

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

DIESEL E BIODIESEL DE MURUMURU E DE SOJA:
DESEMPENHO OPERACIONAL DE TRATOR AGRÍCOLA
NO PREPARO DO SOLO

Melina Cais Jecic de Oliveira

Engenheira Agrônoma

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

DIESEL E BIODIESEL DE MURUMURU E DE SOJA:
DESEMPENHO OPERACIONAL DE TRATOR AGRÍCOLA NO
PREPARO DO SOLO

Melina Cais Jejcic de Oliveira

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).

Oliveira, Melina Cais Jecic de
O48d Diesel e biodiesel de murumuru e de soja: desempenho operacional de trator agrícola no preparo do solo / Melina Cais Jecic de Oliveira. -- Jaboticabal, 2016
viii, 87 f.: il.; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2015
Orientador: Afonso Lopes
Banca examinadora: Teresa Cristina Tarle Pissarra, Ana Lúcia Paschoa Botelho Ferreira Barbosa, Diego Silva Siqueira, Gilberto Hirotsugu Azevedo Koike
Bibliografia

1. Consumo específico. 2. Opacidade da fumaça. 3. Desempenho operacional. 4. Rotações do motor. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.371:656.137

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

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: “DIESEL E BIODIESEL DE MURUMURU E DE SOJA:
DESEMPENHO OPERACIONAL DE TRATOR AGRÍCOLA NO
PREPARO DO SOLO”

AUTORA: MELINA CAIS JEJCIC DE OLIVEIRA

ORIENTADOR: Prof. Dr. AFONSO LOPES

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

Prof. Dr. AFONSO LOPES

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

Prof. Dra. TERESA CRISTINA TARLE PISSARRA

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

Prof. Dra. ANA LÚCIA PASCHOA BOTELHO FERREIRA BARBOSA

Centro Universitário Unifafibe, Bebedouro/SP

Prof. Dr. DIEGO SILVA SIQUEIRA

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

Prof. Dr. GILBERTO HIROTSUGU AZEVEDO KOIKE

Consultor Autônomo / Ribeirão Preto/SP

Data da realização: 18 de janeiro de 2016.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Melina Cais Jecic de Oliveira - Filha de Francisco Carlos de Oliveira e Magali Aparecida Cais Jecic de Oliveira, nasceu em Ribeirão Preto, São Paulo, em 08 de maio de 1986. cursou o primeiro e o segundo graus em Ribeirão Preto – SP. Em 2005, iniciou o curso de Engenharia Agrônômica na Universidade Estadual Paulista - UNESP, Câmpus de Jaboticabal – SP, concluindo-o em fevereiro de 2010. Durante a vida acadêmica, desempenhou funções, tais como: Bolsista de Iniciação Científica (CNPq - PIBITI) por dois anos consecutivos (renovação), desenvolvendo projeto de pesquisa intitulado “Desempenho de tratores agrícolas com biodiesel”. Em agosto de 2010, iniciou o curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração em Ciência do Solo, na Universidade Estadual Paulista – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, concentrando-se na área de Mecanização e Máquinas Agrícolas. Em fevereiro de 2012, iniciou o curso de Doutorado em Agronomia, área de concentração em Ciência do Solo, na Universidade Estadual Paulista – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, concentrando-se na área de Mecanização e Máquinas Agrícolas. Em janeiro de 2016, submeteu-se à banca examinadora para a obtenção do título de Doutora em Agronomia.

A Deus e nosso Senhor Jesus Cristo, por tudo.

Agradeço

A meus pais: *Francisco Carlos de Oliveira e Magali Aparecida Cais Jecic de Oliveira*, pelo amor, carinho, confiança, respeito, dedicação e luta para que eu conseguisse chegar até aqui.

Homenageio

A minha irmã: *Mirella Cais Jecic de Oliveira*, pelo companheirismo, amizade e amor.
A meus avós: *Antenor de Oliveira, Isaura Pereira de Oliveira (in memoriam), Walter Jecic (in memoriam) e Alha Cais Jecic*, por fazerem parte da minha formação e acreditarem em meu potencial.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo presente da vida sempre com saúde e por sempre estar comigo no dia a dia, dando-me força para executar minhas funções.

À minha família, pai, mãe e irmã, que confiaram em meu trabalho e torceram para o meu sucesso a cada dia.

À UNESP, Câmpus de Jaboticabal, pela oportunidade de ensino e aprendizado.

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

Ao amigo e Prof. Dr. Afonso Lopes, por acreditar em meu potencial, pelo apoio, amizade, orientação e companheirismo dispensado a mim durante estes anos.

Aos Prof. Dr. Felipe Thomaz da Camara e Prof. Dr. Leomar Paulo de Lima, pela orientação, dedicação, confiança, principalmente pela amizade e respeito a minha vida pessoal e acadêmica.

Ao CNPq, à FAPESP, à CAPES, à Valtra do Brasil e à Coopercitrus, pelo apoio financeiro, material e logístico ao Projeto Biodiesel, o que fez a diferença para que este trabalho se concretizasse.

Ao LADETEL-USP de Ribeirão Preto e, em especial, ao Prof. Dr. Miguel Joaquim Dabdoub, Coordenador do LADETEL e Coordenador Geral do projeto Biodiesel Brasil, por ter fornecido o biodiesel utilizado neste trabalho.

Aos Profs. Drs. Rouverson Pereira da Silva, Carlos Eduardo Angeli Furlani e Teresa Cristina Tarlé Pissarra que também contribuíram para minha formação acadêmica. Ao Dr. e amigo Gilberto Hirotsugu Azevedo Koike, pela orientação e contribuição na correção do artigo para qualificação.

Ao Professor Vitório Barato Neto, especialista em letras e pedagogia, pela correção gramatical do trabalho e contribuições para que este trabalho ficasse o mais compreensível possível.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural, Sr. Davi Aparecido Trevizolli, ao Técnico Agrícola Aparecido Alves (Cido), aos operadores de Máquinas Valdecir Aparício (Maranhão) e Sebastião Francisco da Silva Filho (Tiãozim), pela participação efetiva durante a fase de coleta de dados, muitas vezes trabalhando fora do horário do expediente, sempre com dedicação e carinho.

Agradecimentos especiais a meus colegas de pós-graduação: Murilo Coelho Teodoro Neves, Priscila Sawasaki Yamaguti, Thaisa Calvo Fugineri Moreti, Thyago Augusto Medeiros Lira e Érica Tricai, pelo companheirismo durante o desenvolvimento deste trabalho.

Às amigas: Marina Luciano Sartori, Aline Yumi Ushirobira Shiromaru e Gabriela Marchi, por estarem ao meu lado mesmo à distância, por participarem de cada momento de minha vida, nas tristezas e alegrias, e por me dedicarem amizade sincera.

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

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
I INTRODUÇÃO	1
II REVISÃO DE LITERATURA	3
1 Biodiesel no Brasil e no mundo.....	3
2 Biodiesel.....	8
3 Características do biodiesel	11
4 Número de cetano.....	12
5 Poder calorífico	14
6 Viscosidade.....	15
7 Densidade.....	17
8 Lubricidade.....	17
9 Óleo diesel	18
10 Motor diesel.....	22
11 Emissão de gases e fuligem	25
12 Desempenho operacional	28
13 Murumuru.....	30
14 Soja.....	35
III MATERIAL E MÉTODOS	40
1 Área Experimental.....	40
2 Solo.....	40
3 Biodiesel.....	41
4 Diesel	41
5 Tratores.....	41
6 Instrumentação do trator de teste para o ensaio de desempenho	42

6.1 Velocidade de deslocamento	42
6.2 Força na barra de tração.....	42
6.3 Consumo de combustível.....	43
6.4 Sistema de aquisição de dados	43
7 Instrumentação do trator de teste para o ensaio de opacidade da fumaça.	44
7.1 Opacímetro	44
8 Condução do trabalho	46
9 Delineamento experimental.....	47
10 Tratamentos	47
11 Ensaio I – Desempenho do Trator.....	48
11.1 Ensaio piloto.....	48
11.2 Uso dos tratores.....	49
11.3 Velocidade real de deslocamento	51
11.4 Força média na barra de tração.....	51
11.5 Potência na barra de tração	51
11.6 Consumo de combustível.....	52
11.7 Consumo horário volumétrico	52
11.8 Consumo horário ponderal.....	52
11.9 Consumo específico.....	53
12 Ensaio II – Opacidade da fumaça do motor do trator	53
13 Análise estatística	54
13.1 Análise de variância e teste de médias.....	54
13.2 Análise de regressão.....	54
IV RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
1 Ensaio I – Desempenho do Trator.....	55
1.1 Potência na barra de tração.....	55
1.2 Velocidade real de deslocamento	59
1.3 Consumo horário volumétrico	60
1.4 Consumo horário ponderal.....	62
1.5 Consumo específico.....	64
2 Ensaio II – Opacidade da Fumaça do motor do trator	66

V CONCLUSÕES.....	69
VI REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
APÊNDICE.....	86

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1. Valores de poder calorífico para tipos de combustíveis.	15
2. Composição do biodiesel de óleo de murumuru	35
3. Composição do biodiesel de soja.....	39
4. Relação e designação dos tratamentos dos ensaios I e II.	48
5. Síntese da análise de variância e teste de médias para a variável potência na barra (kW) e velocidade (km h^{-1}).....	56
6. Desdobramento da interação tipo de combustível e rotação do motor para a variável potência na barra e tração (kW)	57
7. Desdobramento da interação tipo de combustível e rotação do motor para a variável velocidade de deslocamento (km h^{-1})	59
8. Resultados médios para as variáveis consumo horário volumétrico (Chv), Consumo horário ponderal (Chp) e consumo específico (Ce)	61
9. Desdobramento da interação tipo de combustível e rotação do motor para a variável consumo horário ponderal (kg h^{-1})	62
10. Desdobramento da interação tipo de combustível e rotação do motor para a variável consumo específico (g kWh^{-1})	64
11. Síntese da análise de variância e teste de médias para a variável opacidade da fumaça (m^{-1})	67

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Produção, demanda compulsória e capacidade nominal do biodiesel por região do Brasil em setembro de 2015	5
2. Evolução dos biocombustíveis no Brasil	7
3. Matérias primas usadas na produção de biodiesel no Brasil	8
4. Reação de alcoólise (transesterificação) de um triglicerídeo com álcoois, resultando na formação de ésteres ou biodiesel e glicerina como produtos..	10
5. Repartição da oferta interna de energia	21
6. Consumo para fins de transporte	22
7. Sistema intercooler no trator BM125i	25
8. <i>Astrocaryum murumuru</i> MARTI (Murumuru)	32
9. Corte dos frutos de <i>Astrocaryum murumuru</i> MARTI (Murumuru).....	34
10. Produção de soja no Brasil e demanda de soja para produção de biodiesel com a mudança do marco regulatório	38
11. Vista lateral do trator de teste com instrumentação completa	44
12. Instrumentação utilizada no ensaio de opacidade da fumaça (opacímetro, controlador serial, sonda de captação e computador com <i>software</i> IGOR).	45
13. Vista geral do trator instrumentado para o ensaio de opacidade da fumaça	46
14. Esquema das parcelas	47
15. Dinâmica do ensaio de desempenho	50
16. Potência na barra de tração em função da rotação do motor e tipo de combustível.....	58
17. Velocidade de deslocamento em função da rotação do motor e tipo de combustível.....	60
18. Consumo horário ponderal em função da rotação do motor e tipo de combustível.....	63
19. Consumo específico em função da rotação do motor e tipo de combustível	66

20. Representação gráfica da opacidade da fumaça em função do tipo de combustível.....	68
--	----

DIESEL E BIODIESEL DE MURUMURU E DE SOJA: DESEMPENHO DE UM TRATOR EM ATIVIDADES DE PREPARO DO SOLO

RESUMO - Dada à necessidade de novas alternativas de energia limpa e renovável, testes utilizando biocombustíveis tornaram-se relevantes. Neste contexto, o biodiesel representa alternativa viável já que dispensa adequações nos motores de ciclo diesel, diferentemente dos outros combustíveis, como gás natural ou biogás, por exemplo. O presente trabalho teve como objetivo avaliar desempenho operacional e opacidade da fumaça de trator agrícola funcionando com diesel e biodiesel, cujos fatores estudados foram tipos de combustíveis e diferentes rotações do motor. As rotações do motor foram 1800, 1900, 2000, 2100, 2200, 2400, 2600 rpm e os combustíveis foram diesel B S1800, diesel B S500, biodiesel de soja e biodiesel de murumuru. Avaliou-se potência na barra de tração, velocidade de deslocamento, consumo de combustível, e opacidade da fumaça. Houve aumento do consumo específico para os tipos de combustível a medida que aumentou a rotação do motor. Para biodiesel a faixa de rotação entre 1900 e 2000 teve menor interferência no desempenho. A opacidade da fumaça reduziu com o uso do biodiesel de soja e de murumuru.

PALAVRAS-CHAVE: consumo específico, opacidade da fumaça, desempenho operacional, rotações do motor

DIESEL AND BIODIESEL OF MURUMURU AND SOYBEAN: OPERATIONAL PERFORMANCE OF AGRICULTURAL TRACTOR IN TILLAGE

SUMMARY -. Given the need for new alternatives clean and renewable energy, tests using biofuels become relevant. In this context, biodiesel is a viable alternative since it dispenses adjustments in the diesel engines, unlike other fuels such as natural gas or biogas, for example. This study aimed to evaluate operating performance and smoke density tractor running on diesel and biodiesel, which studied factors were fuel types and different engine speeds. Engine speed were 1800, 1900, 2000, 2100, 2200, 2400, 2600 rpm and diesel fuels were B S1800, S500 diesel B, soy biodiesel and biodiesel murumuru. If power-rated drawbar pull, ground speed, fuel consumption, and smoke density. There was an increase in specific consumption for all fuel types as increased engine speed. For biodiesel, speed range between 1900 and 2000 had less interference on performance. The smoke density was reduced with the use of soybean biodiesel and murumuru.

KEYWORDS: specific consumption, smoke density, scarifier and speed.

I INTRODUÇÃO

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

Biodiesel caracteriza-se por ser um produto renovável e produzido a partir de óleo vegetal ou gordura animal (ambos novo ou residual) e álcool anidro, na presença de um catalisador, sendo tal reação denominada transesterificação. É um biocombustível indicado para motores de ignição por compressão de ciclo diesel, podendo ser utilizado como aditivo ou em substituição ao diesel de petróleo.

A etapa de purificação do biodiesel pode ser feita por filtração ou por destilação (biodiesel filtrado ou destilado, respectivamente). Também pode variar o tipo de álcool, metanol ou etanol, originando biodiesel metílico ou etílico, respectivamente.

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

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

Várias pesquisas têm sido conduzidas para avaliar o comportamento dos biocombustíveis em motores de trator agrícola. Porém, são poucos os trabalhos encontrados que relacionassem um comparativo entre diesel e biodiesel de soja e murumuru com desempenho de tratores agrícolas.

Para avaliar a viabilidade do biodiesel, torna-se fundamental o conhecimento das características do funcionamento das máquinas com o combustível, as quais podem ser conhecidas através de ensaios de desempenho. Com base em outros trabalhos, pressupõe-se que o comparativo destas fontes de biodiesel acrescente os bons resultados já obtidos pelo Programa Biodiesel do Brasil, não acarrete em diferença no desempenho, bem como não comprometa o funcionamento do trator e a opacidade da fumaça.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho operacional de um trator no preparo do solo, funcionando com diesel B S1800, diesel B S500, biodiesel de soja e biodiesel de murumuru, cuja variação são 7 tipos de rotação (1800, 1900, 2000, 2100, 2200, 2400, e 2600rpm). O experimento foi conduzido no Departamento de Engenharia Rural da UNESP-Jaboticabal. O biodiesel utilizado foi de soja (100%) e de murumuru (100%). Foram utilizados, também, o diesel B S 1800 e o B S500. Para comparação, foi observado potência disponível na barra de tração, velocidade de deslocamento, consumo de combustível e opacidade da fumaça de combustão. Pretende-se, com isso, relacionar o desempenho do trator agrícola com diferentes tipos de rotação no motor em condições de campo.

II REVISÃO DE LITERATURA

1 Biodiesel no Brasil e no mundo

Suprir a demanda energética mundial tem sido grande desafio para a sociedade. A contínua elevação do preço do barril de petróleo e as questões ambientais associadas à queima de combustíveis fósseis têm contribuído para colocar a humanidade frente à necessidade de novas fontes energéticas (LÔBO; FERREIRA; CRUZ, 2009).

O uso em larga escala da energia proveniente da biomassa é apontado como grande opção que poderia contribuir para o desenvolvimento sustentável nas áreas ambiental, social e econômica (TREVISANI et al., 2007). A busca intensiva por biocombustíveis como alternativa ao petróleo apresenta grande importância, principalmente para os países emergentes, como o Brasil, uma vez que sua produção colabora com a conservação do meio ambiente, mediante a redução dos gases responsáveis pelo efeito estufa (ANDRADE et al., 2012).

Na última década, não só os principais países produtores e consumidores de biodiesel, como também diversos outros países estabeleceram metas desejáveis ou mandatórias de uso de biodiesel em misturas com o diesel. Alguns não apresentaram metas específicas para o uso de biodiesel, e sim, de biocombustíveis de forma geral. A União Europeia, por exemplo, estabeleceu como meta para os países-membros aumentar gradualmente a proporção de biocombustíveis no consumo total usado para transportes para até 10% em 2020, sendo cada país comprometido em traçar um plano para cumprir essa meta (CARVALHO, 2012).

Em 2014, os Estados Unidos ocuparam o primeiro lugar em produção de biodiesel, enquanto o Brasil assumiu o posto de segundo maior produtor mundial, produzindo cerca de dois bilhões de litros de biodiesel a menos do que os Estados Unidos, e a Alemanha ocupou o terceiro lugar na produção mundial de biodiesel. Muitos outros países têm investido na produção de biodiesel e passaram a apresentar produções expressivas desse combustível, principalmente Argentina, França, Tailândia e China (MME, 2015).

Nos países da União Europeia a matéria-prima principal para a produção do biodiesel é o óleo de colza, o óleo de soja ocupa esse papel nos Estados Unidos, Brasil e Argentina. O óleo de palma (dendê) é a principal matéria-prima para o biodiesel na Indonésia, Malásia e Tailândia. De forma geral, a União Europeia também utiliza os óleos de soja, girassol e palma, embora em menor quantidade do que o de colza, além das gorduras animais, enquanto nos Estados Unidos também é significativo o uso de óleos vegetais residuais (usados em frituras) (CARVALHO, 2012).

Além de grandes produtores, Alemanha, França, Itália, Estados Unidos e Brasil são também grandes consumidores de biodiesel, sendo que, para os três primeiros, a importação tem sido necessária para suprir a demanda nos últimos anos, pois o consumo vem sendo maior que a produção interna desses países (LIMA; CASTRO, 2010). Já a Argentina exporta quase toda a produção. No Brasil, a produção vem sendo suficiente para suprir a demanda de B7 do mercado interno, criada pela obrigatoriedade do uso deste nível de mistura.

Em 2014, a capacidade nominal para produção de biodiesel (B100) no Brasil era de aproximadamente 8 milhões de m³ (22 mil m³/dia). Entretanto, a produção nacional foi de 2,9 milhões de m³, o que correspondeu a 36,4% da capacidade total, e em comparação a 2013, a produção de biodiesel (B100) foi 7,4% maior (ANP, 2014a).

No Brasil, existem 55 plantas produtoras de biodiesel autorizadas pela ANP para operação no País, correspondendo a uma capacidade total autorizada de 20.488,51 m³/dia. Há ainda 1 nova planta de biodiesel autorizada para construção e 2 plantas de biodiesel autorizadas para ampliação. Com a finalização das obras e posterior autorização para operação, a capacidade total de produção de biodiesel autorizada poderá ser aumentada em 885 m³ /dia, que representa um acréscimo de 4% na capacidade atual (ANP, 2015a).

A Figura 1 ilustra a produção de biodiesel, demanda compulsória e capacidade acumulada no Brasil até dezembro de 2013.

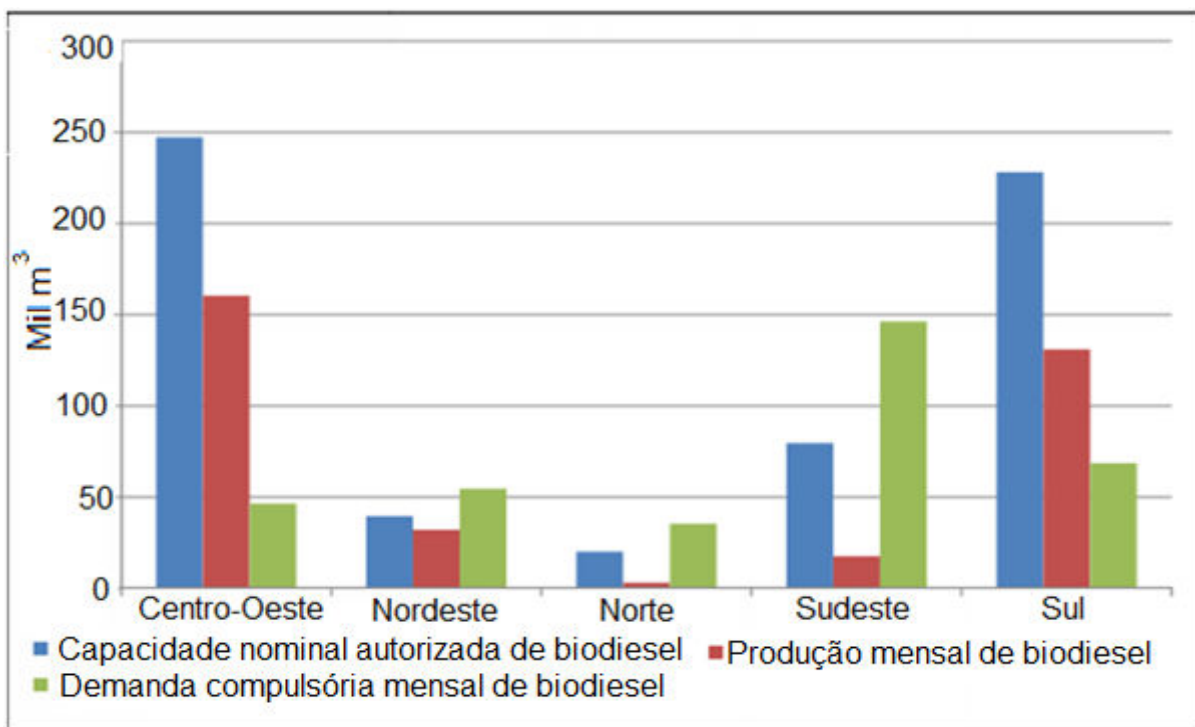


Figura 1. Produção, demanda compulsória e capacidade nominal de biodiesel por região do Brasil em setembro de 2015 (ANP, 2015a)

Ressalta-se que, conforme os documentos relacionados, a produção e o consumo de biodiesel no Brasil foram determinados por meio da Medida Provisória n. 214/2004, convertida na Lei n. 11.097/05. Essa lei, contida no Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), pode ser considerada como um marco na história do biodiesel no Brasil, uma vez que é a partir dela que o biodiesel encontra sustentáculo jurídico na legislação brasileira (ANP, 2015b).

