

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

**PROPORÇÕES DE BIODIESEL DE PALMEIRAS X DIESEL B
S50: ENSAIO DE OPACIDADE DA FUMAÇA DO TRATOR
AGRÍCOLA**

Thaisa Calvo Fugineri Moreti

Engenheira Agrônoma

2018

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

**PROPORÇÕES DE BIODIESEL DE PALMEIRAS X DIESEL B
S50: ENSAIO DE OPACIDADE DA FUMAÇA DO TRATOR
AGRÍCOLA**

Thaiza Calvo Fugineri Moreti

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 Doutora em Agronomia (Ciência do Solo).

2018

M845p

Moreti, Thaisa Calvo Fugineri

Proporções de biodiesel de palmeiras x diesel B S50 :
Ensaio de opacidade da fumaça do trator agrícola / Thaisa
Calvo Fugineri Moreti. -- Jaboticabal, 2018

99 p. : il., tabs. + 1 CD-ROM

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Afonso Lopes

1. Arecaceae. 2. biocombustível. 3. emissões de escape. 4.
energia renovável. 5. ensaio de máquinas agrícolas. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo
autor(a).

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: PROPORÇÕES DE BODIESEL DE PALMEIRAS X DIESEL B S50: ENSAIO DE OPACIDADE DA FUMAÇA DO TRATOR AGRÍCOLA

AUTORA: THAISA CALVO FUGINERI MORETI

ORIENTADOR: AFONSO LOPES

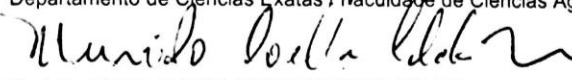
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:



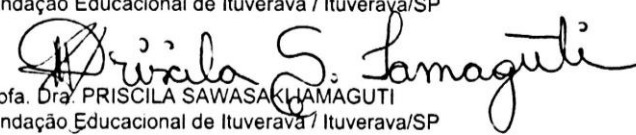
Prof. Dr. AFONSO LOPES
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Prof. Dr. LEOMAR PAULO DE LIMA
Instituto Federal do Triângulo Mineiro / Campus Uberlândia/MG

Prof. Dr. NEWTON LA SCALA JUNIOR
Departamento de Ciências Exatas / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP - Jaboticabal



Prof. Dr. MURILO COELHO THEODORO NEVES
Fundação Educacional de Ituverava / Ituverava/SP



Profa. Dra. PRISCILA SAWASAKI YAMAGUTI
Fundação Educacional de Ituverava / Ituverava/SP

Jaboticabal, 09 de novembro de 2018

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

THAISA CALVO FUGINERI MORETI – Engenheira Agrônoma, filha de Eduardo Moreti e Carla Auxiliadora Calvo Fugineri Moreti, nasceu em Tupã, interior do Estado de São Paulo, no dia 09 de junho de 1990. Em 2008, iniciou o curso de Agronomia na Universidade Estadual de Maringá (UEM), sendo bolsista do projeto de extensão universitária em Agricultura Urbana e Periurbana (CERAUP) do Ministério de Desenvolvimento Social (MDS) e também bolsista do Projeto de Iniciação Científica (PIBIC) na área de Máquinas e Implementos Agrícolas, onde começou a desenvolver pesquisas com biodiesel. Estagiou na Agrícola Confiagro Ltda., em parceria com a empresa Kimberlit Agrociências, atuando na região de Cascavel-PR. Em fevereiro de 2015, obteve o título de Mestre em Agronomia, na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (UNESP/FCAV), Câmpus de Jaboticabal. No ano de 2017, atuou como auxiliar de pesquisa em projeto encomendado pela Coordenadoria de Assistência Técnica Integral do Estado de São Paulo (CATI). Atualmente, é vice-representante discente do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UNESP/FCAV e integra o grupo de pesquisas do laboratório de Biocombustível e Ensaio de Máquinas-BIOEM, do Instituto de Pesquisa em Bioenergia-IPBEN, pertencente ao departamento de Engenharia Rural. Possui trabalhos publicados sobre a temática que envolve os biocombustíveis, desempenho do motor, trator agrícola e opacidade da fumaça. Em novembro de 2018, submete-se à banca examinadora para a obtenção do título de Doutora em Agronomia.

*“A verdade é que no céu e na terra há mais coisas do que
aquelas com que pode sonhar a nossa vã filosofia.”*

William Shakespeare

Ao *João Moacir Fugineri*, pelo verdadeiro amor, incentivo, sabedoria e inspiração.

Às pessoas que me fizeram ver a importância da Agronomia para mim, para o mundo e para construção de uma sociedade capaz de compreender as diferenças...

DEDICO

A *Deus*, o criador do universo;

Aos meus pais *Eduardo* e *Carla*, pela minha educação e incentivo às minhas lutas, independentemente das minhas escolhas;
Aos meus irmãos *Eduardo* e *Isabela*, que me dão coragem para seguir...

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por acalmar meu coração, dar-me muito mais do que eu preciso, e abençoar muito mais do que eu mereço.

A toda minha família, em especial à minha avó materna Águida Calvo Fugineri, pelo imprescindível incentivo e ao meu avô João Moacir Fugineri, por simplesmente tudo.

À minha tia Aguidarlene Calvo Fugineri, por acreditar em mim e não medir esforços para me ajudar a realizar meus sonhos.

A todos os meus professores, que me ensinaram a endurecer sem perder a ternura e a lutar pelo que acreditamos.

À CAPES, dado que o presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil - Código de Financiamento 001.

Ao meu orientador Prof. Dr. Afonso Lopes, pela orientação, respeito e, sobretudo, pela paciência e também por me ensinar sobre integridade pessoal e valores profissionais.

Ao Professor Dr. Leomar Paulo de Lima, pela dedicação e por me ajudar tomar decisões importantes, e ao Professor e amigo Dr. Raimundo Pinheiro Neto, pela graduação, conhecimentos e oportunidades.

Ao Professor Dr. Diego Silva Siqueira, pelas relevantes considerações ao trabalho.

Ao Professor Vítor Barato Neto, pelo cuidado com a revisão ortográfica e gramatical.

À equipe do laboratório, Biocombustíveis e Ensaio de Máquinas-BIOEM: Prof. Dr. Murilo Neves e Dra. Melina Cais, pelo aprendizado e carinho. À Profa. Dra. Priscila Sawasaki lamaguti, também pela atuação na vida pessoal e acadêmica. Ao Thyago Lira pelo companheirismo e ajuda indispensável, sobretudo, nessa última fase.

Ao conselho do programa de Ciência do Solo (Agronomia) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP-Câmpus de Jaboticabal, em especial ao Prof. Dr. José Marques Júnior (coordenador) e ao Prof. Dr. Newton La Scala Júnior.

Aos servidores da FCAV, a quem tive o prazer de conviver.

Ao estimado Dr. Juan Diego Férres, que vem sendo muito importante para a continuação dos trabalhos com biodiesel e crescimento profissional, por todo

aprendizado, respeito e preocupação ao compartilhar sua inigualável experiência comigo.

Ao amigo Sérgio Beltrão, diretor executivo da União Brasileira de Biodiesel e Bioqueosene (UBRABIO), pelas palavras de apoio.

À Sylvia Chedid Seidinger, amiga mais que especial, pela fidelidade, cumplicidade e força necessária para me ajudar a superar as dificuldades, desde sempre.

Aos 24 anos de amizade: Raíssa de Andrade Águas, por todo amor e carinho.

Aos amigos Fausto de Almeida Marinho Neto e Gustavo Henrique Squassoni, que fazem o possível para me ver feliz e me motivam a evoluir, em muitos sentidos, dia a dia.

À Isabela Baracat de Almeida e família, pela torcida de sempre.

À Patrícia Leonel Nocera, Liamara Borghezan e Riviane Donha, que mesmo distantes se preocupam.

À Raquel Barbero Brigantini, pela deliciosa companhia desde a infância.

Às tias de coração Vera Iori e Fátima Ferreira que me fazem sentir muito especial.

Por fim, a todos os que contribuíram, torceram, apoiaram e me encorajaram, de qualquer maneira, para a realização desta conquista. Agradeço...

