A ASAE (1997) recomenda, para obtenção de máxima eficiência de tração, patinagem de 8 - 10% em solos não mobilizados e de 11 - 13% em solos mobilizados, mas é importante salientar que solos não mobilizados não têm palhada na superfície, ou seja, o solo está descoberto.

Conforme a Norma EP496.2 (ASAE, 1997a), a patinagem do rodado de tração pode ser definida como a redução de deslocamento em determinada condição de piso comparada com condição específica, também chamada condição zero, onde se mede o rolamento do rodado em piso indeformável e em situação sem carga.

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

12 Emissões residuais dos motores diesel

Para maior proteção ao meio ambiente e à saúde humana, rigoroso padrão de emissão é desejado em todas as partes do planeta terra. A busca por novos métodos de redução de emissões prejudiciais e aumento na economia de combustível torna-se cada vez mais urgente. A vantagem dos motores diesel, comparativamente aos motores à gasolina, é a eficiência no aproveitamento energético daqueles (REN et al., 2008).

Agregando as questões relacionadas ao aquecimento global, as emissões da combustão de derivados de petróleo, como o diesel, contêm centenas de compostos orgânicos e inorgânicos. Para o caso do diesel, esses compostos estão particionados entre a fase gasosa e o material particulado. Ambas as fases contêm moléculas carcinogênicas, como compostos carbonilados (aldeídos e cetonas), hidrocarbonetos monoaromáticos (HMA) (benzeno), HPA e nitro-HPA (CORRÊA & ARBILLA, 2006).

Motores do ciclo diesel são largamente utilizados em maquinários, veículos automotores e outros meios de transporte devido à excelente dirigibilidade e eficiência térmica. Ao mesmo tempo, são os maiores contribuidores da emissão de vários poluentes, como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx), material particulado (MP) e outros componentes prejudiciais (REN et al., 2008).

Hidrocarbonetos emitidos por motores diesel formam mistura complexa de compostos, emitidos a partir da combustão incompleta do combustível, particionados entre a fase gasosa e a líquida. Ambas as fases apresentam compostos potencialmente perigosos para o meio ambiente e a saúde humana. A fase líquida, também chamada de fração semivolátil, é muito difícil de ser analisada, mas, ao mesmo tempo, fornece importante informação sobre a natureza das emissões da exaustão (BALLESTEROS et al., 2008).

Prioritariamente, pesquisas têm sido realizadas sobre as emissões da combustão de poluentes já regulamentados, como monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, material particulado e hidrocarbonetos totais. Entretanto, um número limitado inclui pesquisas relacionadas às emissões não regulamentadas, como formaldeídos, acetaldeído, 1,3 - butadieno, benzeno, tolueno e xilenos (BTX) (DI et al., 2009). Contudo, informações limitadas estão disponíveis a respeito de compostos não regulamentados (TURRIO-BALDASSARRI et al., 2004; CORRÊA & ARBILLA, 2006).

No Brasil, a natureza da poluição da atmosfera urbana pode ser considerada predominantemente veicular, embora até recentemente se acreditasse que a indústria era a grande “vilã”. Somente depois da década de 80 várias pesquisas indicaram que a emissão veicular era a mais importante fonte de poluição nas grandes cidades (CORRÊA & ARBILLA, 2006; TURRIO-BALDASSARRI et al., 2006).

Mesmo os veículos que utilizam óleo diesel como combustível representem somente 8,0% da frota numérica brasileira, as emissões são consideráveis perante a frota total. A distância de viagem desses tipos de veículo é muito grande, como pode ser comprovado pelo consumo de, aproximadamente, 40% do combustível brasileiro (ANFAVEA, 2010).

Segundo o primeiro inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários, veículos com motores diesel são responsáveis por 88% das emissões de NO_x, 96% das emissões de material particulado (MP), 10% das emissões de CO e 53% das emissões de CO₂ (MMA, 2011).

Os principais compostos tóxicos encontrados na exaustão de motores diesel incluem monóxido de carbono (CO), monóxido de nitrogênio (NO), dióxido de nitrogênio (NO₂) e dióxido de enxofre (SO₂). A atividade biológica e as características tóxicas desses compostos têm sido estudadas durante vários anos e estão relativamente bem compreendidas (KHAIR, 2006).

Emissões de material particulado tornaram-se preocupantes, referentes à saúde humana, nas emissões do diesel. Pesquisas médicas sobre os efeitos adversos do material particulado estão em “fases iniciais”. Muitas opiniões são controversas e muitas questões ainda não foram respondidas. Estas incertezas sobre os efeitos do MP e seus componentes refletem a falta de precisão e definição universal dos particulados do diesel. A maioria dos estudos de saúde pública e as regulamentações das emissões de motores diesel definem material particulado como mistura de sólidos, orgânicos e sulfatos (KHAIR, 2006).

As emissões dos motores diesel contêm numerosos outros compostos na exaustão em menores quantidades que os compostos citados nos parágrafos anteriores (MP, CO, NO, NO₂ e SO₂), mas que ainda podem representar problemas à saúde humana. As substâncias mais importantes nesse grupo incluem os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA), nitro-HPA, aldeídos, cetonas e outros hidrocarbonetos e seus derivados, sendo vários desses qualificados como carcinogênicos (JAYARATNE et al., 2009).

A maioria dos compostos orgânicos de maior massa molecular, como os HPA (Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos), é encontrada associada aos particulados emitidos na combustão do óleo diesel. Essa associação, em combinação com baixas concentrações, causa grande dificuldade para diferenciar os efeitos relativos à saúde causada pelo material particulado e composto orgânico específico. Comumente, estuda-se o efeito do material particulado como um todo, sem especificar algum composto orgânico. Particulados emitidos na exaustão de motores diesel incluem a fase sólida e também a fase orgânica, e ambos têm efeito conhecidamente nocivo à saúde humana (KHAIR, 2006). Emissões de material particulado a partir de motores diesel são classificadas, também, como poluentes perigosos por várias agências governamentais (DOBBINS et al., 2006).

A toxicidade da exaustão de motores diesel é bem documentada na literatura: a exaustão dos motores diesel é classificada pela Agência Internacional de Pesquisas sobre o Câncer (IARC - International Agency for Research on Cancer") como, provavelmente, cancerígena para humanos (Grupo 2A) e é a maior fonte de material particulado fino (que tem diâmetro menor que 2,5 μm) do ar urbano (CORRÊA & ARBILLA, 2006; TURRIO-BALDASSARRI et al., 2006). Esse material particulado tem alta probabilidade de se depositar no trato respiratório e iniciar, em longo prazo, doenças respiratórias como câncer e problemas cardíacos (DE ABRANTES et al., 2004; TURRIO-BALDASSARRI et al., 2004).

O material particulado originado dos combustíveis é formado por frações de compostos insolúveis, como fuligem (carbono), sulfatos, águas e cinzas, e frações de compostos solúveis provenientes do lubrificante e do combustível. A composição elementar da partícula pode variar, dependendo da qualidade do diesel, do desempenho do motor e do modo de operação. Entretanto, apresenta como composição básica: 70% de massa de carbono, 20% de oxigênio, 3% de enxofre, 1,5% de hidrogênio, menos que 1% de nitrogênio e, aproximadamente, 1% de elementos-traço.

Os motores do ciclo Diesel emitem partículas com diâmetro aerodinâmico $<10 \mu\text{m}$, com diâmetro aerodinâmico $<2,5 \mu\text{m}$ (partícula fina), com diâmetro aerodinâmico

<0,10 μm (partícula ultrafina) e com diâmetro aerodinâmico <0,05 μm (KITTELSON et al., 2002).

O conceito básico da combustão em motores é: *Queima Ideal = (Ar + Combustível \rightarrow $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{Energia} + \text{N}_2$)*. Numa queima ideal, somente saem pelo escapamento CO_2 e água, porém a queima num motor de combustão interna (ciclo Diesel) nunca é ideal, e nesse caso saem também pelo sistema de exaustão outros componentes que são provenientes de queima incompleta e irregular do combustível (mistura ar/combustível), em função do processo de combustão, e no motor ciclo diesel a combustão da mistura ar-combustível se dá por processo chamado de compressão, e faz com que toda a mistura contida na câmara de combustão seja transformada em trabalho ou calor perdido para o meio ambiente (HEYWOOD, 1988).

As concentrações das emissões em motores de combustão interna são usualmente medidas em partes por milhão (ppm), partes por cem ou percentual em volume. No entanto, é comum indicá-las em emissões específicas, ou seja, o fluxo de gases poluentes pela potência de saída em g/kW h^{-1} , conforme equações específicas. Os índices mais usuais de emissões são o óxido de nitrogênio (NO_x), o monóxido de carbono (CO), os hidrocarbonetos (HC) e os particulados.

Os motores de ciclo Diesel apresentam como resultado do processo de combustão, as emissões de gases que, quando analisadas de maneira correta, permitem avaliar o real funcionamento do motor de combustão interna. Alguns desses gases emitidos são poluentes e, por isso, são controlados pela legislação nacional através do Programa Nacional de Controle de Emissões Veiculares (CONAMA, 2008).

Existem normas e resoluções do INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial) e CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) que regulamentam todas as formas de análise de gases, níveis permitidos, tipo de equipamentos necessários e prazos para a aferição dos mesmos. Encontram-se hoje no mercado analisadores de gases infravermelhos de 4 gases (CO, CO_2 , HC e O_2) e de 5 gases (CO, CO_2 , HC, O_2 e NO_x), para motores ciclo Otto e analisadores de gases para o ciclo Diesel, conhecidos como Opacímetros.

O processo para a análise do gás de escape de veículos com motor ciclo Diesel prevê a medição da emissão da fuligem com opacímetros de fluxo parcial pelo método da aceleração livre. Nesse método, o motor é acelerado rapidamente em ponto morto até a rotação de corte, mantido por alguns segundos nessa rotação, conforme apresentado em procedimentos das Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2008).

O princípio operativo do analisador de gases de combustão para o ciclo diesel realiza-se conforme apresentado abaixo pela Figura 7.

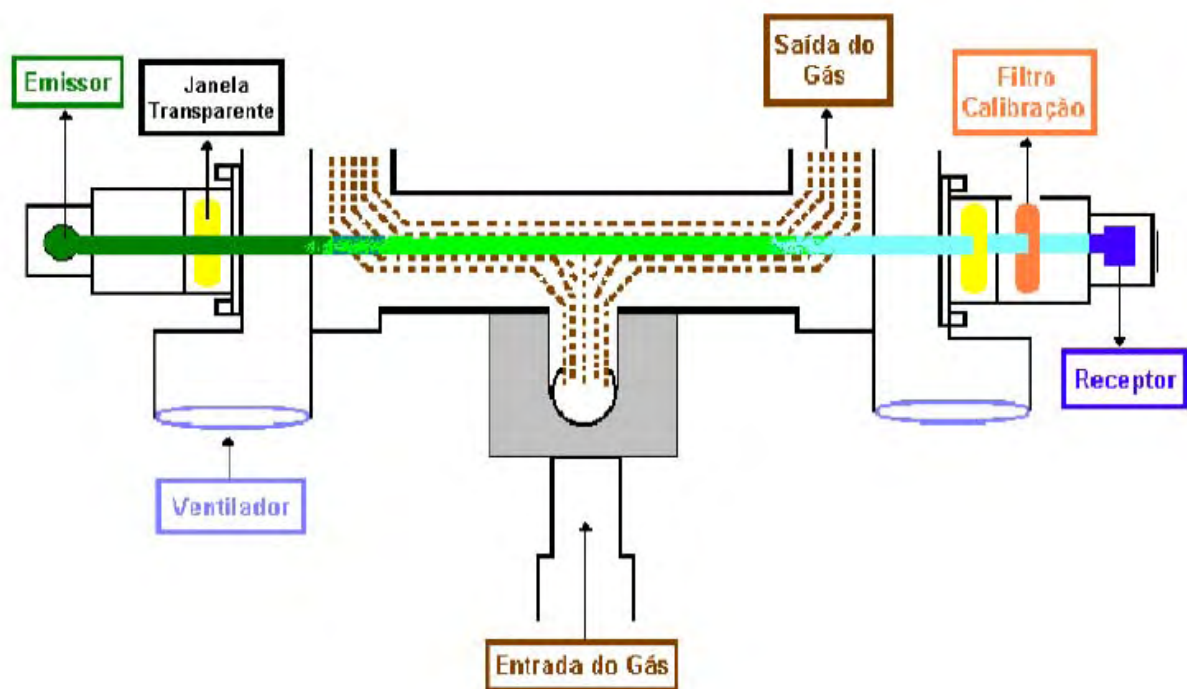


FIGURA 7. Analisador de gases ciclo diesel (fluxo parcial). Adaptado de Inmetro (2008).

A luz emitida por diodo led verde de alta eficiência é concentrada por sistema óptico que produz fecho luminoso de aproximadamente 6 mm de diâmetro. Este fecho passa através da câmara de medição e chega até o elemento sensível (fotodiodo). Dois espaços vazios de ambos os lados da câmara de medição são atravessados por correntes forçadas de ar limpo de ventilação (entrada de ar), evitando que impurezas

transportadas pelos gases se depositem nos elementos ópticos (projeto ou fotodiodo), o que poderia perturbar a medição. Duas janelas transparentes fornecem proteção adicional aos elementos ópticos. As amostras do gás de escapamento são tiradas do escape e dirigidas à câmara de medição (entrada de gases). O fecho de luz fornecido pelo fotodiodo, enfraquecido pela opacidade dos gases na câmara de medição, é finalmente recebido pelo elemento sensível à luz. A quantidade de luz recebida é inversamente proporcional à concentração de fumos na câmara (TECNOMOTOR, 2010).

13 Óleo lubrificante

As características físico-químicas dos óleos lubrificantes podem afetar o desempenho do motor de combustão interna, em especial a quantidade de combustível consumida. Emissões, por sua vez, podem ser afetadas tanto pelo combustível quanto pelo óleo lubrificante. A seguir, são descritas revisões dos trabalhos que norteiam essas afirmações.

O óleo lubrificante é responsável pela redução do atrito e conseqüentemente desgaste do motor, bem como pela limpeza dos resíduos da combustão e dos resíduos provocados pelo desgaste dos componentes do motor. A eficiência do lubrificante pode ser diminuída pela utilização severa do motor e por contaminantes, tais como, água, poeira (sílica), combustíveis e resíduos da combustão. Através da análise periódica do lubrificante, é possível acompanhar a sua deterioração normal e aquelas causadas por contaminações diversas, servindo como indicativo de manutenções preventivas. A análise do teor de contaminação do óleo lubrificante, segundo PETERSON et al. (1999), fornece uma excelente indicação das condições internas do motor. Os autores analisaram a contaminação do óleo lubrificante por metais (alumínio e ferro) em um motor diesel, a intervalos de 100 horas, durante o ensaio de 1000, com misturas (B25, B50 e B100) de éster etílico de óleo de soja hidrogenada. Sem referir se os valores encontrados estão dentro da faixa de normalidade, concluíram apenas que a presença

dos metais com o uso de B100 foi igual ou menor que a ocorrida com B25 ou B50. Nos testes de durabilidade realizados por KAUFMAN & ZIEJEWSKI (1984), com éster metílico de óleo de girassol, o consumo de óleo lubrificante foi satisfatório, sendo observada diluição de combustível no óleo lubrificante.

O efeito em longo prazo da mistura de óleo diesel (80%) e biodiesel (20%) foi estudado por ALI & HANNA (1996) em relação ao desempenho e desgaste do motor diesel. Constataram que o motor operou satisfatoriamente por 148 horas, tendo potência, torque e consumo específico de combustível se mantido constante. A análise do óleo lubrificante, a intervalos de 45 horas, mostrou que a redução na viscosidade após 100 horas de operação foi típica da operação normal com óleo diesel. O desgaste do motor avaliado, com base na concentração de metais no óleo lubrificante, permaneceu dentro do limite normal recomendado para aquele tipo de motor.

Motor diesel foi submetido a ensaios por CORRÊA et al. (2008), a regime de cerca de 100 horas de funcionamento sob diferentes cargas, com B100 de girassol. A análise do óleo lubrificante, antes e após uso com B100, detectou alterações aceitáveis, sendo viscosidade, presença de água e teor de ferro as variáveis mais expressivamente alteradas.