O governo definiu, inicialmente, as seguintes metas, segundo a Lei n. 11.097/2005, “Art. 2º- Fica introduzido o biodiesel na matriz energética brasileira, sendo fixado em 5% (cinco por cento), em volume, o percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor final, em qualquer parte do território nacional”. Além da obrigatoriedade, foi determinado o prazo para o cumprimento. “Art. 2º, § 1º - O prazo para a aplicação do disposto no caput deste artigo é de 8 (oito) anos após a publicação desta Lei, sendo de 3 (três) anos o período, após essa publicação, para se utilizar um percentual intermediário de 2% (dois por cento), em volume”. A referida Lei define biocombustível e biodiesel. “Art. 4º, XIV - Biocombustível: combustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a

combustão interna ou, conforme regulamento, para outro tipo de geração de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil. XV - Biodiesel: biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento, para outro tipo de geração de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil” (ANP, 2015b).

A partir de julho de 2008, a mistura obrigatória passou a ser de 3%, porém em julho de 2009 a mistura foi acrescida para 4% de biodiesel. Com o perceptível amadurecimento do mercado brasileiro, o percentual foi ampliado pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), sucessivamente, até atingir 5% (B5) em janeiro de 2010, antecipando em três anos a meta estabelecida pela Lei n. 11.097, de 13 de janeiro de 2005 (ANP, 2015b).

A obrigatoriedade do uso de 2% de biodiesel no diesel em 2005, acarretou demanda de 1 bilhão de L/ano. Já em julho de 2009, esse percentual passou para 4%, com aumento da demanda para 1,8 bilhão de L/ano. Para adição de 5% de biodiesel no diesel, houve uma previsão de 2,4 bilhões de L/ano, passando para 2,8 de bilhões de L/ano em 2013. (DANTAS, 2010; GOES; ARAÚJO; MARRA, 2010).

Em 11 de maio de 2012, foi publicada a Resolução ANP n. 14, que estabelece as especificações do biodiesel comercializado no Brasil. Já em 2014, a medida provisória n. 647, de 28 de maio de 2014, transformada em Lei n.13.033, de 24 de setembro de 2014, alterou o percentual obrigatório do biodiesel misturado ao óleo diesel comercializado ao consumidor final, passando de 5% para 6% a partir de 1º de julho. Porém, desde 1º de novembro de 2014, o óleo diesel comercializado em todo o Brasil contém 7% de biodiesel. Esta regra foi estabelecida pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), que aumentou de 5% para 7% o percentual obrigatório de mistura de biodiesel ao óleo diesel. A contínua elevação do percentual de adição de biodiesel ao diesel demonstra o sucesso do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel e da experiência acumulada pelo Brasil na produção e no uso em larga escala de biocombustíveis (ANP, 2015b).

Segundo o Ministério Público Federal, Lei n. 647, por motivo justificado de interesse público, o Conselho Nacional de Política Energética poderá, a qualquer tempo, reduzi-lo para até 6%, restabelecendo-o quando da normalização das

condições que motivaram a redução do percentual (ANP, 2015b). O Brasil está entre os maiores produtores e consumidores de biodiesel do mundo, com a produção anual, em 2013, de 2,9 bilhões de litros e uma capacidade instalada, no mesmo ano, para cerca de 7,9 bilhões de litros. A Figura 2 ilustra a evolução do mercado de biocombustíveis no Brasil.

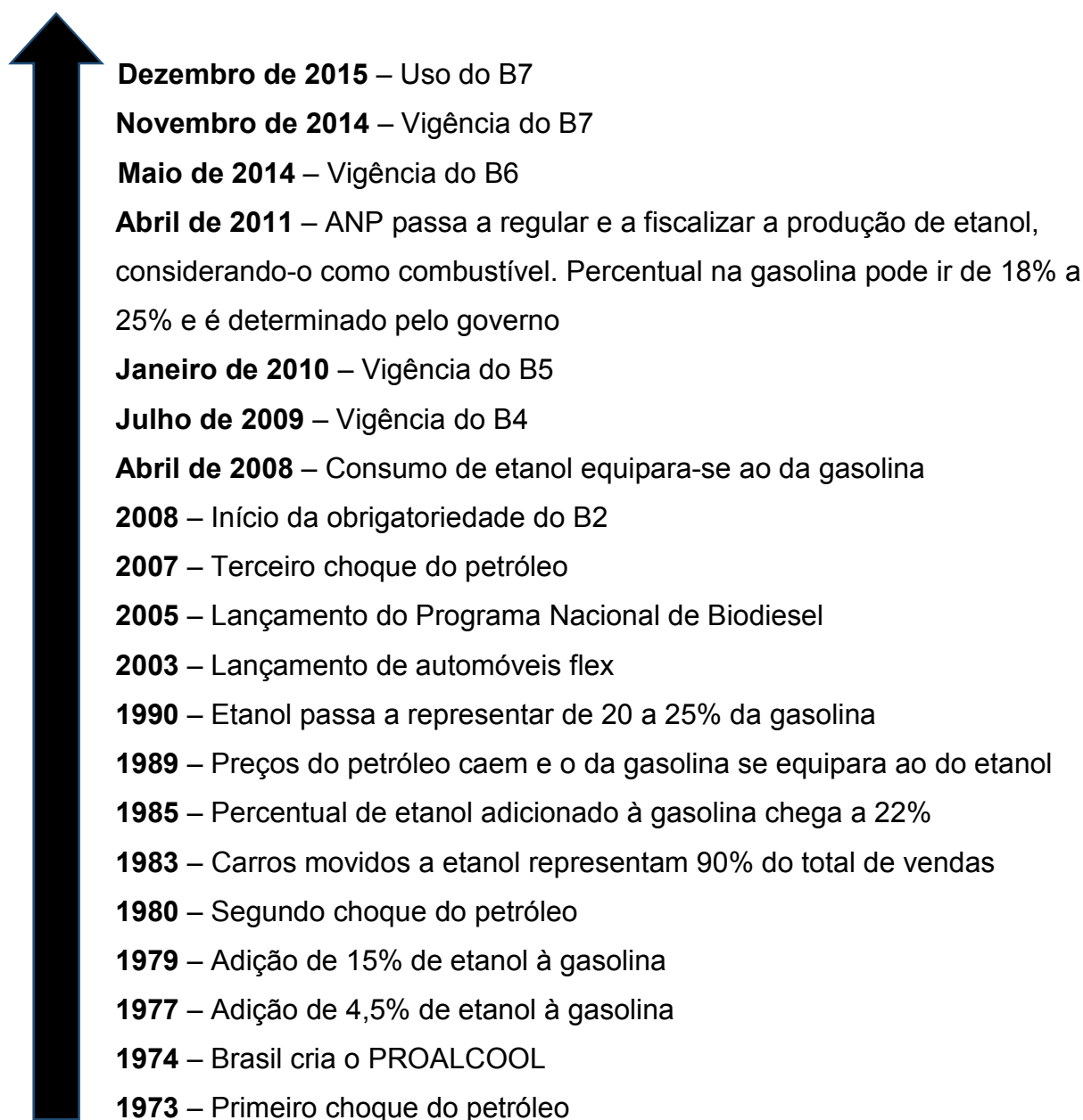


Figura 2. Evolução dos biocombustíveis no Brasil (ANP, 2015b)

O Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) é um programa interministerial do Governo Federal que objetiva, de forma sustentável, técnica e economicamente viável, a implantação, produção e uso do biodiesel, com enfoque na inclusão social e no desenvolvimento regional, via geração de emprego e renda (GARCEZ; VIANNA, 2009). A produção e o uso do biodiesel no Brasil propiciam o desenvolvimento de fonte energética sustentável, que além da diminuição da dependência do diesel importado, o biodiesel traz outros efeitos indiretos na produção e no uso, como incremento a economias locais e regionais, tanto na etapa agrícola como na indústria de bens e serviços (ANP, 2015b).

Conforme ANP (2015a), as matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel são apresentadas na Figura 3.

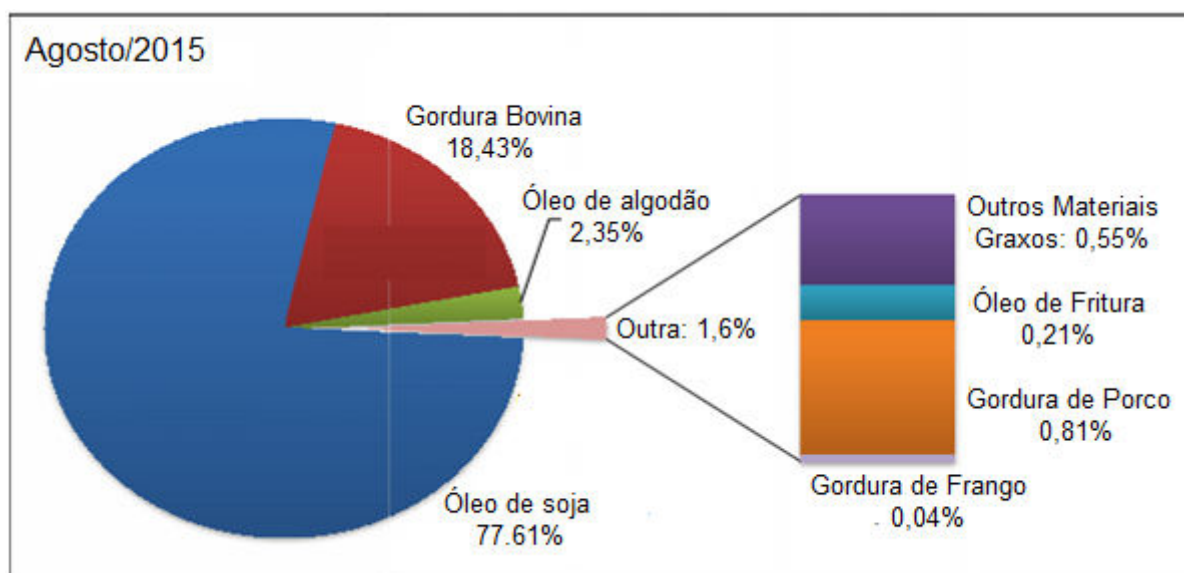


Figura 3. Matérias-primas usadas na produção de biodiesel no Brasil (ANP, 2015a)

2 Biodiesel

A literatura disponível revela que, antes mesmo do diesel de petróleo, os óleos vegetais foram testados e utilizados como combustíveis nos motores do ciclo diesel. Por razões tanto econômicas quanto técnicas, estes deram lugar ao diesel de petróleo

(RINALDI et al., 2007). O baixo preço e a oferta dos derivados de petróleo, na época, influenciaram decisivamente na escolha pelo diesel mineral.

O primeiro registro da utilização de óleos vegetais como combustível em motores de combustão interna, com ignição por compressão, foi no século XIX, na Feira Mundial de Paris, na França, quando o próprio criador do motor, Rudolf Diesel, utilizou óleo de amendoim para demonstração. Já no início do século 20, Diesel fez a seguinte afirmação: “O motor a diesel pode ser alimentado por óleos vegetais e ajudará no desenvolvimento agrário dos países que vierem a utilizá-lo. O uso de óleos vegetais como combustível pode parecer insignificante, mas com o tempo, irão tornar-se tão importantes quanto o petróleo e o carvão” (SANTOS, 2007).

Uma das vantagens relevantes do biodiesel é a dispensa de adequações nos motores de ciclo diesel, diferentemente dos outros combustíveis limpos, como o gás natural ou o biogás, que necessitam de adaptação dos motores, sendo o biodiesel apropriado para atender à frota movida a óleo diesel (D'AGOSTO, 2004).

O biodiesel é caracterizado como combustível oxigenado que consiste em ácido graxo de cadeia longa, que contém 10-15% de oxigênio, sendo derivado de biomassa renovável, gordura animal e óleo residual para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão (motores de caminhões, tratores, camionetas, automóveis, motores estacionários - geradores de eletricidade ou calor), que pode substituir, parcial ou totalmente, o óleo diesel derivado de petróleo (MME, 2011; CAN, 2014; SORATE; BHALE, 2015).

O biodiesel pode ser usado na forma 100% (B100) ou em misturas ao diesel de petróleo. No caso de misturas, a concentração de biodiesel é informada por meio de nomenclatura específica, definida como BX, onde X se refere à concentração de 2%, 5% e 20% de biodiesel adicionado ao diesel, e o B (Blend) é a abreviação da palavra “mistura” na língua inglesa. De modo geral, B100 corresponde ao uso de biodiesel puro, e considera-se mistura de B20 a B30, sendo B5 aditivo e B2 aditivo de lubricidade (VIANNA et al., 2011).

Para a produção e a obtenção de biodiesel, existem várias possíveis fontes de matéria-prima que podem contribuir com quantidades de óleo. Dentre elas, estão sementes vegetais e óleos vegetais, bem como gorduras de origem animal, que abrangem uma gama de combustíveis alternativos (MOSER, 2009; BUNCE et al.,

2010; LIM; TEONG, 2010). Dessa forma, podem constituir matéria-prima para a produção de biodiesel, os óleos das seguintes espécies vegetais: amendoim, milho, soja, polpa do dendê, amêndoa do coco-de-dendê, amêndoa do coco-da-praia, caroço de algodão, amêndoa do coco-de-babaçu, semente de girassol, baga de mamona, semente de colza, semente de maracujá, semente de pinhão-manso, polpa de abacate, semente de linhaça, entre muitos outros vegetais em forma de sementes, amêndoas ou polpas (TAPANES et al., 2013).

Ressalta-se que são utilizados diferentes processos na fabricação de biodiesel, tais como o craqueamento, a esterificação ou a transesterificação, porém a transesterificação é o processo mais utilizado. Na reação de transesterificação, a gordura (triglicerídeo) reage com um álcool simples (etanol ou metanol) em cadeia curta, estimulado por catalisador, dando origem ao produto na forma de ésteres (biodiesel) e glicerol, o qual é utilizado na indústria química (SHAH; SHARMA; MOSER, 2010; BORGES et al., 2014; GOG et al., 2012).

O processo de produção é o mesmo, independentemente da origem, pois a reação é genericamente constituída por uma molécula de glicerol ligada covalentemente a três moléculas de um mesmo ácido graxo ou a uma molécula de três distintos ácidos graxos (R1, R2 e R3) (SUAREZ; MENEGETTI, 2007). A Figura 4 apresenta a reação de alcoólise ou transesterificação de biodiesel.

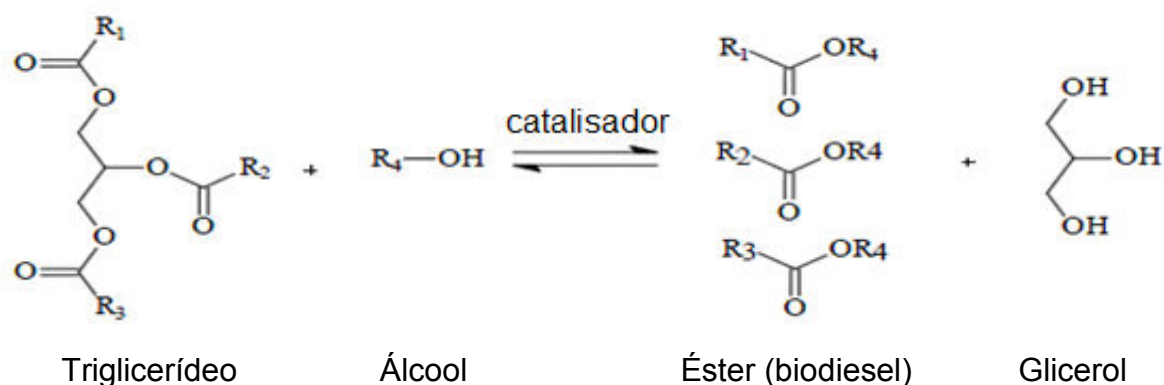


Figura 4. Reação de alcoólise (transesterificação) de um triglicerídeo com alcoóis, resultando na formação de ésteres ou biodiesel e glicerina como produtos (LEE et al., 2014)

A reação de transesterificação leva à redução da viscosidade, da densidade e do ponto de fulgor do combustível. A transesterificação pode ser catalisada tanto por ácidos como por bases; no entanto, a reação catalisada por bases (utilizando hidróxido ou alcóxido de sódio ou potássio) apresenta a vantagem de poder ser realizada à temperatura ambiente e, ainda assim, ser mais rápida que a transesterificação catalisada por ácidos, a qual necessita ser realizada em temperaturas elevadas (170 °C). Vale ressaltar que esta reação é uma forma barata para a obtenção do biodiesel (ALBURQUEQUE et al., 2009; LEUNG; WU; LEUNG, 2010; SHU et al., 2010).

O biodiesel possui ponto de fulgor bem maior que o do diesel: por volta de 150 °C para o biodiesel e variando de 52 a 66° C para o diesel (SZULCZYK; McCARL, 2010). O ponto de fulgor é a temperatura na qual um líquido se torna inflamável na presença de uma faísca ou chama, o que faz do biodiesel um combustível mais seguro que o diesel (PARENTE, 2006).

O biodiesel é um exemplo, já em aplicação, do emprego da biomassa para produção de energia. Segundo Lotero et al. (2005), este apresenta vantagens sobre o diesel de petróleo, pois não é tóxico e é proveniente de fontes renováveis, além da melhor qualidade das emissões durante o processo de combustão (CORRÊA; ARBILLA; ATMOS, 2006). Embora o biodiesel forneça uma quantidade de energia cerca de 10% menor que o diesel de petróleo, seu desempenho no motor é praticamente o mesmo no que diz respeito à potência e ao torque (LOTERO et al., 2005).

3 Características do biodiesel

O biodiesel apresenta diversas características vantajosas quando comparado ao diesel. Do ponto de vista ambiental, é livre de compostos de enxofre e aromáticos, tem menor contribuição no efeito estufa, é biodegradável e obtido a partir de fontes renováveis. Com relação aos aspectos econômicos, pode diminuir a dependência dos países importadores de petróleo daqueles que o produzem e estimular a produção agrícola e o desenvolvimento rural (OLIVEIRA et al., 2013).

Algumas propriedades físicas dos óleos vegetais *in natura* limitam e inviabilizam seu uso direto como combustível. Alta viscosidade, baixa volatilidade e caráter poli-insaturado (baixo índice de cetano) prejudicam o funcionamento do motor, provocando combustão incompleta (FERRARI; OLIVEIRA; SCABIO, 2005). O biodiesel, para ser utilizado e comercializado no Brasil, precisa atender a normas e especificações consideradas na resolução ANP n. 45, de 25 de agosto de 2014. Quando enquadrado nesses limites (número de cetano, ponto de fluidez, poder calorífico, viscosidade, densidade e lubricidade), o biodiesel poderá ser usado na maioria dos motores modernos, sem modificação, assim, manterá a durabilidade e a confiabilidade do motor (ANP, 2014b).

O biodiesel possui algumas características que representam vantagem sobre os combustíveis derivados do petróleo, tais como, virtualmente livre de enxofre e de compostos aromáticos; alto número de cetano; teor médio de oxigênio; maior ponto de fulgor; menor emissão de partículas, CO e CO₂; caráter não tóxico e biodegradável, além de ser proveniente de fontes renováveis (PETERSON et al., 2012).

No que diz respeito ao desempenho, o biodiesel apresenta maiores ponto de fulgor, número de cetano e poder lubrificante. Por fim, pode ser usado em motores com ignição por compressão sem que haja a necessidade de modificações mecânicas. Evidentemente, há algumas desvantagens. O poder calorífico, isto é, a quantidade de energia gerada na queima, por unidade de massa do combustível, é menor do que no diesel. Além disso, degrada-se por oxidação com facilidade e tem a tendência de formar cristais a baixas temperaturas (OLIVEIRA et al., 2013).

4 Número de cetano

O número de cetano é um dos mais comuns indicadores da qualidade do óleo diesel, especialmente da velocidade de ignição do combustível/bicombustível, que corresponde ao período entre o início da injeção de combustível e o início da combustão. A combustão de boa qualidade ocorre com ignição rápida, seguida de combustão suave e completa do combustível. O número adequado de cetano no combustível favorece o bom funcionamento do motor (ALVES, 2008). Assim, quanto

maior for a quantidade de cetano do combustível, melhor será a facilidade da combustão em motor diesel, pois de acordo com Wadumesthrige et al. (2008), esta quantidade apresenta relação inversa ao retardo da ignição.

A qualidade da ignição é determinada pela estrutura dos ésteres dos ácidos graxos metílicos, componentes do biodiesel, e o número de cetano depende da distribuição dos ácidos graxos no óleo ou da gordura original da qual o biodiesel foi produzido. Quanto maiores e mais saturadas as moléculas das cadeias de carbono do ácido graxo, maior o número de cetano, ou seja, o número de cetano decresce com o aumento da insaturação e eleva-se com o aumento do comprimento da cadeia (BAMGBOYE; HANSEN, 2008).

O número de cetano representa o percentual volumétrico de cetano e alfa metilnaftaleno presentes no óleo combustível. Essa variável qualifica a combustão dos combustíveis empregados em motores a ciclo diesel e relaciona-se diretamente com a 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 (LIMA, 2012).

Valores de NC muito altos ou muito baixos podem causar problemas operacionais no motor. Caso o NC seja muito alto, a combustão pode ocorrer antes de o combustível e ar estarem adequadamente misturados, resultando em combustão incompleta e na emissão de fumaça. Se o NC for muito baixo, podem ocorrer falhas no funcionamento do motor, como trepidação, aumento excessivo da temperatura do ar, aquecimento inicial lento do motor e, também, fenômenos de combustão incompleta. Nos Estados Unidos, a maioria dos fabricantes de motores recomenda a faixa de NC entre 40 e 50 para os motores (KNOTHE, 2008).

O biodiesel, dependendo de seu material de origem, também tem maior índice de cetano que o diesel. O índice de cetano do biodiesel varia de 48 a 61, enquanto do diesel mineral varia entre 40 e 50 (SZULCZYK; McCARL, 2010). Segundo Szulczyk e McCarl (2010), um biodiesel produzido a partir de óleos/gorduras saturados, como sebo animal, apresenta maior índice de cetano que um derivado de óleos insaturados, como o de soja.

O valor médio do número de cetano pode variar conforme a matéria-prima utilizada na produção do biodiesel, maiores números de cetanos são encontrados

quando a matéria-prima provém de palmeiras, e menores, quando se utiliza óleo de soja, de mamona, óleo de girassol e óleo de semente de uvas (RAMOS, 2009). Em estudo, Peres et al. (2007), avaliando o número de cetano para diversos tipos de biodiesel, observaram valores de 52,15 (soja), 46,50 (mamona), 55,15 (pinhão-manso), 58,70 (óleo de frango) e 69,00 (sebo bovino).