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	1
1.1 Introdução e Justificativa.....	1
1.2 Biocombustíveis na matriz energética.....	2
1.3 Biodiesel no cenário nacional	6
1.4 Características gerais do biodiesel	11
1.4.1 Número de cetano	17
1.4.2 Viscosidade	18
1.4.3 Ponto de névoa e fluidez	20
1.4.4 Poder calorífico.....	21
1.4.5 Densidade	22
1.5 Oleaginosas da família <i>Arecaceae</i> para obtenção de biodiesel.....	23
1.5.1 Babaçu	23
1.5.2 Tucumã.....	26
1.5.3 Buriti	28
1.6 Referências.....	31
CAPÍTULO 2 – EMISSÕES DE ESCAPE EM TRATOR AGRÍCOLA ALIMENTADO COM BIODIESEL: UMA ABORDAGEM SOBRE OPACIDADE DA FUMAÇA	43
Resumo.....	43
2.1 Introdução	44
2.2 Objetivos	46
2.3 Metodologia.....	46
2.4 Revisão Bibliográfica	47
2.4.1 Regulamentações brasileiras para as emissões de escape	47
2.4.2 Emissões dos motores de ciclo diesel	53
2.4.3 Opacidade da fumaça.....	57
2.4.3.1 Utilização de biodiesel como combustível em motores ciclo diesel ..	59
2.4.3.2 Opacidade da fumaça em trator agrícola alimentado com biodiesel de palmeiras	66
2.5 Conclusões.....	71
2.6 Referências	71

CAPÍTULO 3—ENSAIO DE OPACIDADE DA FUMAÇA DE UM TRATOR AGRÍCOLA COM BIODIESEL DE PALMEIRAS PERTENCENTES À FAMÍLIA ARECACEAE: BABAÇU, TUCUMÃ E BURITI.....	82
Resumo.....	82
3.1 Introdução.....	83
3.2 Objetivo.....	84
3.3 Material e Métodos.....	85
3.3.1 Área experimental.....	85
3.3.2 Óleo diesel.....	85
3.3.3 Biodiesel.....	85
3.3.4 Trator.....	86
3.3.5 Delineamento experimental.....	86
3.3.6 Ensaio de opacidade da fumaça.....	88
3.4 Resultados e Discussão.....	90
3.5 Conclusões.....	95
3.6 Referências.....	95

PROPORÇÕES DE BIODIESEL DE PALMEIRAS X DIESEL B S50: ENSAIO DE OPACIDADE DA FUMAÇA DO TRATOR AGRÍCOLA

RESUMO- Preocupações com o esgotamento do petróleo, as demandas crescentes por energia e os regulamentos de emissões, tem motivado a comunidade científica a buscar alternativas estratégicas. Diante de tal contexto, a produção e a utilização do biodiesel em motores de ciclo diesel é um tema de muito interesse e representa uma janela de oportunidades para o Brasil, pois este é um combustível de cunho socioambiental, capaz de minimizar a emissão de poluentes advindos das emissões de escape. Entendendo que este é assunto que compreende as esferas econômicas, jurídicas e socioambientais, o presente trabalho teve por objetivo discorrer sobre os padrões para controle de emissões de escape em máquinas agrícolas, bem como comparar a opacidade da fumaça de um trator agrícola funcionando com óleo diesel B S50 e proporções (B0, B5, B15, B25, B50, B75 e B100) de biodiesel de palmeiras (babaçu, tucumã e buriti). A legislação brasileira está cada vez mais rigorosa em relação aos padrões de emissões advindas de gases de escape. Assim, na comparação com diesel BS50, notou-se que a opacidade da fumaça de um trator agrícola foi menor ao se aumentarem proporções de biodiesel, sendo que o biodiesel de babaçu (B100) foi o que apresentou melhor resultado para os fatores tipo e proporção de biodiesel.

Palavras-chave: *Arecaceae*, biocombustível, emissões de escape, energia renovável, ensaio de máquinas agrícolas

PROPORTIONS OF BIODIESEL OF PALMEIRAS X DIESEL B S50: OPACITY TEST OF THE SMOKE OF THE AGRICULTURAL TRACTOR

ABSTRACT - Concerns about the depletion of oil, growing demands for energy and emissions regulations, have motivated the scientific community to get strategic alternatives. In this context, the production and use of biodiesel in diesel engines is a topic of great interest and represents a window of opportunity for Brazil, since this is a socioenvironmental fuel, capable of minimizing the emission of pollutants from emissions. Understanding that this is a subject that encompasses the economic, juridical and socioenvironmental spheres, the present work had as objective to discuss the standards for control of exhaust emissions in farm tractor test, as well measure the opacity of the smoke of a tractor running on diesel oil B S50 and proportions (B0, B5, B15, B25, B50, B75 and B100) of palm biodiesel (babassu, tucumã and buriti). Brazilian legislation is becoming more stringent in relation to emission standards from exhaust gases. Thus, in the comparison with diesel BS50, it was observed that the opacity of the smoke of an agricultural tractor was smaller when increasing proportions of biodiesel, being that the babassu biodiesel (B100) was the one that presented the best result for the type factors and proportion of biodiesel.

Keywords: *Arecaceae*, biofuel, exhaust emissions, renewable energy, farm tractor test

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

1.1 Introdução e Justificativa

A presente tese está estruturada com um breve referencial bibliográfico sobre a contextualização do biodiesel na matriz energética (Capítulo 1). Essa primeira parte direciona a leitura para o Capítulo 2, que explana sobre o controle de emissões de gases de escape em máquinas agrícolas. O Capítulo 3 compreende um ensaio de opacidade da fumaça do motor de trator agrícola funcionando com biodiesel proveniente de palmeiras.

Em geral, os assuntos mencionados em tese buscam investigar o seguinte: proporções de biodiesel acrescidas ao diesel exercem influência nos valores de opacidade da fumaça advinda das emissões de escape de trator agrícola? Existe alguma relação entre as matérias-primas escolhidas como fonte de óleo quando se trata do ensaio de opacidade da fumaça? Quais fatores podem influenciar os resultados de opacidade?

A motivação para se conduzir o presente estudo é fundamentada na crise energética mundial devido ao aumento do preço e possibilidade de escassez futura do combustível fóssil, bem como a importância que o biodiesel representa à mitigação de gases do efeito estufa (GEE). Vale pontuar sobre esta questão que o Brasil, por meio do Acordo de Paris, precisa cumprir a meta de redução das emissões de GEE em 37% até o ano de 2025.

Aprofundando os estudos sobre os gases provenientes de emissões de escape que acometem o efeito estufa, o biodiesel tem chamado a atenção por ser considerado um produto estratégico para o alcance do tratado realizado em Paris, no ano de 2015 (COP 21). Para tanto, o interesse pela pesquisa da opacidade da fumaça de trator agrícola operando com biodiesel proveniente de oleaginosas nacionais pouco exploradas, como é o caso das palmeiras.

Ressalta-se neste sentido, que o grupo de pesquisa pertencente ao laboratório BIOEM da UNESP, Câmpus de Jaboticabal, colabora fortemente com a comunidade científica, no que tange a essa linha de pesquisa. Desde sua inauguração, em 2015, foram totalizadas 5 teses de doutorado e 2 dissertações de mestrado sobre a temática que diz respeito aos biocombustíveis e aos ensaios de

máquinas agrícolas. Neste ensejo, matérias-primas, pouco estudadas até então, serviram de escopo para a realização de trabalhos e publicações nacionais e internacionais em periódicos de prestígio pela academia. Dentre as fontes para a obtenção de biodiesel investigadas pelo grupo, podem ser citadas: babaçu, murumuru, mamona, dendê, tucumã, buriti e soja.

Por fim, sabendo da importância que envolve a temática sobre os gases poluentes e material particulado, espera-se que a presente pesquisa possa contribuir de maneira significativa à comunidade acadêmica e científica e, portanto, servir de embasamento às diversas áreas do conhecimento para as quais interessa o referido assunto, sejam elas sobre o âmbito ambiental, socioeconômico, jurídico ou tecnológico.

1.2 Biocombustíveis na matriz energética

Não é de hoje que os biocombustíveis têm atraído a atenção de muitos, como formuladores de políticas, pesquisadores e indústrias (Habib et al., 2010; Farooq et al., 2013; Mofijur et al., 2015; Kumar e Saravanan, 2016; Oliveira e Gonçalves, 2016), por ser renovável, biodegradável e menos poluente em comparação aos combustíveis fósseis. A utilização de biocombustíveis visa a reduzir emissões de dióxido de carbono em motores de combustão interna (Araújo et al., 2013; Millo et al., 2015; Ghazali et al., 2015; Oh et al., 2018). Assim, pode-se afirmar, também, que tais combustíveis surgiram para suprir muitas necessidades de esfera econômica; todavia, os problemas relacionados aos impactos à natureza e às mudanças climáticas são tidos como principais (Farooq et al., 2013).

De acordo com Gabriel (2015), o conhecimento dos biocombustíveis em relação às matérias-primas, pode ser mostrado na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1- Tipo de biocombustíveis

Biocombustível	Matéria-prima
Bioetanol	Cana-de-açúcar, milho e celulose
Biodiesel	Óleos vegetais e gorduras animais
Biogás	Resíduos agrícolas (cascas, folhagens e palhas); glicerina resultante da produção de biodiesel
Biometanol	Resíduo de madeira, glicerol, grama, algas, licor negro
Bioéter – dimetílico	Óleo natural e carvão
Bio-MTBE (Bioéter metil-terc-butílico)	Biometanol
Bio-ETBE (Bioéter etil-terc-butílico)	Bioetanol
Óleo vegetal	Plantas oleaginosas
Bioquerosene	Óleos vegetais ricos em ácidos graxos de cadeia curta
Bio-óleo	Serragem, bagaço de cana-de açúcar, resíduos agrícolas, casca de arroz
Bio- hidrogênio	Biomassa e/ ou fração biodegradável de resíduos para utilização como biocombustível

Adaptado de Gabriel (2015).

Os biocombustíveis são combustíveis para transporte, como é o exemplo do etanol e do biodiesel, obtidos por materiais provenientes de biomassa (Yusuf et al., 2011; Mofijur et al., 2015). Estes combustíveis são geralmente misturados com combustíveis de petróleo (gasolina e diesel), mas podem ser utilizados sozinhos, o que significaria a potencial redução da quantidade de petróleo importado de outros países (EIA, 2018).

O mundo tem traçado uma nova rota energética desde os chamados choques petrolíferos, nas décadas de 70 e 80 (Raele et al., 2014; Kumar e Saravanan, 2016). A partir daí, a atenção para com o meio ambiente tem motivado a produção e a comercialização de fontes energéticas alternativas, tais como os biocombustíveis, que hoje assumem um importante papel no cenário macroeconômico mundial (Rigotte et al., 2017).