A utilização de óleo de soja degomado misturado ao diesel comercial B2, nas proporções de 0,5 e 50%, foi avaliada por INOUE et al. (2009), em ensaio de 300 horas de funcionamento do grupo gerador composto por motor Agrale M90 (96 kW a 2.500 rpm). Após aberto, foi encontrada, em todos os tratamentos, deposição de resíduos no cabeçote do motor e na válvula de admissão, com intensidade maior na mistura de 50%. Não foram verificados desgastes dos componentes do motor. No estudo realizado por INOUE et al. (2009), a análise do óleo lubrificante indicou valores críticos, sugerindo a substituição em intervalos reduzidos inferiores às 150 horas preconizadas pelo fabricante.

TAYLOR & COY (2000) escreveram sobre o papel que os lubrificantes desempenham na redução do consumo de combustível dos veículos. O documento analisa fatores do lubrificante que afetam consumo de combustível, além das questões relacionadas com durabilidade do motor *versus* lubrificantes de baixa viscosidade. A

maior parte do trabalho aborda a economia de combustível em veículos a gasolina, mas também há considerações sobre veículos a diesel.

FOTHERINGHAN et al. (2002) avaliaram emissões e economia de combustível proporcionada por óleos SAE 5W-30 em caminhões a diesel com motores de 12 litros, transitando conforme o *European Transient Cycle* (ETC), em condições de partida a frio e a quente. Os lubrificantes SAE 5W-30, formulados com polialfaolefinas (PAO), básicos minerais de índices de viscosidade muito altos e o mesmo pacote de aditivo, foram comparados a óleos SAE 15W-40 formulados com óleos básicos minerais comuns. Os resultados comparam o desempenho dos óleos nos trechos urbano, rural e estrada do ciclo padrão de ensaio ETC. As formulações contendo PAO apresentaram redução significativa na emissão de particulados em relação às formulações com óleos minerais comuns e de alto índice de viscosidade. Em comparação com os óleos SAE 15W-40, os SAE 5W-30 demonstraram economia de combustível média de 2%.

III MATERIAL E MÉTODOS

1 Área experimental

O trabalho foi conduzido em área do Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola - LAMMA, do Departamento de Engenharia Rural, da Universidade Estadual Paulista - UNESP, Câmpus de Jaboticabal. A área está situada lateralmente à Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, km 5, possui localização geodésica definida pelas coordenadas 21°15' latitude sul e 48°18' longitude oeste, com altitude média de 570 m. A região apresenta temperatura média anual de 22,2 °C, precipitação média anual de 1.425 mm, umidade relativa média de 71% e pressão atmosférica 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.

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 em EMBRAPA (1997). O teor médio de água no dia do ensaio-piloto com escarificador, no perfil de 0 - 15 e 15 - 30 cm de profundidade, foi 11,2 e 13,4%, respectivamente, segundo método gravimétrico-padrão. A análise granulométrica da camada de 0 - 20 cm para argila, silte, areia fina e areia grossa foi 51; 29; 10 e 10%, respectivamente, sendo o mesmo considerado como textura argilosa.

3 Biodiesel

O biodiesel utilizado foi do tipo dendê (*Elaeis guineensis* L.), mamona (*Ricinus communis* L.) e tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) etílicos destilados. 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, num sistema de parceria com a FCAV/UNESP, Jaboticabal - SP. As misturas de biodiesel no diesel foram realizadas no momento de cada ensaio.

4 Diesel

Foi utilizado óleo diesel classificado de acordo com a Resolução da ANP nº. 42, de 16 de dezembro de 2009 (BRASIL, 2009), como óleo diesel interior, tendo quantidade de enxofre total máxima de 1.800 mg kg^{-1} e massa específica a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ entre 860 kg m^{-3} , advindo da cidade de Jaboticabal - SP.

5 Tratores

O trator de teste (Ensaio II e III) – foi da marca Valtra, modelo BM110, 4x2, com tração dianteira auxiliar (TDA), potência de 80,9 kW (110 cv) no motor a 2.300 rpm, massa total de 6.160 kg, distribuídos a 40 e 60% nos eixos dianteiro e traseiro, respectivamente, equipado com pneus 14.9-24 no eixo dianteiro e 23.1-26 no eixo traseiro, sendo tal trator instrumentado para a realização do teste. No momento dos ensaios, o trator operou a 2.000 rpm, quando ainda estava sem carga.

O trator de teste (Ensaio IV e V) – foi da marca Valtra, modelo BM125I, 4x2, com tração dianteira auxiliar (TDA), potência de 92,0 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 14.9-26 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.

6 Instrumentação do trator de teste para o ensaio de desempenho

O trator de ensaios utilizado encontra-se instrumentado com protótipo para medir combustível desenvolvido e descrito por LOPES (2006).

6.1 Rotação dos rodados

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

6.2 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. Considerou-se a velocidade real de

deslocamento aquela obtida pelo radar no momento em que o trator de teste estava em operação.

6.3 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, provocado por acidentes devido a manobras ou mesmo em paradas bruscas.

6.4 Consumo de combustível

O consumo de combustível foi determinado, obtendo-se volume e temperatura do combustível que alimenta 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 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 100Ω a $0 \text{ }^\circ\text{C}$), com faixa de medida de -200 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 combustíveis sem contaminar o tanque original do trator.

6.5 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, força na barra de tração, rotação dos rodados, rotação da tomada de potência e velocidade de deslocamento foram monitorados e armazenados em sistema de aquisição de dados marca Campbell Scientific, modelo Microllogger CR23X, programado para obter dados na frequência de 1 Hz, sendo posteriormente transferidos via porta de comunicação serial (RS232) para computador, a fim de serem processados.



FIGURA 8. Vista lateral do trator de teste com instrumentação completa.

Fonte: LOPES (2006).

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

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.

O opacímetro estava 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 9.

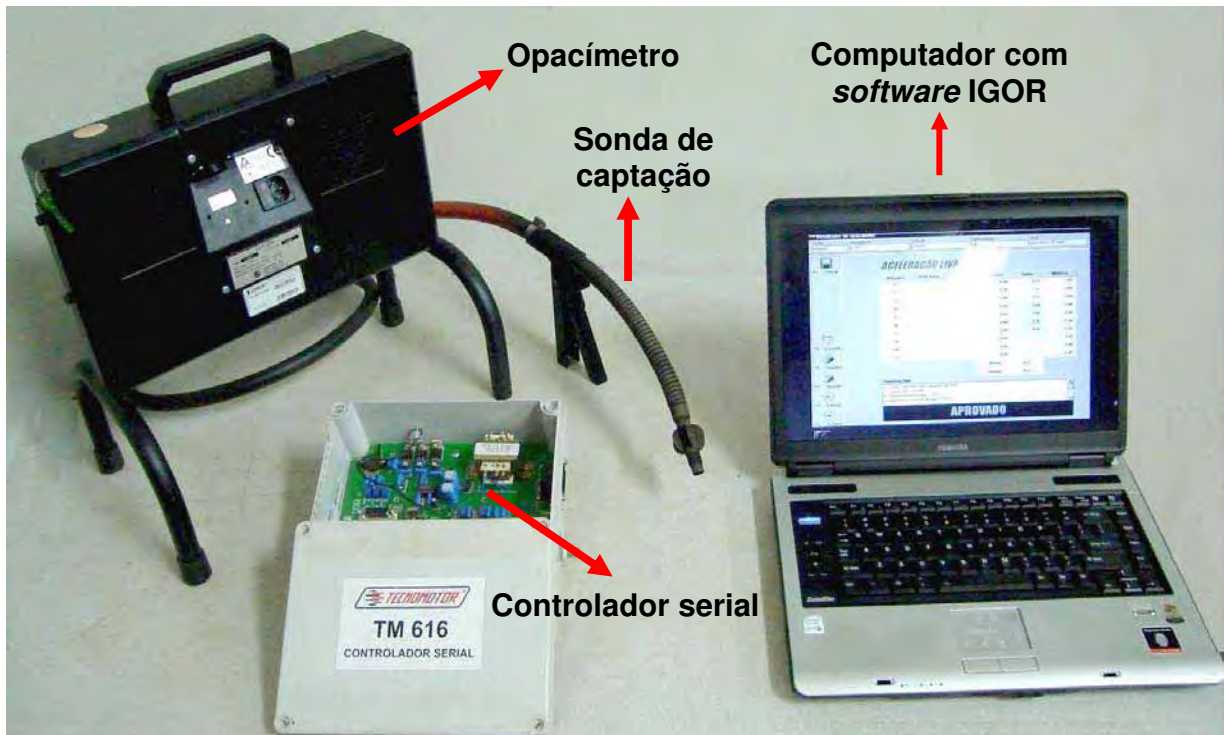


FIGURA 9. Instrumentação utilizada no ensaio de opacidade da fumaça (opacímetro, controlador serial, sonda de captação e computador com *software* IGOR).

Fonte: LOPES (2006).

O opacímetro é um equipamento destinado a medir opacidade da fumaça, constituindo-se de: elemento principal e uma sonda coletora. Esta, por sua vez, foi inserida no escapamento do trator. Em motores diesel, o gás de escapamento contém partículas suspensas que, ao serem atravessadas por fecho de luz, obscurecem, refletem ou refratam a luz. Os opacímetros de fluxo parcial realizam medição da fuligem do gás de escapamento, com parte do fluxo total de gás, coletado por meio da sonda e 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 existem

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 10.



FIGURA 10. Vista geral do trator instrumentado para o ensaio de opacidade da fumaça. Fonte: LOPES (2006).

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 – Densidade do biodiesel de tucumã em função da temperatura e da proporção de mistura;
- Ensaio II – Desempenho de trator agrícola em função do tipo de biodiesel e suas proporções de mistura com diesel;
- Ensaio III – Opacidade da fumaça em função do tipo de biodiesel e suas proporções de mistura com diesel;
- Ensaio IV – Opacidade da fumaça em função do período de amaciamento do motor e da proporção de mistura de biodiesel de dendê com diesel;
- Ensaio V – Opacidade da fumaça em função das condições do óleo lubrificante do cárter e da proporção de mistura de biodiesel de dendê com diesel.

9 Delineamento experimental

Ensaio I – foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, com seis tratamentos, com quatro repetições, totalizando 24 observações. Os tratamentos foram seis proporções de mistura (B0, B5, B25, B50, B75 e B100, em que o número indica a percentagem de biodiesel no diesel).

Ensaio II e ensaio III – ambos realizados em delineamento experimental inteiramente casualizado, esquema fatorial 6 x 3. O ensaio de desempenho do trator foi com três repetições, totalizando 54 observações. As combinações dos fatores foram seis proporções de mistura biodiesel/diesel (B0, B5, B25, B50, B75 e B100), e três tipos de biodiesel (dendê, mamona e tucumã). Ressalta-se que, para o ensaio de desempenho, cada parcela experimental possuía 40 m de comprimento e, entre si, na direção longitudinal, foi reservado espaço de 15 m destinado à realização de manobras, ao tráfego de máquinas e à estabilização do conjunto mecanizado, conforme a Figura 11.

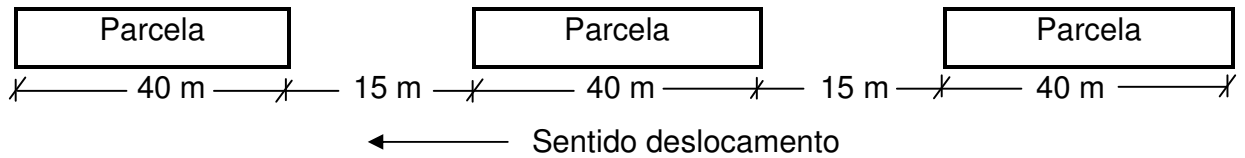


FIGURA 11. Esquema das parcelas.

Ensaio IV – foi realizado em delineamento experimental inteiramente casualizado, esquema fatorial 6×3 , com três repetições, totalizando 54 observações. As combinações dos fatores foram seis proporções de mistura (B0, B5, B25, B50, B75 e B100), e três períodos de amaciamento do motor (novo, 50 e 100 horas).

Ensaio V – foi realizado em delineamento experimental inteiramente casualizado, esquema fatorial 6×2 , com três repetições, totalizando 36 observações. As combinações dos fatores foram seis proporções de mistura (B0, B5, B25, B50, B75 e B100), e duas condições do óleo lubrificante do cárter (250 horas de uso e novo, logo após a troca).

10 Tratamentos

As combinações e as respectivas designações dos tratamentos dos ensaios I, II, III, IV e V são representadas, respectivamente, nas Tabelas 5, 6, 7 e 8.

TABELA 5. Relação e designação do tratamento do ensaio I .

Tratamentos	Proporção %		Designação
	Biodiesel	Diesel	
T1	0	100	B0
T2	5	95	B5
T3	25	75	B25
T4	50	50	B50
T5	75	25	B75
T6	100	0	B100

TABELA 6. Relação e designação dos tratamentos dos ensaios II e III.

Tratamentos	Fatores comparativos		Designação	
	Tipo de Biodiesel	Proporção (%)		
		Biodiesel		Diesel
T01	Dendê	0	100	BD-B0
T02		5	95	BD-B5
T03		25	75	BD-B25
T04		50	50	BD-B50
T05		75	25	BD-B75
T06		100	0	BD-B100
T07	Mamona	0	100	BM-B0
T08		5	95	BM-B5
T09		25	75	BM-B25
T10		50	50	BM-B50
T11		75	25	BM-B75
T12		100	0	BM-B100
T13	Tucumã	0	100	BT-B0
T14		5	95	BT-B5
T15		25	75	BT-B25
T16		50	50	BT-B50
T17		75	25	BT-B75
T18		100	0	BT-B100

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

Tratamentos	Fatores comparativos			Designação
	Tempo de amaciamento do motor (h)	Proporções (%)		
		Biodiesel	Diesel	
T01	Novo	0	100	MN-B0
T02		5	95	MN-B5
T03		25	75	MN-B25
T04		50	50	MN-B50
T05		75	25	MN-B75
T06		100	0	MN-B100
T07	50 horas	0	100	M50-B0
T08		5	95	M50-B5
T09		25	75	M50-B25
T10		50	50	M50-B50
T11		75	25	M50-B75
T12		100	0	M50-B100
T13	100 horas	0	100	M100-B0
T14		5	95	M100-B5
T15		25	75	M100-B25
T16		50	50	M100-B50
T17		75	25	M100-B75
T18		100	0	M100-B100

TABELA 8. Relação e designação dos tratamentos do ensaio V.

Tratamentos	Fatores comparativos			Designação
	Óleo lubrificante	Proporção %		
		Biodiesel	Diesel	
T01	250 horas	0	100	T250-B0
T02		5	95	T250-B5
T03		25	75	T250-B25
T04		50	50	T250-B50
T05		75	25	T250-B75
T06		100	0	T250-B100
T07	Novo	0	100	TN-B0
T08		5	95	TN-B5
T09		25	75	TN-B25
T10		50	50	TN-B50
T11		75	25	TN-B75
T12		100	0	TN-B100

11 Ensaio I - Densidade do biodiesel de tucumã 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 (2006). Porém, em condição de ambiente não protegido, como é o caso do trabalho de tratores, pode ser observada temperatura de até 45 °C ao meio-dia. Nessas condições, ressalta-se, entretanto, que a temperatura do combustível no tanque das máquinas pode variar de 12,5 a 50 °C. Por esse motivo, quando se avaliou o consumo de combustível, determinou-se também como 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 cinco proporções de misturas. Com base na análise de variância, os dados foram ajustados por meio do modelo de maior grau significativo. Esse procedimento originou um modelo quadrático, conforme as equações: 1 para o biodiesel de dendê (CAMARA, 2009), 2 para o biodiesel de mamona (TABILE, 2008) e 3 para o biodiesel de tucumã.

$$D = 0,0015T^2 + 0,0021B_n^2 - 0,7865T + 0,063B_n - 0,0013TB_n + 870 \quad (1)$$

em que,

D = densidade do combustível (g L⁻¹);

T = Temperatura do combustível (°C);

B_n = Proporção de biodiesel de dendê (%).

$$D = -0,0095T^2 + 0,00173B_n^2 - 0,0124T + 0,5723B_n - 0,0016TB_n + 851 \quad (2)$$

em que,

D = densidade do combustível (g L⁻¹);

T = temperatura do combustível (°C);

B_n = proporção de biodiesel de mamona (%).

$$D = C + C1 * T + C2 * B_n + C3 * T^2 + C4 * T * B_n + C5 * B_n^2 \quad (3)$$

em que,

D = densidade do combustível (g L⁻¹);

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

B_n = proporção de biodiesel de tucumã (%), e

T = temperatura do combustível (°C).