5 Poder calorífico

O poder calorífico determina a quantidade de energia que está disponível no combustível e que é liberada na câmara de combustão, mediante reação química. Quanto maior o poder calorífico, maior é a energia do combustível. O poder calorífico divide-se em poder calorífico inferior (PCI) e poder calorífico superior (PCS). Tanto o PCS quanto o PCI são obtidos mediante calorimetria (PERES et al., 2007).

O poder calorífico é calculado a partir da quantidade de calor extraída durante a combustão, considerando as temperaturas dos reagentes iguais às temperaturas dos produtos da combustão. Como um dos constituintes dos gases de escape é a água, ela poderá aparecer sob a forma de vapor ou no estado líquido. A quantidade de energia referente ao calor latente de vaporização dessa água dá-nos a diferença entre o poder calorífico inferior – PCI (vapor) e o superior – PCS (água condensada). A diferença em valores entre os dois resume-se na quantidade de calor necessária para evaporar a água contida nos gases de exaustão, e é maior quando se tem aumento na percentagem de hidrogênio no combustível, sendo máxima para o hidrogênio e nula para o carbono (NEVES, 2012).

Comparando o poder calorífico do diesel mineral com o do biodiesel, quanto menor for o poder calorífico do combustível, maior será o consumo para liberar a mesma energia. Esses cálculos são importantes para determinar o consumo previsto do biodiesel (PERES et al., 2007).

Ressalta-se que o poder calorífico do biodiesel é, em média, 90% do poder calorífico do diesel. A Tabela 1 apresenta os valores de poder calorífico de diversas fontes de combustíveis.

Tabela 1. Valores de poder calorífico para tipos de combustíveis.

Origem de Combustíveis	Poder Calorífico		Fonte
	(MJ/kg)	(kcal/kg)	
Diesel	43	10.100	Souza et al. (2009)
Farelo de Arroz	40,03	9.402	Lin et al. (2009)
Dendê	39,9	9.372	Costa Neto et al. (2000)
Amendoim	39,8	9.348	Sanford et al. (2009)
Canola	39,7	9.325	Sanford et al. (2009)
Pinhão-Manso	39,7- 41,7	9325 - 9.895	Patil e Deng (2009)
Soja	39,6	9.301	Sanford et al. (2009)
Girassol	39,6	9.301	Sanford et al. (2009)
Babaçu	39,5	9.278	Costa Neto et al. (2000)
Milho	39,5	9.278	Sanford et al. (2009)

Moreti (2015)

6 Viscosidade

Viscosidade cinemática é a medida de resistência interna ao escoamento de um líquido ou fluido, sendo responsável pela resistência à deformação. Ela interfere contrariamente no escoamento e na capacidade lubrificante do combustível. Combustíveis com alta viscosidade tendem a formar grandes gotas na injeção, o que pode causar má combustão e aumento da fumaça, e emissões do escapamento. Entretanto, combustíveis com baixa viscosidade podem não fornecer lubrificação suficiente, o que provoca aumento do desgaste no motor (CASTRO, 2011), bem como é característica inerente ao combustível utilizado, com consequências diretas na bomba injetora. Dessa forma, os combustíveis devem possuir valores apropriados para funcionar nos motores disponíveis. A razão entre viscosidade e massa específica é denominada coeficiente de viscosidade cinemática (KNOTHE, 2005a).

Conforme Machado (2008), o biodiesel possui, em geral, independentemente da fonte, viscosidade superior ao diesel. Viscosidade excessiva promove pressão demasiada no sistema de injeção, compromete a pulverização do óleo no interior da câmara de combustão, prejudicando a combustão, aumenta a emissão de poluentes e reduz a vida útil do motor. Viscosidade acima da especificação pode comprometer a atomização do jato de combustível no momento da injeção e, em razão disso, afetar

a combustão e reduzir a potência do motor. Outro problema causado pela baixa viscosidade é o possível desgaste acelerado do sistema de alimentação (bicos e bomba injetora).

Por apresentar maior viscosidade, o biodiesel proporciona maior lubricidade que o diesel mineral; logo, tem-se observado redução no desgaste das partes móveis do motor (bomba injetora, pistão, válvulas, etc.). Por outro lado, o biodiesel possui estruturas moleculares mais simples que seu precursor, os triglicerídeos, sendo, sua viscosidade comparativamente menor, apresentando maior eficiência de queima e reduzindo significativamente a deposição de resíduos nas partes internas do motor (LEUNG; KOO; GUO, 2006).

No entanto, embora favorável energeticamente, os óleos vegetais têm alta viscosidade e baixa volatilidade, características que dificultam o bom funcionamento dos motores, podendo excedê-lo em até 100 vezes, como é o caso do óleo de mamona (GALVÃO et al., 2012). Para que o biodiesel seja utilizado, espera-se que a viscosidade seja semelhante à do diesel de petróleo (KNOTHE, 2005b).

A viscosidade deve acompanhar os valores padronizados para o diesel fóssil, que pode variar entre 3,0 e 6,0 mm².s⁻¹, para biodiesel (B100), conforme determinado na Resolução ANP n. 45, de 25 de agosto de 2014 (ANP, 2014a).

Conforme observado por Brock et al. (2008), a viscosidade dinâmica do óleo de canola apresentava queda à medida que se aumentava a temperatura, com o óleo apresentando valores de 73,1 e 14,9 mPA.s⁻¹ quando estava com temperatura de 20 e 70 °C, respectivamente. Além da temperatura, outro fator que pode interferir na viscosidade é a porcentagem de catalisador utilizada, conforme observado por Rinaldi et al. (2007) que, trabalhando com hidróxido de potássio (KOH) como catalisador, observaram que biodiesel preparado com diferentes quantidades de catalisador apresentou viscosidades ligeiramente diferentes, devido a distintos teores de sabão, mono e diglicerídeos presentes no produto final.

7 Densidade

A densidade constitui indicativo de como a matéria está organizada num corpo, ou seja, pode ser representada pela quantidade de massa por unidade de volume do combustível injetado no motor. Como a bomba injetora alimenta o motor com volumes constantes para cada condição de operação, variando-se a densidade, varia-se a massa de combustível injetado. Os materiais com estrutura molecular mais compacta apresentam maiores densidades (ZUNIGA et al., 2011). Explicam Van Gerpen e 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.

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.

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.

8 Lubricidade

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

De acordo com Farias et al. (2010), a lubricidade é de fundamental importância para o poder de lubrificação de uma substância, sendo uma função de várias de suas propriedades físicas, destacando-se principalmente a viscosidade e a tensão

superficial. Possidônio (2008) destaca também que, diferentemente dos motores movidos à gasolina, os motores do ciclo diesel exigem que seu combustível tenha propriedades de lubrificação, especialmente em razão do funcionamento da bomba injetora, ou seja, em escoamento, possa lubrificar suas peças em movimento relativo.

A redução da concentração de enxofre no óleo diesel acarreta problemas de lubrificação nas partes moveis das bombas injetoras. Por apresentar maior viscosidade, o biodiesel proporciona maior lubricidade que o diesel e tem-se observado redução no desgaste das partes móveis do motor, apresentando maior eficiência de queima e redução significativa da deposição de resíduos nas partes internas do motor (LÔBO; FERREIRA; CRUZ, 2009).

Dentre as muitas características que tornam a adição do biodiesel ao diesel mineral atraente para muitos países, podemos destacar sua lubricidade (que elimina a necessidade de enxofre no diesel - componente tóxico), sua maior degradabilidade (minimiza os impactos ambientais no caso de derramamentos acidentais), o fato de ser renovável (mais favorável para o ambiente por sua menor contribuição para o efeito estufa) e sua equivalência quase completa em termos combustíveis em relação ao diesel, ou seja, substitui-se um combustível fóssil (finito) por outro renovável, o que significa uma vantagem energética estratégica (PIMENTA JÚNIOR, 2013).

Embora o biodiesel apresente uma quantidade de energia cerca de 10% menor que o diesel fóssil, seu desempenho no motor é praticamente o mesmo no que diz respeito à potência e ao torque (AGARWAL; KUMAR; AGARWAL, 2008).

9 Óleo Diesel

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

petróleo desenvolveu um tipo de óleo que denominou de “óleo diesel”, em homenagem ao inventor (SOUZA, 2008).

O óleo diesel é moderadamente volátil, inflamável, límpido, medianamente tóxico, isento de material em suspensão, com odor característico, derivado do processo de destilação fracionada do petróleo. À pressão atmosférica, o ponto de ebulição varia de 180 a 380 °C e as cadeias de hidrocarbonetos variam de 6 a 30 carbonos, podendo conter algumas moléculas denominadas contaminantes, como: enxofre, nitrogênio, oxigênio e alguns íons metálicos (PETROBRAS, 2013).

Estes hidrocarbonetos são formados por moléculas constituídas de 8 a 40 átomos de carbono, normalmente sendo mais pesados do que aqueles que compõem a gasolina. Os elementos presentes na composição são: carbono (86,3%), hidrogênio (12,8%) e enxofre (0,9%) (SOUZA, 2005).

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

O diesel deve atender a especificações para comercialização no País, sendo a ANP o órgão regulador responsável. Estas especificações são atualizadas de acordo com a necessidade de abastecimento, atualização de normas, atendimento a requisitos ambientais, entre outros. No âmbito nacional, de acordo com a Resolução ANP n. 50/2013 (ANP, 2013), os dois tipos de óleos diesel rodoviários comercializados no Brasil são classificados da seguinte forma:

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

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

- a) **Óleo diesel A S10 e B S10**: contendo no máximo 10 mg kg⁻¹ de enxofre;
- b) **Óleo diesel A S50 e B S50**: contendo no máximo 50 mg kg⁻¹ de enxofre;
- c) **Óleo diesel A S500 e B S500**: contendo no máximo 500 mg kg⁻¹ de enxofre;

d) **Óleo diesel A S1800 e B S1800**: contendo no máximo 1.800 mg kg^{-1} de enxofre.

A substituição do diesel B S1800 pelo B S500 foi iniciada em 2012, e de acordo com a referida Resolução da ANP, a partir de 1º de janeiro de 2014, o óleo diesel B S1800 deixou de ser comercializado como óleo diesel de uso rodoviário e foi substituído integralmente pelo óleo diesel B S500. Em relação ao diesel com menores concentrações de enxofre, o período de adaptação para o B S50 ocorreu em 2012 e foi substituído totalmente pelo diesel B S10 em janeiro de 2013, que passou a ser oferecido no Brasil, tanto para centros urbanos quanto para uso rodoviário (BRASIL, 2012).

Além do baixo teor de enxofre, o diesel B S10 apresenta uma faixa de densidade mais controlada ($0,82$ a $0,85 \text{ g}\cdot\text{cm}^3$), maior número de cetano (NC mínimo de 46) e curva de destilação com T90% evaporados de 360° C no máximo. Como vantagens para o veículo, podem ser observadas melhor partida a frio, diminuição da formação de depósitos no motor e redução na incidência de contaminantes no lubrificante. Para o meio ambiente, há uma redução nas emissões de enxofre (até 90%) e de material particulado (SILVEIRA, 2013).

O diesel B S10 foi motivado pela implementação de limites cada vez mais restritivos para as emissões de poluentes dos veículos em circulação, sendo introduzido e regulamentado no mercado nacional por meio do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE, e da resolução da ANP n. 65, de 09 de novembro de 2012 (MMA, 2015).

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

De acordo com dados preliminares da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME) (EPE, 2015), o Balanço Energético Nacional (BEN) 2015, ano base 2014, indica que, para a repartição da oferta interna de energia, o petróleo e seus derivados lideram a lista, sendo o óleo diesel o principal produto consumido para fins de transporte. A estrutura da repartição da oferta interna

e o consumo para fins de transporte no Brasil são mostrados nas Figuras 5 e 6, respectivamente.

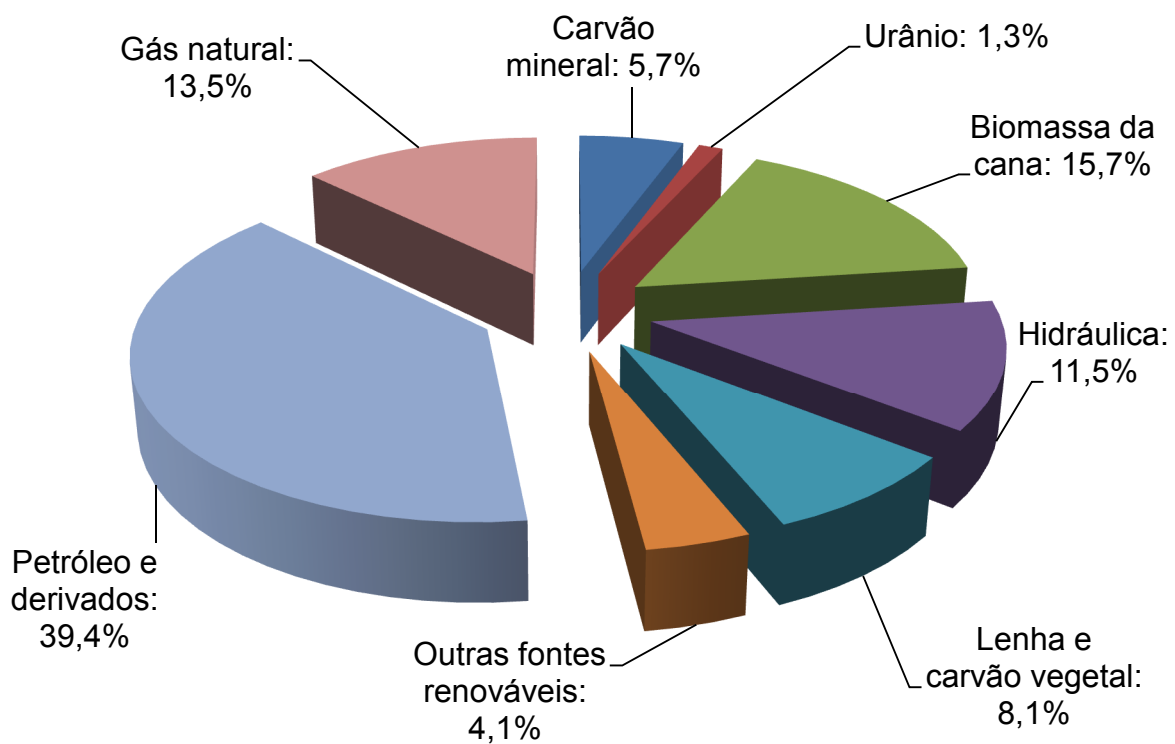


Figura 5. Repartição da oferta interna de energia (EPE, 2015)

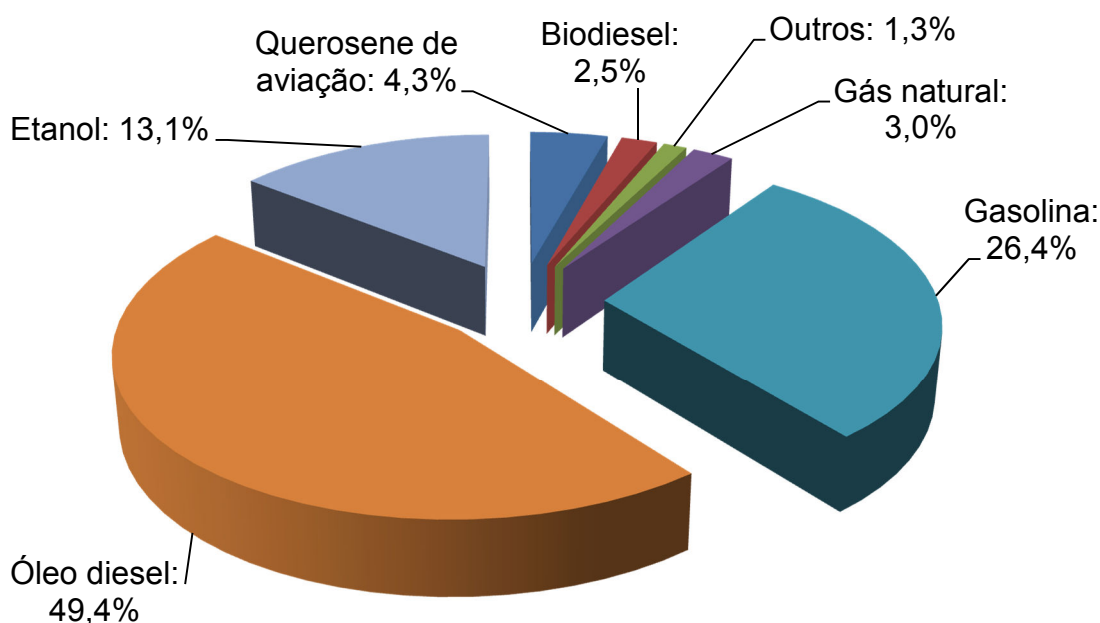


Figura 6. Consumo para fins de transporte (EPE, 2015)

10 Motor diesel

Rudolf Diesel desenvolveu o motor de ignição por compressão que leva seu nome: um motor de combustão interna, de pistão, alternativo, com formação da mistura dentro da câmara do cilindro e autoignição (BOSCH, 2005). No motor de ciclo diesel, a combustão faz-se pelo aumento da temperatura provocado pela compressão de ar. Na maioria das aplicações, os motores diesel funcionam a quatro tempos. Para o funcionamento do motor diesel, o ar é aspirado para o interior do cilindro e, então, é comprimido pelo pistão até atingir aproximadamente 500 °C. Na sequência, o combustível é injetado para dentro da câmara de combustão, misturando-se com o ar aquecido e entrando em autoignição (PETROBRAS DISTRIBUIDORA, 2012).

O princípio de ignição por compressão, característica principal dos motores de ciclo diesel, ao invés de invocar a passagem de uma faísca num ponto pre-determinado no final do processo de compressão, para inflamar uma pré-mistura inteiramente gasosa de ar combustível em proporções estequiométricas, como se

reflete no motor de ignição comandada, o motor de ignição por compressão aspira ar puro que, submetido a elevada pressão atingida no final da compressão, atinge uma temperatura suficiente para garantir a inflamação do combustível (gasóleo) à medida que é injetado no seio do ar (CHALEN; BARANESCU, 1999). Como o ar se encontra a elevada pressão, é necessário que o combustível seja introduzido a uma pressão ainda superior, para o qual é indispensável o uso de um sistema de injeção a alta pressão (MARTINS, 2006).

Os motores diesel são amplamente utilizados na agricultura, transporte e indústria, devido à elevada eficiência de combustão, confiabilidade, adaptabilidade e custo-efetividade; porém, o aumento crescente da frota veicular tem resultado em aumento significativo das emissões de dióxido de carbono (CO_2). Visto a reduzir a emissão deste e atender aos regulamentos para material particulado (MP) e emissões de NO_x dos motores diesel, é contemplado o uso de fonte de combustíveis renováveis por emitirem CO_2 em quantidades menores, em contraste com o petrodiesel (DAWODY; BHATTI, 2014; LABECKAS; SLAVINSKAS; MAZEIKA, 2014; RASHEDUL et al., 2014).

A utilização de motores diesel na agricultura como fonte de potência é indiscutível, devido à robustez, à confiabilidade, a maiores desempenhos e vida útil, apresentando menor consumo e rendimento superior quando comparados aos motores ciclo Otto. O ciclo diesel realiza-se em dois ou quatro tempos, da mesma maneira que o ciclo Otto; entretanto, os motores dos tratores nacionais e os pequenos motores diesel estacionários, de uso largamente difundido no meio rural, em sua quase totalidade, são de quatro tempos (MIALHE, 1980).

Para Reis et al. (1999), o motor diesel encontra-se estabelecido como fonte de potência para tratores e colhedoras, sendo este a fonte de potência-padrão para tratores agrícolas por longo período. De maneira geral, os motores diesel utilizados em tratores e colhedoras têm como características predominantes o uso do ciclo de 4 tempos, com alimentação de ar natural (aspirado), injeção direta de combustível, três, quatro ou seis cilindros dispostos em linha e com arrefecimento líquido.

Das emissões veiculares, cerca de 70% de monóxido de carbono, 50% de óxido nítrico e 42% dos VOCs (sigla na língua inglesa de “compostos orgânicos voláteis”) são provenientes de motores de combustão interna. Para reduzir a contaminação do

ambiente e enquadram-se nas novas regras de emissão de poluentes, as indústrias de motores investem em modificações estruturais nos motores e na adição de novos componentes que acarretem melhoria do desempenho, reduza o consumo de combustível e a emissão de contaminantes. A adição de sobrealimentadores (*turbocharger*, *turbo*) e permutadores de calor (*intercooler*) tem-se mostrado método eficaz para resolver estes problemas (CANLI, 2010).

Ao fornecer mais oxigênio, por meio da turbina sobrealimentadora, os motores lançam menor carga de contaminantes no ar, reduzem o consumo específico de combustível e os pistões trabalham com velocidade reduzida, com potência satisfatória, resultando em melhor eficiência mecânica (DARICI; CANLI; OZGOREN, 2010). Nos motores turbinados, especialmente em maiores rotações e com maior carga, o *turbo* tende a elevar a temperatura do ar admitido; conseqüentemente, a quantidade de ar introduzida na câmara de combustão diminui. Para o ganho de potência no motor e melhor desempenho, utiliza-se do *intercooler* (UZUN, 2010).

É comum em motores diesel com turbocompressor, a existência de um órgão (radiador ou permutador de calor) destinado a arrefecer o ar comprimido pelo compressor. Este órgão tem o nome de intercooler. O intercooler é um radiador por onde o ar quente vindo do compressor passa em tubos, que são arrefecidos por uma corrente de ar que atravessa perpendicularmente ao radiador. A corrente de ar é forçada por um ventilador comum ao sistema de arrefecimento do motor.

A Figura 7 ilustra a posição do sistema intercooler em trator.