O primeiro choque energético, em 1973, teve como estopim a Guerra do Yom Kippur, quando o preço de um barril de petróleo quadruplicou, anunciando expressivos aumentos em relação ao preço do produto, e a minimização em termos de oferta (Carvalho, 2006). Essas circunstâncias fizeram com que o Brasil tomasse

uma decisão diplomática que alinhasse sua estratégia de importação do petróleo e, a partir disso, muitos dos ganhos e da autossuficiência brasileira energética tem sido graças ao “Programa Nacional do Álcool”- Pró-Álcool (Kohlhepp, 2010).

O Pró-Álcool foi instituído em 1975, sob o intuito de se reduzir as importações de petróleo, além da busca estratégica por uma resposta nacional em meio à crise dos preços, dado que a demanda por importação, na época, ultrapassava cerca de 80% (Kohlhepp, 2010). Com o programa, fábricas, centros de pesquisa, universidades, empresas públicas e privadas, e toda uma gama de organizações foram mobilizados (Raele et al., 2014).

A importância do Pró-Álcool teve redução significativa quando o preço do barril de petróleo foi diminuído. Assim, de acordo com Carvalho et al. (2013), foi no ano de 1979 que o programa retornou ao auge, segunda fase, tendo ascensão durante mais de três décadas. Contudo, muitas das iniciativas para colocar os biocombustíveis à frente do setor energético tiveram origem em virtude do aumento populacional, desenvolvimento tecnológico cada vez mais retratado pela sociedade, da produção, destino dado ao lixo, e, principalmente preocupações sobre a possibilidade de esgotamento do petróleo (Novaes et al., 2014; Kumar et al., 2018).

O esgotamento do petróleo é um assunto de longa data e que merece atenção (Yusuf et al., 2011; Farooq et al., 2013; Santos e Silva, 2016). De acordo com Santos et al. (2015), este é um problema que ameaça o setor energético e a estabilidade econômica mundial, desde o começo do século XXI até os dias de hoje, sendo que ainda a energia fóssil é a principal e mais consumida fonte energética (Reham et al., 2015; Kumar et al., 2018). Neste sentido, é oportuno evidenciar, também, que o papel representativo ao petróleo não é somente pelo mérito de sua função energética, ou seja, trata-se, assim, de um bem econômico e geopolítico, que traz consigo a possibilidade da geração de riquezas, de conflitos, de violência, de guerras, de disputas financeiras e comerciais para os países que, de alguma forma, manifestam o interesse por esta fonte de energia não renovável (Monié, 2012).

Dados baseados nas informações do BP Statistical Review of World Energy que foram mostrados no Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis do ano de 2018, revelam que, no ano de 2017, o consumo mundial de petróleo totalizou 98,2 milhões de barris/dia, tendo aumento de 1,8% em comparação ao ano de 2016. Assim, Rathman et al. (2005) afirmaram na época que,

se o consumo de petróleo continuasse ultrapassando 80 milhões de barris por dia, o que já aconteceu no ano passado, as reservas não alcançariam o ano de 2046. Neste sentido, nota-se que muitos são os pesquisadores preocupados com essa temática, confirmando o esgotamento dessa fonte, pelo menos, dentro dos próximos 100 anos (Ghazali et al., 2015; Santos e Silva, 2016; Rodrigues et al., 2016; Kumar et al., 2018).

Pensando no futuro esgotamento de fontes fósseis, a Resolução de n. 14/2017 do Conselho Nacional de Política Energética-CNPE (2017) prevê a *necessidade em se aperfeiçoar o mercado de combustíveis, de modo a promover as bases para uma adequada expansão da produção e do uso de biocombustíveis no Brasil, nos próximos anos*. Assim, de maneira geral, as políticas energéticas predominantes a nível mundial, segundo Priambodo et al. (2015), são divididas em duas categorias: (1) desenvolvimento de recursos energéticos renováveis e (2) reciclagem e reutilização de energia residual.

No que tange à reciclagem à reutilização de resíduos, a tendência contemporânea concentra-se na expansão de economias verdes baseadas em soluções (Oh et al., 2018). Por esta razão, fomenta-se a importância que hoje é dada à inclusão dos biocombustíveis na matriz energética mundial, uma vez que, ao contrário das economias marrons, não são dependentes dos recursos petroquímicos finitos, que causam riscos ambientais (Moon et al., 2016).

Como já visto, o desenvolvimento de recursos energéticos renováveis é motivado pelo grande interesse mundial em reduzir a dependência das reservas de fontes energéticas limitadas, como é o caso dos combustíveis fósseis (Neves et al., 2013; Rodrigues et al., 2016; Santos e Silva, 2016). Entretanto, o interesse pela mitigação dos impactos ambientais ocasionados pelo consumo desse tipo de combustíveis ainda é considerado o fator principal, o que oportuniza o progresso da utilização dos biocombustíveis na matriz energética (Hernandez et al., 2014; Souza et al., 2016; Guimarães et al., 2018).

Tecnologias renováveis, como é o caso dos biocombustíveis, terão um papel de muita importância no que diz respeito ao futuro mundial. Neste particular, o Brasil mostra-se altamente competitivo na produção de biocombustíveis em valor à rica diversidade na capacidade edafoclimática e, conseqüentemente, no que diz respeito a produção de espécies vegetais utilizadas para esta finalidade (Moreti, 2015).

Por serem consideradas fontes de energia “limpas”, o uso otimizado de recursos renováveis tende a minimizar os impactos ambientais, além de produzir resíduos secundários mínimos e sustentáveis, pela necessidade social e econômica da atual e da futura sociedade (Panwar et al., 2011). Contudo, embora seja vastamente empregado o termo “limpo” às tecnologias renováveis, Carvalho (2001) esclarece que nenhum tipo de energia pode ser caracterizada como limpa; pois, em maior ou menor grau, todas são poluentes e agredem o meio ambiente.

Mesmo sabendo que não se trata de “energias limpas”, Araújo et al. (2013) explicam que os biocombustíveis são menos poluentes que os combustíveis fósseis, pois emitem substâncias químicas menos nocivas ao ambiente durante a combustão. Pode-se colocar como exemplo o etanol, que é considerado um dos principais mecanismos para combater o aquecimento global devido à redução da emissão de dióxido de carbono (CO₂). Neste ensejo, portanto, é que o biodiesel foi introduzido na matriz energética (Oh et al., 2018).

Pioneiro mundial na utilização de biocombustíveis, o Brasil apresenta posição de destaque no que tange ao desenvolvimento de fontes renováveis energéticas como alternativas estratégicas ao petróleo (Moreti, 2015). Dados, segundo a Agência Nacional do Petróleo (2018), apontam que, atualmente, por volta de 45% da energia e 18% dos combustíveis consumidos no Brasil já são renováveis (ANP, 2018a).

Dentre os biocombustíveis, destaca-se o biodiesel, considerado por muitos autores como uma forma tática de mitigar gases do efeito estufa devido ao balanço positivo de CO₂ e, ainda, por promover a geração de empregos, aumentando a economia local e a inclusão social (Giakoumis e Sarakatanis, 2018; Guimarães et al., 2018).

1.3 Biodiesel no cenário nacional

Até o final da década de 90, pouco se sabia sobre biodiesel no Brasil. Assim, a experiência brasileira foi baseada em países europeus, que estavam à frente nessa tecnologia. Foi então, entre os anos de 2000 e 2003 que a ideia sobre o combustível renovável, que até então era novidade, passou a ser difundida no País, sobretudo após a criação de um programa que depois se tornaria o chamado

Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel - PNPB (Chiaranda et al., 2005; Lopes et al., 2008).

A priori, o programa do biodiesel foi administrado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia–MCTIC, que estava à frente do desenvolvimento da tecnologia do biodiesel. A partir desse programa, criou-se uma rede de desenvolvimento para estender a tecnologia ao País, entretanto, sem nenhuma estrutura política até o ano de 2002. No ano de 2004, foi criada a Comissão Executiva Interministerial do Biodiesel - CEIB, que chegou a ter 14 ministérios, porém foi o Ministério de Minas e Energia-MME, que protagonizou o desenho sobre o PNPB, no ano seguinte.

O PNPB foi lançado pelo governo federal e teve apoio de setores produtivos, ambientais e tecnológicos (Lopes et al., 2008). Assim, em janeiro de 2005, a Medida Provisória 214/2004, que alterava a Lei do Petróleo e previa fixação de prazos para o incremento de biodiesel ao óleo diesel, em percentuais mínimos obrigatórios, deu lugar à Lei n. 11.097 de 13 de janeiro de 2005, e configurou o primeiro chamado Marco Regulatório no Brasil (Lopes et al., 2008; Mattei, 2010).

Até chegar a medida provisória em 2005, outros acontecimentos de importância para o biodiesel valem a pena ser lembrados. Este progresso pode ser demonstrado abaixo, a partir da cronologia sobre a evolução histórica do biodiesel, apresentada por Rathman et al. (2005):

1900: Primeiro ensaio por Rudolf Diesel, em Paris, de um motor movido a óleos vegetais

1937: Concessão da primeira patente a combustíveis obtidos a partir de óleos vegetais (óleo de palma), a G. Chavanne, em Bruxelas/Bélgica. Patente n. 422.877.

1938: Primeiro registro de uso de combustível de óleo vegetal para fins comerciais: ônibus de passageiros da linha Bruxelas-Lovaina/BEL.