12 Ensaio II – Desempenho do trator

12.1 Escarificador

Com a finalidade de oferecer carga à barra de tração do trator de teste, foi utilizado um escarificador de arrasto Marchesan, modelo AST/MATIC 5, com massa total de 1.400 kg. Esse equipamento é constituído com cinco hastes espaçadas de 45 cm entre si, ponteira sem asa com 8 cm de largura, discos de corte de palha para cada haste, sistema de segurança de desarme automático e rolo destorroador. A regulagem foi estabelecida para trabalhar à profundidade média de 30 cm e relação espaçamento/profundidade de 1,5.

Em condições de campo 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 23 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 patinação ficou em torno de 10%, conforme recomendada pela ASAE (1997).

12.2 Uso dos tratores

No momento dos ensaios, o trator de teste operou a 2.000 rpm, com tração dianteira auxiliar (TDA), 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 23 kN. O referido trator foi tracionado desligado e engrenado, 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 12.



FIGURA 12. Dinâmica do ensaio de desempenho.

Fonte: LOPES (2006).

Em todas as parcelas, procurando estabilizar as determinações, o trator de teste iniciava o movimento num espaço de 15 m, antes da primeira baliza, que demarcava o início da medição. Quando o referencial do trator, centro do rodado traseiro, coincidia com a primeira baliza, era acionado o sistema de aquisição de dados. O procedimento era interrompido quando decorriam os 40 m de comprimento da parcela, momento em que o centro do rodado traseiro coincidia com a segunda baliza.

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

- Tempo de percurso;
- Velocidade real de deslocamento;
- Força integrada;
- Volume de combustível consumido;
- Temperatura do combustível na entrada da bomba injetora;
- Temperatura do combustível no retorno dos bicos e da bomba injetora;
- Número de pulsos individual das rodas dianteira direita e esquerda, e

- Número de pulsos individual das rodas traseiras direita e esquerda.

12.3 Patinagem dos rodados

A patinagem foi determinada, individualmente, para cada roda do trator, sendo possível verificar o comportamento individualizado nas quatro rodas. O sistema de instrumentação forneceu o valor integrado do número de pulsos de cada roda, no momento em que o trator operava na condição com e sem carga na barra de tração. A condição sem carga na barra, denominada condição zero (ASAE, 1997), foi determinada em local plano de pista pavimentada. Para o cálculo da patinagem, utilizou-se da equação (4):

$$P = \left(1 - \frac{NPS}{NPC}\right) * 100 \quad (4)$$

em que,

P = patinagem (%);

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

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

100 = fator de conversão.

Os resultados apresentados são a média aritmética da patinagem dos rodados dianteiros e traseiros.

12.4 Velocidade de deslocamento

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

12.5 Força média na barra de tração

A força na barra de tração exercida pelo trator de teste foi determinada de forma direta pela célula de carga acoplada ao trator de teste. Os valores fornecidos em kgf foram transformados em kN, conforme equação (5).

$$FT = \left(\frac{Ft}{1.000} \right) * 9,81 \quad (5)$$

em que,

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

Ft = força de tração média (kgf);

1.000 e 9,81 = fator de conversão.

12.6 Potência na barra de tração

A potência na barra de tração foi determinada de forma indireta, conforme equação (6):

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

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);

3,6 = fator de conversão.

12.7 Consumo de combustível

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

12.8 Consumo horário volumétrico

Com base no volume consumido e no tempo de percurso em cada parcela, foi determinado o consumo horário volumétrico, conforme equação (7):

$$Chv = \left(\frac{Va - Vr}{t} \right) * 3,6 \quad (7)$$

em que,

Chv = consumo horário (L h⁻¹);

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

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

t = tempo de percurso na parcela (s);

3,6 = fator de conversão.

12.9 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 (8):

$$Chp = \left(\frac{Va * Dca - Vr * Dcr}{t} \right) * 0,0036 \quad (8)$$

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);

0,0036 = fator de conversão.

12.10 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 (9):

$$Cesp = \left(\frac{Chp}{PB} \right) * 1.000 \quad (9)$$

em que,

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

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

PB = potência na barra de tração (kW);

1.000 = fator de conversão.

13 Ensaio III, IV e V – 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 seu curso máximo,

permanecendo nessa condição por tempo máximo de cinco segundos, sendo a potência desenvolvida absorvida somente pela inércia dos componentes mecânicos do motor (embreagem, árvore primária da caixa de mudanças), uma vez que o trator estava estacionado, conforme NBR 13037 (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, 2010).

14 Análise estatística

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 & KRONKA (2006).

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. Para o caso da densidade, procurou-se modelo de superfície de resposta que explicasse essa variável em função da temperatura e da proporção de biodiesel. Utilizou-se da análise de variância (teste F) para selecionar o modelo de equação de maior expoente significativo.

IV RESULTADOS E DISCUSSÃO

A apresentação geral encontra-se na seguinte ordem:

- Ensaio I – Densidade do biodiesel de tucumã em função da temperatura e proporção de mistura;
- Ensaio II – Desempenho de trator agrícola em função do tipo de biodiesel e suas proporções de mistura com diesel;
- Ensaio III – Opacidade da fumaça em função do tipo de biodiesel e suas proporções de mistura com diesel;
- Ensaio IV – Opacidade da fumaça em função do período de amaciamento do motor e da proporção de mistura de biodiesel de dendê com diesel;
- Ensaio V – Opacidade da fumaça em função das condições do óleo lubrificante do cárter e da proporção de mistura de biodiesel de dendê com diesel.

1 Ensaio I – Densidade do biodiesel de tucumã em função da temperatura e proporção de mistura.

Na Tabela 9, encontram-se os valores da densidade do combustível em função da proporção de mistura e temperatura, e, na Figura 13, a superfície de resposta de segunda ordem. Esta última constitui-se de um ajuste de modelo de maior grau significativo, que explica a densidade do biodiesel de tucumã em função da temperatura e da proporção de mistura.

Verifica-se na Tabela 9, que o biodiesel de tucumã (B100) teve maior influência da temperatura do que o diesel (B0), apresentando queda na densidade de 4,7%, enquanto o diesel teve redução de 4,2%, com o aumento da temperatura de 15 para 70 °C. Nota-se, ainda, que para as menores temperaturas, o biodiesel apresenta maiores diferenças quando comparado ao diesel, diferença esta em torno de 3,4%.

TABELA 9. Densidade do biodiesel de tucumã em função da temperatura e proporção de mistura (kg m^{-3}).

T °C	B0	B5	B25	B50	B75	B100
15	846	848	853	858	867	876
20	842	843	849	854	863	874
25	839	841	846	851	862	871
30	837	839	842	848	857	866
35	831	833	839	843	853	862
40	829	830	836	841	850	861
45	824	828	834	836	846	855
50	822	824	829	833	842	852
55	819	820	826	830	840	850
60	816	818	823	827	836	844
65	813	815	819	824	833	841
70	810	812	816	820	830	835

Analisando a Figura 13, observa-se que, à medida que se adiciona biodiesel à mistura, ocorre aumento gradativo na densidade, destacando-se que, na temperatura de 20 °C, ocorreu acréscimo de 3,6% na densidade comparando diesel (B0) com biodiesel (B100). Acrescenta-se ainda que o biodiesel de tucumã atende às especificações europeias, bem como à Resolução 14 da ANP, de 11 de maio de 2012 (BRASIL, 2012).

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

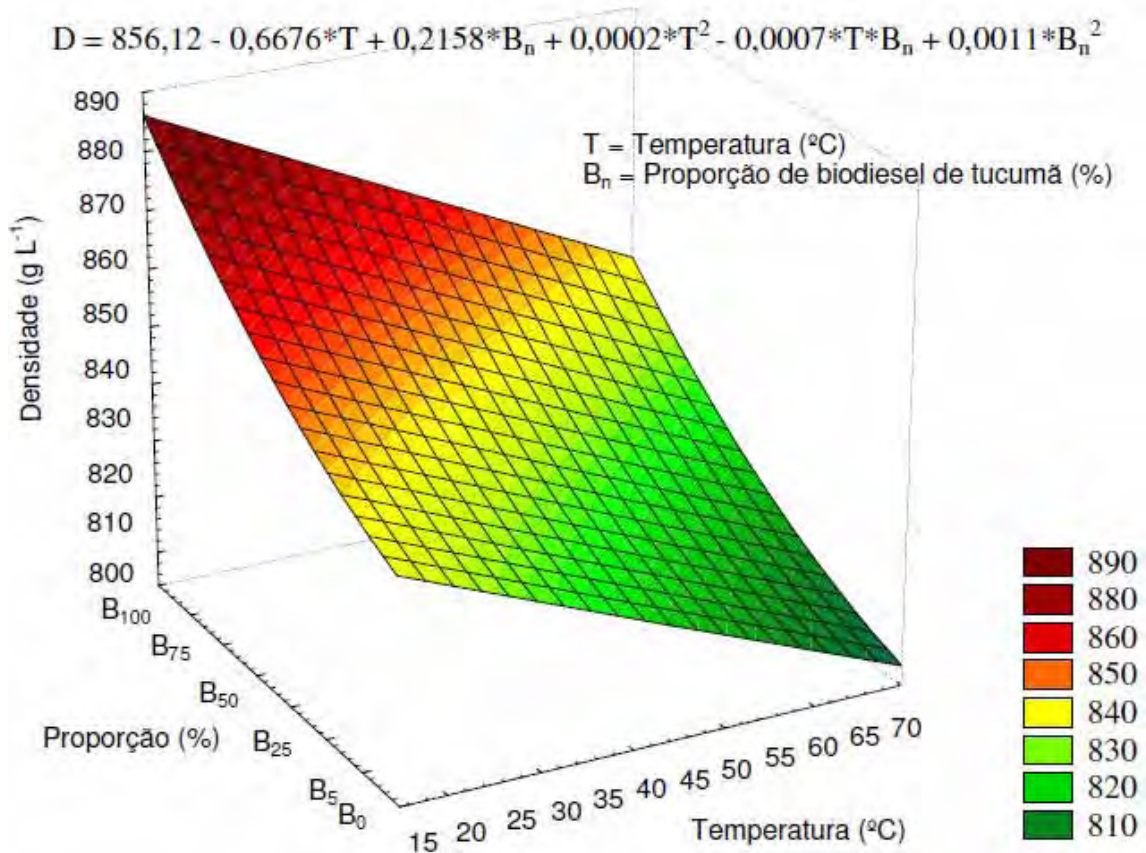


FIGURA 13. Superfície de resposta de segunda ordem ajustada à densidade do biodiesel de tucumã em função da temperatura e proporção de mistura.

2 Ensaio II – Desempenho de trator agrícola em função do tipo de biodiesel e suas proporções de mistura com diesel.

Os resultados de desempenho do trator agrícola foram apresentados na forma de Tabelas, Figuras e Equações. Ressalta-se que a interpretação dos mesmos se inicia pelo teste F; caso esse seja significativo para algum dos fatores (tipo e proporção de biodiesel), o teste de Tukey é aplicado junto à média na própria tabela. Caso a interação seja significativa, a interpretação terá como base tabela complementar de desdobramento.

Nas tabelas nas quais se encontra a síntese da análise de variância e teste de médias dos itens avaliados, os dados referentes aos fatores tipo e proporção de biodiesel representam médias de 18 e 9 observações, respectivamente. Os resultados de cada variável foram discutidos em tópicos separados para facilitar o entendimento.

TABELA 10. Síntese da análise de variância e teste de médias para as variáveis patinagem média dos rodados, velocidade de deslocamento (V) e potência média na barra de tração (PB).

Fatores	Patinagem %	V km h ⁻¹	PB kW
Tipo de Biodiesel (TB)			
Dendê	9,25 a	5,36 a	33,53 a
Mamona	9,25 a	5,37 a	33,51 a
Tucumã	9,27 a	5,37 a	33,88 a
Proporção de Biodiesel (B_n)			
B0	9,23 a	5,37 a	33,41 a
B5	9,25 a	5,36 a	33,81 a
B25	9,27 a	5,35 a	33,86 a
B50	9,25 a	5,37 a	33,76 a
B75	9,26 a	5,37 a	33,65 a
B100	9,26 a	5,37 a	33,36 a
TESTE F			
TB	0,8514 ^{NS}	0,1636 ^{NS}	1,7855 ^{NS}
B _n	0,7784 ^{NS}	0,2291 ^{NS}	0,8839 ^{NS}
TBxB _n	0,9000 ^{NS}	0,2945 ^{NS}	1,8616 ^{NS}
MÉDIA	9,25	5,37	33,64
C.V.%	0,63	0,94	2,28

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

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

2.1 Patinagem média dos rodados

Verifica-se, na Tabela 10, que os fatores tipo e proporções de biodiesel não influenciaram na patinagem dos rodados. Registra-se que os valores 9,27 e 9,23% se

encontram dentro dos limites recomendados pela ASAE (1989), para solos não mobilizados.

Na referida recomendação, é previsto que, se a patinação apresentar valor muito baixo, pode ser influenciado pela lastragem excessiva do trator ou exigência de força abaixo do recomendado. Da mesma forma, quando a patinação for maior que o recomendado, pode ser falta de lastragem ou exigência de força na barra incompatível com o trator. É importante destacar que a ocorrência de ambas as situações se constitui fato negativo, pois, no primeiro caso, o trator é subutilizado e, no segundo, ocorre desgaste acelerado do conjunto. Os resultados deste trabalho concordam com aqueles apresentados por YANAI & LANÇAS (2001) e TABILE et al. (2009).

2.2 Velocidade de deslocamento

De acordo com a Tabela 10, observa-se que a velocidade de deslocamento não foi alterada em função dos tratamentos. Tal comportamento deu-se em função de o ensaio ter sido realizado na condição ótima para o trator de teste. Esses resultados assemelham-se àqueles obtidos por SORANSO et al. (2008), que utilizaram um trator de teste com 73,6 kW (100 cv) no motor, com velocidade média de $6,2 \text{ km h}^{-1}$, embora essa pesquisa tenha sido realizada apenas com biodiesel destilado de óleo residual e com força média na barra de tração de aproximadamente 20 kN.

2.3 Potência média na barra de tração

Observa-se, na Tabela 10, que fatores tipo e proporções de biodiesel não influenciaram na potência da barra de tração, que apresentou média de 33,64 kW. Esse comportamento é explicado em função de a referida variável ser o produto da força, mantida próxima a 23 kN, com a velocidade que, neste experimento, também não apresentou variação significativa. Tais resultados assemelham-se com os obtidos por

TABILE (2008) e CAMARA (2009), que avaliaram biodiesel no desempenho de trator agrícola, com potência média na barra de 26 e 43 kW, respectivamente. Esses resultados evidenciaram que o uso de biodiesel não afeta a potência disponível na barra de tração, pois a forma de compensação do menor poder calorífico do biodiesel é o aumento no consumo de combustível para que a potência média na barra de tração não venha ser comprometida.

Na Tabela 11, encontram-se a síntese da análise de variância e o teste de médias, para as variáveis consumo horário volumétrico, consumo horário ponderal e consumo específico.

TABELA 11. Síntese da análise de variância e teste de médias para as variáveis consumo horário volumétrico (Chv), consumo horário ponderal (Chp) e consumo específico (Cesp).