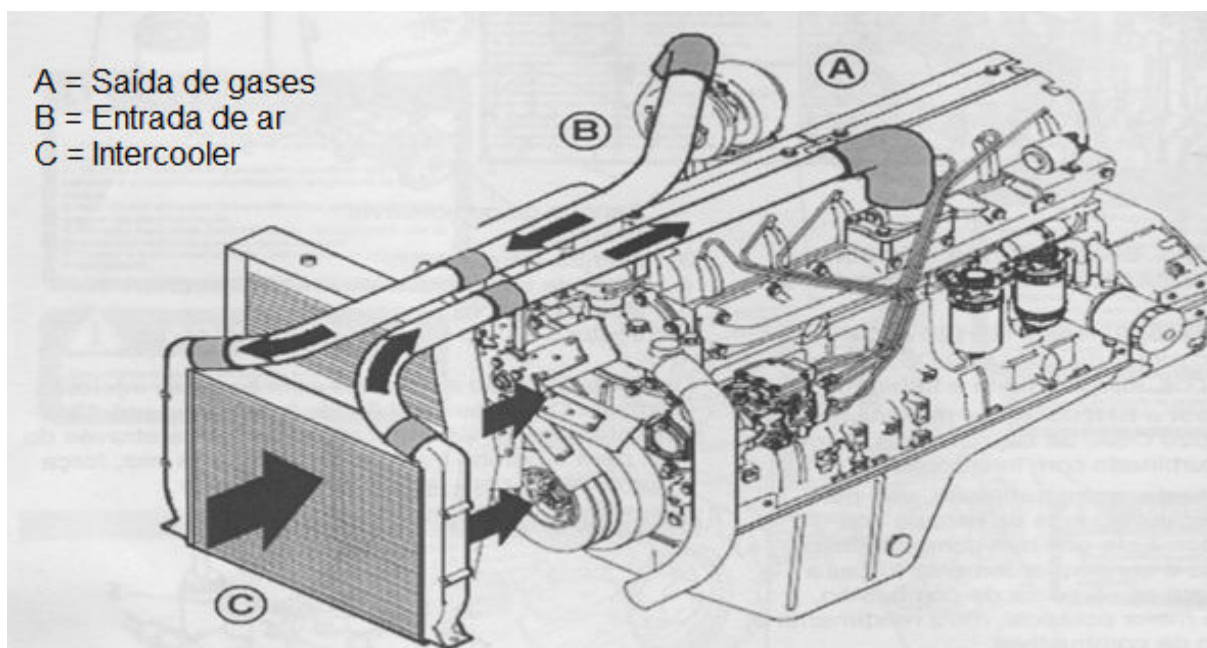


Figura 7. Sistema intercooler no trator BM 125i (VALTRA, 2012)

11 Emissão de gases e fuligem

Desde a descoberta do petróleo, no século XVIII, ele vem sendo considerado como a principal matéria-prima energética e industrial do planeta. Sua utilização abrange uma grande rede de produtos derivados, desde combustíveis de aviões até polímeros utilizados para produzir embalagens. Por possuir essa grande área de utilização, o petróleo gera uma movimentação intensa no mercado mundial devido ao fato de ele ser um produto bastante lucrativo, cobiçado por vários países e principalmente responsável pelo desenvolvimento dessas nações, como, por exemplo, o Brasil (SOUZA, 2005).

Os produtos derivados do petróleo são classificados como grandes poluidores do meio ambiente, desde sua extração até o consumo de seus produtos. Esse fato não tinha muita importância para as indústrias antigamente, porque ninguém tinha conhecimento sobre as mudanças climáticas que poderiam ocorrer devido à poluição, mas depois que essas mudanças começaram a aparecer, um sinal de alerta foi acionado pelos pesquisadores e cientistas, alertando sobre o perigo dessas mudanças para as gerações futuras (CARVALHO; RIBEIRO, 2012). Segundo

Carvalho (2012), a poluição atmosférica é apontada como uma das principais causas de morte nas grandes cidades, e são altos os gastos do sistema de saúde devido aos problemas causados por ela.

Uma causa considerável, das emissões em motores de combustão, é a combustão incompleta. Vários fatores contribuem para isso, como: pouco ar na câmara de combustão, excesso de combustível, má-formação da mistura ar/combustível, baixa octanagem, no caso da gasolina, e baixo índice de cetano, no caso do diesel. As emissões de combustão também podem ser afetadas por erros de projetos da câmara de combustão, pelo ângulo de injeção mal dimensionado, pela baixa atomização do combustível, entre outras (FERNANDES, 2011).

As preocupações ambientais sobre as emissões associadas à combustão de petróleo representa desafio para os países que estão enfrentando a rápida motorização e têm de importar grande parte de seus suprimentos de combustível para transporte. Como resultado, as tendências futuras na demanda de transporte serão influenciadas por políticas governamentais direcionadas à redução das emissões e à promoção de combustíveis alternativos (IEO, 2011).

A deterioração da qualidade do ar, especialmente nos centros urbanos, tem despertado a atenção de cientistas de modo a propor soluções e medidas mitigadoras para os impactos causados à atmosfera. No âmbito nacional, pesquisas abrangendo o desenvolvimento dos biocombustíveis como fonte energética vêm ganhando proporções cada vez maiores nos últimos anos. A grande maioria dessas pesquisas, entretanto, restringe-se apenas à investigação dos biocombustíveis como prováveis substitutos da gasolina e do diesel em termos de produção e equivalência energética (SCHIRMER; GAUER, 2012).

Os biocombustíveis, de modo geral, representam um atrativo sob o ponto de vista do aquecimento global. De forma simplificada, o ciclo de carbono dos vegetais consiste na fixação do carbono (CO_2) e na liberação de oxigênio pelas plantas, por meio do processo de fotossíntese. Durante o processo de combustão, o oxigênio e o carbono combinam-se para gerar novamente CO_2 . É apropriado mencionar que o CO_2 liberado pela combustão do diesel foi fixado a partir da atmosfera há milhões de anos. No entanto, o CO_2 liberado na combustão do biodiesel tem fixação contínua pelas plantas e pode ser reciclado na próxima colheita. Assim, o tempo do ciclo de carbono

para a fixação do CO₂ e sua liberação a partir da combustão do biodiesel é muito menor (poucos anos), comparativamente ao tempo do ciclo do diesel. Essa vantagem constitui-se, inclusive, como base para elaboração de projetos de mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) (SCHIRMER; GAUER, 2012).

O uso de biodiesel reduz a quantidade de poluentes emitidos à atmosfera, e sua queima contribui pouco para o aumento líquido do nível de CO₂ na atmosfera, uma vez que esse carbono foi capturado da atmosfera pela planta através da fotossíntese, podendo ser usado como forma de mitigar as emissões de gases de efeito estufa no setor de transportes, no setor agrícola e no de geração de energia elétrica. Pouco carbono pode ser emitido na queima caso o biodiesel tenha sido produzido com o uso de metanol na transesterificação (CARVALHO, 2012). Segundo Szulczyk e Mccarl (2010), o biodiesel, ainda, apresenta quantidade reduzida de enxofre, mercúrio, fósforo e compostos aromáticos, vários deles carcinogênicos.

Em relação às características energéticas e ambientais, o biodiesel apresenta um conteúdo mais alto de oxigênio e uma quantidade similar de hidrogênio em relação ao diesel e, por isso, seu poder calorífico inferior (PCI) é menor que o do diesel, apresentando diferença em torno de 10% (CARRARETTO et al., 2004).

De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN), o poder calorífico do biodiesel é 9.000 kcal/kg, enquanto o do diesel é de 10.100 kcal/kg. Alguns autores indicam maior consumo de biodiesel em relação ao diesel, ou da mistura biodiesel e diesel em relação ao diesel puro, para gerar a mesma quantidade de trabalho no motor, enquanto outros apontam que as diferenças não são significativas (EPE, 2011). Parente (2006) coloca que a combustão mais completa do biodiesel em relação ao diesel, explicada a seguir, pode tornar o consumo específico do biocombustível equivalente ao do combustível fóssil.

A maior quantidade de oxigênio permite uma queima mais completa do biodiesel quando comparado ao diesel, reduzindo a emissão de material particulado (MP), monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos (HC) (SHARMA; YNGARD; LIN, 2009). Entretanto, aumenta a emissão de óxidos nitrosos (NO_x) (SZULCZYK; MCCARL, 2010). Todos esses compostos comprometem a qualidade do ar e são prejudiciais à saúde: o CO diminui o suprimento de oxigênio às células do corpo, os MPs e os HCs podem causar irritações na pele, nos olhos, na garganta, além de

danificar os pulmões, e os NO_x podem reagir com os HCs na atmosfera, na presença de radiação solar e formar o ozônio (O₃) troposférico, que também acarreta os mesmos problemas de saúde citados acima (CHOI; NESIC; YOUNG, 2010).

Para verificar a intensidade de material particulado presente na fumaça, utiliza-se da opacidade da fumaça, que indica a impenetrabilidade da luz, sendo quanto mais escura for a fumaça, maiores serão a opacidade e a quantidade de material particulado. O opacímetro determina a opacidade da fumaça do gás expelido. Este aparelho coleta somente parte do fluxo de gás, através da sonda e do tubo de captação acoplados no cano de escape do veículo. Verificou-se que, utilizando-se de biodiesel de dendê, ocorreu redução de 48,73% na opacidade da fumaça quando comparado com o diesel (OLIVEIRA, 2012).

Neves (2012) avaliou a opacidade da fumaça do trator agrícola, e os resultados evidenciaram redução na opacidade da fumaça em 26,10% e 53,54 quando se trabalhou com biodiesel de soja e murumuru, respectivamente. A opacidade de B100 de murumuru foi 19,81% menor que B100 de soja.

Koike et al. (2010) avaliaram a emissão dos gases de combustão em motor de ignição por compressão e perceberam que, quando se injetou álcool no diesel, a opacidade da fumaça reduziu-se em 17,4% em virtude da maior eficiência da combustão, e para tratamento com biodiesel e biodiesel com injeção de etanol, a opacidade teve redução a ponto de as medidas serem menores do que o limite de sensibilidade do equipamento.

12 Desempenho operacional

Segundo Gamero e Lanças (1996), algumas variáveis que devem ser mensuradas para a avaliação do desempenho operacional de máquinas são: força de tração, consumo horário de combustível, consumo específico e velocidade de deslocamento. A mensuração da quantidade de combustível consumida é de extrema importância na avaliação do rendimento do motor, ou seja, do desempenho como máquina térmica conversora de energia. O consumo de combustível pode ser expresso de duas maneiras: em relação ao tempo (L.h⁻¹; kg.h⁻¹, etc.) e em relação ao

trabalho mecânico desenvolvido (consumo específico = g/cv.h^{-1} ; g/kW.h^{-1} , etc.) (MIALHE, 1996).

Salvador, Mion e Benez (2009), ao avaliarem a relação de consumo específico de combustível, concluíram que os menores valores de consumo específico de combustível significam a otimização do desempenho do motor, da eficiência trativa e da adequação do equipamento à fonte de potência. Smerda e Cupera (2010) afirmam que a redução na pressão de inflação e o uso do tipo adequado dos pneus podem melhorar as características de força de tração e, conseqüentemente, diminuir o consumo de combustível.

Com relação à aplicação dos combustíveis alternativos em motores diesel, deve-se pensar, entre outros aspectos, na manutenção do desempenho operacional. Para avaliação de desempenho, os motores de combustão interna devem ser submetidos a ensaios de plena carga, diretamente pelo volante do motor ou pela tomada de potência (TDP), no caso de tratores agrícolas (FIORESE et al., 2012). Estudos concluíram que não há perdas significativas no desempenho do motor quando operando com biodiesel ou misturas binárias, apresentando pouca redução na potência e no torque, e que a maior alteração é no consumo de combustível (VOLPATO et al., 2009), não havendo necessidade de mudanças no motor.

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).

Trabalhando com trator agrícola na operação de escarificação com biodiesel produzido a partir de óleo residual de fritura B100 (50% metílico e 50% etílico), Soranso (2008) observou que o combustível testado aumentou 15,5% o consumo horário volumétrico, 18,1% o consumo horário ponderal, 16% o consumo operacional (ha/h) e 18% o consumo específico de combustível em relação ao diesel (B0).

Lopes et al. (2009) avaliaram o consumo de biodiesel etílico de soja residual em trator, e os resultados evidenciaram que o uso de biodiesel até à proporção de

50% de mistura não alterou o consumo; entretanto, quando o trator funcionou com 100% de biodiesel, o consumo de combustível aumentou 11%, embora não tenha sido observada anomalia no funcionamento do motor.

Testes realizados por Volpato et al. (2009) mostraram a viabilidade de operação de um motor ciclo diesel com biocombustível (B100) de soja. O biodiesel de soja apresentou menor consumo específico e energético em relação ao diesel, sendo 14,66 % menor na rotação de trabalho.

Castellanelli et al. (2008) avaliaram o desempenho do motor de ignição por compressão da marca CUMMINS, modelo 4BTA 3.9, funcionando com diferentes misturas de biodiesel etílico de óleo de soja no diesel. As misturas B2, B5 e B10 resultaram em desempenho semelhante ao do diesel (B0). Confrontando B0 e biodiesel puro (B100), observou-se que o motor apresentou desempenho inferior nos quesitos potência, torque e consumo específico, quando os autores utilizaram 100% de biodiesel. A proporção B20 destacou-se, apresentando melhor desempenho que B0.

Barbosa et al. (2008), avaliando o desempenho de um motor alimentado com óleo diesel mineral e misturas deste com biodiesel nas proporções equivalentes a B2 (98% de diesel mineral e 2% de biodiesel), B5 (95% de diesel mineral e 5% de biodiesel), B20 (80% de diesel mineral e 20% de biodiesel) e B100 (100% de biodiesel), concluíram que a potência do motor aumentava, respectivamente, do B100 ao diesel mineral; entretanto, na ordem inversa, a eficiência térmica diminuía do diesel mineral para as misturas crescentes de biodiesel, sendo 4% menor para o B100. O consumo energético diminuía à medida que se aumentava a quantidade de biodiesel misturada ao diesel mineral.

13 Murumuru

Os estados do Norte do Brasil possuem grande diversidade de matéria-prima para a produção de biodiesel. Desde o início do século XX até durante a Segunda Guerra Mundial, o Brasil exportou cerca de 40 tipos diferentes de óleos vegetais extraídos de plantas nativas da Amazônia (GONZALEZ, 2008). O bioma amazônico

destaca-se pela enorme diversidade de espécies que são fontes de óleos vegetais. Explorar esta diversidade de oleaginosas nativas, para a produção de biodiesel, pode contribuir para o abastecimento de microunidades industriais, conferindo autossuficiência local na produção de combustíveis, além de fortalecer a economia local (FREITAS; PENTEADO, 2006).

A palmeira do murumuruzeiro está distribuída no Brasil, na região sul da Amazônia, principalmente no estuário do Rio Amazonas e afluentes, assim como no alto e baixo Amazonas, já tendo sido encontrada no Acre e Rondônia, até à fronteira com a Bolívia (Pando) e o Peru (Madre de Dios), principalmente em áreas úmidas e temporariamente inundadas pelas marés, próximas aos rios e lagos, às vezes formando grandes populações. É encontrada também na Colômbia, Venezuela, Guianas, Equador, Peru, Bolívia e Brasil (FERREIRA, 2012). Seus frutos são dispersos pelo movimento das marés dos rios, pelas faunas aquáticas e terrestre (MIRANDA et al., 2001) e representam fonte alimentar de populações locais, principalmente aquelas isoladas, que também extraem o óleo de suas amêndoas para fabricação de gorduras e óleos.

O murumuru é palmeira típica de áreas de florestas primárias, tanto de terra firme quanto periodicamente alagadas, podendo ainda ser encontrada em áreas secundárias (capoeiras) e pastagens cultivadas (ROCHA; POTIGUARA, 2007). Apresenta estipe solitário ou cespitoso, geralmente coberto com bainhas foliares persistentes em toda a sua extensão. As folhas têm bainha, pecíolo e raque cobertos por espinhos alongados, negros e achatados. As pinas apresentam coloração quase branca e estão regularmente arranjadas e dispostas em um mesmo plano (NASCIMENTO et al., 2007). É uma palmeira de porte visualmente atraente e exuberante, podendo atingir até 10 m de altura, tronco pouco desenvolvido, folhas compridas de até 4 m (BORGES, 2008).

Segundo Ferreira (2011), a palmeira do murumuru é cespitosa, fortemente armada com longos espinhos negros, de pequeno a médio porte. Pode atingir até 15 m de altura, apresenta 8 a 15 folhas pinadas, rígidas, com até 6 m de comprimento e 38 a 133 pinas lineares em cada lado da raque. As pinas estão regularmente arranjadas e dispostas em um plano.

Em estudos sobre a estrutura e a dinâmica em uma floresta de várzea na parte interna da foz do Rio Amazonas, compreendida nos Estados do Amapá e Pará, Queiroz, Bezerra e Mochiutti (2008) observaram que a palmeira murumuru se encontrava no grupo daquelas que respondiam por mais de 65% da densidade populacional, 55% da dominância e 50% do valor de importância. Também nas áreas estudadas da parte externa da foz, o murumuru estava entre as oito espécies responsáveis por mais 75% da densidade, quase 60% da dominância e por 55% do valor de importância.

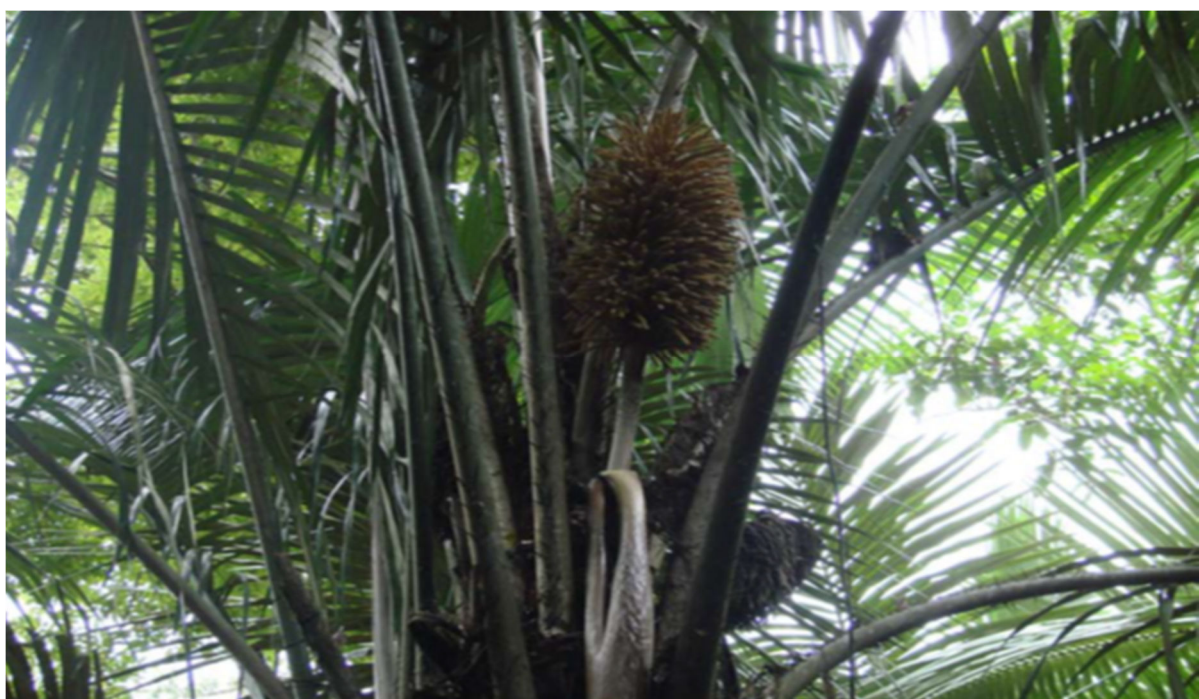


Figura 8. *Astrocaryum murumuru* MART (Murumuru) (QUEIROZ; BEZERRA; MOCHIUTTI, 2008)

Os frutos não possuem homogeneidade na forma, no tamanho ou na coloração (BEZERRA, 2008). Frutos maduros são identificados pelo formato oblongo e ovoide, quando cocos possuem formato comprido, redondo e aboelado com 63,4 mm de comprimento longitudinal, de forma que a base possui 42 mm, e a extremidade 34 mm, com massa média de 35,2 g, o epicarpo é espinuloso ou piloso, e o mesocarpo, carnosos e oleoso (QUEIROZ; BEZERRA; MOCHIUTTI, 2008).

Produz frutos de janeiro a julho, atingindo milhares de toneladas em um processo exclusivamente extrativista. Quando os frutos amadurecem, o cacho inteiro cai no chão, servindo como importante fonte de alimentos para a fauna local (LOPES et al., 2007). Estes são constituídos de polpa e amêndoa, sendo que esta produz cerca de 50% de uma gordura branca, inodora e sem gosto especial, com a vantagem de não rancificar facilmente (NASCIMENTO et al., 2007). É rica em ácidos graxos saturados de cadeia curta como láurico e mirístico (AZEVEDO et al., 2007). A semente de murumuru apresenta 40% do óleo em massa (CASTRO, 2006).

A safra de murumuru na região estuarina amazônica inicia-se em janeiro e estende-se até junho, com maior concentração nos meses de fevereiro a maio, enquanto na região do baixo Acre, os frutos de *Astrocaryum* spp. podem ser coletados em duas safras, de janeiro a maio e de setembro a dezembro (SOUSA et al., 2004).

Queiroz et al. (2005) estudaram *Astrocaryum murumuru* em floresta de várzea estuarina, nos Estados do Amapá e Pará, e encontraram número médio de 5 cachos por palmeira. O número de frutos de murumuru por cacho avaliado em coleta no estuário amazônico variou de 70 a 526 frutos, com média de 243 frutos/cacho⁻¹, valor semelhante aos 300 frutos/cacho⁻¹ encontrados por Sousa et al. (2004) com *Astrocaryum* spp. A densidade de murumuru pode alcançar 160 plantas.ha⁻¹ nas florestas de várzea da região estuarina, tendo então uma produção estimada de 6,84 t frutos.ha⁻¹.ano⁻¹.

Os frutos de murumuru não possuem tamanho, formato nem coloração homogênea, sendo que, quando maduros, são identificados pela forma oblonga a ovoide e cocos com formatos comprido, aboleado e redondo, com peso médio de 35,2 g (QUEIROZ; BEZERRA; MOCHIUTTI, 2008).

Por possuírem inúmeras utilidades de valor econômico, o murumuru (*Astrocaryum murumuru*) desperta interesses para o fornecimento de matéria-prima, tanto para a indústria de óleos vegetais como para a indústria de biocombustível (HOMMA, 2012).

Conforme Pereira et al. (2006), considerando a extração mínima de 16,12% de óleo na semente e 4,05% do fruto inteiro, pode-se concluir que cada palmeira de murumuru produzirá 30,46 L de óleo originado da semente e 7,66 L originados do fruto, totalizando 38,12 L de óleo/palmeira/ano.

Segundo Nascimento et al. (2007), o óleo extraído do endosperma do murumuru detém potencial de produção em escala industrial para síntese de biodiesel, devido ao grande índice de correlação entre os parâmetros normalmente estudados para tal finalidade. Teixeira et al. (2010) também apontam a satisfatória viabilidade do murumuru como possível matéria-prima a ser usada para produção de biodiesel, podendo trazer vantagens socioeconômicas para a região Amazônica, pois ocorrerá geração de renda para as comunidades locais.