1939-1945: Inúmeros registros de uso comercial na “frota de guerra” de combustíveis obtidos a partir de óleos vegetais.

1975: Lançamento do programa PRO-ÁLCOO.

1980: Depósito da 1ª Patente de Biodiesel no Brasil - Dr. Expedito Parente.

1988: Início da produção de biodiesel na Áustria e na França, e primeiro registro do uso da palavra “biodiesel” na literatura.

1997: EUA aprovam biodiesel como combustível alternativo.

1998: Setores de P&D no Brasil retomam os projetos para uso do biodiesel.

2002: Alemanha ultrapassa a marca de 1 milhão ton/ano de produção.

08/2003: Portaria ANP 240 estabelece a regulamentação para a utilização de combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos não especificados no País.

12/2003: DECRETO do Governo Federal Institui a Comissão Executiva Interministerial-CEI e o Grupo Gestor, encarregados da implantação das ações para produção e uso de biodiesel.

24-11-2004: Publicadas as resoluções 41 e 42 da ANP que instituem a obrigatoriedade de autorização deste órgão para produção de biodiesel, e que estabelece a especificação para a comercialização de biodiesel que poderá ser adicionado ao óleo diesel, na proporção 2% em volume

06-12-2004: Lançamento do Programa de Produção e Uso do biodiesel pelo Governo Federal

13-01-2005: Publicação no DOU da Lei n. 11.097, que autoriza a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira.

22-02-2005: Instrução Normativa SRF nº 516, que dispõe sobre o Registro Especial a que estão sujeitos os produtores e os importadores de biodiesel, e dá outras providências.

15-03-2005: Instrução Normativa da SRF n. 526, que dispõe sobre a opção pelos regimes de incidência da Contribuição para o PIS/PASEP e da Cofins, de que tratam o art. 52 da Lei n. 10.833, de 29 de dezembro de 2003, e o art. 4º da Medida Provisória n. 227, de 6 de dezembro de 2004.

24-03-2005: Inauguração da primeira usina e do posto revendedor de Biodiesel no Brasil (Belo Horizonte- MG).

19-04-2005: A medida provisória foi sancionada pelo presidente da República.

O incremento de biodiesel ao óleo diesel foi regulamentado pelo Decreto n. 5.448, no mesmo ano de 2005, o que possibilitou a comercialização do biodiesel na proporção de adição de 2% deste combustível ao diesel (B2)(Lopes et al., 2008). A Lei nº 11.097 estabeleceu prazos para a evolução da mistura compulsória. Foi em 2008, porém, que o B2 passou a ser obrigatório em todo o Brasil. Vale ressaltar que, com o objetivo de diminuir o efeito nocivo gerado ao meio ambiente, a União Europeia também permitiu a utilização de biocombustíveis na mistura do combustível, nos motores de combustão interna. Entretanto, realizaram-se

pesquisas tratando da influência do biodiesel nas concentrações das emissões, mostrando resultados inconclusivos (Petanovic et al., 2017).

No ano de 2010, o Conselho Nacional de Política Energética–CNPE, elevou o incremento de biodiesel ao diesel obrigatório para 5% (B5), antecipando o prazo de três anos, que estava previsto em lei. A partir daí, nota-se que o programa contou com um longo período de estagnação, tendo em vista que o B6 fora conseguido somente no ano de 2014. Vale ressaltar que, em agosto de 2014, a Resolução n. 45 da ANP tornou a especificação brasileira de biodiesel uma das mais rigorosas a nível mundial, o que garante sua qualidade, desde a produção até o consumo final (ANP, 2014).

Em novembro de 2015, a Comissão Especial do Desenvolvimento Nacional do Senado aprovou o PL 613/2015, que renunciava que a mistura obrigatória do biodiesel ao diesel chegasse progressivamente a 10% em até três anos. O Projeto de Lei foi aprovado, fazendo com que fosse sancionada, em março de 2016, a Lei n. 13.263, que alterava a Lei n. 13.033, de 24 de setembro de 2014, que trata dos percentuais de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado no território nacional. O incremento de biodiesel e a ampliação legal dos *blends* às normas legislativas podem ser compreendidos conforme Dermibas (2007), que garante a vantagem deste combustível em relação à gasolina e ao diesel de petróleo; vantagem esta adquirida por meio da preocupação ambiental que se tem frente às emissões de escape.

No Acordo de Paris, que ocorreu em dezembro de 2015, 195 países fizeram um pacto para descarbonizar a economia e desacelerar o processo de aquecimento global. O Brasil, por sua vez, comprometeu-se a reduzir 37% das emissões dos Gases do Efeito Estufa (GEE) até 2025, bem como a meta de 43% até 2030. Desse modo, para atender à Contribuição Nacionalmente Determinada, ou NDC (*Nationally Determined Contribution*), será necessário que o País amplie a produção de biocombustíveis.

Considerando todos os processos que envolvem o ciclo de vida da cadeia produtiva dos biocombustíveis, o Ministério de Minas e Energia–MME, lançou o programa “RenovaBio”, baseado em conceitos já utilizados nos Estados Unidos e na Europa, cujo objetivo é assegurar juridicamente os investimentos necessários à produção bioenergética.

O RenovaBio é a nova Política Nacional de Biocombustíveis, aprovada pela Lei n. 13.576, de 26 de dezembro de 2017. Pode ser definido como uma política estratégica e ambiental que preconiza valorizar e certificar a redução de CO₂. Para tanto, o programa visa a induzir a maior eficiência na produção e no uso dos biocombustíveis, bem como o reconhecimento da capacidade de cada combustível, dada a preocupação com o atingimento das metas de descarbonização (ANP, 2018b; UBRABIO, 2018).

A política do RenovaBio é designada a incorporar mecanismos mercadológicos como forma de fomentar e de distinguir a capacidade de cada biocombustível na redução da emissão de gases. Assim sendo, de maneira básica, o programa contará, a partir de sua execução, com dois mecanismos principais: (a) redução das emissões dentro de um período de, pelo menos, 10 anos; (b) certificação da produção de biocombustíveis, atribuindo assim notas para cada produtor, mediante a contabilidade de CO₂, em ciclo de vida (MME, 2018).

Os dois instrumentos que dão embasamento à nova política Nacional de Biocombustíveis são conectados por meio da criação de CBIOs (Crédito de Descarbonização por Biocombustíveis). Este crédito caracteriza-se como um ativo financeiro que pode ser negociado em bolsa e, principalmente, utilizado pelo setor de distribuição de combustíveis para atingir metas previamente estabelecidas (MME, 2018).

Sob um amplo enfoque, a Lei n. 13.576 baseia-se na proposta de aumentar a eficiência energética na produção e na utilização de biodiesel, etanol e bioquerosene. Neste sentido, os chamados CBIOs surgem como proposta de incentivar a produção destes biocombustíveis.

No ano de 2018, o Brasil conta com 51 plantas produtoras de biodiesel e apresenta capacidade total de produção autorizada de 22.870,02 m³/dia (ANP, 2018a). O cenário que o País enfrenta é animador, dado que o B10 já é uma realidade e, dessa forma, espera-se que o Brasil chegue a superar a escala de 5 bilhões de litros produzidos no ano de 2018 (APROBIO, 2018).

Vale destacar que grande parte (80%) da produção brasileira de biodiesel tem como principal fonte oleaginosa a soja (Moura et al., 2016; ANP, 2018c). Por mais que esta seja uma cultura de preço competitivo e com capacidade de cultivo em grandes escalas, faz-se necessária a exploração de outras matérias-primas para

a fabricação do biocombustível, pois o País ainda não conta com políticas de desenvolvimento que fomentam a diversificação de fontes na cadeia produtiva do biodiesel (Batistella, 2018).

O panorama que o biodiesel brasileiro vem enfrentando há dez anos pode ser mostrado na Figura 1.

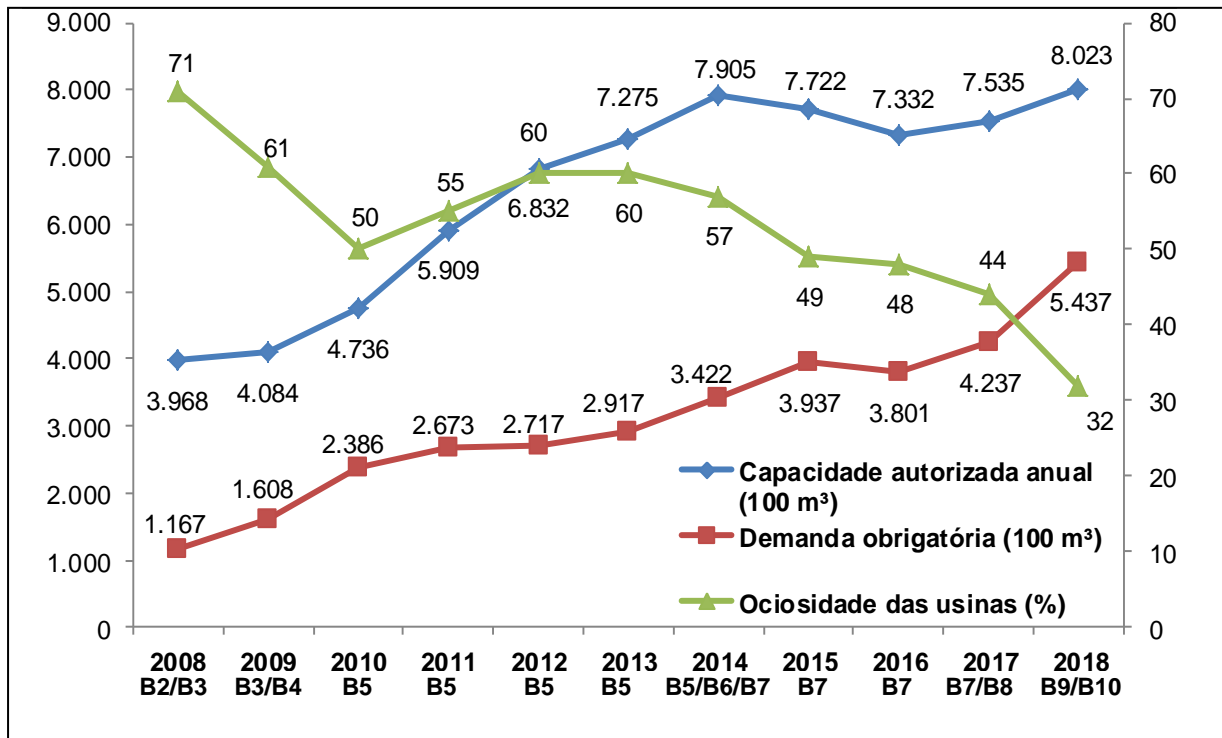


Figura 1. Panorâmica da evolução das misturas de biodiesel e o mercado nacional. Valores retirados da Aprobio (2018).