Fatores	Chv L h ⁻¹	Chp kg h ⁻¹	Cesp g kWh ⁻¹
Tipo de Biodiesel (TB)			
Dendê	14,2 a	12,3 a	367 a
Mamona	14,2 a	12,3 a	367 a
Tucumã	14,1 a	12,2 a	360 a
Proporção de Biodiesel (B_n)			
B0	12,7 a	10,8 a	325 a
B5	13,4 b	11,4 b	337 a
B25	13,2 b	11,3 b	333 a
B50	14,5 c	12,5 c	373 b
B75	15,5 d	13,6 d	404 c
B100	15,6 d	13,9 d	417 c
TESTE F			
TB	0,8158 ^{NS}	1,2801 ^{NS}	2,9793 ^{NS}
B _n	153,9363 ^{**}	217,1365 ^{**}	145,5454 ^{**}
TBxB _n	1,1961 ^{NS}	1,8493 ^{NS}	1,8871 ^{NS}
MÉDIA	14,16	12,24	365
C.V.%	2,46	2,47	3,10

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

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

2.4 Consumo horário volumétrico

Na Tabela 11, observa-se que o tipo de biodiesel não influenciou no consumo volumétrico de combustível. Porém, em relação à proporção de biodiesel, ao comparar B0 e B100, o consumo aumentou 22,8%. Esse aumento reforça a argumentação de que o menor poder calorífico do biodiesel em relação ao diesel, tenha contribuído para o aumento do consumo, tornando-se necessário utilizar maior quantidade de combustível para realizar a mesma quantidade de trabalho. Tais argumentos também foram relatados em trabalhos de CASTELLANELLI et al. (2008) e MURUGESAN et al. (2009).

Verifica-se, também, que a partir de B5 ocorre acréscimo no consumo volumétrico, com este sendo semelhante ao B25 e este inferior ao B100.

Os resultados do presente trabalho condizem com os encontrados por LOPES (2006), SORANSO et al. (2008) e OLIVEIRA (2012). Destaca-se que a importância de apresentar o consumo horário na forma volumétrica é uma informação que atende diretamente os produtores rurais, assim como todos aqueles sem acesso às medidas obtidas em laboratório.

2.5 Consumo horário ponderal

Pela Tabela 11, comparando-se o consumo horário ponderal no fator tipo de biodiesel (dendê, mamona e tucumã), observa-se que teve comportamento semelhante ao volumétrico.

Visualiza-se, na Tabela 11, que nas proporções de mistura com diesel, houve acréscimo significativo a partir de B5. Comparando-se o consumo horário ponderal, detectou-se que, nas proporções B5 e B25, B75 e B100, não houve variação de consumo. Destaca-se que a menor e a maior variação de consumo ocorreram nas proporções B0 e B100, respectivamente. Quando comparadas, o aumento no consumo foi de 28,7%. Segundo CASTELLANELLI et al. (2008), LOPES (2006) e MURUGESAN et al. (2009), esse resultado é em função do menor poder calorífico e do aumento da

densidade do biodiesel em relação ao diesel. Esta alteração após a proporção B5 ocorreu quando se corrigiu o efeito da densidade do biodiesel de dendê, mamona e tucumã com base na temperatura do combustível, no momento dos ensaios, confirmando o posicionamento de CAMARA (2009).

Lembra-se que, para o funcionamento do motor, existe relação ideal entre massa de ar e massa de combustível, daí a necessidade de transformar a forma volumétrica em ponderal. Destaca-se que o consumo ponderal é a forma mais utilizada pelas distribuidoras de combustíveis líquidos.

2.6 Consumo específico

Pela Tabela 11, verifica-se que não houve diferença para o consumo específico de combustível em função do tipo de biodiesel, como também observado para os consumos volumétrico e ponderal. Com relação às proporções de mistura, nota-se que o consumo foi semelhante em B0, B5 e B25, que tiveram os menores resultados. Também se observou semelhança entre B75 e B100, ressaltando crescimento do consumo à medida que se aumentou a quantidade de biodiesel, sendo o consumo específico 28,3% maior em B100, quando comparado a B0.

Esse aumento deve-se a maior densidade e o menor poder calorífico do biodiesel em relação ao diesel, concordando com os resultados apresentado por CANAKCI et al. (2003), SENATORE & CARDONE (2005) e MURUGESAN et al. (2009). Nos combustíveis utilizados, a densidade mínima encontrada foi 803 g L^{-1} para B0 (diesel a $70 \text{ }^{\circ}\text{C}$), e a máxima 921 g L^{-1} , para B100 (biodiesel a $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$), proporcionando aumento de 118 g L^{-1} ou 12,8% (APÊNDICE C, D e Tabela 9).

Tais resultados são superiores aos encontrados por LOPES et al. (2005), trabalhando com biodiesel residual de fritura filtrado e destilado, com aumento no consumo de B0 a B100 de 18%. Por outro lado, TABILE et al. (2009), trabalhando com biodiesel de mamona em dois tipos de diesel (metropolitano e interior), observaram

aumento de 38,3%, valor pouco maior do que o encontrado neste trabalho (28,3%), uma vez que a força exigida na barra de tração foi semelhante entre os experimentos.

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

O comportamento do consumo específico em função da proporção de mistura foi ajustado a um modelo linear de regressão e está representado conforme Figura 14.

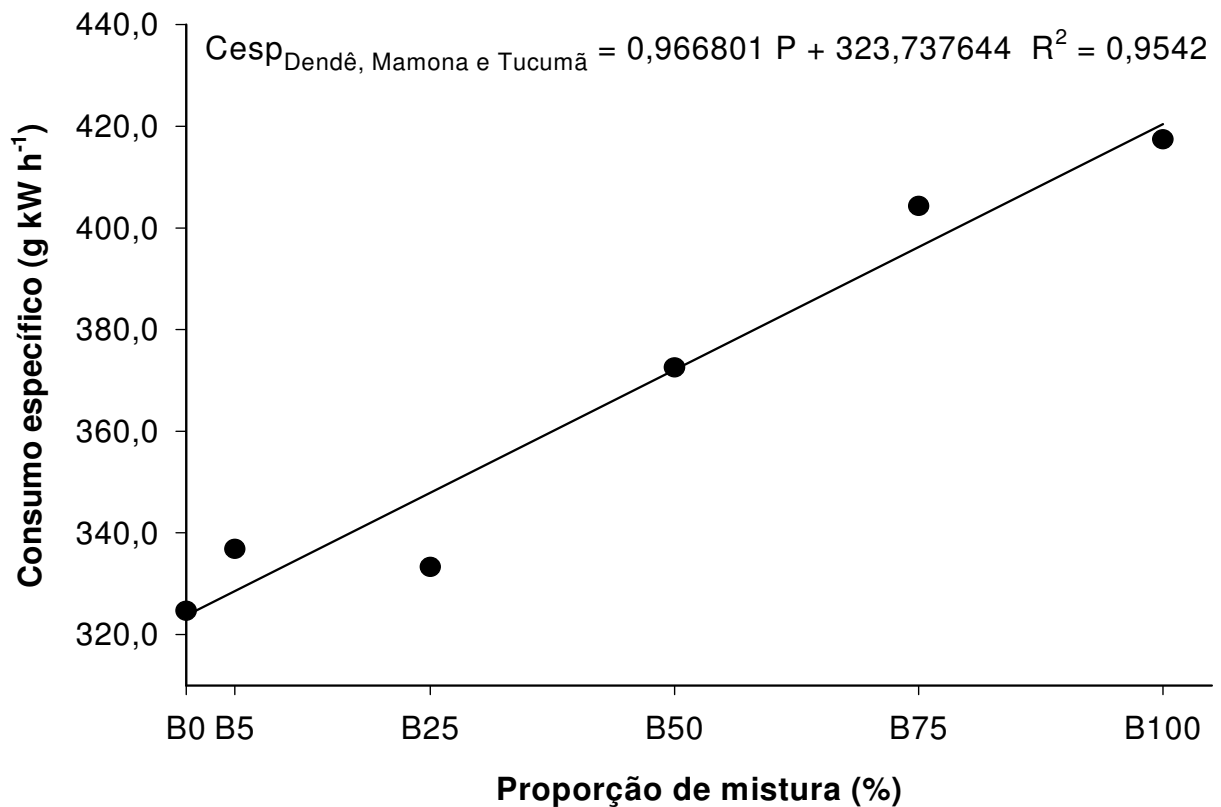


FIGURA 14. Representação gráfica para consumo específico (Cesp) em função da proporção de mistura de biodiesel de dendê, mamona e tucumã com diesel.

3 Ensaio III – Opacidade da fumaça em função do tipo de biodiesel e suas proporções de mistura com diesel

Na Tabela 12, estão os resultados médios da opacidade da fumaça, os dados referentes aos fatores tipo e proporções de biodiesel representam médias de 18 e 9 observações, respectivamente.

TABELA 12. Síntese da análise de variância e teste de médias para a variável opacidade da fumaça (Opac), em função da proporção de mistura de biodiesel de dendê, mamona e tucumã com diesel.

Fatores	Opacidade
Tipo de Biodiesel (TB)	(m⁻¹)
Dendê	1,38
Mamona	1,42
Tucumã	1,10
Proporção de Biodiesel (B_n)	
B0	1,73
B5	1,52
B25	1,32
B50	1,23
B75	1,09
B100	0,91
TESTE F	
TB	1579,5112 **
B _n	2129,1840 **
TBxB _n	117,0108 **
C.V.%	2,9
Média	1,30

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

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

Na Tabela 12, observa-se que, para a opacidade da fumaça, a interação entre os fatores tipo e proporções de mistura de biodiesel foi significativa, por isso a referida variável foi analisada utilizando-se de uma tabela complementar de desdobramento (Tabela 13).

TABELA 13. Síntese do desdobramento da interação tipo e proporção de biodiesel para a variável opacidade da fumaça (Opac).

Tipo de Biodiesel	Proporção de Biodiesel (%)					
	B0	B5	B25	B50	B75	B100
Dendê	1,73 Aa	1,67 Ab	1,40 Ac	1,23 Bd	1,19 Be	1,09 Af
Mamona	1,73 Aa	1,68 Ab	1,38 Ac	1,40 Ac	1,24 Ad	1,12 Ae
Tucumã	1,73 Aa	1,22 Bb	1,17 Bc	1,07 Cd	0,86 Ce	0,54 Bf

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 o fator tipo de biodiesel (na linha), verifica-se que a opacidade da fumaça reduziu 36,9, 35,2 e 68,7%, respectivamente, à medida que se aumentou a quantidade de biodiesel à mistura. Essa situação pode ser explicada devido à presença de oxigênio livre na molécula de biodiesel, e, sendo assim, aumenta a eficiência na combustão. Esse comportamento também foi observado por CAMARA et al. (2007), que obtiveram redução de 52,8% na opacidade da fumaça de um trator agrícola funcionando com proporções de mistura de biodiesel etílico de dendê. Também de acordo com OLIVEIRA (2012), a opacidade da fumaça foi reduzida em 44,0% à medida que se aumentou a proporção de biodiesel de mamona no diesel.

Para o biodiesel de tucumã, não há ou não foram encontrados na literatura relatos para fins comparativos dos resultados obtidos neste trabalho de pesquisa, apenas trabalhos relacionados a sua caracterização físico-química que recomendam sua utilização para a produção de biodiesel (ZANINETTI, 2009).

Ainda na Tabela 13, analisando-se essa variável no fator proporção de biodiesel (na coluna), verifica-se que não houve diferença significativa para os tipos de biodiesel de dendê e mamona nas proporções B5, B25 e B100, sendo estas diferentes de B50 e B75 que apresentaram valores maiores que B100. O biodiesel de tucumã apresentou melhor resultado para os fatores tipo e proporção de biodiesel. Esses resultados reforçam os relatos de KNOTHE et al. (2005a) e SAAD et al. (2006), de que as propriedades do biodiesel são fortemente influenciadas pelas características individuais dos ésteres graxos que formam esse combustível. Outra propriedade que pode influenciar nas emissões do motor é o número de cetano, podendo variar muito entre os

diferentes tipos de biodiesel, comportamento também observado em trabalhos realizados por PERES et al. (2007) .

A redução da opacidade e representativa e favorável ao uso do biodiesel, o que, em parte, é explicada pela ausência de enxofre no biocombustível. O enxofre compartilha o oxigênio disponível na fase tardia da combustão com o carbono resultante da queima parcial, em algumas condições de funcionamento do motor, aumentando a produção de material particulado (MAZIERO et al. 2006).

O comportamento da opacidade da fumaça em função do tipo e da proporção de mistura foi linear, conforme se nota na Figura 15.

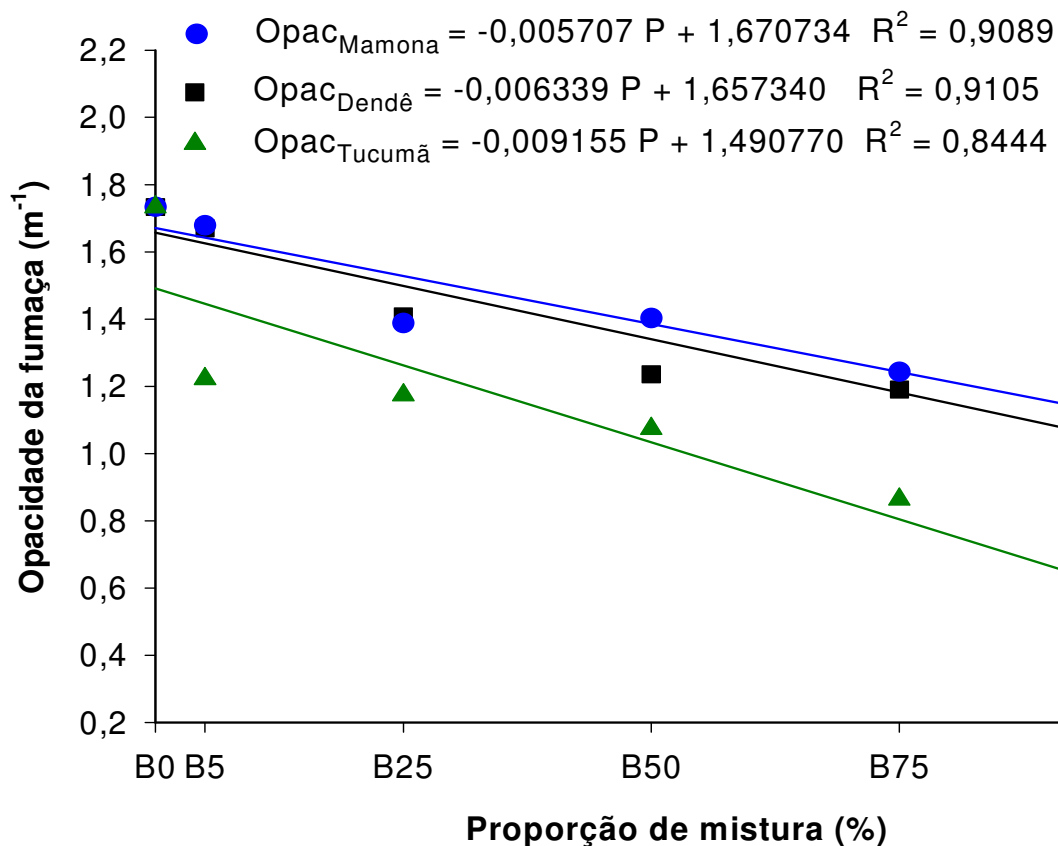


FIGURA 15. Representação gráfica para opacidade da fumaça (Opac) em função da proporção de mistura de biodiesel de dendê, mamona e tucumã com diesel.

4 Ensaio IV – Opacidade da fumaça em função do período de amaciamento do motor e da proporção de mistura de biodiesel de dendê com diesel.

Na Tabela 14, encontra-se a síntese da análise de variância e do teste de médias da opacidade, sendo que os dados referentes aos fatores período de amaciamento do motor e proporções de biodiesel representam médias de 18 e 9 observações, respectivamente.

TABELA 14. Síntese da análise de variância e teste de médias para a variável opacidade da fumaça (Opac), em função do período de amaciamento do motor e proporção de mistura de biodiesel de dendê com diesel.