Figura 9. Corte dos frutos de *Astrocaryum murumuru* MART (Murumuru) (QUEIROZ; BEZERRA; MOCHIUTTI, 2008)

Lopes et al. (2007) analisaram a viabilidade do uso de murumuru como matéria-prima para produção de biodiesel e apontaram como vantagem a qualidade de difícil rancificação, devido à riqueza em ácidos graxos saturados de cadeia curta, como o láurico e o mirístico. Estes autores afirmam que óleos ricos em ácidos graxos saturados, principalmente láurico e mirístico, têm boas perspectivas de fornecer

alquilésteres indicados como aditivos de mistura com diesel ou para serem utilizados como combustível puro. Mas para que isto aconteça, estes óleos devem apresentar características específicas para serem utilizados em máquinas de ignição por compressão e devem atender às normas vigentes. Os valores encontrados no óleo de murumuru estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Composição do biodiesel de óleo de Murumuru.

Ésteres	M (g/gmol)	RF	Biodiesel de Murumuru (%massa)
Laurato de Etila_(eC-12:00)	228,38	1,15	48,24
Maristato de Etila(eC-14:00)	256,42	1,18	32,22
Palmitato de Etila_(eC-16:00)	284,48	1,21	6,56
Estearato de Etila_(eC-18:00)	312,00	1,23	3,07
Oleato de Etila_(eC-18:1)	310,00	1,24	7,39
Linoleato de Etila(eC-18:2)	308,00	1,39	2,52

Azevedo et al. (2007)

14 Soja

A soja (*Glycine max* L.) é leguminosa de ciclo anual (90 a 160 dias), dicotiledônea da família Fabaceae, subfamília Papilionoideae, gênero *Glycine*. É planta subtropical; entretanto, devido ao melhoramento genético, pode ser cultivada até à latitude de 52°N (CAVALETT, 2008).

A espécie cultivada *Glycine max* (L.) Merrill, também é conhecida como feijão-soja, ervilha-chinesa ou feijão-da-manchúria. A soja foi domesticada pelos chineses há cerca de cinco mil anos. Há três mil anos espalhou-se por toda a Ásia, onde começou a ser utilizada no consumo humano por seu alto valor alimentício. No final do século XV, chegou ao ocidente, mas foi só no início do século XX que passou

a ser cultivada comercialmente nos Estados Unidos. A partir daí, houve rápido crescimento na produção, com o desenvolvimento das primeiras cultivares comerciais (EMBRAPA, 2012).

A soja (*Glycine max* L.) chegou ao Brasil por volta de 1882 na Bahia. A cultura foi introduzida no Rio Grande do Sul, e em 1914 a cultura evoluiu-se em larga escala. A produção da soja é de grande importância para a economia brasileira. A soja destaca-se como a principal cultura explorada no mercado interno, pois tornou-se uma commodity por conta da vasta agroindústria que se formou para processar seus derivados (SILVA; VAN DER WERF; SPIES, 2010). É a principal oleaginosa cultivada no mundo, devido ao seu elevado teor proteico, muito relevante na alimentação humana e de animais criados para o consumo humano. Além disso, é a cultura com maior produção e área plantada do Brasil, o que faz do País o segundo maior produtor dessa commodity (CONAB, 2013).

A soja deve ser cultivada em locais onde a temperatura média varia de 20° a 30° C, e em solos bem drenados, mas com boa capacidade de retenção de água. A declividade do terreno deve ser baixa, pois é uma cultura altamente mecanizada. Ela necessita de 450 a 800 mm de chuva durante o ciclo, dependendo das condições climáticas, do manejo e da duração do ciclo da variedade plantada, buscando coincidir a época mais chuvosa no período entre a floração e o enchimento de grãos, e a menos chuvosa com a época da colheita. O plantio é feito geralmente na primavera, e a colheita, no final do verão ou começo do outono (MARZULLO, 2007). Sua colheita ocorre, em média, de 80 a 120 dias após a semeadura (MONTANARINI, 2009).

O mercado internacional de soja é composto por quatro principais *players*, sendo três produtores: Estados Unidos, Brasil e Argentina, e um comprador (importador), a China. Os Estados Unidos são o grande produtor mundial de soja em grão na safra 2015/2016, com 106,59 milhões de toneladas e 33,30% de toda a produção mundial, seguido do Brasil, com 97 milhões de toneladas e 30,31% da produção mundial, e da Argentina, com 57 milhões de toneladas e 17,81% da produção mundial. Juntos, estes três países são responsáveis por, aproximadamente, 81,42% de toda a produção mundial, ou seja, juntos, os três países produzirão 260,59 milhões de toneladas (CONAB, 2015).

Para o Brasil, a produção de soja foi de 86,7 milhões de toneladas na safra de 2013/2014 para 94,5 milhões de toneladas na safra de 2014/2015. A estimativa é que haja aumento de produção para a safra de 2015/2016, que começou a ser plantada em setembro de 2015, passando de 94,5 milhões de toneladas para 97 milhões na safra de 2015/2016 (USDA, 2015).

A China possui produção de apenas 11,50 milhões de toneladas, sendo o maior importador de soja do mundo, com aproximadamente 64,07% de toda a soja em grãos importados. Os demais países, juntos, são responsáveis por apenas 35,93% das importações mundiais, com a União Europeia em segundo lugar (10,95%), com a importação de 13,5 milhões de toneladas, e o México em terceiro lugar (3,29%), com 4,05 milhões de toneladas (USDA, 2015).

Os três maiores produtores de grãos também são os maiores exportadores. O Brasil, na safra de 2015/2016, será o maior exportador de soja no mundo, com 54,50 milhões de toneladas de soja em grãos exportadas, com aumento de 9,44% em relação às exportações da safra de 2014/2015, que foram de 49,80 milhões de toneladas. Os Estados Unidos, em seguida, com 46,95 milhões de toneladas e uma queda em relação à safra passada, de 5,48%, que foi de 49,67 milhões de toneladas. A Argentina em terceiro lugar, com aproximadamente 9,75 milhões de toneladas em exportações, na safra de 2015/2016, valor esse 1,56% maior que o da safra passada, de 9,60 milhões de toneladas (USDA, 2015).

Segundo a Conab (2015), em seu relatório de safras do mês de agosto de 2015, o Brasil produziu, aproximadamente, 96,20 milhões de toneladas de soja em grãos na safra de 2014/2015, valor que é 11,7% maior que os 86,12 milhões de soja em grãos produzidas na safra de 2013/2014. O Brasil aumentou sua safra de soja em 74,8% nos últimos 10 anos, com aumento de área de 40,4% e produtividade de 24,5%. Os principais estados produtores da safra de 2014/2015 são: Mato Grosso, com 29,2% da produção (28,13 milhões de toneladas); Paraná, com 17,8% da produção (17,12 milhões de toneladas); Rio Grande do Sul, com 15,4% (14,79 milhões de toneladas); e Goiás, com 9,1% (8,75 milhões de toneladas). O Matopiba, que compreende Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, teve a produção estimada em 10,48 milhões de toneladas, aumento de 20,7% em relação à safra passada, representando 10,9% de toda a produção nacional.

A soja é de grande importância para a humanidade, e em função das diversas formas de aplicabilidade de seus produtos, vem sendo explorada como fonte alternativa de combustíveis, mais especificamente na produção de biodiesel (BUSSOLARO; ZELIN; SIMONETI, 2011).

A predominância na utilização do óleo de soja como matéria-prima para a produção de biodiesel deve-se ao fato de a cultura de soja apresentar uma produção em larga escala e uma cadeia produtiva bem estruturada há muitos anos, além do preço do óleo mais acessível (CASTRO, 2011).

Em relação às matérias-primas utilizadas para a produção de biodiesel, o óleo de soja continua ganhando espaço como a principal fonte produtora. Em virtude do inverno – período em que é limitada a utilização do sebo bovino - e da expressiva disponibilidade de óleos vegetais no mercado, o óleo de soja acumula, em 2013, participação de 74% na fabricação do biocombustível, seguido do sebo bovino (19%) e do óleo de algodão (2%). As demais matérias-primas respondem por 5% do biodiesel produzido, com destaque para o óleo de fritura usado, que já representa mais de 1% de toda a produção nacional (PRESSINOTT, 2013).

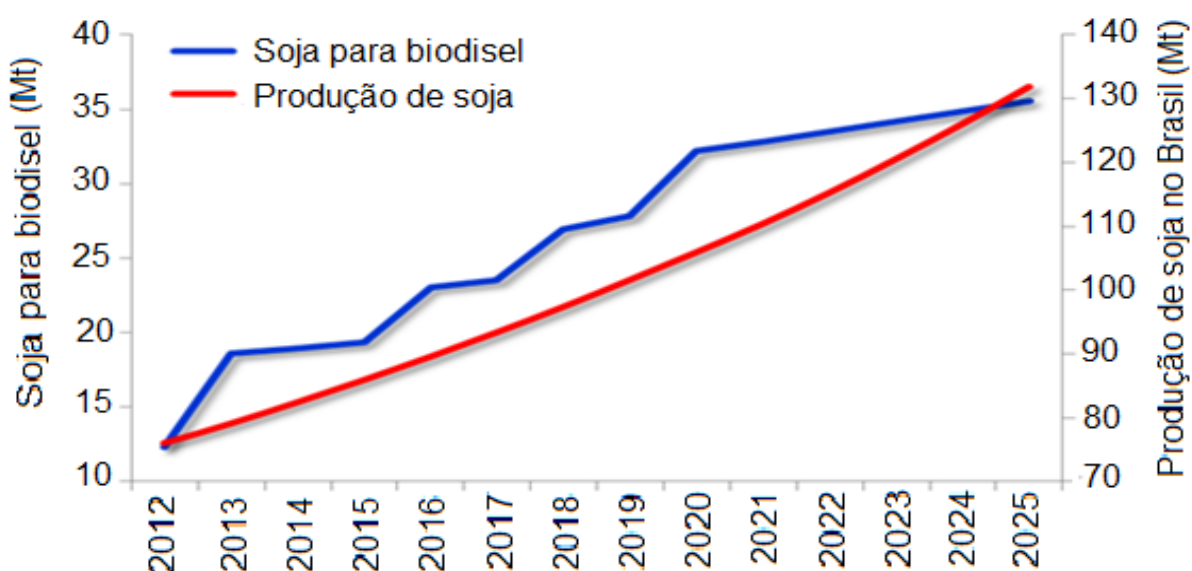


Figura 10. Produção de soja no Brasil e demanda de soja para produção de biodiesel, com a mudança do marco regulatório (BIODIESELBR, 2012)

O grão da soja é constituído principalmente por proteínas, lipídios, carboidratos, cinzas e aminoácidos, com teor de óleo nas sementes entre 15 e 20%, composto majoritariamente por triacilglicerídeos, como os ácidos graxos palmítico (11%), esteárico (4%), oleico (24%), linoleico (54%) e linolênico (7%) (CANDEIA, 2008). Mesmo sendo oleaginosa com teor de óleo consideravelmente abaixo do amendoim (50%), da mamona (47%), da palma (45%), do girassol (45%), do pinhão-manso (37%) e do nabo forrageiro (36%), a utilização da soja é vista pelos governantes e empresários brasileiros como boa opção para a produção de biodiesel. Motivada pelos expressivos números de produção, a soja vem sendo usada como a principal matéria-prima para a fabricação de biodiesel (SCHLESINGER; NORONHA, 2006; CAVALETT, 2008).

Devido à alta concentração de ésteres de ácidos graxos insaturados, o biodiesel de soja possui propriedades físico-químicas e fluidodinâmicas desejáveis. Contudo, apresenta limitações nas propriedades referentes à estabilidade térmica e oxidativa (CALIXTO, 2011). Candeia et al. (2009) analisaram a influência da concentração do biodiesel metílico e etílico de soja nas proporções 5; 15; 25 e 50%, em mistura com o diesel, sendo observados aumento da viscosidade, diminuição da volatilidade das misturas e diminuição nas emissões de CO₂ e SO_x, variações atribuídas ao aumento da cadeia e ao aumento da concentração de biodiesel na mistura (biodiesel/diesel).

Tabela 3. Composição do biodiesel de óleo de soja.

Ácido Graxo	Biodiesel de Soja (% massa)
Mirístico	0,1
Palmítico	10,5
Esteárico	3,2
Oleico	22,3
Linoleico	54,5
Linolênico	8,3
Eicosanoico	0,2
Eicosenoico	0,9

Calderari (2011)

III MATERIAL E MÉTODOS

1 Área experimental

O trabalho foi conduzido em área do Laboratório de Biocombustível e Ensaio de Máquinas - BIOEM, do Instituto de Pesquisa em Bioenergia - IPBEN, Departamento de Engenharia Rural, da Universidade Estadual Paulista UNESP, Câmpus Jaboticabal - SP. A área está situada lateralmente à Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, km 5, possui localização geodésica definida pelas coordenadas 21° 15' 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 1425 mm, umidade relativa média de 71% e pressão atmosférica de 94,3 kPa. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, definido como tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno (UNESP, 2015). Thornthwaite, na mesma área de Köppen, define nove diferentes tipos de clima para Aw (ROLIM et al., 2007).

2 Solo

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico típico, com relevo suave ondulado e declividade média de 3%, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (ANDREOLI; CENTURION, 1999). De acordo com Cunha et al. (2005) os solos desta região possuem 230 g.kg⁻¹ de ferro total e são mais gibsíticos (RBCS). 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 solo considerado como de textura argilosa.

3 Biodiesel

Foram utilizados dois tipos de biodiesel: o de soja refinado (*Glicine Max I.*) e o de murumuru refinado (*Astrocaryum murumuru* MART). O processo de produção e o fornecimento dos biocombustíveis foram feitos pelo 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.

4 Diesel

Utilizou-se de óleo diesel B S1800, classificado de acordo com a resolução da ANP nº 42, de 16 de dezembro 2009 (ANP, 2009), tendo quantidade de enxofre total máxima de 1.800 mg.kg^{-1} e massa específica de 860 kg.m^{-3} , adquirido na cidade de Jaboticabal – SP, e também o óleo diesel B S500, classificado como tendo quantidade de enxofre total máxima de 500 mg.kg^{-1} e massa específica de 840 kg.m^{-3} , adquirido na cidade de São Paulo capital.

5 Tratores

O trator-teste - marca Valtra, modelo BM 125i, 4x2, com tração dianteira auxiliar (TDA), potência máxima no motor de 91,9 kW (125 cv) a 2300 rpm (ISO1585), equipado com turbocompressor e *intercooler*, massa total de 7000 kg, distribuídos 40% e 60% nos eixos dianteiro e traseiro, respectivamente. Possui relação massa/potência de 76 kg/kW (56 kg/cv), equipado com pneus 14.9-26 no eixo dianteiro e 23.1-30 no eixo traseiro, estando os referidos pneus calibrados conforme recomendação do fabricante.

O trator de frenagem - marca Valmet, modelo 118-4, 4x2, com tração dianteira auxiliar (TDA), potência de 82,43 kW (112 cv) no motor a 2400 rpm, massa total de 7310 kg, distribuídos 40% e 60%, respectivamente, nos eixos dianteiro e traseiro, equipado com pneus 14.9-28 no eixo dianteiro e 23.1-30 no eixo traseiro.

Para o ensaio de desempenho, foi utilizado um trator Valtra BM 125i, que se encontra instrumentado com célula de carga, medidor de patinagem, unidade de radar, sistema de aquisição de dados e um protótipo medidor de consumo de combustível, contendo três depósitos auxiliares para biodiesel, conforme descrito por Lopes (2006). Entre os ensaios, foi drenado todo o biodiesel não consumido dos depósitos, filtros e tubulações, evitando, assim, contaminar o ensaio seguinte.

6 Instrumentação do trator de teste para o ensaio de desempenho

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

6.1 Velocidade de deslocamento

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

6.2 Força na barra de tração

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

Para a montagem da célula de carga, foi utilizado o sistema em formato de berço para sua acomodação e proteção. Tal estrutura foi fixada no trator-teste e tem a função de absorver todo tipo de impacto lateral, vertical, horizontal ou torção que

possa comprometer a integridade física da célula de carga, provocado por acidentes devido a manobras ou mesmo em paradas bruscas.

6.3 Consumo de combustível

O consumo de combustível foi determinado, obtendo-se o volume e a temperatura do combustível que alimenta a bomba injetora e o volume e a temperatura do combustível que retorna ao tanque, sendo o 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 um medidor de fluxo da marca Oval Corporation, modelo Flowmate LSN 48, com precisão de 1% sobre a vazão nominal e a vazão máxima de 100 L.h^{-1} , e um sensor de temperatura do tipo resistivo, modelo PT 100 (resistência de 100 Ohms a 0°C), com faixa de medida de -200°C a 800°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 combustível sem contaminar o tanque original do trator.

6.4 Sistema de aquisição de dados

Todos os transdutores e sensores foram alimentados a partir de uma bateria auxiliar, montada junto ao sistema de aquisição de dados. Os dados referentes a consumo de combustível, 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 um sistema de aquisição de dados, marca Campbell Scientific, modelo Microllogger CR23X, programado para obter dados na frequência de 1 Hz, sendo posteriormente transferidos via porta de comunicação serial (RS232), para um computador, a fim de serem processados.



Figura 11. Vista lateral do trator-teste com instrumentação completa (LOPES, 2006)

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

7.1 Opacímetro

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

O opacímetro foi 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, que gerencia os ensaios. Os equipamentos são apresentados na Figura12.



Figura 12. Instrumentação utilizada no ensaio de opacidade da fumaça (opacímetro, controlador serial, sonda de captação e computador com *software* IGOR) (LOPES, 2006)

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

escape do motor. A fumaça do escapamento, coletada pela sonda do opacímetro, é levada até à câmara de medição, na qual existe um emissor de luz e um receptor. Ao passar pela câmara, a fumaça provoca alterações no fecho de luz, sendo a porção captada pelo receptor processada pelo equipamento, conforme a Figura 13.



Figura 13. Vista geral do trator instrumentado para o ensaio de opacidade da fumaça (LOPES, 2006)

8 Condução do trabalho

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

- Ensaio I - Desempenho do trator, e
- Ensaio II - Opacidade da fumaça do motor do trator.

9 Delineamento experimental

Ensaio I – foi realizado em delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 7, com três repetições, totalizando 84 observações. Ensaio II - foi realizado em delineamento experimental inteiramente casualizado, com 4 tipos de combustíveis e 12 repetições, totalizando 48 observações. Os combustíveis utilizados foram biodiesel de soja (100%) e biodiesel de murumuru (100%), diesel B S1800 (100%) e diesel B S500 (100%), e sete rotações (1800, 1900, 2000, 2100, 2200, 2400 e 2600 rpm). Ressalta-se que, para o ensaio de desempenho, cada parcela experimental possuiu 40 m de comprimento e, entre si, na direção longitudinal, foi reservado espaço de 15 m, destinado à realização de manobras, tráfego de máquinas e estabilização do conjunto motomecanizado, em cada tratamento.

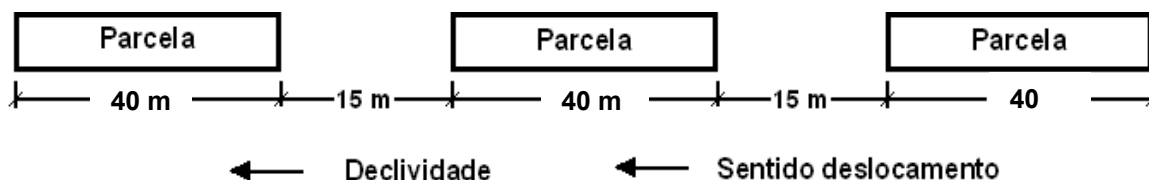


Figura 14. Esquema das parcelas

10 Tratamentos

As combinações e as qualificações dos tratamentos encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4. Relação e designação dos tratamentos dos ensaios I e II.

Tratamentos	Combustível	Rotações	Designação
T1	Diesel B S1800	1800	B S1800-1800
T2		1900	B S1800-1900
T3		2000	B S1800-2000
T4		2100	B S1800-2100
T5		2200	B S1800-2200
T6		2400	B S1800-2400
T7		2600	B S1800-2600
T8	Diesel B S500	1800	B S500-1800
T9		1900	B S500-1900
T10		2000	B S500-2000
T11		2100	B S500-2100
T12		2200	B S500-2200
T13		2400	B S500-2400
T14		2600	B S500-2600
T15	Biodiesel de Soja (B100)	1800	Soja-1800
T16		1900	Soja-1900
T17		2000	Soja-2000
T18		2100	Soja-2100
T19		2200	Soja-2200
T20		2400	Soja-2400
T21		2600	Soja-2600
T22	Biodiesel de Murumuru (B100)	1800	Murumuru-1800
T23		1900	Murumuru-1900
T24		2000	Murumuru-2000
T25		2100	Murumuru-2100
T26		2200	Murumuru-2200
T27		2400	Murumuru-2400
T28		2600	Murumuru-2600

11 Ensaio I - Desempenho do trator

11.1 Ensaio piloto

Com a finalidade de definir a carga na barra de tração do trator-teste correspondente ao esforço máximo, tecnicamente viável, que o trator-teste pôde tracionar, realizou-se um ensaio preliminar, também denominado experimento-piloto.

O ensaio consistiu na operação de escarificação em área anexa à área experimental. Utilizou-se do escarificador de arrasto Marchesan, modelo AST/MATIC 7, com massa total de 1400 kg. Esse equipamento constituiu-se de cinco hastes espaçadas de 0.45 m entre si, ponteiros com 0.08 m de largura, sem asa, discos de corte de palha para cada haste, sistema de segurança de desarme automático e rolo destorroador. O equipamento foi regulado para trabalhar à profundidade média de 0.30 m e relação espaçamento/profundidade de 1,5. A força de tração necessária para realizar essa operação foi mensurada em aproximadamente 25 kN. Para a força mensurada, a patinagem ficou em torno de 10%, conforme recomendado pela ASAE (1997).

11.2 Uso dos tratores

Devido à grande variabilidade observada na resistência do solo durante o experimento-piloto, o escarificador foi substituído por um segundo trator, denominado trator de frenagem. O trator de frenagem foi acoplado ao trator-teste por meio de um cabo de aço, formando um comboio. Foi realizado um ensaio preliminar, também denominado de experimento-piloto, com a finalidade de definir a carga correspondente ao esforço máximo, tecnicamente viável, que o trator-teste pôde tracionar. Ressalta-se que tal carga será obtida por meio da combinação de marchas do trator de frenagem, com tal força sendo próxima a 25 kN. O trator de frenagem foi utilizado desligado e engrenado, pois a única função era oferecer carga na barra de tração do trator-teste o mais uniforme possível.

No momento dos ensaios o trator-teste operou com tração dianteira auxiliar (TDA) ativada, sendo a velocidade de trabalho e a carga necessária obtida por meio da combinação do câmbio em 4ª marcha, no grupo L. A dinâmica do ensaio é ilustrada conforme Figura 15.



Figura 15. Dinâmica do ensaio de desempenho (LOPES, 2006)

Em todas as parcelas, procurando estabilizar as determinações, o trator-teste iniciava o movimento num espaço de 15 m, antes da primeira baliza que demarcava o início da avaliação. 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.