Nota-se, a partir da ilustração acima (Figura 1), que o progresso da obrigatoriedade de incremento de biodiesel na mistura tem possibilitado o avanço significativo por demanda (m^3), bem como a capacidade autorizada para a produção anual ($8.023 m^3$). Pode-se mencionar também a expressiva queda em relação à quantidade de plantas produtoras sem atividade, haja vista que este número era de 72% no ano de 2008.

1.4 Características gerais do biodiesel

O biodiesel (B100) é um combustível composto de monoalquilésteres de ácidos graxos de cadeia longa, derivados de óleos vegetais ou de gorduras animais,

designados B100 (ANP, 2003). A primeira utilização de óleos vegetais como biodiesel foi realizada em 1900, por Rudolf Christian Karl Diesel, quando ele utilizou óleo de amendoim na alimentação de um protótipo de motor de injeção indireta, na Exposição Universal de Paris (Ghazali et al., 2015). No entanto, conforme Knothe (2006), esta utilização levou a uma combustão deficiente, já que o óleo de amendoim possui alta viscosidade e, portanto, resultou na obstrução de bicos injetores (Pinho e Teixeira, 2015).

De acordo com Silva (2010), óleos provenientes de fontes vegetais são compostos por triglicerídeos e pertencem à classe dos lipídios. Considerando os biocombustíveis presentes na matriz energética, o biodiesel é combustível obtido por meio de fontes renováveis em processo químico denominado transesterificação (Silva et al., 2014; Nayaki e Pattanaik, 2014; ANP, 2018a). Na reação de transesterificação, triglicerídeos reagem com um álcool de cadeia curta, na presença de um catalisador, ou seja, óleo vegetal é convertido em biodiesel (monoalquíésteres) e glicerol (Figura 2).

A transesterificação foi conhecida em 1853 por meio do cientista George Chavanne, da Universidade de Bruxelas, que empregou esse processo químico em óleos vegetais, visando à utilização em motores do ciclo diesel. Assim, de acordo com Pinho e Teixeira (2015) este feito possibilitou que óleos vegetais pudessem ser utilizados em motores de ignição por compressão, sem que houvesse danos no desempenho. Deste modo, óleos provenientes de fontes energéticas vegetais são transformados em alquílicos de ácidos graxos, podendo ser usados diretamente em motores de combustão interna por compressão (motor diesel), sem a necessidade de adaptações (Moura et al., 2016; Delalibera et al., 2017).

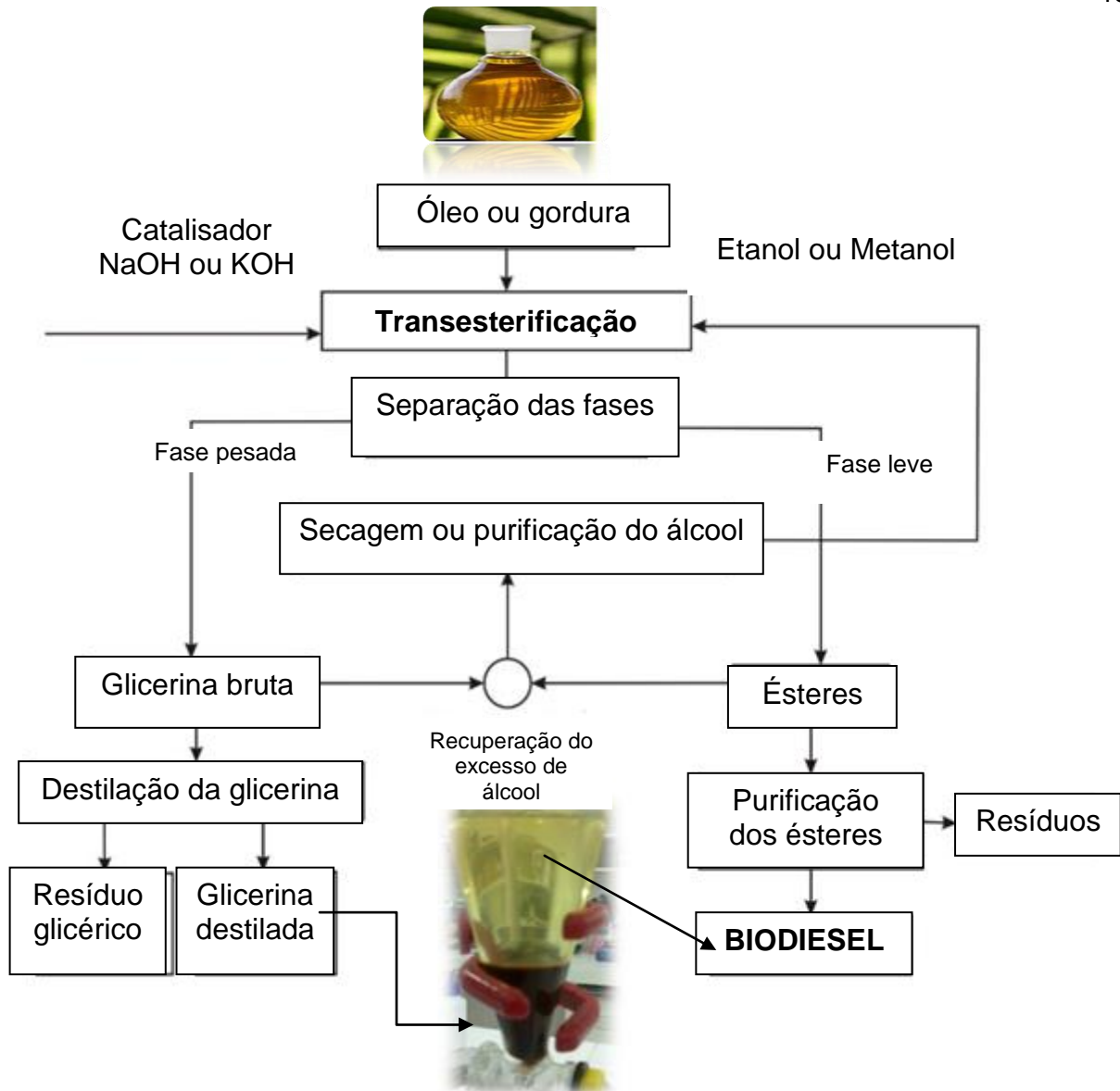


Figura 2. Fluxograma ilustrativo sobre o processo de transesterificação para produção de biodiesel e o co-produto glicerina a partir de óleo vegetal. Elaborado pela autora (2018).

O processo de transesterificação é de ampla aplicabilidade industrial e vastamente utilizado para obtenção de monoésteres alquílicos de ácidos graxos (biodiesel) (Meneghetti et al., 2013). Neste processo, os catalisadores ácidos ou base são uma tecnologia comum para produzir biodiesel a partir de resíduos oriundos de materiais primários (Priambodo et al., 2015). Na indústria, o metanol é mais utilizado que o etanol em virtude da rapidez do processo. No entanto, a utilização deste reagente gera impactos negativos, por exemplo, em relação à sua toxicidade. Ainda diante do contexto industrial, o metilato de sódio é o catalisador mais aplicado na reação de transesterificação, pois além do caráter básico similar à soda, é menos agressivo.

O óleo vegetal como fonte para fabricação de biodiesel tem suas propriedades modificadas após o processo de transesterificação (Silva et al., 2014). Conforme Almeida (2008), o processo resulta na redução de parâmetros como: viscosidade, ponto de fulgor, densidade, ponto de névoa e resíduos de carbono. Por outro lado, o número de cetano fica maior ou igual ao óleo diesel.

As matérias-primas para produção de biodiesel são primariamente categorizadas em quatro grandes grupos: óleo vegetal (comestível ou não); gordura animal; óleo residual, e óleo de algas (Ghazali et al., 2015). Neste sentido, de acordo com Almeida et al. (2016), no processo de fabricação deste combustível, deve-se, imprescindivelmente, levar-se em conta a matéria-prima a ser utilizada como fonte de óleo, pois esta pode representar cerca de até 85% do preço final do produto.