Fatores	Opacidade
Período de Amaciamento (PA)	(m⁻¹)
Novo	1,95 c
50 horas	2,16 b
100 horas	2,19 a
Proporção de Biodiesel (B_n)	
B0	2,42 a
B5	2,39 a
B25	2,26 b
B50	2,11 c
B75	1,88 d
B100	1,57 e
TESTE F	
PA	293,6728 **
B _n	947,7060 **
PAxB _n	0,8201 ^{NS}
C.V.%	3,04
Média	2,10

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

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

Na Tabela 14, verifica-se que a opacidade da fumaça em função do período de amaciamento do motor foi influenciada, evidenciando-se aumento à medida que se aumentou o período de amaciamento. Todavia, comparando-se o período novo e 100

dias, a opacidade aumentou 12,3%, evidenciando que o período de amaciamento por 50 e 100 dias interfere na qualidade do combustível a ponto de influenciar na opacidade da fumaça do trator. Este comportamento pode ser explicado pelo aumento da viscosidade do óleo lubrificante provocada por reações indesejáveis (contaminantes) na fase de amaciamento do motor. Estes resultados diferem dos encontrados por INOUE et al. (2009) que determinaram parâmetros físico-químicos de óleo lubrificante, tais como: viscosidade a 40 °C, ponto de fulgor, TBN, água e insolúveis, ao usar em misturas de óleo de soja degomado ao diesel por 300 horas, não revelando discrepâncias ou alterações importantes e assemelham com os estudos realizados por CORRÊA et al. (2011), em bancada dinamométrica, utilizando-se de trator Valmet 68, ano 1983, equipado com motor MWM D229.3, em amaciamento e funcionando com a proporção de 5% de biodiesel (70% metílico de sebo bovino e 30% metílico de algodão) misturado ao diesel por um período de 600 horas, tiveram como maior ponto de atenção o aumento da viscosidade a 40 °C (cSt) do óleo lubrificante do motor, em 22%, comparado ao óleo novo. Entretanto, os níveis de insolúveis (máximo 1,0%), assim como a porcentagem de água (máxima 2,0%) e o número de basicidade total (TBN – mínimo 2,5mmKOHg min⁻¹), mantiveram-se dentro de valores aceitáveis.

Analisando-se essa variável no fator proporção de biodiesel, observa-se semelhança em B0 e B5 e diferenças significativas em B25, B50, B75 e B100. Ainda pela Tabela 14, quando se avaliou opacidade em função das proporções de mistura, houve redução significativa com o acréscimo de biodiesel de dendê, atingindo melhoria de 35,1%, comparando B100 com B0. Esse fato é devido à menor emissão de material particulado quando se utiliza biodiesel, pois, no referido biocombustível, há presença de oxigênio livre na molécula e pressupõe-se que esse fato esteja relacionado com a maior eficiência da combustão do biodiesel em relação ao diesel de petróleo. Resultados semelhantes também foram observados por XIAOMING et al. (2005) e MAZIERO et al. (2006).

O comportamento da opacidade da fumaça, em função do período de amaciamento do motor do trator e das proporções de mistura de biodiesel de dendê com diesel, foi linear, conforme se nota na Figura 16.

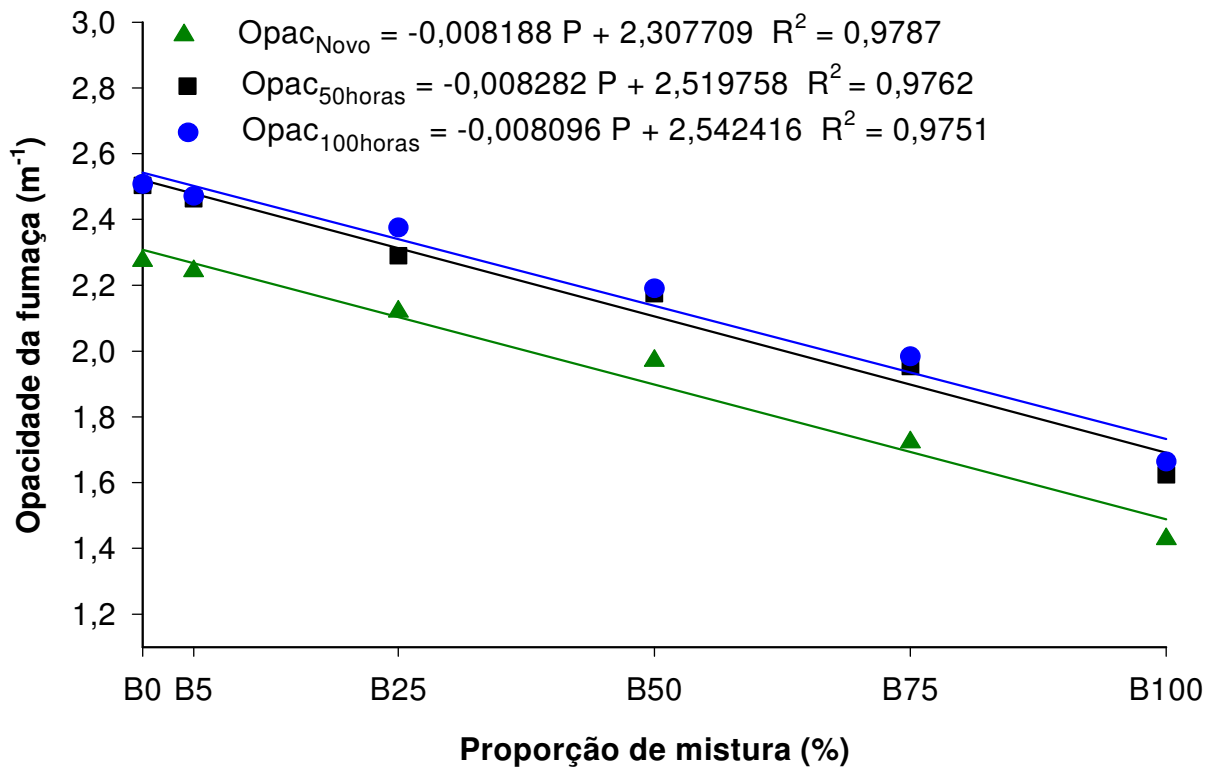


FIGURA 16. Representação gráfica para opacidade da fumaça (Opac) em função do período de amaciamento do motor (novo, 50 e 100 horas) e da proporção de mistura de biodiesel de dendê com diesel.

Na literatura disponível, não há ou não foram encontrados trabalhos de pesquisa relacionados especificamente com a emissão de particulados em função do período de amaciamento de motor diesel a título de parâmetros comparativos, apenas relatos que, na fase de amaciamento, ou seja, durante o assentamento natural entre anéis de pistão e superfície do cilindro nas primeiras horas de funcionamento do motor, existe um aumento de tendência ao desgaste adesivo, que está muito relacionado à transferência de material de forma macroscópica, entre todos os anéis de pistão e os cilindros. Trata-se do desgaste muito acentuado, que pode, em algumas circunstâncias, evoluir para uma situação ainda mais severa, denominada “scuffing”, acontecendo em intervalos muito curtos dentro do funcionamento do motor e sendo caracterizada por fenômeno de falha. Talvez, isto possa ter influenciado para o aumento da opacidade da

fumaça no período de amaciamento do motor, necessitando-se de continuidade das pesquisas relacionadas a este assunto (CARDILLE, 2009).

5 Ensaio V – Opacidade da fumaça em função das condições do óleo lubrificante do cárter e da proporção de mistura de biodiesel de dendê com diesel.

Na Tabela 15, encontra-se a síntese da análise de variância e do teste de médias da opacidade, sendo que os dados referentes aos fatores condições do óleo lubrificante do cárter e proporção de biodiesel representam médias de 18 e 6 observações, respectivamente.

TABELA 15. Síntese da análise de variância e teste de médias para a variável opacidade da fumaça (Opac), em função das condições do óleo lubrificante do cárter e da proporção de mistura de biodiesel de dendê com diesel.

Fatores	Opacidade
Condições do Óleo (CO)	(m⁻¹)
250 horas	2,03 b
Novo	2,12 a
Proporção de Biodiesel (B_n)	
B0	2,39 a
B5	2,26 b
B25	2,22 b
B50	2,12 c
B75	1,90 d
B100	1,58 e
TESTE F	
CO	105,1079**
B _n	793,7556 **
COxB _n	0,1271 ^{NS}
C.V.%	2,45
Média	2,08

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

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

De acordo com a Tabela 15, verifica-se que não ocorreu interação entre os fatores condições do óleo e proporções de biodiesel de dendê para a opacidade da fumaça. No fator condições do óleo lubrificante, detectou-se que, na condição com 250 horas de uso, obteve-se menor opacidade da fumaça, destacando-se que a redução média foi de 4,5%, quando comparada à condição de óleo lubrificante novo. Pressupõe-se que esse fato esteja relacionado às alterações físico-químicas do óleo lubrificante do cárter na condição de 250 horas de trabalho em relação ao óleo novo, principalmente a redução da viscosidade, sendo este resultado observado por CORRÊA et al. (2008), ao compararam cinco combustíveis (Diesel, B5, B10, B20 e B100 de éter etílico de óleo de girassol) em um motor MWM D229.3, injeção direta, com potência nominal de 46 kW a 2.450 rpm, por um período de 96 horas, observaram redução expressiva na viscosidade (c ST 40^o) do óleo lubrificante do motor. Segundo os autores, a análise da amostra indica uma redução de 36,20% da viscosidade, presença de água e teor de ferro.

MANNI et al. (1995) estudaram o efeito das características físicas dos óleos lubrificantes em relação às emissões, à economia de combustível e ao consumo de óleo de um motor diesel. Os testes mostraram o importante papel quando se utilizam óleos de baixa viscosidade na economia de combustível e redução nas emissões de dióxido de carbono. Já MURTONEN & SUTTON (2005), testando sete lubrificantes diferentes em um motor de ônibus de 9,6 litros, observaram certa relação entre a viscosidade do óleo lubrificante e o consumo de combustível, e uma diferença nas emissões de hidrocarbonetos e material particulados variando entre 0,6 e 22%, observando que os níveis de insolúveis (máximo 1,0%), assim como a porcentagem de água (máxima 2,0%) e o número de basicidade total (TBN – mínimo 2,5mmKOHg min⁻¹) mantiveram-se dentro de valores aceitáveis.

Ainda na Tabela 15, percebe-se que, quando se avaliou opacidade da fumaça do trator em função das proporções de mistura de biodiesel de dendê com diesel, houve redução significativa com o acréscimo de biodiesel à mistura. Conforme observado, as proporções B0 e B5 são semelhantes entre si, tornando-se notória a capacidade do biodiesel em reduzir a opacidade a partir de B25 até a proporção B100, destacando-se

que a redução média foi de 33,89% de B0 para B100. Esse comportamento ocorreu em virtude da maior eficiência de combustão proporcionada pelo biocombustível comparada ao diesel. Esses resultados concordam com aqueles encontrados por DURAN et al. (2005) e MICCORMICK et al. (2005). A redução da opacidade da fumaça, aliada a outros benefícios do biodiesel, constitui maior atrativo para a adoção do biodiesel na matriz energética brasileira, conforme descrito na Lei nº 11.097, especificada por BRASIL (2005.)

O comportamento da opacidade da fumaça em função da utilização do óleo lubrificante do cárter nas condições de 250 horas de trabalho e novo (logo após a troca) e das proporções de mistura de biodiesel de dendê com diesel foi linear, conforme visualiza-se na Figura 17.

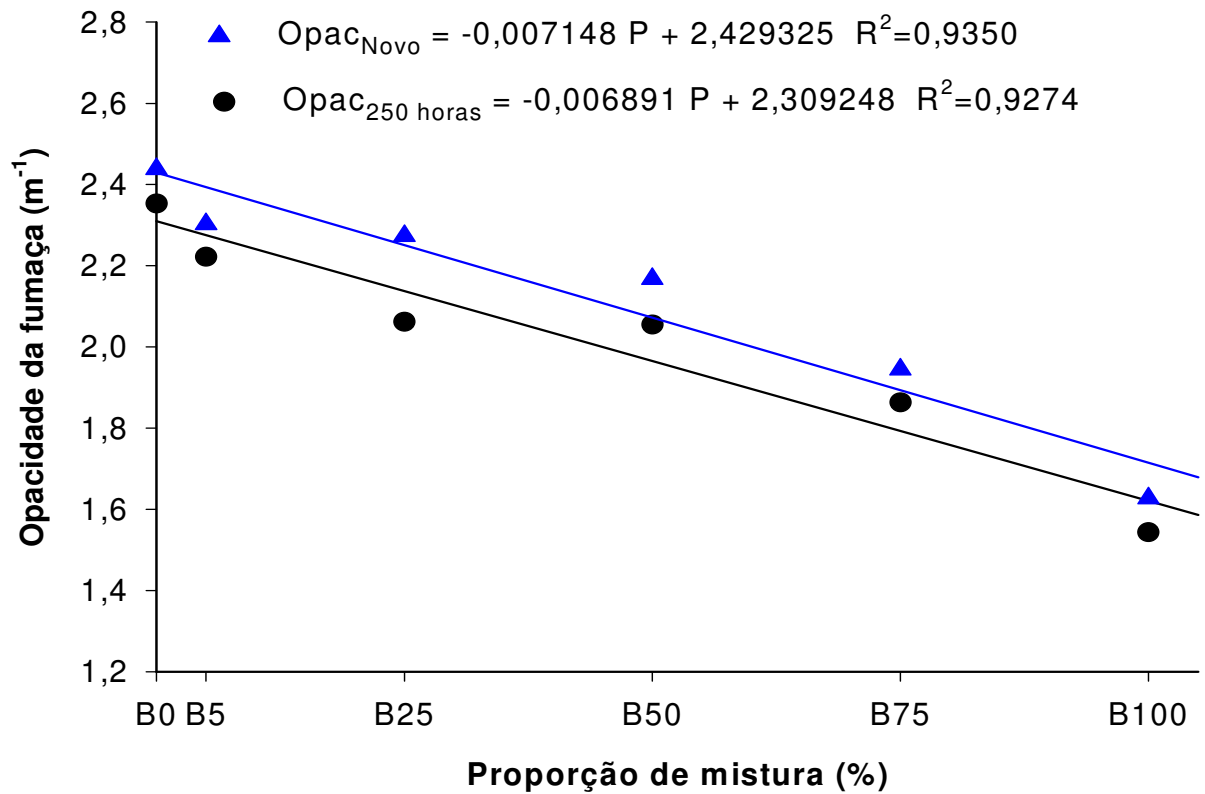


FIGURA 17. Representação gráfica para opacidade da fumaça (Opac) em função das condições do óleo lubrificante do cárter com 250 horas de trabalho e novo (logo após a troca) e da proporção de mistura de biodiesel de dendê com diesel.

V CONCLUSÕES

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

2. A utilização de biodiesel de dendê, mamona e tucumã não influenciou no desempenho do trator agrícola.

3. O tipo de biodiesel (dendê, mamona e tucumã), bem como a proporção de mistura não influenciaram na velocidade de deslocamento e potência na barra.

4. O consumo específico aumentou em 28,3%, comparando B0 a B100. Nesta variável, não houve diferença para os 3 tipos de biodiesel.

5. A opacidade da fumaça reduziu 47,3% de B0 a B100. Comparando os 3, o melhor biodiesel foi o de tucumã, seguido de dendê e, por último, o de mamona.

6. A opacidade da fumaça aumentou 12,3%, em função do período de amaciamento do motor. Em relação ao B0, quando se utilizou biodiesel de dendê, na proporção B100, a opacidade da fumaça reduziu-se em 35,1%.

7. A opacidade da fumaça aumentou em 4,5%, quando se utilizou lubrificante na condição de novo, comparado com 250 horas de trabalho. Em relação ao B0, quando se utilizou biodiesel de dendê, na proporção B100, a opacidade da fumaça reduziu-se em 33,9%.

VI REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

AGARWAL, A. K.; DAS, L. M. **Biodiesel development and characterization for use as fuel in compression ignition engines.** J. Engng Gas Turbine Power-T. ASME, v.123, p.440-447, 2001.

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

ALI, Y.; HANNA, M. A. **Durability testing of a diesel fuel, methyl tallowate, and ethanol blend in a Cummins N14-410 diesel engine.** Transactions of the ASAE, St Joseph, v.39, n.3, p.793-797, 1996.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Agricultural machinery management data ASAE D497.4.** In: ASAE standards 1999: standards engineering practices data. St. Joseph: ASAE, 1999. p. 359–366.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Agricultural machinery management ASAE EP496.2.** In: ASAE standards 1997: standards engineering practices data. 44. ed. St. Joseph: ASAE, 1997a. p. 357–362.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Agricultural tractor test code SAE J708.** In: ASAE standards 1997: standards engineering practices data. 44. ed. St. Joseph: ASAE, 1997. p.407– 411.