Concomitantemente, 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.

11.3 Velocidade real de deslocamento

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

11.4 Força média na barra de tração

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

$$F_T = \frac{F_t}{1000} * 9,81$$

em que,

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

F_t = força de tração média (kgf), e

1000 e 9,81 = fator de conversão.

11.5 Potência na barra de tração

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

$$P_B = F_T * \frac{Vel}{3,6}$$

em que,

P_B = potência na barra de tração (kW);

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

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

3,6 = fator de conversão.

11.6 Consumo de combustível

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

11.7 Consumo horário volumétrico

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

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

em que,

Chv = consumo horário volumétrico (L h⁻¹);

Va = volume do combustível de alimentação (mL);

Vr = volume do combustível de retorno (mL);

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

3,6 = fator de conversão.

11.8 Consumo horário ponderal

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

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

em que,

Chp = consumo horário ponderal (kg.h⁻¹);

V_a = volume do combustível de alimentação (mL);

D_{ca} = densidade do combustível de alimentação (kg.m^{-3});

V_r = volume do combustível de retorno (mL);

D_{cr} = densidade do combustível de retorno (kg.m^{-3});

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

0,0036 = fator de conversão.

11.9 Consumo específico

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

$$C_e = \left(\frac{Ch_p}{PB} \right) * 1000$$

em que,

C_e = consumo específico (g.kW.h^{-1});

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

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

1000 = fator de conversão.

12 Ensaio II - Opacidade da fumaça do motor do trator

Os ensaios foram realizados de acordo com o método da aceleração livre, que é o regime de rotação a que o motor é submetido com o acelerador em seu curso máximo, permanecendo nessa condição por tempo máximo de 3 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 estático. As medições de opacidade são feitas em K , que é o coeficiente de absorção de luz, e tem como unidade m^{-1} (TECNOMOTOR, 2012).

Ao término de cada determinação, foi realizada a drenagem completa do sistema de alimentação, evitando, com isso, a contaminação do ensaio seguinte. Além

disso, depois de trocado o combustível, o motor permaneceu em funcionamento por dez minutos antes do início de cada teste.

13 Análise estatística

13.1 Análise de variância e teste de médias

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

13.2 Análise de regressão

Para o consumo específico e a opacidade da fumaça, foi estudado um modelo de ajuste de regressão que melhor explicou o comportamento dos mesmos, em função dos combustíveis. Para o caso da densidade, ajustou-se um modelo de superfície de resposta que também explicou essa variável, em função da temperatura e do tipo de combustível.

Neste trabalho, foi utilizado a análise de variância (teste F) para selecionar o modelo de adequação de maior expoente significativo.

IV RESULTADOS E DISCUSSÃO

A apresentação geral encontra-se na seguinte ordem: Ensaio I – Desempenho do trator, e Ensaio II - Opacidade da fumaça do motor do trator.

1 Ensaio I - Desempenho do Trator

Os resultados de cada variável foram discutidos em tópicos separados para facilitar o entendimento e estão apresentados na forma de tabelas e figuras. A síntese das análises estatísticas foi apresentada para grupos de variáveis, nas Tabelas 5 e 8. Na Tabela 5, os dados referentes aos fatores tipo de combustível e rotação do motor representaram médias de 8 e 14 observações, respectivamente. Na Tabela 8, os dados referentes aos fatores tipo de combustível e rotação do motor representaram médias de 12 e 21 observações, respectivamente.

1.1 Potência na barra de tração

Ressalta-se que, pela Tabela 5, a interação entre os fatores foi significativa para potência na barra de tração, por isso a referida variável foi analisada, utilizando-se da tabela complementar de desdobramento (Tabela 6).

Tabela 5. Síntese da análise de variância e teste de médias para a variável potência na barra (kW) e velocidade (km h⁻¹).

Fatores	Potência na Barra	Velocidade
Tipo de Combustível (TC)	(kW)	(km h ⁻¹)
Diesel B S1800	39,62	5,65
Diesel B S500	41,19	5,82
Biodiesel de Soja	38,44	5,48
Biodiesel de Murumuru	41,65	5,94
Rotação do Motor (RM)		
1800 rpm	33,83	4,82
1900 rpm	35,37	4,96
2000 rpm	37,73	5,38
2100 rpm	39,64	5,65
2200 rpm	41,33	5,89
2400 rpm	44,76	6,38
2600 rpm	48,91	6,98
TESTE F		
TC	273,6429 **	52,9806**
RM	2015,5962 **	444,8736**
TCxRM	16,0209 **	3,3896**
Média	40,23	5,72
C.V.%	1,01	2,21

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.

Tabela 6. Desdobramento da interação tipo de combustível e rotação do motor para a variável potência na barra de tração (kW).

Tipo de combustível	Rotação do motor (rpm)						
	1800	1900	2000	2100	2200	2400	2600
Diesel B S1800	33,2 Ba	35,3 Bb	37,8 Ac	38,9 Bd	41,3 Be	42,7 Bf	47,9 Bg
Diesel B S500	33,4 Ba	37,1 Ab	38,5 Ac	40,5 Ad	41,7 ABe	46,2 Af	50,9 Ag
Biodiesel de Soja	32,3 Ba	33,4 Cb	36,3 Ac	38,2 Bd	39,9 Ce	43,3 Bf	45,6 Cg
Biodiesel de Murumuru	35,3 Aa	36,9 Ab	38,3 Ac	40,9 Ad	42,3 Ae	46,8 Af	51,0 Ag

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

Analisando-se o fator tipo de combustível (na linha), verifica-se que, para todos os tipos de combustível, a potência na barra de tração aumentou com a elevação da rotação do motor do trator agrícola. Quando comparada a menor versus a maior rotação estudada, as diferenças foram de 33,4; 34,3; 29,1 e 30,7%, respectivamente (Tabela 6). Segundo Almeida, Silva e Silva (2010), para aumentar a velocidade de deslocamento em pequenas proporções, normalmente o operador eleva a rotação do motor, resultando em queda de torque do motor e aumento no consumo de combustível. Estima-se que a maioria dos motores dos tratores, atualmente disponíveis no mercado, atinge seu torque máximo em rotações inferiores a 1500 rpm. A partir desta faixa de rotação, a reserva de torque começa a diminuir, a potência requerida na barra de tração e o consumo de combustível passam a aumentar gradativamente à medida que se aumenta a rotação do motor.

Observando o fator rotação no motor (na coluna), nota-se que, quando avaliada a rotação do motor em 2000 rpm, a potência na barra de tração não apresentou diferenças significativas em todos os tipos de combustível conduzidos no estudo, diferindo dentre todos os fatores da rotação do motor (Tabela 6). Este resultado pode estar relacionado com as curvas de calibração que indicam a potência indiretamente desenvolvida pelo motor do trator em função do consumo específico de combustível, potência, torque e da rotação do motor. Mantovani et al. (1999), avaliando um conjunto trator mais implemento agrícola no campo, por meio de um

sistema eletrônico de medições, obtiveram as curvas de calibração, identificando a rotação do motor ideal para o trabalho, que foi de 2000 rpm.

Silveira et al. (2005), Mahl et al. (2004) e Furlani et al. (2008) observaram incremento na força de tração e potência na barra com o aumento da velocidade de operação do conjunto mecanizado. Por outro lado, Trintin, Pinheiro Neto e Bortolotto (2005) não observaram o efeito da velocidade sobre as forças de tração média e máxima; entretanto, verificaram aumento do consumo horário de combustível e da potência média e máxima.

O comportamento médio da potência na barra de tração, para os quatro tipos de combustível, em função das sete rotações do motor, foi linear, conforme se nota na Figura 16.

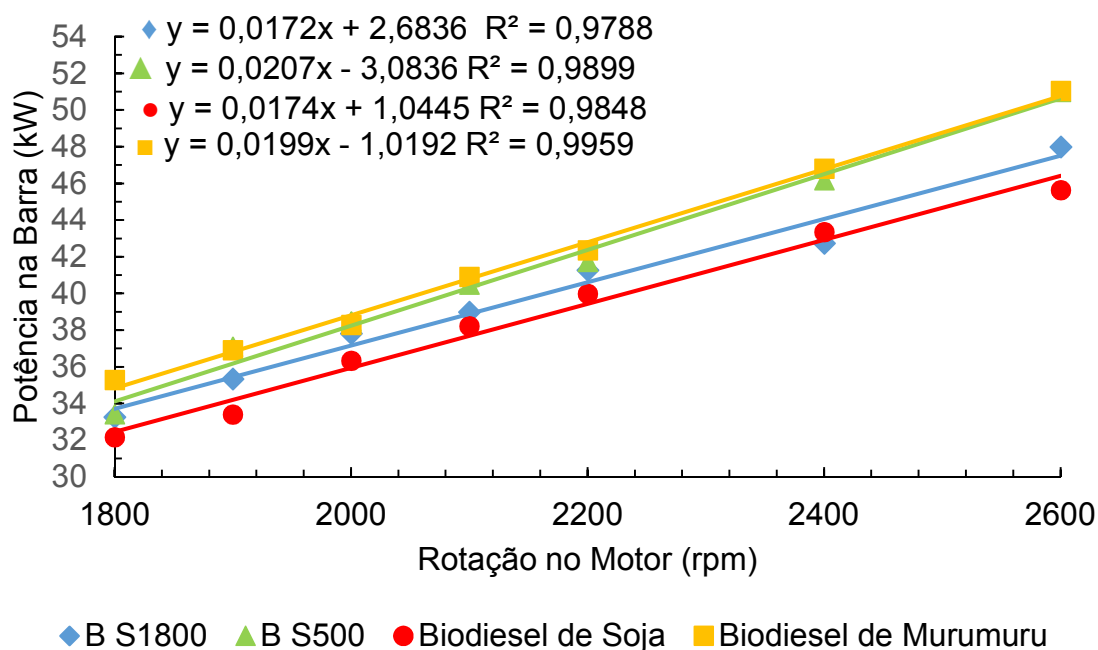


Figura 16. Potência na barra de tração, em função da rotação do motor, e tipo de combustível.

1.2 Velocidade real de deslocamento

Ressalta-se que, pela Tabela 5, a interação entre os fatores foi significativa para velocidade de deslocamento, por isso a referida variável foi analisada utilizando-se da tabela complementar de desdobramento (Tabela 7).

Tabela 7. Desdobramento da interação tipo de combustível e rotação do motor para a variável velocidade de deslocamento (km h^{-1}).

Tipo de combustível	Rotação do motor (rpm)						
	1800	1900	2000	2100	2200	2400	2600
Diesel B S1800	4,7 Ba	5,0 Ba	5,4 ABb	5,6 BCb	5,9 ABc	6,1 Bc	6,8 ABd
Diesel B S500	4,8 ABa	4,9 Ba	5,5 Ab	5,8 ABcb	5,9 ABc	6,6 Ad	7,3 Ae
Biodiesel de Soja	4,6 ABa	4,8 Ca	5,2 Bb	5,4 Cbc	5,7 Bc	6,2 Bd	6,5 Ce
Biodiesel de Murumuru	5,0 Aa	5,3 Aab	5,5 Ab	5,8 Ab	6,0 Ac	6,7 Ad	7,3 Ae

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

Nota-se que, para o fator tipo de combustível (na linha), a velocidade de deslocamento aumentou à medida que a rotação no motor era acrescida (Tabela 7). De acordo com Lopes et al. (2003), a velocidade de deslocamento altera o desempenho do trator, visto que afeta diretamente o consumo de combustível. Os autores avaliaram o consumo de combustível de um trator em função da velocidade de trabalho e observaram que o aumento da velocidade de deslocamento reduziu o consumo específico.

Analisando o fator rotação no motor (na coluna), nota-se que a velocidade de deslocamento para a maioria dos tipos de combustível apresentou diferenças significativas atribuídas a pequenas interferências não controladas do meio, no momento dos ensaios (Tabela 7).

O comportamento da velocidade de deslocamento média para os quatro tipos de combustível, em função das sete rotações do motor, foi linear, conforme se nota na Figura 17.

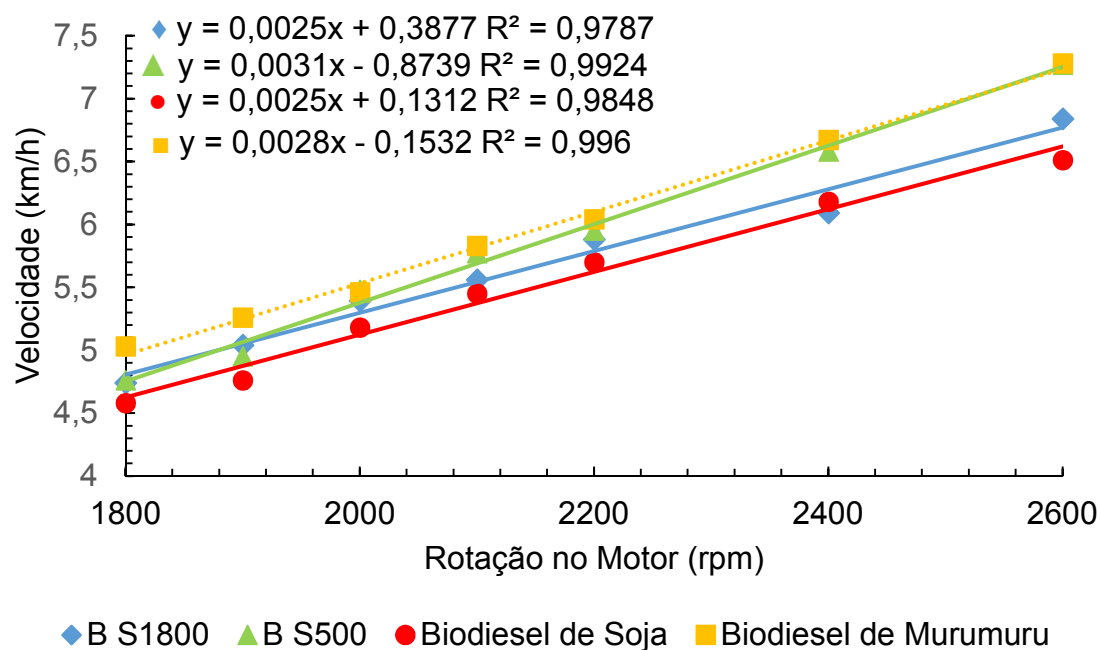


Figura 17. Velocidade de deslocamento em função da rotação do motor e tipo de combustível.

1.3 Consumo horário volumétrico

Na Tabela 8, na qual se encontram os resultados médios dos consumos avaliados, os dados referentes aos fatores tipo de combustível e rotação do motor representam médias de 12 e 21 observações, respectivamente.

Não houve interação entre tipo de combustível e as rotações do motor para consumo volumétrico de combustível. Porém, em relação ao tipo de combustível, o biodiesel de soja apresentou maior consumo, e se comparado com o diesel B S500, o aumento foi de 15,4% (Tabela 8). Este aumento é em função do menor poder calorífico do biodiesel em relação ao diesel, sendo necessária maior alimentação de combustível para realizar a mesma quantidade de trabalho.

Tabela 8. Resultados médios para as variáveis consumo horário volumétrico (Chv), consumo horário ponderal (Chp) e consumo específico (Ce).

Fatores	Chv	Chp	Ce
	L h ⁻¹	kg h ⁻¹	g kWh ⁻¹
Tipo de Combustível (TC)			
Diesel B S1800	14,4 a	12,4	311
Diesel B S500	12,6 c	10,9	259
Biodiesel de Soja	14,9 a	13,2	332
Biodiesel de Murumuru	13,4 b	11,8	272
Rotação do Motor (RM)			
1800 rpm	9,7 a	8,5	250
1900 rpm	10,7 ab	9,4	262
2000 rpm	11,7 bc	10,2	271
2100 rpm	12,7 c	11,1	281
2200 rpm	14,0 d	12,2	240
2400 rpm	17,1 e	14,7	329
2600 rpm	21,0 f	18,4	366
TESTE F			
TC	24,9**	43,3**	827,2**
RM	222,4**	302,4**	698,2**
TCXRM	1,6 ^{NS}	2,5**	11,5**
C.V. %	6,7	5,7	1,8

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.

Os resultados do presente trabalho condizem com os encontrados por Lima et al. (2012), que avaliaram um trator marca Valtra, modelo BM110, motor equipado com turbocompressor, funcionando com óleo diesel interior, tendo a quantidade de enxofre total de 1.800 mg kg⁻¹ e biodiesel de dendê e tucumã. Os autores observaram aumento no consumo horário volumétrico de 23,0%, quando comparado biodiesel B100 com diesel B0. Segundo estes autores, o aumento no consumo horário volumétrico (Chv) ocorreu em função do menor poder calorífico do biodiesel de dendê e de tucumã em

relação ao diesel, sendo necessário desprender maior quantidade de combustível para realizar a mesma quantidade de trabalho.

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

1.4 Consumo horário ponderal

Ressalta-se que, pela Tabela 8, a interação entre os fatores foi significativa para consumo ponderal, por isso a referida variável foi analisada utilizando-se da tabela complementar de desdobramento (Tabela 9).

Tabela 9. Desdobramento da interação tipo de combustível e rotação do motor para a variável consumo horário ponderal (kg h^{-1}).

Tipo de combustível	Rotação do motor (rpm)						
	1800	1900	2000	2100	2200	2400	2600
Diesel B S1800	8,5 ABa	9,5 ABab	10,8 ABbc	11,8 Acd	3,2 Ad	15,7 Ae	17,3 Be
Diesel B S500	7,1 Ba	8,7 Bab	9,3 Bbc	10,1 Bbc	10,9 Bc	13,1 Bd	16,9 Be
Biodiesel Soja	9,0 Aa	10,3 Aab	11,0 Aab	12,0 Abc	13,2 Ac	16,0 Ad	20,2 Ae
Biodiesel de Murumuru	8,5 ABa	9,0 ABab	9,7 ABab	10,6 ABbc	1,6 Bc	13,9 Bd	19,4 Ae

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

Nota-se que, para o fator tipo de combustível (na linha), o consumo ponderal foi menor na rotação de 1800 rpm para diesel B S1800 e diesel B S500, porém não diferiu da rotação de 1900 rpm (Tabela 9). Já para o consumo de biodiesel de soja e de murumuru, apesar de na rotação de 1800 rpm apresentar o menor valor de consumo ponderal, não diferiu das rotações de 1900 e 2000 rpm (Tabela 9).

Analisando o fator rotação no motor (na coluna), nota-se que o consumo ponderal foi menor para o diesel B S500 quando comparado com o biodiesel de soja, em todas as rotações avaliadas, tendo o menor consumo apresentado na rotação de 1800 rpm (21,1%) (Tabela 9). Segundo Murugesan et al. (2009) e Tabile et al. (2009), esse resultado pode ser explicado em função do menor poder calorífico e do aumento da densidade do biodiesel em relação ao diesel.

A relevância dessa medida é, para os profissionais que trabalham na distribuição dos combustíveis, por a quantidade de massa que sai da origem ser a mesma da que chega a seu destino.

O comportamento do consumo horário ponderal médio para os 4 tipos de combustível, em função das 7 diferentes rotações do motor, foi linear, conforme se nota na Figura 18.

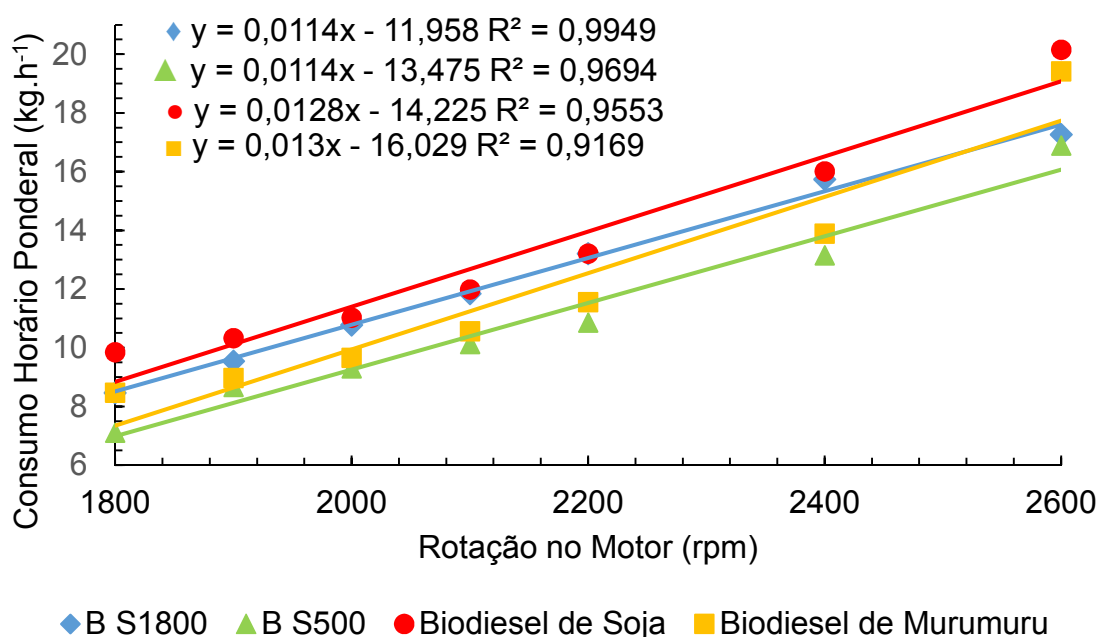


Figura 18. Consumo horário ponderal em função da rotação do motor e tipo de combustível.

1.5 Consumo específico

Ressalta-se que, pela Tabela 8, a interação entre os fatores foi significativa para consumo específico, por isso a referida variável foi analisada utilizando-se da tabela complementar de desdobramento (Tabela 10).

Tabela 10. Desdobramento da interação tipo de combustível e rotação do motor para a variável consumo específico (g kWh⁻¹).

Tipo de combustível	Rotação do motor (rpm)						
	1800	1900	2000	2100	2200	2400	2600
Diesel B S1800	255 Ba	271 Ab	286 Bc	307 Ad	320 Ad	368 Ae	367 Be
Diesel B S500	213 Da	234 Cb	242 Cc	250 Bcd	258 Cd	285 Ce	331 Df
Biodiesel Soja	295 Aa	304 Aab	304 Aab	310 Ab	324 Ac	366 Ad	418 Ae
Biodiesel Murumuru	237 Ca	243 Cab	252 Cb	256 Bb	273 Bc	297 Bd	347 Ce

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

Verifica-se que, para o fator tipo de combustível (na linha) houve aumento do consumo específico para todos os tipos de combustível, à medida que aumentou a rotação do motor. Porém, o menor consumo apresentado foi na rotação de 1800 rpm para o diesel B S1800 e diesel B S500 (30,7% e 35,6%) respectivamente, se comparado com a rotação de 2600 rpm. Já para os tipos de biodiesel utilizados, o consumo apresentou os menores valores, nas rotações de 2000, 1900 e 1800 rpm para biodiesel de soja, não diferindo entre si, e 1900 rpm e 1800 rpm para biodiesel de murumuru, não diferindo entre si (Tabela 10).