A pesquisa de Moreti (2015) evidenciou a abundância de plantas oleaginosas que o Brasil possui e, portanto, o destaque que o País apresenta em relação ao potencial promissor no que tange à produção de biodiesel. Diante deste contexto, Moura et al. (2016) explicam que esta abundância pode ser pontuada em virtude das variações climáticas que o território apresenta, o que possibilita a exploração de diversas culturas, tais como: algodão, amendoim, gergelim, soja, macaúba, babaçu, pinhão-manso, buriti, linhaça, tucumã, crambe, macadâmia, nabo-forrageiro, mamona, coco, canola, entre muitas outras.

A variação de matérias-primas para produção de biodiesel exerce influência na qualidade do combustível e nas emissões provenientes desta utilização em motores (Lira et al., 2016; Guimarães et al., 2018). De acordo com Giakoumis e Sarakatsanis (2018), isto acontece, pois cada matéria-prima (e seus óleos vegetais originários) tem uma estrutura em ácidos graxos e propriedades químicas que são distintas e peculiares. Assim, conseqüentemente, as propriedades físicas e químicas do biodiesel também diferem e, portanto, a qualidade de combustão, o desempenho do motor, o consumo específico e as emissões de escape, estarão sujeitos às propriedades de tais combustíveis.

O biodiesel atrai cada vez mais a atenção mundial como componente para mistura de combustíveis ou em substituições diretas para o diesel em motores (Moura et al., 2016). É um combustível semelhante ao diesel de petróleo em relação ao conteúdo energético e, deste modo, pode ser utilizado em motores de ignição por

compressão sem nenhuma adaptação (Gorle e Koelhe et al., 2012; Xing Peng, 2015; Moura et al., 2016; Delalibera et al., 2017).

Guimarães et al. (2018) explicam que esta substituição do diesel por biodiesel é possível, já que as características físico-químicas do diesel mineral se assemelham às do biodiesel. Assim, o que tem motivado o uso de biodiesel na maquinaria agrícola para Volpato et al. (2009) é que pode-se pensar em sua função de maneira análoga aos combustíveis nos motores de ciclo Otto, ou seja, da mesma forma que o álcool substitui a gasolina em motores deste ciclo, nos motores de ciclo diesel, o biodiesel pode vir a substituir o diesel sem a necessidade de adaptações mecânicas, seja no motor, seja até mesmo nas máquinas. Tal fato coloca-os diante de certa vantagem em relação às demais alternativas de combustíveis considerados “limpos” (por exemplo: álcool etílico, gás natural e biogás), uma vez que estes combustíveis necessitam de adaptações.

Após a obtenção do biodiesel, independentemente do material de origem utilizado em sua produção, aspectos físicos e químicos, tais como, número de cetanos, viscosidade, poder calorífico e ponto de névoa, precisam ser avaliados para a determinação da qualidade do combustível a ser obtido (Costa Neto et al., 2000) e conseqüentemente, para a introdução ao mercado. Além destas propriedades, Lôbo et al. (2009) acrescentam a necessidade de serem pesquisados demais parâmetros, sendo: massa específica, viscosidade cinemática, índice de iodo, fração de destilados, ponto de entupimento de filtro a frio e ponto de fluidez. Para a Petrobrás (2013), também se faz necessária a caracterização do combustível pelos parâmetros: densidade e teor de enxofre.

As propriedades físico-químicas dos combustíveis estão relacionadas às estruturas moleculares dos alquilésteres que compõem a molécula e, neste contexto, parâmetros analíticos são investigados como forma de se controlar o desempenho do combustível. Em outras palavras, a composição de um combustível alternativo está relacionada diretamente à composição do óleo de origem, e, portanto, as propriedades físico-químicas, como densidade, estabilidade oxidativa e viscosidade, podem ser refletidas de acordo com a composição deste mesmo óleo (Silva et al., 2014).

Em geral, pode-se dizer que o biodiesel, como combustível, apresenta as seguintes características: alto número de cetanos, maior ponto de fulgor e maior

viscosidade que o diesel, bem como a presença de oxigênio na molécula que o compõe (Beltrão e Oliveira, 2008).

Assim, para ser utilizado como combustível, o biodiesel necessita estar dentro de especificações mínimas de qualidade que são asseguradas pela ANP. No Brasil, os parâmetros físico-químicos para a avaliação da qualidade do biodiesel são encontrados na Portaria n. 255 da ANP. Tais características incluem: ponto de fulgor, teor de água e sedimentos, viscosidade, cinzas, teor de enxofre, corrosividade ao cobre, número de cetano, ponto de névoa, resíduo de carbono, número de acidez, curva de destilação (ou a temperatura necessária para a recuperação de 90% do destilado), estabilidade oxidativa, teor de glicerina livre e total, cor e aspecto (ANP, 2003).

Os limites de especificações para a qualidade dos combustíveis é uma forma de preservar o motor dos veículos automotores, bem como o meio ambiente. A Tabela 1 abaixo apresenta a descrição de algumas propriedades importantes para caracterização qualitativa dos combustíveis, bem como as possíveis causas de influência nos motores.

Tabela 1- Descrição de algumas propriedades dos combustíveis.

Propriedades	Definição	Causa
Densidade	massa contida em determinado volume	potência, emissões e economia de combustível
Viscosidade	tempo de escoamento do combustível em capilar padronizado	atomização, lubrificação do sistema de injeção
Destilação	faixa de temperatura de vaporização à pressão atmosférica	potência, fumaça, depósitos no motor
Número de cetano	qualidade de ignição	fumaça, partida a frio, ruído, economia de combustível, emissões
Teor de enxofre	enxofre total presente	desgaste de cilindros e anéis, depósitos no motor, emissões
Ponto de Fulgor	temperatura mais baixa na qual o produto se vaporiza em quantidade suficiente para formar uma mistura inflamável com ar	segurança, sistema de injeção tamponamento

Adaptado de Petrobrás (2013).

Na obtenção de biodiesel, cada fonte de óleo vegetal tem sua peculiaridade em relação às propriedades físico-químicas. Estas propriedades refletem diretamente a qualidade do biodiesel fabricado. A Tabela 2 a seguir mostra as propriedades de alguns óleos vegetais *in natura*, bem como a do óleo diesel mineral que é encontrada na literatura por Costa Neto et al. (2000).

Tabela 2 - Especificações de alguns óleos vegetais e óleo diesel.

Características	Tipo de óleo				
	Mamona	Babaçu	Dendê	Soja	Diesel
Poder calorífico (Kcal/ Kg)	8.913	9.049	8.946	9.421	10.950
Ponto de névoa (°C)	10	26	31	13	0
Índice de cetano	Nd	38	38-40	36-39	40
Densidade a 25°C	0,9578	0,9153	0,9118	Nd	0,8497
Viscosidade a 37,8°C (cSt)	285	30,3	36,8	36,8	2,0- 4,3
Destilação a 90% (°C)	Nd	349	359	370	338
Teor de cinzas (%)	Nd	0,03	0,01	Nd	0,014
Cor (ASTM)	1,0	0,5	1,0	nd	2,0
Resíduo de carbono*	nd	0,28	0,54	nd	0,35

Costa Neto et al. (2000).

1.4.1 Número de cetano

O número de cetano (NC) é um parâmetro importante ao se avaliar a eficiência da queima de um combustível e a qualidade de ignição (Ghazali et al., 2015). Knothe (2005) explica que, da mesma forma que a octanagem indica o tempo de atraso na ignição de combustíveis em motores do ciclo otto, o número de cetanos reflete este mesmo tempo, só que em motores do ciclo diesel. Assim, conforme maior o índice de cetano, melhor é a combustão no motor de ciclo diesel (Zuniga et al., 2011).

Em motores de ciclo diesel, o início do processo de combustão ocorre a partir da autoignição do combustível, onde o ar atmosférico é admitido para dentro da câmara de combustão e depois comprimido pelo pistão. Neves (2016, p. 14) esclarece, neste sentido, que este processo acarreta o aumento de temperatura, e imediatamente antes do instante em que o processo de combustão deve ser

* Resíduo de carbono Conradson sobre 10% do resíduo seco

iniciado, o combustível é injetado. O tempo decorrido entre o início da combustão é chamado de atraso de ignição.

O baixo número de cetano implica em retardos de ignição mais longos (Ghazali et al., 2015). De acordo com Lu et al. (2004) este tempo pode resultar no mau funcionamento do motor, bem como na perda de potência e, assim, conseqüentemente, o aumento de partículas nocivas ao ambiente que são provenientes das emissões de escape, devido à combustão incompleta.

O índice de cetano é uma propriedade que vai depender do grau de saturação, e quanto mais saturada for a cadeia de carbono do combustível, mais alto será o índice de cetano (Pinto et al., 2005). Em outras palavras, quanto menor a quantidade de duplas ligações (insaturações) nas moléculas, maior o número de cetano do combustível e, conseqüentemente, melhor a qualidade do processo de combustão e, por conseguinte, valores mais altos de torque (Ghazali et al., 2015).

Um combustível que apresenta maior número de cetano, como é o caso do biodiesel, é admitido com maior facilidade na combustão por ignição por compressão quando se compara a um que não tenha (Souza et al., 2016). O fato de o biodiesel apresentar maior índice de cetano pode estar relacionado com a porcentagem de oxigênio que é conferida à molécula (Muñhoz et al., 2004).