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

AMORIM NETO, M. S.; ARAÚJO, A. E.; BELTRÃO, N. E. M. Clima e solo. In: AZEVEDO, D. M. P.; LIMA, E. F. **O Agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília: Embrapa Algodão; Embrapa Informação Tecnológica, 2001. p.63-67.

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.

ANFAVEA, **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira**, São Paulo, 2010.

ANGELUCCI, E.; CARVALHO, C. R. L.; CARVALHO, P. R. N.; FIGUEIREDO, I. B.; MANTOVANI, D. M. B.; MORAIS, M. R. **Análises químicas de alimentos: Manual Técnico**. Campinas: ITAL, 1987. 123p.

ANP – **Agência Nacional do Petróleo**. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/biocombustiveis/biodiesel.asp>. Acesso em: 02 jun. 2010.

ARAUJO, D. G.; CARVALHO, S. P.; ALVES, R. M. **Divergência genética entre clones de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum* WILLD EX SPRENG SCHUM)**. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 26, n. 1, p.13-21, 2002.

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

AZEVEDO, D. M. P. de; BELTRÃO, N. E. de M.; NÓBREGA, L. B. da; VIEIRA, D. J. Plantas daninhas e seu controle. In: AZEVEDO, D. M. P. de; LIMA, E. F. (Ed.). **O agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília: Embrapa Algodão. p.161-189, 2001.

AZEVÊDO, D. M. P. de; LIMA E. F. **O Agronegócio da mamona no Brasil**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2001. 350p.

BALLESTEROS, R.; HERNÁNDEZ, J. J.; LYONS, L. L.; CABAÑAS, B.; TAPIA, A. **Speciation of the semivolatile hydrocarbon engine emissions from sunflower biodiesel**. *Fuel* [S.l.], v. 87, n. 10-11, p.1835-1843, 2008.

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

BARRETO, A. J. B.; MENDES, D.; JÚNIOR, J. A. F.; SOUZA, J.; COIMBRA, M. D. J. **Estudo da avaliação do biodiesel no óleo diesel**. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 2., 2007, Brasília, DF. Anais...Brasília, DF: MCT/ABIPTI, 2007. 1 CD-ROM.

BARROS, E. V. **A matriz energética mundial e a competitividade das nações: bases de uma nova geopolítica**. ENGEVISTA, v. 9, n. 1, p.47-56, junho 2007.

BELTRÃO, N. E. de M.; SILVA, L. C. **Os múltiplos uso do óleo da mamoneira (*Ricinus communis* L.) e a importância do seu cultivo no Brasil**. *Fibras e Óleos*, Campina Grande, n. 31, p. 7, 1999.

BERTHAUD, A; NUNES, C. D. M; BARCELOS, E; CUNHA, R. N. V. **Implantação e exploração da cultura do dendezeiro**. In: VIEGAS, I. J. M; MÜLLER, A. A. A cultura do dendezeiro na Amazônia brasileira. Belém. PA. 2000.

BOEHMAN, A. L. **Biodiesel production and processing, fuel processing technology**. Fuel Processing Technology, v. 86, n. 10, p.1057-1058, 2005.

BOSCH, R., "**Manual de Tecnologia Automotiva**". Editora Edgard Blucher. São Paulo. 2005.

BRASIL. Agência Nacional de Petróleo. **Resolução ANP nº. 14, de 11 de maio de 2012**. Disponível em: <
<http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll?f=templates&fn=default.htm&vid=anp:10.1048/enu>>. Acesso em: 22 mai. 2012.

BRASIL. Agência Nacional de Petróleo. **Resolução ANP nº. 42, de 16 de dezembro de 2009**. Disponível em: <
<http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll?f=templates&fn=default.htm&vid=anp:10.1048/enu>>. Acesso em: 22 abr. 2010.

BRASIL. **Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005**. Disponível em: <
www.planalto.gov.br>. Acesso em: 21 fev. 2012.

BROCK, J.; NOGUEIRA, M.R.; ZAKRZEWSKI, C.; CORAZZA, F.C.; CORAZZA, M.L.; OLIVEIRA, J.V. de. **Determinação experimental da viscosidade e condutividade térmica de óleos vegetais**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 28, n. 3, p.564-70, 2008.

CAMARA, F. T. **Biodiesel de dendê em trator agrícola: desempenho em função do tempo de armazenamento e da proporção de mistura na operação de preparo do solo**. 2009. 92f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2009.

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

CÂMARA, G. M. S.; CHIAVENATO, E.J. **O agronegócio das plantas oleaginosas: algodão, amendoim, girassol e mamona.** Piracicaba: USPESALQLPV. 2001. 204p.

CAMARGO, M. N., 2003. **“Estudo do comportamento de um motor de ignição por compressão, trabalhando com óleo Diesel e gás natural”.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola – PPGEA – Universidade Federal de Santa Maria, RS.

CANAKCI, M.; VAN GERPEN, J. H. **Comparison of engine performance and emissions for petroleum diesel fuel, yellow grease biodiesel, and soybean oil biodiesel.** Transactions of the ASAE, St. Joseph, v. 46, p. 937-944, 2003.

CARDILLE D. M. **Uma abordagem a respeito do desgaste em materiais de camisas de cilindro de motor ciclo diesel atendendo as modernas leis de emissões.** 2009. 93f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Presbiteriana Mackensie – Escola de Engenharia, São Paulo, 2009.

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

CASTRO, J. C.; SILVA, L. P.; BARRETO, A. C. **Produção sustentável de biodiesel a partir de oleaginosas amazônicas em comunidades isoladas.** In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 1, 2006, Brasília/DF. Anais..., v. 1, p.285-289, 2006.

CAVALIERO, C. K. N. (2003) **Inserção de Mecanismos Regulatórios de Incentivo ao uso de Fontes Renováveis Alternativas de Energia no Setor Elétrico Brasileiro e no Caso Específico da Região Amazônica**. Campinas: FEM, UNICAMP, 2003. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2003.

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. 2. ed. Campinas: UNICAMP, 2003. 207p.

CHIU, C.; SHUMACHER, L. G.; SUPPES, G. J.; **Impact of cold flow improvers on soybean biodiesel blend**. *Biomass Bioenergy*, v.27, p.485-491, 2004.

CONAMA. **Resolução Nº 403, de 11 de novembro de 2008**. Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2008.

CONCEIÇÃO, M. M.; CANDEIA, R. A.; SILVA, F. C.; BEZERRA, A. F.; FERNANDES JR., V. J.; SOUZA, A. G.. 2007. **Thermoanalytical characterization of castor oil biodiesel**. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 11. p.964-975.

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

CORLEY, R. H. V; TINKER, P. B. **The Oil Palm**. 4rd. ed. New York: Blackwell. 2003. 562 p.

CORRÊA, I. M.; MAZIERO, J. V. G.; STORINO, M. **Desempenho de motor diesel com misturas de biodiesel de óleo de girassol**. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.32, n.3, p.923-928, 2008.

CORRÊA, I. M.; MAZIERO, J. V. G.; STORINO, M. **Mistura de biodiesel de sebo bovino em motor diesel durante 600 horas.** *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 41, n. 7, p.1189-1194, 2011.

CORRÊA, S. M.; ARBILLA, G. **Aromatic hydrocarbons emissions in diesel and biodiesel exhaust.** *Atmospheric Environment*, v. 40, n. 35, p.6821-6826, 2006.

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

COSTA, F. C.; HOESCHL, H. C. **Gestão do conhecimento na cadeia produtiva de Biodiesel.** In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 1., 2006, Brasília. *Anais...* Brasília: MCT/ABIPTI, 2006. p.30-34.

COSTA, R. E. **Inventário do ciclo de vida do biodiesel obtido a partir do óleo de palma para as condições do Brasil e da Colômbia.** 2007. 195f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007.

CRUZ, R. S.; FERREIRA, S. L. C. LÔBO, I. P. **Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos.** *Química Nova*. Vol. 32, nº. 6, São Paulo, 2009. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422009000600044&script=sci_arttext&tIng=es. Acesso em: 5 jul. 2011.

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

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

DANTAS, H. J. **Estudo Termoanalítico, Cinético e Reológico de biodiesel derivado do óleo de algodão (*Gossypium Hisutum*).** Dissertação de Mestrado em Química, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2006.

DE ABRANTES, R.; DE ASSUNÇÃO, J. V.; PESQUERO, C. R. **Emission of polycyclic aromatic hydrocarbons from light-duty diesel vehicles exhaust.** *Atmospheric Environment*, v. 38, n. 11, p.1631-1640, 2004.

DOBBINS, R. A.; FLETCHER, R. A.; BENNER, J. B. A.; HOEFT, S. **Polycyclic aromatic hydrocarbons in flames, in diesel fuels, and in diesel emissions.** *Combustion and Flame*, v. 144, n. 4, p.773- 781, 2006.

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

DURAN, A.; LAPUERTA, M.; RODRIGUEZ-FERNANDEZ, J. **Neural networks estimation of diesel particulate mater composition from transesterified waste oils blends.** *Fuel*, New York, v. 84, p. 2080-2085, June 2005.

EJIM, C. E.; FLECK, B. A.; AMIRFAZLI, A. **Analytical study for atomization of biodiesel and their blends in a typical injector: Surface tension and viscosity effects.** *Fuel*, n. 10/11, v. 86, p.1534-1544, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

EPA, 2002, **More pollution than they said: ethanol plants said releasing toxins**: New York Times, May 3, 2002.

FAO. Food and Agriculture Organization. **Espécies florestales productoras de frutas e otros alimewntos**. 3. ed. Ejemplo de America Latina, 44/3. FAO, Rome, 1987. 241p.

FERREIRA, E. S.; LUCIEN, V. G.; SILVEIRA, C. S. **Caracterização física do fruto, análise físico-química do óleo extraído do mesocarpo do tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.) e Inajá (*Maximiliana regia* Mart.)**. CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 2, 2005. Varginha/MG. Anais do II Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel. Lavras: Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central da UFLA, 2005. v. 2. p.493-496.

FERREIRA, E. S.; LUCIEN, V. G.; SILVEIRA, C. S. **Caracterização Físico-Química do Fruto e do Óleo Extraído de Tucumã (*Astrocaryum Vulgare* Mart)**. Alimentos e Nutrição (Unesp), Araraquara/SP, v. 19, n. 4, p.427-433. 2008.

FIGLIUOLO, R.; SILVA, J. D.; COSTA, M. S. T. A. **Produção de Biodiesel na Cadeia Produtiva e Sustentável do Tucumã do Amazonas (*Astrocaryum aculeatum* G.F.W. Mayer) (Arecácea, palmeira)**. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 2, 2007, Brasília/DF. Anais..., p.73-73.

FOTHERINGHAM, J.; BLEIMSCHEIN, G.; PLOMER, A. **Base Oil Effects on Emissions and Fuel Economy in a Heavy-Duty Vehicle Over the European Transient Cycle (Etc)**. SAE Technical Papers. Paper Nº. SAE 2002-01-2768, 2002.

FREEDMAN, B.; BUTTERFIELD, R. O.; PRYDE, E. H. **Transesterification kinetics of soybean oil**. Journal of the American Oil Chemists Society, v. 63, p.1375-1379, 1986.

FREIRE, R. M. M. Ricinoquímica. In: AZEVEDO, D. M. P. de; LIMA, E. F. (eds.). **O agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2001. p.295-334. Disponível em: <<http://www.cnpa.embrapa.br>>. Acesso em: 04 mai. 2010.

FURLAN Jr.; KALTNER, F. J.; AZEVEDO, G. F. P. e CAMPOS, I. A. (2006) **Biodiesel Porque têm que ser dendê**. Belém, Pa: Embrapa Amazônia Oriental. Disponível em: http://www.epatu.embrapa.br/publicações_onlune/livros/biodiesel-por-que-tem-que-ser-dende/at_download/PublicaçãoArquivo. Acesso em: 30 mar. 2010.

GALVÃO, L. P. F. C. **Avaliação Termoanalítica da eficiência de antioxidantes na estabilidade oxidativa do biodiesel de mamona**. 2007. 159f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2007.

GONÇALVES, N. P.; BENDEZÚ, J. M.; LELES, W. D. **Época, espaçamento e densidade de plantio para a cultura da mamona**. Informe Agropecuário. Belo Horizonte, v. 7, n. 82, p.33-35, 1981.

GRABOSKI, M. S.; MICCORMICK, R. L. Combustion of Fat and Vegetable Oil Derived fuels in Diesel Engines. **Progress in Energy and Combustion Science**, Great Britain Vol 24, p 125-164, 1998

GUARIEIRO, L. L. N.; PINTO, A. C.; AGUIAR, P. F.; RIBEIRO, N. M. (2008). **Metodologia final do grupo de trabalho interministerial encarregado de apresentar estudos sobre a viabilidade de utilização de óleo vegetal – biodiesel como fonte alternativa de energia**. Brasília: Câmara de Políticas de Infraestrutura do Conselho de Governo, dezembro, 2006.

- GUIBET, Jean-Claude. **Fuels and Engines**. Paris: Technip, 1999. 784p. 2v.
- HAYNES, J.; McLAUGHLIN, J. **Edible palms and their uses**. Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida, 2000, 13p.
- HEMERLY, F. X. **Mamona**: Comportamento e tendências no Brasil, Brasília: Embrapa-DID, 1981. 69 p. (EMBRAPA-DTC-Documentos, 2).
- HEYWOOD, J. B., "**Internal Combustion Engine Fundamentals**". Editora Mc Graw-Hill, Book Company, New York, USA, 1988.
- HIGGINS, B.; SIEBERS, D.; MUELLER, C. **Effectsof2-ethylhexylnitrateonDiesel-Sprayprocess**. SandiaNationalLaboratory, Canada, 1998.
- HOLANDA, A. **Biodiesel e inclusão social** / Ariosto Holanda. Brasília: Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações, 2004. 200p. Série cadernos de altos estudos, nº 1.
- HOMMA, A. K. O.; FURLAN JÚNIOR, J. R. de; CARVALHO, A.; FERREIRA, C. A. P. **Bases para uma política de desenvolvimento da cultura do dendezeiro na Amazônia**. In: VIÉGAS, I. J. M.; MULLER, A. A. (Eds.). **A cultura do dendezeiro na Amazônia brasileira**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental; Manaus, AM: Embrapa Amazônia Ocidental, 2000. p.11-30.
- INDIAMART. **Castor oil and seed**. 2008. Disponível em: <<http://www.finance.indiamart.com/markests/commodity/castor>>. Acesso em: 04 mai. 2010.

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Relação das empresas certificadoras em atividade**. 2008. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br>>. Acesso em: 18 jun. 2010.

INOUE, G. H.; VIEIRA, L. B.; SANTOS, G. L.; RESENDE, R.C.; FILHO, A. F. L. F. Nota Técnica: **avaliação do desgaste de um motor de ciclo diesel alimentado com misturas de óleo vegetal e diesel**. Engenharia na Agricultura, Viçosa, v. 17, n. 4, p. 294-302, 2009.

JAYARATNE, E. R.; RISTOVSKI, Z. D.; MEYER, N.; MORAWSKA, L. **Particle and gaseous emissions from compressed natural gas and ultralow sulphur diesel-fuelled buses at four steady engine loads**. *Science of The Total Environment*, v. 407, n. 8, p. 2845-2852, 2009.

KAUFMAN, K. R.; ZIEJEWSKI, M. Sunflower methyl esters for direct injected diesel engines. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.42, n. 1, p.1626-1633, 1984.

KHAIR, W. A. M. E. M. K. **Diesel Emissions and Their Control**. Warrendale, 2006.

KITTELSON, D. B., WATTS, W. F., JOHNSON, J., “**Workshop on Vehicle Exhaust Particulate Emission Measurement Methodology**”. San Diego, California, USA, 2002.

KNOTHE, G. Fuel properties. In: KNOTHE, G.; GERPEN, H. V.; KRAHL, J. (Ed.) **The Biodiesel Handbook**. Illinois: AOCS PRESS, 2005b. Cap. 6.

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

KNOTHE, G.; KRAHL, J. GERPEN, J. V.; RAMOS, L. P. **Manual de Biodiesel**. Curitiba: Edgard Blücher, 2006. 352p.

KNOTHE, G.; KRAHL, J.; GERPEN, J. V., *The biodiesel handbook*, AOCS Press., 2004.