Analisando o fator rotação do motor (na coluna) verifica-se que o Diesel B S500 apresentou menor consumo específico em todas as rotações estudadas, destacando-se a rotação de 1800 rpm com redução de 27,8%, quando comparado com o biodiesel de soja. Todavia, nas rotações de 2100, 2000 e 1900 rpm, os valores de consumo específico (diesel B S500) não diferiram do biodiesel de murumuru (Tabela 10).

Com relação ao tipo de combustível (na coluna), nota-se que ao utilizar biodiesel de soja, houve aumento no consumo específico para todas as rotações no motor, exceto para as rotações de 2400, 2200 e 2100 rpm, em que não houve diferença quando comparado com o diesel 1800 (Tabela 10). Esse aumento deve-se a dois fatores: a maior densidade e o menor poder calorífico do biodiesel em relação ao diesel.

Resultados semelhantes de consumo de combustível também foram encontrados por Almeida, Silva e Silva (2010), ao estudarem o desempenho energético de um conjunto trator-semeadora de precisão, sob diferentes marchas e rotações do motor, concluindo que o consumo de combustível é menor quando se trabalha com baixa rotação do motor e baixa velocidade, sendo que o consumo específico de combustível foi maior quando o trator foi operado na 4ª marcha a 2200 rpm.

Silveira et al. (2013), ao avaliarem a demanda energética de um conjunto trator-semeadora-adubadora em sistema plantio direto, em função das velocidades de deslocamento e das rotações no eixo do motor (2100, 1800 e 1500 rpm), concluíram que o menor consumo específico de combustível foi obtido na maior velocidade de operação e na menor rotação do motor 1.500 rpm.

Em contrapartida, Correia et al. (2015), ao avaliarem o desempenho operacional de um trator agrícola tracionando uma grade aradora em solo argiloso, utilizando diferentes rotações de trabalho no motor, observaram que a maior rotação de trabalho (2100 rpm) proporcionou menor consumo de combustível e maior capacidade de campo.

Conforme relata Márquez (2012), maiores rotações são menos eficientes, tendo em vista que há maior gasto energético em função do maior atrito entre os componentes móveis e estáticos do motor, e também devido ao menor tempo para a combustão do combustível.

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

O comportamento do consumo específico médio para os 4 tipos de combustível, em função das 7 diferentes rotações do motor, foi linear, conforme se nota na Figura 19.

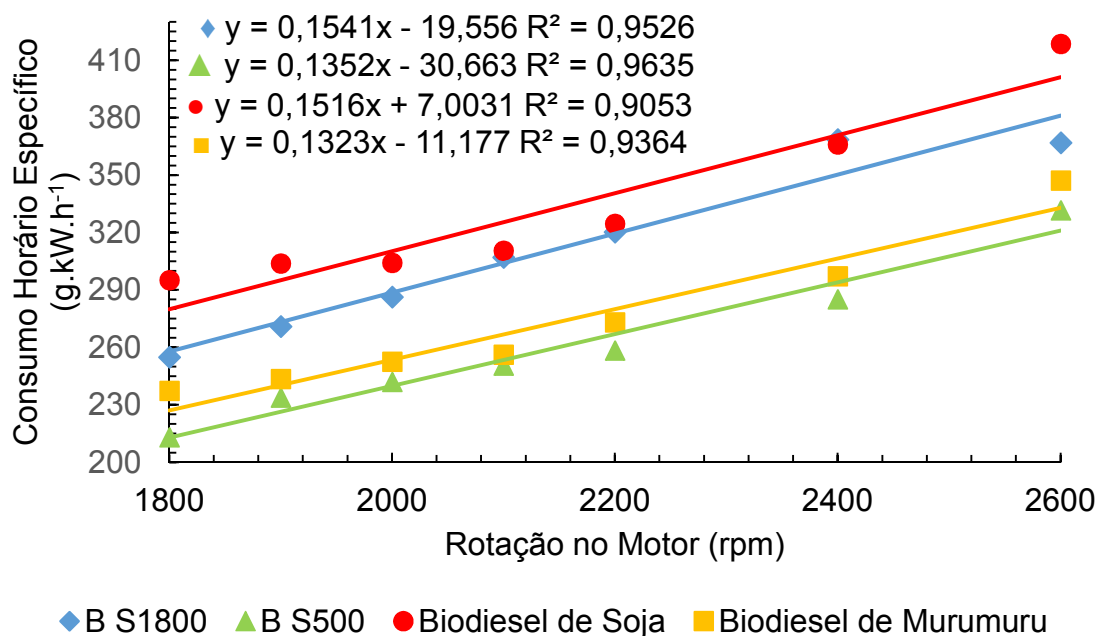


Figura 19. Consumo específico em função da rotação do motor e tipo de combustível.

2 Ensaio II – Opacidade da Fumaça do motor do trator

Na Tabela 11, estão os resultados médios da opacidade da fumaça, os dados referentes ao fator tipo de combustível, que representam médias de 48 observações.

Tabela 11. Síntese da análise de variância e teste de médias para a variável opacidade da fumaça (m^{-1}).

Tipo de combustível (Tc)	Opacidade (m^{-1})
Diesel B S1800	2,65 a
Diesel B S500	2,56 a
Biodiesel de Soja	1,67 b
Biodiesel de Murumuru	1,05 c
TESTE F	
Tc	975,74 **
C.V.(%)	2,13

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.

Pode-se observar que houve redução da opacidade da fumaça com o uso do biodiesel de soja e de murumuru, 37% e 60%, respectivamente, quando comparados com o diesel B S 1800 e o diesel B S 500 (que não diferiram entre si) (Tabela 11).

A redução da opacidade é representativa e favorável ao uso do biodiesel, o que, em parte, é explicado pelo fato de o biodiesel não apresentar enxofre na constituição, com presença de oxigênio livre na molécula de biodiesel (redução da formação de zonas ricas em combustível na câmara de combustão e maior rendimento durante a combustão por difusão), aumentando a eficiência na combustão e diminuindo, consideravelmente, a produção de material particulado (SAHOO et al., 2009; CHAUHAN; KUMAR; CHO, 2012). A queima do biodiesel em motores diesel produz redução significativa das emissões de material particulado, quando comparado ao óleo diesel (BORA; BARUAH, 2012).

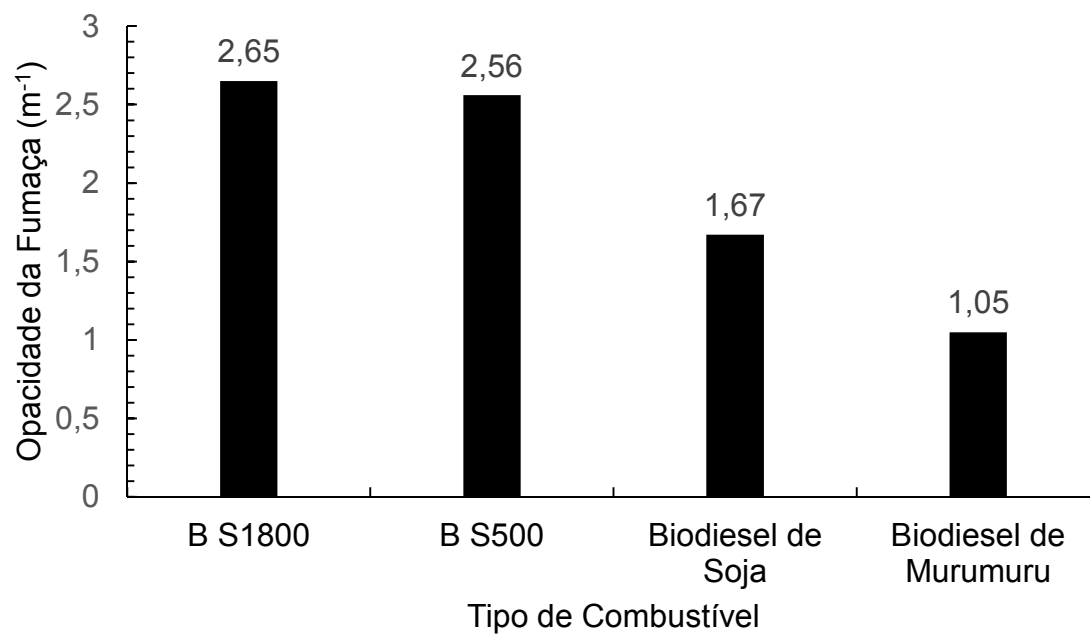


Figura 20. Representação gráfica da opacidade da fumaça em função do tipo de combustível.

V CONCLUSÕES

1) O biodiesel de soja e de murumuru não comprometem o funcionamento do motor.

2) Em relação ao consumo volumétrico de combustível, o biodiesel de soja apresentou maior consumo, e se comparado com o diesel B S500, o aumento é de 15,4%.

3) O consumo ponderal é menor para o diesel B S500, quando comparado com o biodiesel de soja, em todas as rotações avaliadas, tal que o menor consumo ocorre na rotação de 1800 rpm (21,1%).

4) Há aumento do consumo específico para todos os tipos de combustível à medida que aumenta a rotação do motor, com destaque para o diesel B S500 na rotação de 1800 rpm, com redução de 27,8%, quando comparado com o biodiesel de soja.

5) Para biodiesel a faixa de rotação entre 1900 e 2000 tem menor interferência no desempenho.

6) A opacidade da fumaça reduz com o uso do biodiesel de soja e de murumuru, 37% e 60%, respectivamente, quando comparados com o diesel B S 1800 e o diesel B S 500.

VI REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGARWAL, D.; KUMAR, L.; AGARWAL, A.K. Performance evaluation of a vegetable oil fuelled compression ignition engine. **Renewable Energy**, New York, v. 33, n. 6, p. 1.147 -1.156, 2008.

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, Brasília, 1999. **Anais...**, Brasília, Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 1999. 32p. (T025-3 CD-ROM)

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Boletim mensal do biodiesel**- setembro 2015a. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/?pg=77873&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&1445364425192>. Acesso em: 20 out.2015.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Legislação – biodiesel**. 2015b. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?pg=53930&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1419273680769>>. Acesso em: 19 jun. 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Anuário Estatístico 2014a**, Disponível em: <http://www.anp.gov.br/?pg=66833>. Acesso em: 8 de jun. 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Resolução ANP Nº 45, DE 25 agosto de 2014**. 2014b. Disponível em: <[http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2014/agosto/ranp%2045%20-%202014.xml?fn=document-frameset.htm\\$f=templates\\$3.0](http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2014/agosto/ranp%2045%20-%202014.xml?fn=document-frameset.htm$f=templates$3.0)>. Acesso em: 3 jul. 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS ANP. **Resolução ANP nº 50/2013**. 2013. Disponível em: <http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2011/dezembro/ranp%2065%20-22011.xml>. Acesso em: 21 jun. 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Boletim Mensal de Biodiesel- SRP**. 2009. Disponível em <<http://www.anp.gov.br/biodiesel/boletim>>. Acesso em: 17 nov. 2014.

ALBUQUERQUE, M. C. G.; MACHADO, Y. L.; AZEVEDO, D. C. S.; CAVALCANTE JR., C. L.; FIRMIANO, L. R.; PARENTE JR., E. J. S. Properties of biodiesel oils formulated using different biomass sources and their blends. **Renewable Energy**, New York, v. 34, n. 3, p. 857-859, 2009.

ALVES, L. Índice de cetano. 2008. Disponível em:<<http://www.brasilecola.com/quimica/indice-cetano.htm>>. Acesso em: 30 de out. 2014.

ALMEIDA, R. A. S.; SILVA, C. A. T.; SILVA, S. L. Desempenho energético de um conjunto trator-semeadora em função do escalonamento de marchas e rotações do motor. **Revista Agrarian**, Dourados, v.3, n.7, p. 63 - 70, 2010.

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

ANDRADE, S. O.; ALMEIDA, P. G.; OLIVEIRA, A. V. B.; SOUSA, L. C. F. S.; GOMES, C. A. P.; SILVA, M. P. N. S.; BORGES, M. G. B.; SILVA, D. S. O. Agrofuels: biodiesel as a sustainable alternative energy. RBGA. **Revista brasileira de gestão ambiental gvaa** – Grupo verde de agroecologia e abelhas, Pombal, v.6, n.1, p. 1 – 10, 2012.

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, Brasília, 1999. **Anais...**, Brasília, Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 1999. 32p. (T025-3 CD-ROM)

AZEVEDO, F.F.M. ; FRANÇA, L.F. ; MACHADO, N. T., MACHADO, NELIO ; CORRÊA, N.C.F. . AZEVEDO, F. F. M. ; FRANÇA, L. F. ; ARAÚJO, M. E. ; CORREA, N. C. F. ; MACHADO, N. T. Perfil de composição do biodiesel obtido dos óleos de dendê e murumuru. In: II CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DO BIODIESEL, 2007, Brasília. **Anais...** Brasília: RTB, 2007. v. 1.

BAMGBOYE, A.I.; HANSEN, A.C. Prediction of cetane number of biodiesel fuel from the fatty acid methyl ester (FAME) composition. **Int. Agrophysics**, v. 22, p. 21-2, 2008.

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

BARBOSA, R. L.; SILVA, F. M. DA; SALVADOR, N.; VOLPATO, C. E. S. Desempenho comparativo de um motor de ciclo diesel utilizando diesel e misturas de biodiesel. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1. 588-1.593, 2008.

BEZERRA, V. S. Aspectos do estado da arte, da produção e pesquisa com a palmeira murumuru (*Astrocaryum murumuru* Mart.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 5., 2008, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2008. 1 CD-ROM.

BIODIESELBR. **O futuro da soja e do programa de biodiesel**. 2012. Disponível em: <http://www.biodieselbr.com/noticias/colunistas/gazzoni/futuro-soja-programa-biodiesel-170712.htm>. Acesso em: 9 nov. 2015.

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

BORGES, R. **Frutas do Brasil. Murumuru.** 2008. Disponível em: <http://www.jornallivre.com.br/50571/frutas-no-brasil-murumuru.html> Acesso em: 15 out. 2015.

BORGES, K. A.; SQUISSATO, A. L.; SANTOS, D. Q.; BORGES NETO, W.; BATISTA, A. C. F.; SILVA, T. A.; VIEIRA, A. T.; OLIVEIRA, M. F.; HERNÁNDEZ-TERRONES, M. G. Homogeneous catalysis of soybean oil transesterification via methylic and ethylic routes: Multivariate comparison. **Energy**, Rondebosch, v. 67, p. 569 - 574, 2014.

BOSCH, R. **Manual de tecnologia automotiva.** 25 ed. São Paulo: Ed. Blücher, 2005. 1232p.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº. 415, de 24 de setembro de 2009. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 25 set. 2009.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás natural e Biocombustíveis (ANP). Resolução n. 31 de 1º outubro de 2012. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 02 out. 2012. Disponível em: <http://www.lex.com.br/legis_23811766_RESOLUCAO_N_31_DE_1_DE_OUTUBRO_DE_2012.aspx>. Acesso em: 12 set. 2015.

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

BUNCE, M.; SNYDER, D.; ADI, G.; HALL, C.; KOEHLER, J.; DAVILA, B.; KUMAR, S.; GARIMELLA, P.; STANTON, D.; SHAVER, G. Stock and Optimized Performance and Emissions with 5 and 20% Soy Biodiesel Blends in a Modern Common Rail Turbo-Diesel Engine. **Energy & Fuels**, Washington, v. 24, p. 928–939, 2010.

BUSSOLARO, I.; ZELIN, E.; SIMONETI, A. P. M. M. Aplicação de silício no controle de percevejos e produtividade da soja. **Cultivando o Saber**, Cascavel, v.4, n.3, p.9-19, 2011.

CALDERARI, V. H. **Avaliação das propriedades físico-químicas do biodiesel de soja, algodão e mamona e das mistura de biodiesel de soja e algodão.** 2011. 90 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, 2011.

CALIXTO, C. D. **Óleo de quiabo como fonte alternativa para produção de biodiesel e avaliação de antioxidantes naturais em biodiesel etílico de soja.** 2011. 121 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2011.

CAN, O. Combustion characteristics, performance and exhaust emissions of a diesel engine fueled with a waste cooking oil biodiesel mixture. **Energy Conversion and Management**, London, v. 87, p. 676–686, 2014.

CANDEIA, R. A. **Biodiesel de Soja: Síntese, Degradação e Mistura Binárias**. 2008. 150 f. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2008.

CANDEIA, R. A.; SILVA, M.C.D.; CARVALHO, J.R. FILHO.; BRASILINO, M.G.A.; BICUDO, T.C.; SANTOS, I.M.G.; SOUZA, A.G. Influence of soybean biodiesel content on basic properties of biodiesel-diesel blends. **Fuel**, Houston, v. 88, n. 4, p. 738- 743, 2009.

CANLI, E. “Supercharging and Intercooling Systems in Internal Combustion Engines”, Selcuk University Natural and Applied Sciences Institute, Konya (in Turkish). 2010.

CARVALHO, P. T. **Balanço de emissões de gases de efeito estufa de biodiesel produzido a partir de soja e dendê no Brasil**. 2012. 153 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

CARVALHO, H.M.; RIBEIRO A. B. Vantagens e desvantagens numa comparação com o diesel convencional. Bolsista de Valor: **Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense**, Campos dos Goytacazes, v. 2, n. 1, p. 49-53, 2012.

CARRARETTO, C.; MACOR, A.; MIRANDOLA, A.; STOPPATO, A.; TONON, S. Biodiesel as alternative fuel: Experimental analysis and energetic evaluations. **Energy**, London, v.29, n. 12, p. 2195 - 2211, 2004.

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. **Anais...** Brasília, 2006. p. 285-289.

CASTRO, C.N. “Comercialização varejista e atacadista de biodiesel no Brasil”. In: CASTRO, A.M.G., LIMA, S.M.V., SILVA, J.F.V. (eds), **Complexo Agroindustrial de Biodiesel no Brasil: Competitividade das Cadeias Produtivas de Matérias-Primas**, 1 ed., capítulo 4, Embrapa Agroenergia, Brasília, DF, 2011.

CAVALETT, O. **Análise do Ciclo de Vida da Soja**. 2008. 245 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

CHALLEN, B.; BARANESCU, R. Diesel engine reference book. 2nd ed. Woburn, MA: SAE and Butterworth Heinemann; 1999

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

CHOI, Y. S.; NESIC, S.; YOUNG, D. Effect of impurities on the corrosion behavior of CO₂ transmission pipeline steel in supercritical CO₂-water environments. **Environmental science & Technology**, Berkeley, v. 44, n. 23, p. 9.233 – 9.238, 2010.

COMPANHIA NACIONAL DO ABASTECIMENTO - CONAB. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Perspectivas para a agropecuária Safra2015/2016**. 2015. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_09_24_11_44_50_perspectivas_agropecuaria_2015-16_-_produtos_verao.pdf. Acesso em: 18 nov. 2015.

COMPANHIA NACIONAL DO ABASTECIMENTO - CONAB. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira, 2013**. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_05_09_09_29_16_boletim_graos_maio_2013.pdf. Acesso em: 10 set. 2014.

CORRÊA, S. M.; ARBILLA, G.; ATMOS. **Environmental**. 2006, 40, 6821.

CORREIA, T.P.S.; SOUSA, S.F.G.; TAVARES, L.A.F.; SILVA, P.R.A.; RIQUETTI, N.B. Disk harrow operational performance in three engine rotation speeds. **Científica**, Jaboticabal, v.43, n.3, p.221-225, 2015.

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. **Revista Química Nova**, São Paulo, v. 23, n. 4, p. 531-537, 2000.

CUNHA, et al. Superfícies geomórficas e atributos de Latossolos em uma sequência Arenítico-Basáltica da região de Jaboticabal (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 29, n. 1, p. 81-90, 2005. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/3687>>.

D'AGOSTO, M. A. **Análise da eficiência da cadeia energética para as principais fontes utilizadas em veículos rodoviários no Brasil**. 2004. 259 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

DANTAS, M. B. **Blendas de Biodiesel: Propriedades de Fluxo, Estabilidade Térmica e Oxidativa e Monitoramento Durante Armazenamento**. 2010. 118 f. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

DARICI, S.; CANLI, E.; OZGOREN, M. "Theoretic analysis of turbocharging effect on engine performance at internal combustion engines", 2. National Konya Eregli Kemal Akman Vocational College Bulletin Days, Konya TURKEY (in Turkish). 2010.

DAWODY, M. F. A.; BHATTI, S. K. Experimental and Computational Investigations for Combustion, Performance and Emission Parameters of a Diesel Engine Fueled with Soybean Biodiesel-Diesel Blends. **Energy Procedia**, Amsterdam, v. 52, p. 421–430, 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Evolução e Perspectiva de Desempenho Econômico Associados com a Produção de Soja nos Contextos Mundial e Brasileiro**. 2011. Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br/download/Doc319_3ED.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2015

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA SOJA. **Soja o grão mágico**. 2012. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br>> Acesso em: 16 jun. 2012.

EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICAS DO MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA- EPE. **Balanco Energético Nacional**. 2011. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/BEN/2_-_BEN_-_Ano_Base/1__BEN_Portugues_-_Ingls_-_Completo.pdf . Acesso em 14 fev. 2015.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco Energético Nacional 2014: resultados preliminares**. Rio de Janeiro, 2015. 51 p. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2015.

FARIAS, A. C. M.; SANTANA, J.S.; OLIVEIRA FILHO, M. F.; SANTANA, J.S.; BARBOSA, C.R.F.; MEDEIROS, J.T.N. Os combustíveis verdes do Brasil – Avaliação da lubricidade do óleo biodiesel B5 e óleos vegetais de coco e mamona. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA (CONEM), 6., 2010, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande, UFCG, 2010.

FERNANDES, M. R. **Formulação de novos combustíveis base diesel: avaliação de desempenho e emissões**. 2011. 138 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) -Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

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

FERREIRA, E. J. L. Caracterização Anatômica das Pinas Foliares de *Astrocaryum murumuru* Mart. (ARECACEAE). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIENCIA. 63 p., 2011, Goiânia. **Anais...** Goiânia: SBPC, 2011. 1 CD-ROM.

FERREIRA, E. J. L. F. **Manual das palmeiras do Acre, Brasil**. Disponível em: <http://www.nybg.org/bsci/acre/www1/manual_palmeiras.html>. Acesso em: 10 fev. 2012.

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

FREITAS, C.; PENTEADO, M. **Biodiesel- Energia do Futuro**. Ed. Letra Boreal, São Paulo, 2006.

FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P. da.; CARVALHO FILHO, A.; CORTEZ, J. W.; GROTTA, D. C. C. Semeadora-adubadora: exigências em função do preparo do solo, da pressão de inflação do pneu e da velocidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 01, p. 345-352, 2008.