Melhores resultados em relação à quantidade de cetanos no biodiesel podem ser evidenciados nos combustíveis em que predominam ácidos graxos monoinsaturados (oléico, ricinoléico). Contudo, cabe pontuar também que maiores valores de cetano podem gerar aumento no ponto de névoa e entupimento (Beltrão e Oliveira, 2008).

1.4.2 Viscosidade

A viscosidade de um combustível é uma das propriedades mais importantes para a avaliação da qualidade dos combustíveis. Como justificativa, Castellanelli et al. (2008) sugerem que esta é a propriedade que confere a possibilidade do uso de biodiesel em motores de ignição por compressão, sem que haja modificações. Esta é uma propriedade relacionada à quantidade de duplas ligações ou ao tamanho da cadeia carbônica. Assim, maiores quantidades de duplas ligações e menor cadeia

carbônica, maiores serão os índices de viscosidade de um combustível (Silva et al., 2014).

De acordo com Neves (2016) viscosidade é a medida da resistência interna ao escoamento de um líquido, o que significa a singularidade pela resistência à deformação em determinada temperatura, podendo também ser definida como fricção ou atrito interno de uma parte do fluido que escoa sobre outra superfície. A temperatura é um fator que exerce influência sobre as características de viscosidade. Deste modo, Brock et al. (2008) notaram que os valores de viscosidade aumentam à proporção que a temperatura é diminuída.

Para que a utilização de biodiesel em motor ciclo diesel seja eficiente e não necessite de ajustes mecânicos, os valores de viscosidade do biocombustível devem ser semelhantes aos do combustível fóssil. Conforme determinado na Resolução ANP n. 14, tais valores devem variar entre 3,0 e 6,0 $\text{mm}^2.\text{s}^{-1}$, para biodiesel (B100) (ANP, 2012).

Mesmo sendo mantida a estrutura original do ácido graxo, a conversão de óleos vegetais em biodiesel, por meio da reação de transesterificação possibilita a diminuição da viscosidade, o que faz com que o combustível atenda às mesmas especificações do diesel (Silva et al., 2014). A importância que a transesterificação exerce à viscosidade do combustível foi muito bem evidenciada por Albuquerque et al. (2006), que ao estudarem o óleo de canola antes e depois da transesterificação puderam chegar aos valores: 58,9 $\text{mPa}.\text{s}^{-1}$ (densidade do óleo vegetal), comparado a 5,68 $\text{mPa}.\text{s}^{-1}$, o biodiesel.

Independentemente da fonte, o biodiesel tende a apresentar maiores valores de viscosidade em relação ao diesel (Freitas et al., 2009). Como exemplos em relação às origens dos combustíveis, têm-se os seguintes valores de viscosidade ($\text{mPa}.\text{s}^{-1}$) a 40 °C do diesel no valor de 3,47 (Abreu et al., 2011); babaçu em 4,00 (Lima et al., 2007) e soja em 3,94 (Abreu et al., 2011). Ressalta-se o caso da mamona em que, de acordo com Albuquerque et al. (2009), a viscosidade é 13,50.

A viscosidade do óleo de mamona pode chegar a ser superior à do diesel mineral em até 100 vezes. Por esta razão, nota-se que tal matéria-prima “foge” à regra com base nos valores de outras oleaginosas, entretanto, demais propriedades são semelhantes (Lima, 2012).

Um combustível com altos valores de viscosidade tende a danificar o sistema de injeção do motor em razão do acúmulo de carbono formado nos bicos injetores e nos anéis do pistão (Nagano et al., 2012). Isto porque a viscosidade cresce em função do comprimento da cadeia carbônica e do maior grau de saturação do combustível.

Altos índices de viscosidade remetem à queima incompleta do combustível, pois esta é uma propriedade que desempenha papel importante e influencia diretamente na formação da mistura e no processo de combustão (Reham et al., 2015). Por outro lado, a maior viscosidade e a tensão superficial do biodiesel impedem a quebra da molécula do biodiesel durante o processo de injeção (Buyukkaya et al., 2013).

Valores baixos de viscosidade, porém, tornam a entrada do combustível na câmara de combustão mais difícil, diminuindo a eficiência do motor (Neves, 2016). Totten, Westbrook e Shah (2003) apontam o rápido desgaste do sistema de alimentação do motor como outro problema causado por baixos índices de viscosidade.

Para se analisar a viscosidade de um biodiesel, é necessária, portanto, a utilização de viscosímetro termostático a 40°C e, todavia, conhecer os valores de massa específica do combustível em mesma temperatura. No caso da determinação da viscosidade de um líquido não conhecido, é necessário o conhecimento dos valores de densidade e de viscosidade de um líquido conhecido, em que de modo geral, utilizam-se os valores da água (Milli et al., 2011).

1.4.3 Ponto de névoa e fluidez

A grande diversidade de matérias-primas potenciais para obtenção de biodiesel tem levado pesquisadores e engenheiros a aprimorar técnicas da transesterificação de forma que se estabeleça equilíbrio físico-químico das características do biodiesel (Antolín et al., 2002). O combustível renovável apresenta desvantagem ao petrodiesel em relação ao ponto de névoa (Dabdoub et al., 2009).

É sabido que o tamanho da molécula, juntamente com o número de instaurações são fatores que irão determinar o ponto de fusão dos ácidos graxos.

Por esta razão, as propriedades físico-químicas do combustível sofrem influência direta das peculiaridades que cada matéria-prima possui (Neves, 2016). O valor do ponto de névoa é diretamente proporcional ao número de cetano e também ao tamanho da cadeia carbônica do combustível (Beltrão e Oliveira, 2008).

O ponto de névoa significa o ponto, ou melhor, a temperatura inicial em que o óleo começa a cristalizar-se. Em temperaturas baixas, o biodiesel perde a fluidez ou solidifica-se, interrompendo seu fluxo e provocando o entupimento dos filtros, gerando problemas na partida do motor (Lôbo et al., 2009). Isto acontece, pois de maneira geral os óleos vegetais apresentam maior ponto de névoa quando comparados ao diesel convencional.

Para resolver os problemas relacionados à cristalização do combustível, utilizam-se aditivos no óleo vegetal como forma de proporcionar maior fluidez, reduzindo assim o ponto de névoa e auxiliando o comportamento físico-químico do biodiesel. Vale pontuar neste contexto que o ponto de névoa não restringe a possibilidade da utilização de ésteres obtidos em óleos vegetais de cadeias saturadas a serem utilizados na fabricação de biodiesel; contudo, tem seu uso limitado na forma de B100 ou em misturas superiores a B20, dependendo do clima da região (Dabdoub et al., 2009).

A fluidez (ponto de fluidez) pode ser descrita como a menor temperatura em que o combustível consegue escoar. Portanto, trata-se de uma grandeza importante principalmente ao transporte e armazenamento do combustível. De acordo com Knothe (2006), o ponto de fluidez não recebe influência direta das características de viscosidade, mas apresenta relação direta com a formação de cristais no combustível.

1.4.4 Poder calorífico

O poder calorífico é um ótimo parâmetro para se qualificar o potencial energético de combustíveis obtidos a partir de biomassa, tendo como definição a quantidade de energia que é liberada na combustão completa de uma unidade de massa do material combustível (Protásio et al., 2011).

Quanto maior for o poder calorífico de um combustível, menor será seu consumo no sistema de alimentação (Peres et al., 2007). O poder calorífico do

biodiesel, de modo geral, é menor do que o do diesel (Camara, 2009; Souza et al., 2009; Russini et al., 2018). Lima (2012) explica que o biodiesel tem formulação ausente de hidrocarbonetos aromáticos, elementos que lhe conferem menores valores de poder calorífico.

As definições de poder calorífico abrangem dois tópicos: (a) poder calorífico superior; (b) poder calorífico inferior. No poder calorífico superior (PCS), a combustão é realizada sob volume constante e no qual a água formada durante o processo é condensada e o vapor de água não é perdido (Protásio et al., 2011).

As definições de poder calorífico, conforme o Regulamento Técnico ANP n.3, anexo da Portaria ANP n. 128, de 28 de agosto de 2001, descritas por Neves (2016, p.12), constam: “PCS: quantidade de energia liberada na forma de calor, na combustão completa de uma quantidade definida de gás com o ar, à pressão constante e com todos os produtos de combustão retornando à temperatura inicial dos reagentes, sendo que a água formada na combustão está no estado líquido”, diferentemente do PCI (Poder calorífico Inferior) onde todos os produtos, inclusive a água que é formada na combustão, estão no estado gasoso. Os valores de PCS e PCI são medidos através de calorimetria com auxílio de bomba calorimétrica (Peres et al., 2007).

De acordo com Russini et al. (2018), o menor poder calorífico do biodiesel em relação ao óleo diesel mineral ocasiona a formação de mistura pobre (ar/combustível), sob a injeção de um mesmo volume de combustível. Esse feito possibilita a formação de óxidos de nitrogênio (NO_x), a qual está diretamente ligada ao tipo de motor e ao sistema de injeção.

1.4.5 Densidade

O biodiesel dispõe de ésteres alquílicos com níveis distintos de saturação, o que remete ao menor poder calorífico em função de sua massa, mas, em contrapartida, maior valor por unidade de volume, o que lhe atribui maiores índices de densidade (Lima, 2012). Dessa forma, é possível inferir que a densidade exerce influência direta em características tais como lubrificidade e número de cetano, conseqüentemente, na partida e na pressão de injeção.