KNOTHE, G.; STEIDLEY, K. R. (2005a). **Lubrificação dos componentes do biodiesel e petrodiesel**. A origem da lubrificidade do biodiesel de *Energia e Combustível*, 19, 1192-1200.

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

LANG, X.; DALAI, A. K.; BAKHSHI, N. N.; REANEY, M. J.; HERTZ, P. B. **Preparation and characterization of bio-diesel from various bio-oils**. *Bioresource Technol.*, 80, 53-62 (2001).

LEONTSINIS, E. **Óleo Diesel**. In: CURSO DE INFORMAÇÃO SOBRE COMBUSTÍVEIS E COMBUSTÃO. 11ª Ed., Rio de Janeiro: IBP, 1988. p.65-77.

LILJEDAHL, J. B.; CARLETON, W.; TURKIKS P. Y SMITH, D. **Tractores y sus unidades de potencia**. México: Limusa, 1984. 432p.

LIMA, P. C. R. **O biodiesel e a inclusão social**. Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados. Câmara dos Deputados, Praça dos Três Poderes. Brasília, DF, BRASIL, 2004.

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

LOPES, A.; FURLANI, C. E. A.; MELLO, J. G. S. **Protótipo de sistema instrumental para medição de consumo de combustível em tratores.** In: Congresso Brasileiro das Sociedades Brasileiras de Informática Aplicada à Agropecuária e à Agroindústria, 4, 2003. Porto Seguro. Anais... Porto Seguro: Sociedades Brasileiras de Informática Aplicada à Agropecuária e à Agroindústria, 2003. CD-ROM.

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

LORENZI, H.; SOUZA, H. M. de.; COSTA, J. T. de M.; CERQUEIRA, L. S. C. de.; FERREIRA, E. **Palmeiras brasileiras e exóticas cultivadas.** Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2004. 432p.

MACHADO, Y. L.; ALBUQUERQUE, M. C. G.; FIRMIANO, L. R.; PARENTE Jr., E. J. S.; TORRES, A. E. B.; AZEVEDO, D. C. S. E CAVALCANTE Jr., C. L. **Blends de Biodiesel Usando Diferentes Fontes de Biomassa.** In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 1. 2006, Brasília. Anais... 2006.

MAIA, A. C. S.; TEIXEIRA, J. C.; LIMA, S. M.; FERREIRA, C. V.; STRAGEVITCH, L. **Estudo do impacto da adição do biodiesel de mamona ao óleo diesel mineral sobre a propriedade viscosidade cinemática.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 2., 2006, Aracaju. Anais 1 CD.

MANNI, M., GOMMELLINI, C., SABBIONI, G., **Effect of physical characteristics of lubricating oils on emissions, fuel economy and oil consumption in a light duty diesel engine,** SAE Technical Papers. Paper N°. SAE 952552, 1995.

MAZIERO, J. V. G.; CORREA, I. M.; TRIELLI, M. A.; BERNARDI, J. A.; D'AGOSTINHO, M. F. **Avaliação de emissões poluentes de um motor diesel utilizando biodiesel de girassol como combustível.** Engenharia na Agricultura, São Paulo, v. 14, n. 4, p.287-292, 2006.

MDA - Ministério do Desenvolvimento Agrário. *Agricultura familiar: primeiros resultados.* Brasília, DF: MDA, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>.

MENDONÇA, M. S. **Aspectos morfológicos das sementes de algumas espécies de palmeiras (Arecaceae = Palmae) da Amazônia.** Concurso de Professor Titular, Universidade do Amazonas, Manaus, 1996, 68p.

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

MICCORMICK, R. L.; TENNANT, C. J.; HAYES, R. R.; BLACK, S.; IRELAND, J.; MCDANIEL, T.; WILLIAMS, A.; FRAILEY, M.; SHARP, C. A. **Regulated emissions from biodiesel tested in heavy-duty engines meeting 2004 emissions standards.** In: SAE FUEL AND LUBRICANTS, Rio de Janeiro, 2005. Rio de Janeiro: SAE, 2005. 1 CD-ROM.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, Departamento de Mudanças Climáticas – Gerência de Qualidade do Ar. **1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários** - Relatório Final. Brasília, 2011.

MIRANDA, I. P. de A.; RABELO, A.; BUENO, C. R.; BARBOSA, E. M.; RIBEIRO, M. N. S. 2001. **Frutos das palmeiras da Amazônia.** MCT INPA. Manaus. 120p.

MME – Ministério de Minas e Energia. Disponível em <http://www.mme.gov.br/>. Acesso em: 03 nov. 2011.

MORETTO, E.; FETT, R. **Definição de óleos e gorduras tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos**. São Paulo: Varela, 1998. 144p.

MORÓN-VILLARREYES, J. A. Óleos vegetais. In: FARIA, L. J. G.; COSTA, C. M. L. (coord.). **Tópicos especiais em tecnologia de produtos naturais**. Belém: UFPA, NUMA, 1998, p.9-28 (série POEMA, 7).

MOURAD, A. L. **Considerações econômicas e técnicas sobre o uso de óleos vegetais combustíveis como substituto de óleo diesel**. Encontro de Energia no Meio Rural, 2006. Disponível em: <
http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022006000100041&script=sci_arttext>. Acesso em: 22 jun. 2011.

MURTONEN, T. T.; SUTTON, M. **New Crankcase Lubricants For Heavy-Duty Diesel Engines: Effect On Fuel Consumption And Exhaust Emissions**. Society of Automotive Engineers. Paper No. SAE 2005-01-3717, 2005.

MURUGESAN, A.; UMARANI, C.; SUBRAMANIAN, R.; NEDUNCHEZHIAN, N. **Bio-diesel as an alternative fuel for diesel engines**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Uttaranchal, v.13, n.3, p.653-662, 2009.

NASCIMENTO, J. F.; FERREIRA, E. J. L.; REGIANI, A. M. **Parâmetros biométricos dos cachos, frutos e sementes da palmeira tucumã (*Astrocaryum aculeatum g. meyer*), no estado do Acre, Brasil**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 5, 2007, Guarapari/ES. *Revista Brasileira de Agroecologia*. Porto Alegre - RS: Associação Brasileira de Agroecologia, 2007, v. 2, p.1314-1318.

NDIAYE PM, FRANCESCHI E, OLIVEIRA D, DARIVA C, TAVARES FW, OLIVEIRA JV. 2006. **Phase behavior of soybean oil, castor oil and their fatty acid ethyl esters in carbon dioxide at high pressures**. *Journal of Supercritical Fluids*. 37. p.29–37.

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

OLIVEIRA, J. S.; LEITE, P. M.; SOUZA, L. B.; MELLO, V. M.; SILVA, E. C.; RUBIM, J. C.; MENEGHETTI, S. M. P.; SUAREZ, P. A. Z.; **Biomass and Bioenergy**, 1-5, 2008.

OLIVEIRA, L. B. **Potencial de aproveitamento energético de lixo e de biodiesel de insumos residuais no Brasil**. Rio de Janeiro, 2004. 237p. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) – Programa de Pós-graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

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

OLSNES, S. **The history of ricin, abrin and related toxins**. *Toxicon*, Oxford, v. 44, p. 361-370, 2004. Disponível em: <<http://www.elsevier.com.br/locate/toxicon>>. Acesso em: 23 abr. 2011.

OPLINGER, E. S.; OELKE, E. A; KAMINSKI, A. R.; COMBS, S. M.; DOLI, J. D; SCHULER, R. T. **Ricinus communis L**. Field crops manual, Purdue, 1997.

OZDEMIR, F.; TOPUZ, A. **Changes in dry matter, oil content and fatty acids composition of avocado during harvesting time and post-harvesting ripening period**. *Food Chemistry*, n. 86, p.79-83, 2004.

PALLET, D. **Perspectivas de valorização dos frutos amazônicos obtidos por extrativismo**. Colóquio SYAL, Montpellier, Cirad Flhor, São Paulo, 2002.

PARENTE, E. J. S. Biodiesel no plural. In: **O Futuro da Indústria: Biodiesel**. Coletânea de Artigos, Série Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior, 14, Brasília/DF: 2006, p.91-104.

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

PEREIRA Jr., A. O., SOARES, J. B., OLIVEIRA, R. G., QUEIROZ, R. P. 2007. **Energy in Brazil: Toward sustainable development?** Energy Policy, 36(1): 73.

PETERSON, C.L. et al. One-thousand-hour durability test with HySee and using a 5X-Ema Test cycle. **Transactions of the ASAE**, St Joseph, v.42, n.1, p.23-30, 1999.

PLÁ, J. V. J. A.; PADULA, A. D.; RATHMANN, R.; SANTOS, O. I. B. **Biodiesel: Uma Alternativa Estratégica na Matriz Energética Brasileira**. In: II Seminário de Gestão de Negócios. Curitiba. UNIFAE, v. 1, 2005.

REIS, G. N. R.; LOPES, A.; FURLANI, C. E. A.; DABDOUB, M. J.; SILVA, R. P.; GROTTA, D. C. C.; CAMARA, F. T. **Análise comparativa entre biodiesel filtrado e biodiesel destilado em trator agrícola**. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, v.5, n.2, p.149-155, 2006.

REN, Y.; HUANG, Z.; MIAO, H.; DI, Y.; JIANG, D.; ZENG, K.; LIU, B.; WANG, X. **Combustion and emissions of a DI diesel engine fuelled with diesel-oxygenate blends**. *Fuel*, v. 87, n. 12, p.2691- 2697, 2008.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de alimentos**. 1ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2004. 194p.

RINALDI, R.; GARCIA, C.; MARCINIUK, L. L.; ROSSI, A. V.; SCHUCHARDT, U. **Síntese de biodiesel: uma proposta contextualizada de experimento para laboratório de química geral**. Química Nova, Campinas, v. 30, n. 5, p.1374-80, 2007.

RODRIGUES, R. F. de O.; OLIVEIRA, F. de; FONSECA, A. M. **As folhas de palma Christi – *Ricinus communis* L. *Euphorbiaceae* Jussieu**. Revisão de conhecimentos. Revista Lecta, Bragança Paulista, v. 20, n. 2, p.183-194, jul./dez. 2002.

RODRIGUEZ, A. L.; BALBINOT, N. M. S.; MÄHLMANN, C. M.; SCHNEIDER, R. C. S. **Uso de co-produtos da extração de óleo de girassol na obtenção de compósitos**. In: VI Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental, 2008, Porto Alegre / RS. VI Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental, 2008.

SAAD, E. B.; DOMINGOS, A. K.; CESAR-OLIVEIRA, M. A. F.; WILHELM, H. M.; RAMOS, L. P. Variação da qualidade do Biodiesel em função da matéria prima de origem vegetal. In: **Agronegócio de plantas oleaginosas: Matérias-primas para Biodiesel**, 2006. Piracicaba: ESALQ, 2006. p.193-225.

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

SANTOS, M. A. S. dos; D'ÁVILA, J. L.; COSTA, R. M. Q. da; COSTA, D. H. M.; REBELO, F.K.; LOPES, M.L.B. **O comportamento do mercado do óleo de palma no Brasil e na Amazônia**. Belém: BAZA. 27p. 1998. (Banco da Amazônia. Estudos Setoriais, 11). Disponível em: <http://www.bancoamazonia.com.br/download/estsetorial11.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2010.

SANTOS, N. A. **Propriedades termooxidativas e de fluxo de Biodiesel de Babaçu – *Orbignya Phalerata***. 2008. 159f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2008.

SCHUCHARDT, U.; SERCHELI, R., VARGAS, R. M. **Transesterification of Vegetable Oils: a Review**. Journal of Brazilian Chemistry Society, Vol. 9. Nº 1, 1998.

SENATORE, A.; CARDONE, M. **Experimental characterization of a cammon rail engine fuelled with different biodiesel**. In: SAE FUEL AND LUBRICANTS, 1., 2005, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: SAE, 2005. 1 CD-ROM.

SILVA, S. L., BENEZ, S. H., LEVIEN, R., SIQUEIRA, R. **Força de tração obtida com integrador de força e sistema computadorizado, operando um rolo faca**. In: XXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 1997, Campina grande. anais... Campina Grande: UFPB/SBEA, 1997. CD-ROM.

SILVA, S. L.; BENEZ, S. H. **Construção de um sistema de aquisição de dados para avaliação do desempenho energético de máquinas e implementos agrícolas em ensaios de campo**. Revista Energia na Agricultura, Botucatu, v. 12, n. 3, p.10-18, 1997.

SINGH, J.; BARGALE, P. C. **Development of a small capacity double stage compression screw press for oil expression**. Journal of Food Engineering, v. 43, p.75-82, 2000.

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

TABILE A. R. **Efeito de biodiesel de mamona no diesel interior e metropolitano em trator agrícola**. 2008. 74f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2008.

TABILE, A. R.; 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, setembro 2009.

TANGO, J. S.; CARVALHO, C. R. L.; SOARES, N. B. **Caracterização física e química e frutos de abacate visando a seu potencial para extração de óleo**. Revista Brasileira Fruticultura, Jaboticabal/SP, v. 26, n. 1, p.17-23, 2004.

TÁVORA, F. J. A. F. **A cultura da mamona**. Fortaleza: EPACE, 1982. 111p.

TAYLOR, R. I.; COY, R. C. **Improved fuel efficiency by lubricant design: a review**. Proc. Instn Mech. Engrs, Part J: J. Engineering Tribology, 2000, 214(J1), 1-15.

TECNOMOTOR, Tecnomotor Eletrônica do Brasil Ltda., OPACER TM 133 Opacímetro de amostragem. **Manual de Operação**. São Carlos, 2010. Ed. 06/2010, 12p.

TEIXEIRA, L. S. G.; COUTO, M. B.; SOUZA, G. S.; ANDADE FILHO, M.; ASSIS, J. C. R.; GUIMARÃES, P. R. B.; PONTES L. A. M.; ALMEIDA, S. Q.; TEIXEIRA, J. S. R.; **Characterization of beef tallow biodiesel and their mixtures with soybean biodiesel and mineral diesel fuel**. *Biomass and Bioenergy*, 34: 438-441, 2010.

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

TRIPARTITE TASK FORCE BRAZIL, EUROPEAN UNION & UNITED STATES OF AMERICA (2007), **White paper on internationally compatible biofuels standart.** Disponível em: <http://www.unica.com.br/download.asp?mmdCode={5C46727F-1D86-4D4C-98B1-EB40ED3B5E41}> > Acesso em: 20 mar. 2010.

TURRIO-BALDASSARRI, L.; BATTISTELLI, C. L.; CONTI, L.; CREBELLI, R.; DE BERARDIS, B.; IAMICELI, A. L.; GAMBINO, M.; IANNACONE, S. **Emission comparison of urban bus engine fueled with diesel oil and [']biodiesel' blend.** *Science of The Total Environment*, v. 327, n. 1-3, p.147-162, 2004.

TURRIO-BALDASSARRI, L.; BATTISTELLI, C. L.; CONTI, L.; CREBELLI, R.; DE BERARDIS, B.; IAMICELI, A. L.; GAMBINO, M.; IANNACONE, S. **Evaluation of emission toxicity of urban bus engines: Compressed natural gas and comparison with liquid fuels.** *Science of The Total Environment*, v. 355, n. 1-3, p.64-77, 2006.

UNESP. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JULIO DE MESQUITA FILHO"– CÂMPUS DE JABOTICABAL. **Departamento de Ciências Exatas:** Estação meteorológica - Dados normais. 2006. Disponível em: <www.fcav.unesp.br>. Acesso em: 7-1-2006.

URAKAWA, B. A. M.; MELO, G. C. S.; PEREIRA, A. M.; OLIVEIRA, L. M.; CORRÊA, N. C. F.; FRANÇA, L. F. **Análise da Qualidade do Biodiesel produzido a partir do Processo de Transesterificação por Via Etanólica do óleo de Tucumã (*Astrocaryum vulgare*).** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 5, 2008, Lavras/MG. Anais... (CD Room).

VAN GERPEN, J.; KNOTHE, G. Produção de biodiesel. In: KNOTHE, G. (Org.); VAN GERPEN, J.; KRAHL, J. **Manual de Biodiesel.** Tradução: Luiz Pereira Ramos. São Paulo: Blücher, 2006. p.29-45.