GALVÃO, L.P.F.C.; BARBOSA, M. N.; ARAUJO, A. S.; JÚNIOR, V. J. F.; SANTOS, A. G. D.; LUZ JR., G. E. Iodeto de potássio suportado em peneiras moleculares mesoporosas (SBA-15 e MCM-41) como catalisador básico para síntese de biodiesel. **Química Nova**, São Paulo, v. 35, n.1, 2012.

GAMERO, C. A.; LANÇAS, K.P. Ensaio & Certificação das máquinas de mobilização periódica do solo. In: MIALHE, L.G. Máquinas agrícolas: Ensaio & certificação. Piracicaba: FEALQ, 1996.

GARCEZ, C. A. G.; VIANNA, J. N. D. S. Brazilian biodiesel policy: social and environmental considerations of sustainability. **Energy**, Rondebosch, v. 34, n. 5, p. 645–654, 2009.

GOES, T.; ARAÚJO, M.; MARRA, R. **Biodiesel e sua Sustentabilidade**. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/imprensa/artigos/2010>>. Acesso em: 23 jun. 2015.

GOG, A.; ROMAN, M.; TOS, M.; PAIZS, C.; IRIMIE, F. D. Biodiesel production using enzymatic transesterification e Current state and perspectives. **Renewable Energy**, New York, v. 39, n. 1, p. 10-16, 2012.

GONZALEZ, W. A. Biodiesel e óleo vegetal in natura. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008.

HOLANDA, A. **Biodiesel e inclusão social/ Ariosto Holada**. Câmara dos Deputados, coordenação de publicações, Brasília, 2004. 200 p. Série caderno de altos estudos, n.1, 2004.

HOMMA, A. K. O. Determinação de custos ambientais e de insumos na produção de palma de óleo no Estado do Pará. In: I COLÓQUIO DE PARCERIAS EM PESQUISA COM O TEMA “AS PESQUISAS ECONÔMICAS, AMBIENTAIS E SOCIAIS SOBRE

A EXPANSÃO DO DENDÊ NA AMAZÔNIA”. MCTI/ INCT- BIODIVERSIDADE. Belém, 2012.

INTERNATIONAL ENERGY OUTLOOK - IEO. **Analysis & Projections** . 2011. Disponível em: <<http://www.eia.gov/forecasts/ieo/index.cfm>>. Acesso em: out. 2013.

JORGE, M. Motores de Combustão Interna . 2006. Publindústria 437p. 2006.

KNOTHE, G. Designer biodiesel: optimizing fatty ester composition to improve fuel properties. **Energy & Fuels**, Washington, v. 22, n. 2, p.1.358–1.364, 2008.

KNOTHE, G. STEIDLEY, K.R. Kinematic viscosity of biodiesel fuel components and related compounds. Influence of compound structure and comparisons to petrodiesel fuels components. **Fuel**, Houston, v.84, p.1059-1065, 2005a.

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

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

LABECKAS, G.; SLAVINSKAS, S.; MAZEIKA, M. The effect of ethanol–diesel–biodiesel blends on combustion, performance and emissions of a direct injection diesel engine. **Energy Conversion and Management**, London, v. 79, p. 698–720, 2014.

LEE, K. T.; LIM, S.; PANG, Y. L.; ONG, H. C.; CHONG, W. T. Integration of reactive extraction with supercritical fluids for process intensification of biodiesel production: Prospects and recent advances. **Progress in Energy and Combustion Science**, Oxford, v. 45, p. 54-78, 2014.

LEUNG, D. Y. C.; WU, X.; LEUNG, M. K. H. A review on biodiesel production using catalyzed transesterification. **Applied Energy**, Oxford, v. 87, n. 4, p. 1.083–1.095, 2010.

LEUNG, D. Y. C.; KOO, B. C. P.; GUO Y. **Bioresource Technolog**, Amsterdam, v. 97, p.250- 256, 2006.

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

LIM, S.; TEONG, L. K. Recent trends, opportunities and challenges of biodiesel in Malaysia: An overview. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 14, n. 3, p. 938–954, 2010.

LIN, L.; YING, D.; CHAITEP, S.; VITTAYAPADUNG, S. Biodiesel production from crude rice bran oil and properties as fuel. **Applied Energy**, Oxford v. 86, n. 5, p. 681–688, 2009.

LIMA, L. P. **Biodiesel de dendê, mamona e tucumã no desempenho de um trator agrícola na operação de preparo do solo**. 119 f. 2012. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)- Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, Jaboticabal, 2012.

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

LIMA, S.M.V.; CASTRO, A.M.G. “O agronegócio do biodiesel e suas matérias-primas”. In: CASTRO, A.M.G., LIMA, S.M.V., SILVA, J.F.V. (eds), **Complexo Agroindustrial de Biodiesel no Brasil: Competitividade das Cadeias Produtivas de Matérias-Primas**, 1 ed., capítulo 2, Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2010.

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

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 INDÚSTRIA, 4., 2003, Porto Seguro. Anais... Porto Seguro: Sociedade Brasileira de Informática Aplicada à Agropecuária e à Indústria, 2003. 1 CD-ROM.

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

LOPES, J. P. N.; CORREA, N. C. F.; FRANÇA, L. F. Transesterificação do óleo de murumuru (*Astrocaryum murumuru*) para a produção de biodiesel. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 2., 2007, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: MCT/ABIPTI, 2007.

LOPES, A.; DABDOUB, M. J.; GROTTA, D. C. C.; CAMARA, F. T.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P. Consumo de biodiesel etílico de óleo residual em trator agrícola variando o percentual de mistura biodiesel e diesel de petróleo. **Revista da ANPG**, São Paulo, v. 1, n. 1, p.10-15, 2009.

LOTTERO, E.; LIU, Y.; LOPEZ, D. E.; SUWANNAKARN, K.; BRUCE, D. A.; GOODWIN, J. G.; Ind. Eng. Chem. Res., 2005, 44, 5353.

MACHADO, P. R. M. **Ésteres Combustíveis em Motor de Ciclo Diesel sob Condições de Pré-Aquecimento e Variação no Avanço de Injeção**. Santa Maria:

ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.7, N.13; 2011
 Pág. 163 Centro de Ciências Rurais, **Universidade Federal de Santa Maria**, 2008.
 Tese (Doutorado).

MAHL, D.; GAMERO, C. A.; BENEZ, S. H.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, A. R. B.
 Demanda energética e eficiência da distribuição de sementes de Milho sob variação
 de velocidade e condição de solo. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24,
 n. 01, p. 150-157, 2004.

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

MÁRQUEZ, L. Tractores Agrícolas: Tecnologías y utilización. Madrid: B&h Editores,
 2012. 844 p.

MARTINS, J. Motores de Combustão Interna, 2ª edição. 2006. Publindústria.

MARZULLO, R.C.M. **Análise da Ecoeficiência dos Óleos Vegetais Oriundos da
 Soja e da Palma, Visando a Produção de Biodiesel**. 2007. 279 f. Dissertação
 (Mestrado em Engenharia)- USP, São Paulo, 2007.

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

MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas: ensaios & certificação**. Fundação de Estudos
 Agrários Luiz de Queiroz, Piracicaba. 1996. 723 p.

MIRANDA, I.P. de A.; RABELO, A.; BUENO, C.R.; BARBOSA, E.M.; RIBEIRO, M.N.S.
Frutos de palmeiras da amazônia. Manaus: INPA, 2001. 118p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Ministério do meio ambiente**. 2015.
 Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/>>. Acesso em: 01 jul. 2015.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA- MME. **Boletim mensal dos combustíveis
 renováveis**. Brasília, 2015. Disponível em:
<http://www.mme.gov.br/documents/1138769/1732004/Boletim+DCR+n%C2%BA+89+-+junho+de+2015.pdf/cfcf8055-4bbd-42f7-971c-4d60caa2a8f7>. Acesso: 20 out.
 2015.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA- MME.. Secretaria de Petróleo, Gás Natural e
 Combustíveis Renováveis. **Boletim mensal**. Edição nº 51. Abril, 2012.

MONTANARINI, M. **Soja: nutrição e gastronomia**. Editora Senac. São Paulo. 2009.
 245 p.

MORETI, T.C.F. **Biodiesel etílico de babaçu x diesel B S1800: ensaio de
 opacidade da fumaça do trator agrícola variando os horários do dia**. 2015. 84 f.

Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, Jaboticabal. 2015.

MOSER, B. R. Biodiesel production, properties, and feedstocks. **In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant**, Heidelberg, v. 45, p. 229–266, 2009.

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

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

NASCIMENTO, J. F.; FERREIRA, E. J. L.; CARVALHO, A. L.; REGIANI, A. M. Potencial da palmeira de murumuru nativa do acre. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, n.1, p. 90-92, julho 2007.

NEVES, M.C.T. **Desempenho operacinal e opacidade da fumaça do trator agrícola em função do tipo de biodiesel (soja x murumuru) em operação de preparo do solo**. 2012. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, Jaboticabal, 2015.

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

OLIVEIRA, D. M.; ONGARATTO, D.P.; FONTOURA, L. A. M.; NACIUK, F. F.; SANTOS, V. O. B.; KUNZ, J. D.; MARQUES, M. V. Obtenção de biodiesel por transesterificação em dois estágios e sua caracterização por cromatografia gasosa: óleos e gorduras em laboratório de química orgânica. **Química Nova**, São Paulo, v. 36, n. 5, p. 734- 73, 2013.

OLIVEIRA, M. C. J. **Biodiesel de mamona em trator agrícola: Desempenho em função do período de armazenamento e da proporção biodiesel\ diesel**. 2012. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo). Jaboticabal, 2012.

PARENTE, E.J.S. “Biodiesel no Plural”, In: CRISTO, C.M.P.N. (coord), O Futuro da Indústria: Biodiesel - Coletânea de Artigos, Série Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior, 14, MDIC (Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior), Instituto Euvaldo Lodi – IEL/Núcleo Central. Brasília, DF: MDIC-STI/IEL, 2006.

PATIL, P. D.; DENG, S. Optimization of biodiesel production from edible and non-edible vegetable oils. **Fuel**, Houston, v. 88, n. 7, p. 1.302–1.306, 2009.

PEREIRA, S. S. C.; BEZERRA, V. S.; FERREIRA, L. A. M.; LUCIEN, V. G.; CARIM, M. de J. V.; GUEDES, M. C. Avaliações físico-químicas do fruto do urumuruzeiro [i.e. murumuruzeiro] (*Astrocaryum murumuru* Mart.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 3., 2006, Varginha. **Anais....** Varginha: UFLA, 2006. p. 576-580.

PERES, S.; SCHULER, A.; ALMEIDA, C.; CAMPOS, R.; LUCENA, A. Caracterização e determinação do poder calorífico e do número de cetano de vários tipos de biodiesel através de cromatografia. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 2, Brasília, 2007. **Anais...** Brasília: RBTB, 2007.

PETERSON, C. L.; COOK, J. L.; THOMPSON, J. C.; TABERSKI, J. S. Continuous flow biodiesel production. **Applied Engineering in Agriculture**, Oxford, v. 18, n.1, p. 5-11, 2012.

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

PETROBRAS DISTRIBUIDORA. **Formas de comercialização do óleo diesel**. Disponível em: <http://www.br.com.br/wps/portal/portalconteudo/produtos/automotivos/oleodiesel/portal+de+conteudo/produtos/automotivos/oleo+diesel/formas+de+comercializacao+do+oleo+diesel>>. Acesso em: 7 set. 2012.

PIMENTA JUNIOR, V. A. **Biodiesel: uso, limitações e implicações técnicas devido à degradabilidade oxidativa**. 2013. 158f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) - Escola de Economia de São Paulo, da Fundação Getúlio Vargas – EESP – FGV. São Paulo, 2013.

POSSIDONIO, E. R. **Otimização das condições de síntese de biodiesel de óleo de soja, visando atender normas de qualidade da ANP**. Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 2008, 33 p.

PRESSINOTT, F. Produção de biodiesel no primeiro semestre é recorde. **Econômico Valor**, 2013. Disponível em: <http://www.valor.com.br/agro/3253434/producao-de-biodiesel-no-primeiro-semester-e-recorde>. Acesso em: 10 de mai. 2014.

QUEIROZ, J. A. L. de; BEZERRA, V. S.; MOCHIUTTI, S. A palmeira murumuru (*Astrocaryum murumuru* Mart.) no estuário do rio Amazonas no Estado do Amapá. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 5.; CLÍNICA TECNOLÓGICA EM BIODIESEL, 2., 2008, Lavras. Biodiesel: tecnologia limpa. **Anais...** Lavras: UFLA, 2008. 1 CD-ROM.

QUEIROZ, J. A. L. de; MOCHIUTT, J. S.; MACHADO, S. do A.; GALVÃO, F. Composição florística e estrutura de floresta em várzea alta estuarina amazônica. **Floresta**, Curitiba, v. 35, n. 1, p.41-55, 2005.

RAMOS, M. J.; FERNÁNDEZ, C. M.; CASAS, A.; RODRÍGUEZ, L.; PÉREZ, A. Influence of fatty acid composition of raw materials on biodiesel properties. **Bioresource Technolog**, Amsterdam, v. 100, n. 1, p. 261–268, 2009.

RASHEDUL, H. K.; MASJUKI, H. H.; KALAM, M. A.; ASHRAFUL, A. M.; ASHRAFUR RAHMAN, S. M.; SHAHIR, S. A. The effect of additives on properties, performance and emission of biodiesel fuelled compression ignition engine. **Energy Conversion and Management**, London v. 88, p. 348–364, 2014.

REIS, A.V.; MACHADO, A.L.T.; TILLMANN, C.A.C.; MORAES, M.L.B. **Motores, tratores, combustíveis e lubrificantes**. Pelotas: UFPel, 1999. 315 p.

RINALDI, R.; GARCIA, C.; MARCINIUK, L. L.; ROSSI, A. V. R.; SHUCHARDT, U. Síntese de biodiesel: uma proposta contextualizada de experimento para laboratório de química geral. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 5, p. 1.374-1.380, 2007.

ROCHA, C.B.R.; POTIGUARA, R.C.V. Morfometria das fibras das folhas de *Astrocaryum murumuru* var. *murumuru* Mart. (Arecaceae). **Acta Amazonia**, Manaus, v. 37, n. 4, p. 511 – 516, 2007.

ROLIM, G. S.; CAMARGO, M.B.P.; LANIA, D.G.; MORAES, J.F.L. Classificação climática de köppen e de thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, v.66, n.4, p.711-720, 2007.

SAHOO, P. K.; das, L. M.; BABU, M. K. G.; ARORA, P.; SINGH, V. P.; KUMAR, N.R.; VARYANI, T. S. Comparative evaluation of performance and emission characteristics of *Jatropha*, *Karanja* and *Polanga* based biodiesel as fuel in a tractor engine. **Fuel**, Houston, v. 88, n. 9, p. 1.698–1.707, 2009.

SALVADOR, N.; MION, R. L.; BENEZ, S. H. Consumo de combustível em diferentes sistemas de preparo periódico realizados antes e depois da operação de subsolagem. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 03, p. 870-874, 2009.

SANFORD, S. D.; WHITE, J. M.; SHAH, P. S.; WEE, C.; VALVERDE, M. A.; MEIER, G. R. Feedstock and Biodiesel Characteristics Report. Ames: Renewable Energy Group, Inc., 2009. 136 p.

SANTOS, M. A. **Inserção do biodiesel na matriz energética brasileira**: aspectos técnicos e ambientais relacionados ao seu uso em motores de combustão. 2007. 40f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Faculdade de Economia e Administração da Universidade de São Paulo. São Paulo.2007.

SCHIRMER, W.N.; GAUER, M. A. Os biocombustíveis no Brasil: panorama atual, emissões gasosas e os métodos analíticos de monitoramento da qualidade do ar referente a gases de natureza orgânica. **Ambiência** Guarapuava, v.8 n.1 p. 157- 175, 2012.

SCHLESINGER, S., NORONHA, S. **O Brasil está nu!** O avanço da monocultura de soja, o grão que cresceu demais. Fase, 148 pp. 2006.

SHAH, S. N.; SHARMA, B. K.; MOSER, B. R. Preparation of Biofuel Using Acetylation of Jojoba Fatty Alcohols and Assessment as a Blend Component in Ultralow Sulfur Diesel Fuel. **Energy Fuels**, Washington, v. 24, n. 5, p. 3.189–3.194, 2010.

SHARMA, V.K.; YNGARD, R.A.; LIN, Y. Silver nanoparticles: Green synthesis and their antimicrobial activities. **Advances in Colloid and Interface Science**. v.145, p.83–96. 2009.

SHU, Q.; GAO, J.; NAWAZ, Z.; LIAO, Y.; WANG, D.; WANG, J. Synthesis of biodiesel from waste vegetable oil with large amounts of free fatty acids using a carbon-based solid acid catalyst. **Applied Energy**, Oxford, v. 87, n. 8, p. 2589–2596, 2010.

SILVA, V.P.; VAN DER WERF, H.M.G.; SPIES, A.; SOARES, S. R. Variability in environmental impacts of Brazilian soybean according to crop production and transport scenarios. **Journal of Environmental Management**, v. 91, n.9, p. 1.831-1.839, 2010.

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

SILVEIRA, J.C.M.; FERNANDES, H.C.; MODOLO, A.J.; SILVA, S.L.; TROGELLO, E. Energy needs of a planter at different travel and engine speeds. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 44-52, 2013.

SILVEIRA, J. C. M.; MODOLO, A. J.; SILVA, S. L.; GABRIEL FILHO, A. Força de tração e potência de uma semeadora em duas velocidades de deslocamento e duas profundidades de deposição de sementes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.1, p.125-128, 2005.

SMERDA, T.; CUPERA, J. Tire inflation and its influence on drawbar characteristics and performance - Energetic indicators of a tractor set. **Journal of Terramechanics**, v. 47, n. 6, p. 395- 400, 2010.

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.

SORATE, K. A.; BHALE, P. V. Biodiesel properties and automotive system compatibility issues. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 41, p. 777–798, 2015.

SOUSA, J.A. de; RAPOSO, A.; SOUSA, M. de M.M.; MIRANDA, E.M. de; SILVA, J.M.M. da; MAGALHÃES, V.B. Manejo de mururu (*Astrocaryum* spp.) para produção de frutos. Rio Branco, AC: Secretaria de Extrativismo e Produção Familiar, 2004. 30p.

SOUZA, Gustavo Rodrigues. **Avaliação experimental da transferência de calor em fornalha flamotubular utilizando como combustível o biodiesel e óleo diesel**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos – São Carlos, 2005.

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

SOUZA, C. D. R. de; CHAAR, J. da S.; SOUZA, R. C. R.; JEFFREYS, M. F.; SOUZA, K. dos S. de; COSTA, E. J. C.; SANTOS, J. C. dos. Caracterização físico-química das misturas binárias de biodiesel e diesel comercializados no Amazonas. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 39, n. 2, p. 383–388, 2009.

SUAREZ, P. A. Z; MENEGHETTI, S. M. P. 70º Aniversário do biodiesel em março de 2007. Evolução histórica e situação atual no Brasil. **Química Nova**, São Paulo, v. 3, n. 8, p. 2.068 - 2.071, 2007.

SZULCZYK, K.R. & McCARL, B.A. Market penetration of biodiesel. v.14, p. 2426–2433, 2010.

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

TAPANES, N. C.; ARANDA, D. A. G.; PEREZ, R. S.; CRUZ, Y. R. Biodiesel no brasil: matérias primas e tecnologias de produção. **Acta Scientiae & Technicae**, v. 1, n.1, 2013.

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

TEIXEIRA, L. C. G.; FRANÇA, L. F.; SOUZA, A. R.; CORREA, N. C. F.; SOUZA, M. M. V. M. Investigação da viabilidade da oleaginosa Murumuru (*Astrocaryum Murumuru*) para produção de biodiesel através da avaliação do uso de catálise heterogênea básica. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 4., 2010, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 2010. p. 923-924.

TREVISANI, L.; FABBRI, M.; NEGRINI, F.; RIBANI, P. L. Advanced energy recovery systems from liquid hydrogen. **Energy Conversion and Management**. v. 48, n.1, p. 146- 154, 2007.

TRINTIN, C. G.; PINHEIRO NETO, R.; BORTOLOTTTO, V. C. Demanda energética solicitada por uma semeadora-adubadora para plantio direto, submetida a três velocidades de operação. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 1, p. 127-31, 2005.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO” CÂMPUS DE JABOTICABAL – UNESP. **Departamento de Ciências Exatas: Estação meteorológica – Dados normais**. 2011. Disponível em: < www.fcav.unesp.br>. Acesso em 12 out. de 2015.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA. **Crop production**. 2015 . Disponível em: < <http://www.usda.gov/nass/PUBS/TODAYRPT/crop0915.pdf>> . Acesso em: 15 out. 2015

UZUN, A. The effects of intercooling on performance of a turbocharged diesel engine's specific fuel consumption with neural network. **Scientific Research and Essays**, v.5, n. 23, p. 3.781- 3.793, 2010.

VALTRA. Manual do operador, BH 145, BH 165, BH 180, BH185i, BH205i. 2012.

VAN GERPEN, J H.. Conceitos básicos sobre motores diesel e seus combustíveis. In. KNOTHE, G. (Org.); VAN GERPEN, J; KRAHL, J. Manual de Biodiesel. Tradução: Luiz Pereira Ramos. São Paulo: E Blücher, 2006. p..19-28.

VIANNA, J. N.; VALENTE, O.; SILVA, M.; AVILA, R.; SODRE, J. “Further developments on biodiesel production and applications in Brasil”. **Sustainable Development and Plannin**. v.6, n. 2, p. 119-134, 2011.

VOLPATO, C. E. S.; CONDE, A. P.; BARBOSA, J. A.; SALVADOR, J. Desempenho de motor diesel quatro tempos alimentado com biodiesel de óleo de soja (B 100). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 4, p. 1125-1130, 2009.

WADUMESTHRIGE, K.; SMITH, J. C.; WILSON, J. R.; SALLEY, S. O.; SIMONNG, K. Y. Investigation of the parameters affecting the cetane number of biodiesel. **Journal American Oil Chemists' Society**, v. 85, p.1.073-1.081, 2008.

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

ZUNIGA, A.D.; PAULA, M. M.; COIMBRA, J. S. R.; MARTINS, E. C. A.; SILVA, D. X. da; TELIS-ROMERO, J. Revisão: Propriedades Físico-Químicas do biodiesel. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 21, p. 55-72, 2011.

APÊNDICE

APÊNDICE 1. Curva característica do motor agrícola do trator Valtra BM 125i

SisuDiesel

CURVA Nº 0022/06

ISO 1585 LIQ.

MOTOR SISU 420DSRI 83659500 (BM125i)

POTÊNCIA 91,9 kW@2200rpm - TORQUE 450 Nm @ 1400 rpm

VALORES GARANTIDOS DENTRO DE $\pm$ 5%PONTO ESTÁTICO 225-APM8
BICO INJETORES LRB6105004
tubos de alta pres. 6x2,0x670 mm