VASCONCELOS, M. A. C. de. **Informações sobre o cultivo da mamona (*Ricinus communis* L.)**. Fortaleza: EMATECE, 1990. 19p.

VERAS, E. A.; NUNOMURA, S. M.; FIGLIUOLO, R. **Carotenóides de frutos de palmeiras da Amazônia**. In: Jornada de Iniciação Científica, 14, 2005. Anais... Manaus: INPA-FAPEAM. 2005.

VIANNA, F. C. **Análise de Ecoeficiência: Avaliação do Desempenho Econômico-Ambiental do Biodiesel e Petrodiesel**. 2006. 183f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

VIEIRA, R. M.; LIMA, E. F. **Importância socio-econômica e melhoramento genético da mamoneira no Brasil**. In QUEIRÓZ, M. A. de; GOEDERT, C. O.; RAMOS, S. R. R. (Ed.). Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o nordeste brasileiro. 2008. Disponível em: <<http://www.cpatsa.embrapa.br>>. Acesso em: 19 abr. 2011.

VIJAYA KUMAR, P.; RAMAKRISHNA, Y. S.; RAMANA RAO, B. V.; VICTOR, U. S.; SRIVASTAVA, N. N.; SUBBA RAO, A. V. M. **Influence of moisture, thermal and photoperiodic regimes on the productivity of castor beans (*Ricinus communis* L.)**. Agricultural and Forest Meteorology, Hyderabad, v. 88, p.279-289, 1997.

WAIN, K. S., PEREZ, J. M., CHAPMAN, E., BOEHMAN, A. L. **Alternative and low sulfur fuel options: boundary lubrication performance and potential problems**. Tribology International, n° 38, p.313 – 319, 2005.

WEISS, E. A. **Castor, Sesame and Safflower**. London: Leonard Hill Books, 1971.

WEISS, E. A. **Oil seed crops**. London; New York: Longman, 1983. 660p.

XIAOMING, L.; YUNSHAN, G.; SIJIN, W.; XIUKUN, H. **Na experimental investigation on combustion and emissions characteristics of turbocharged di engines fueled with blends of biodiesel.** In: SAE FUEL AND LUBRICANTS, 1., 2005, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: SAE, 2005. 1 CD-ROM.

YANAI, K.; LANÇAS, K. P. **Desempenho de um pneu agrícola em função da lastragem e da pressão de inflação em pista de concreto.** Energia na Agricultura, v.16, n.4, p.13-24, 2001.

ZANINETTI, R. A. **Caracterização do óleo de frutos de tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) para produção de biodiesel.** 2009. 47f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2009.

ZOZ, F. **Belt and Tire Tractive Performance.** Milwaukee: Society of Automotive Engineers, 1997, 8p.

APÊNDICE

APÊNDICE A. Especificações técnicas dos tratores (Desempenho e Opacidade da fumaça).

Item		Trator 1	Trator 2
Marca		VALTRA	VALTRA
Modelo		BM 100	BH 140
Motor			
Marca		Valtra	Valtra
Modelo		420DS	
Tipo		Turboalimentado	Turboalimentado
Arrefecimento		Líquido	Líquido
Cilindrada		4.400 cm ³	6.600 cm ³
N ^o de cilindros		4	6
Potência máxima no motor		74 kW (100 cv)	103 kW (140 cv)
Rotação de potência máxima		2.300 rpm	2.400 rpm
Torque máximo		367 Nm	475 Nm
Rotação de torque máximo		1.400 rpm	1.400 rpm
Bomba injetora		ROTATIVA	ROTATIVA
Tanque de combustível		140 litros	270 litros
Número de marchas		16 + 8 RÉ	16 F + 8 RÉ
Dimensões			
Distância entre eixos		2.525 mm	2.763 mm
Bitola máxima		2.240 mm	2.128 mm
Altura da barra de tração		400 mm	400 mm
Distribuição de massa	Dianteiro	1.406 kg	2.020 kg
Trator sem lastro	Traseiro	2.109 kg	3.030 kg
	Total	3.515 kg	5.050 kg
Distribuição de massa	Dianteiro	2.160 kg	2.930 kg
Trator com lastro	Traseiro	3.240 kg	4.395 kg
	Total	5.400 kg	7.325 kg

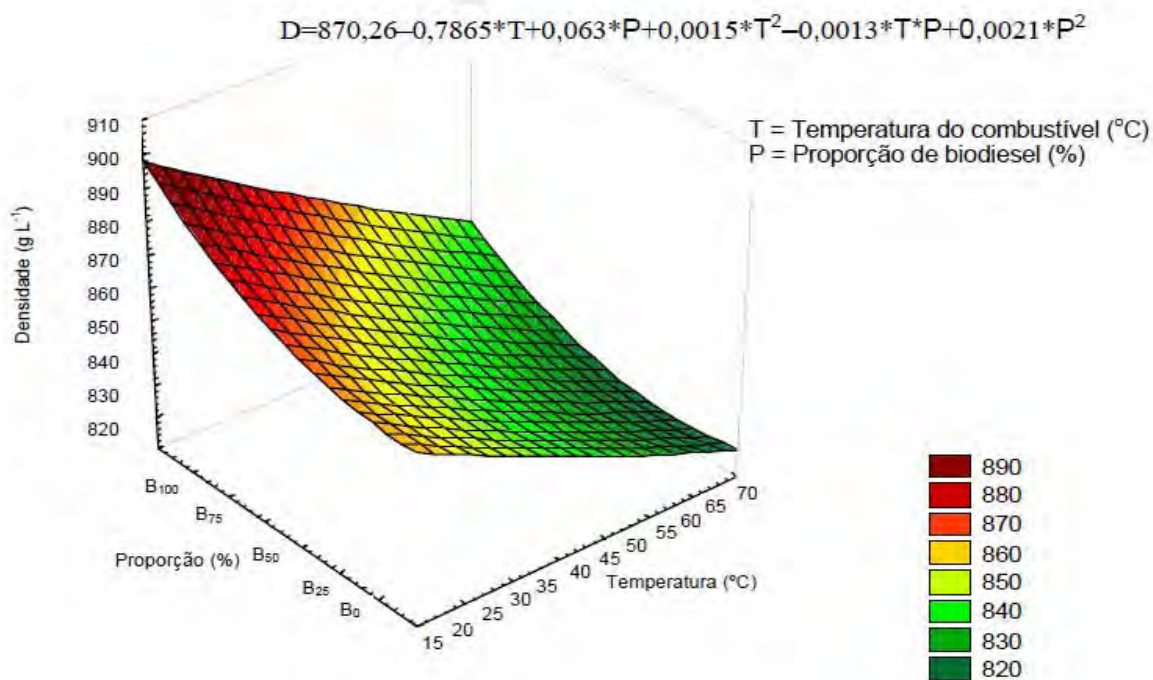
APÊNDICE B. Especificações técnicas do trator (Opacidade da fumaça).

Item	Trator 1	
Marca	VALTRA	
Modelo	BM 125I	
Motor		
Marca	Valtra	
Modelo	420DRSA	
Tipo	Turbo Intercooler	
Arrefecimento	Líquido	
Cilindrada	4.400 cm ³	
N ^o 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	Dianteiro	1.406 kg
Trator sem lastro	Traseiro	2.109 kg
	Total	3.515 kg
Distribuição de massa	Dianteiro	2.760 kg
Trator com lastro	Traseiro	3.832 kg
	Total	6.592 kg

APÊNDICE C. Densidade do biodiesel de dendê variando em função da temperatura (15 a 70 °C) e proporção de mistura com diesel (B0 a B100).

T (°C)	kg m ⁻³					
	B0	B5	B25	B50	B75	B100
15	858,5	858,8	860,9	866,0	873,6	883,9
20	854,9	855,1	857,1	862,0	869,5	879,6
25	851,3	851,5	853,4	858,1	865,4	875,3
30	847,8	847,9	849,7	854,2	861,4	871,2
35	844,3	844,5	846,1	850,4	857,4	867,1
40	840,9	841,0	842,5	846,7	853,6	863,0
45	837,6	837,7	839,1	843,1	849,8	859,1
50	834,4	834,5	835,7	839,6	846,1	855,2
55	831,3	831,3	832,4	836,1	842,5	851,4
60	828,2	828,2	829,1	832,7	838,9	847,7
65	825,2	825,2	826,0	829,4	835,4	844,1
70	822,3	822,2	822,9	826,1	832,0	840,5

Fonte: CAMARA (2009).

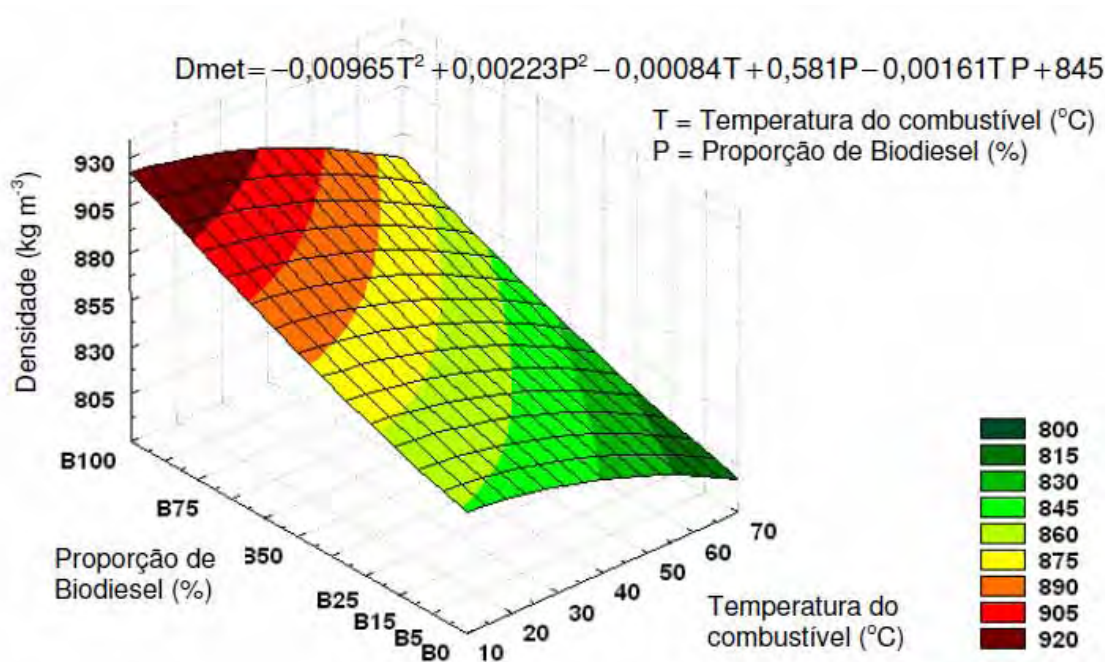


Superfície de resposta de segunda ordem ajustada à densidade do biodiesel de dendê em função da temperatura e proporção de mistura.

APÊNDICE D. Densidade do biodiesel de mamona variando em função da temperatura (15 a 70 °C) e proporção de mistura com diesel (B0 a B100).

T (°C)	kg m ⁻³					
	B0	B5	B25	B50	B75	B100
15	848,7	851,5	863,5	880,4	899,5	920,8
20	847,0	849,7	861,5	878,3	897,2	918,3
25	844,8	847,5	859,1	875,7	894,4	915,3
30	842,1	844,7	856,3	872,6	891,1	911,8
35	838,9	841,6	852,9	869,1	887,4	907,9
40	835,3	837,9	849,1	865,0	883,2	903,4
45	831,2	833,7	844,8	860,5	878,5	898,5
50	826,6	829,1	840,0	855,6	873,3	893,2
55	821,6	824,0	834,8	850,1	867,6	887,3
60	816,1	818,5	829,0	844,2	861,5	881,0
65	810,1	812,4	822,8	837,8	854,9	874,2
70	803,6	805,9	816,2	830,9	847,8	866,9

Fonte: TABILE (2008).



Superfície de resposta de segunda ordem ajustada à densidade do biodiesel de mamona em função da temperatura e proporção de mistura.

APÊNDICE F. Características físico-químico do óleo lubrificante utilizado no motor do trator de testes (Valtra BM125i).



Ficha Técnica

Shell Rimula R3X

Óleo multiviscoso para motores a diesel que operem em condições severas

- Tripla Ação - Resistência ao:
 - *Desgaste
 - *Fuligem
 - *Calor

Shell Rimula R3 X é um lubrificante de alta performance com proteção energizada, formulado com tecnologia especialmente desenvolvida para proteger o motor nas diversas condições de uso. Essa tecnologia única, proporciona tripla ação : baixo desgaste para maior vida útil do motor; minimiza formação de depósitos para manter a performance do motor e resiste a degradação por calor. Adequado para a maioria dos motores turbo ou aspirados em trabalho pesado, incluindo off-road.



ENERGISED PROTECTION
Adapting to your engine's changing needs

Aplicações



- **Transporte em estradas**

Shell Rimula R3 X é adequado para praticamente todos os motores pesados e possui aprovações das principais OEMs.

- **Construção e Mineração**

Shell Rimula R3 X é recomendado para a maioria dos motores utilizados na indústria da construção e em equipamentos de mineração, tais como, Caterpillar, Cummins, Detroit Diesel (4-tempos), MTU e Komatsu.

- **Equipamentos Agrícolas**

Shell Rimula R3 X é ideal para as condições encontradas nas operações agrícolas, pois protege contra o desgaste de mancais e depósitos formados pelas condições severas de trabalho.

Performance & Benefícios

- **Formulação única**

Shell Rimula R3 X utiliza formulação exclusiva que em testes reais, garantiu maior eficiência e vida útil ao motor.

- **Limpeza do motor**

Shell Rimula R3 X possui alta estabilidade térmica que proporciona um elevado nível de proteção contra depósitos nos pistões, que em conjunto com o elevado desempenho dos dispersantes, garante excelente controle de borra e evita a formação de depósitos.

- **Minimiza o desgaste do motor**

A combinação de aditivos antidesgaste e boa limpeza do motor, auxilia no controle da corrosão e proporciona longa vida útil do motor, mantendo a potência e eficiência do motor e proporcionando redução nos custos de manutenção.



Ficha Técnica

- **Proteção em altas temperaturas**

Shell Rimula R3 X demonstrou superior resistência a degradação térmica, garantindo proteção contínua ao longo de todo o tempo de uso, mesmo sob condições severas encontradas nos motores modernos.

DDC: 93K215	✓
MACK: EO-M, EO-M+	✓
MAN: 3275	✓
MB : 228.3	✓
MTU: Categoria 2	✓
Volvo: VDS-2	✓

Embalagens

- Caixa de 12 x 1L;
- Caixa de 4 x 4L;
- Bombona de 20L;
- Tambor de 200L;
- TB 1000L;
- Granel.

Especificações e Aprovações

Especificações e Aprovações	SAE Grau de Viscosidade
	R3 X 15W-40
API: CI-4, CH-4, CG-4, CF-4	✓
ACEA: E5, E3	✓
Caterpillar: ECF-1-A	✓
Cummins: CES 20078, 77, 76, 75, 72, 71	✓

Saúde e Segurança

Para evitar danos aos indivíduos ou ao meio ambiente, utilize o produto de forma adequada e siga corretamente as indicações do fabricante do equipamento. Caso necessário, solicite a "Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos".

Atendimento ao cliente

Para mais informações, entre em contato com o TELETEC, nosso Serviço Técnico, através do telefone (11) 2171-0440 ou pelo correio eletrônico fale@shell.com. Visite nosso site www.shell.com.br

Características Típicas

Grau SAE	15W-40
Densidade a 20/4 °C – ASTM D-1298	0.883
Viscosidade Cinemática a 40°C, cSt – ASTM D-445	105.1
Viscosidade Cinemática a 100°C, cSt – ASTM D-445	14.3
Índice de Viscosidade – ASTM D-2270	139
Ponto de Fulgor COC, °C – ASTM D-92	218
Ponto de Fluidez, °C – ASTM D-97	-30
TBN, mg KOH/g – ASTM D-4739	11

Todas as informações contidas nesse folheto baseiam-se em dados disponíveis na época de sua publicação. Reservamo-nos o direito de fazer modificações a qualquer momento, tanto no produto quanto na sua formulação, sem prévio aviso.