A lubricidade indica a capacidade que um combustível tem em evitar a fricção e o desgaste entre superfícies metálicas no movimento rotativo sob carga (Gomes e Oliveira, 2005). Para tanto, diversas pesquisas têm mostrado a eficiência do biodiesel como aditivo de lubricidade em diesel, que contém baixos teores deste elemento, em que 1% do incremento do referido combustível renovável já é capaz de garantir boa lubricidade ao diesel (Mattos et al., 2010). Baixas concentrações de enxofre reduzem a capacidade de o diesel desempenhar o papel de lubricidade (Lapuerta et al., 2011).

A relação entre massa de ar e combustível é um fator decisivo na câmara de combustão. Logo, a densidade é um parâmetro essencial em motores de ciclo diesel, já a bomba injetora e os bicos são fabricados para a dosagem de volumes (Lima, 2012).

Lopes et al. (2003) acrescentam a necessidade da determinação de densidade do combustível em função da temperatura no cálculo de consumo, em função do tempo ou da potência na barra. Sabendo que a densidade influi no motor de combustão em termos de desempenho, Bahadur et al. (1995) elucidam que altos índices deste parâmetro contribuem para a emissão de gases provenientes das emissões de escape, uma vez que contribuem para a formação de fumaça e na emissão de partículas excessivas.

1.5 Oleaginosas da família *Arecaceae* para obtenção de biodiesel

1.5.1 Babaçu

A palmeira de babaçu é pertencente à família botânica *Arecaceae*, encontrada em vários países da América Latina. No Brasil, a área total de exploração do babaçu é estimada em aproximados 18 milhões de hectares, cuja concentração é maior nas regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste, sendo esta a que detém maiores valores de produção de amêndoas, bem como maiores áreas de exploração dos babaçuais (Oliveira et al., 2013). O gênero *Orbignya* conta com 11 espécies de ocorrência na América Central e América do Sul, México ao Peru, Bolívia e Brasil. Vale ressaltar que a espécie *Orbignya phalerata* é sinônimo da espécie *Attalea speciosa* (Costa et al., 2015).

No ano de 2016, foram produzidas 61.390 toneladas de amêndoas de babaçu no Brasil (IBGE, 2016). O babaçu é amplamente conhecido nas regiões brasileiras e possui grande capacidade de cultivo em áreas degradadas. Cada região tem uma forma distinta de nominá-lo, podendo ser conhecido como coco-palmeira, coco-de-macaco, coco-pindoba, baguaçu, uauaçu, catolé, andaiá, andajá, indaia, pindoba, pindobassu, entre vários outros (Carrazza et al., 2012). É considerada uma planta onde “tudo de aproveita, tendo muitos subprodutos obtidos a partir do coco (Costa et al., 2015; Silva et al., 2017).

O babaçu é uma palmeira que pode chegar a 30 metros de altura, com estipe liso, medindo até 41 cm de diâmetro, frutos oblongos-elipsoides lisos, com 11,3 x 6,3 cm de diâmetro, coloração marrom e, quando maduros, fornecem o coco babaçu, que se desprende e cai ao solo (Carazza et al., 2012; Mourão et al., 2016). A frutificação do babaçu ocorre geralmente a partir do oitavo ano (Carazza et al., 2012). Conforme Lorenzi (2010), uma mesma planta pode apresentar inflorescências macho ou fêmea, no entanto, somente a fêmea produz cachos frutíferos.

O coco-babaçu é ovalado e apresenta, em média, 8 cm de comprimento e 6 cm de largura (Wilhelms, 1964). A composição do coco constitui-se de quatro partes: epicarpo, mesocarpo, endocarpo e amêndoas (Soler et al., 2007). Cada babaçual conta, por safra, com cerca de 300 a 500 cocos dispostos entre 3 e 5 cachos.

A quantidade de amêndoas por coco varia de acordo com cada espécie, como pode ser mostrado pela Figura 3. As espécies mais conhecidas de babaçu são *Attalea phalerata* e *Attalea speciosa*.



Attalea apoda *Attalea phalerata* *Attalea speciosa* *Attalea exígua* *Attalea eichleri* *Attalea vitrivir*

Figura 3. Exemplos de quantidade de amêndoas por coco. Fonte: Lorenzi (2010).

As amêndoas obtidas do coco-babaçu apresentam valores superiores a 60% de óleo rico em ácido láurico (para alguns autores este valor é 40%), que tem

grande aproveitamento nas indústrias cosméticas e alimentícias (Oliveira et al., 2013).

Teores elevados de ácido graxo láurico no óleo possibilitam a produção de biodiesel com características físico-químicas ótimas e dentro dos limites estabelecidos pela legislação vigente (Silva et al., 2014) (Tabela 3), pois são ésteres de cadeia curta (C 12:0) que melhor atuam com o catalisador no processo de transesterificação.

Tabela 3- Características físico-químicas do biodiesel metílico de babaçu.

Características	Biodiesel de Babaçu
Poder calorífico (Kcal/kg)	9.440
Ponto de névoa (°C)	-6
Índice de cetano	65
Densidade a 20°C (g/cm ³)	0,8865
Viscosidade a 37,8°(cSt)	3,9
Inflamabilidade (°C)	nd
Ponto de fluidez (°C)	nd
Teor de cinzas (%)	0,03
Teor de enxofre (%)	nd

Adaptado de Costa Neto et al. (2000).

O trabalho de Silva et al. (2014) estabeleceu um comparativo sobre as características físico- químicas entre biodiesel proveniente de babaçu, palma e soja. Os autores consideram as especificações do biodiesel de babaçu mais adequadas do que o biodiesel de soja, que até hoje é a fonte oleaginosa mais utilizada no Brasil. Isto porque o óleo de babaçu apresenta menor cadeia carbônica ao se comparar com outras fontes oleaginosas, e assim menores índices de viscosidade. Além disto, foi o biodiesel de babaçu que apresentou maior número de cetano, o que remete à maior qualidade de ignição e de combustão.

O biodiesel de babaçu é também considerado de excelente qualidade físico-química para Silva et al. (2010), pois um combustível desta fonte é composto por menor massa molecular, cuja maioria dos ésteres é saturada e, por esta razão, deve possuir menor resistência à oxidação, bem como baixos valores de viscosidade e densidade, como já visto. Contudo, Silva et al. (2014) abordam a necessidade de discussões sobre a forma como é realizada a extração de amêndoas, pois esta atividade pode afetar a capacidade de produção de óleo.

1.5.2 Tucumã

O tucumãzeiro (*Astrocaryum aculeatum* Meyer, *Arecaceae*) é nativo da América do Sul. De exploração pré-colobiana, tem amplo cultivo na região da Amazônia Oriental (Cardoso et al., 2013) e nos Estados do Piauí, Pará e Maranhão (Rogério et al., 2010). De acordo com Ferreira e Gentil (2006), mesmo sendo principalmente explorado na região Amazônica, o cultivo destas espécies apresenta dificuldades em relação à propagação vegetativa e à germinação de suas sementes, em virtude de um endocarpo fortemente rígido.

Espécies do gênero *Astrocaryum aculeatum* são encontradas em poucas densidades (50 indivíduos/hectare) nas florestas, todavia abundantemente de forma espontânea em áreas desmatadas, pois são tolerantes ao cultivo em solos degradados e com deficiência nutricional (Zaninetti, 2009).

É uma palmeira arborescente, monoica e de crescimento monopodial, estirpe ereta, com 10 a 25 m de altura, com espinhos nos entrenós e monocaule, medindo em média, 25 cm de diâmetro (Lima, 2012). Pode ser conhecida como tucumã-do-amazonas ou tucumã-açu (Cavalcante, 1991 *apud* Ferreira e Gentil, 2006). Normalmente, as árvores produzem de 2 a 3 cachos/ano, mas podem produzir até mais de cinco. Cada cacho pesa entre 10 e 30 kg (Zaninetti, 2009).

A semente é ovalada, podendo variar o diâmetro de 6,0 a 22 mm. A polpa do fruto, que é comestível, gera cerca de 37% de óleo amarelo, e a amêndoa, até 50% de óleo branco, rico em ácidos graxos de cadeias carbônicas curtas, tendo o caroço eliminado como resíduo (60% peso do fruto) (Barroso, 2012).

De acordo com Melo et al. (2012), o fruto é composto por caroço lenhoso com amêndoa dura e oleaginosa, de massa branca. Tem ampla utilização pela população local, sendo ricos em vitamina A, ácido oleico (insaturado) e palmítico (saturado), com grande potencial oleaginoso para fabricação de biodiesel.

Os frutos de tucumã são organizados em infrutescências do tipo cacho (Figura 4) (Costa et al., 2010), podem consumidos “*in natura*” e fazem parte da economia local. As características organolépticas de tais frutos os qualificam-os como matéria-prima de alto valor ao setor industrial e alimentício (Junqueira et al., 2012), podendo citar a fabricação de doces, cremes e azeites, por meio da extração de óleo do mesocarpo das amêndoas (Costa et al., 2010).



Figura 4. Imagem ilustrativa das infrutescências de tucumã dispostas em cachos. Portal Amazônia (2012) e Silva (2012).

Rogério et al. (2010) pesquisaram o rendimento em óleo e composição em ácidos graxos de tucumã. Como resultados, os autores concluíram que o peso dos frutos variou de 15 a 21 gramas, cujo rendimento de óleo na polpa foi de 53 a 56%. A amêndoa representou de 13 a 19% do peso do fruto, com rendimento de óleo até 33% (base seca) e 26% (base úmida).

Muitos autores enfatizam a produção de tucumã para fins energéticos, dado que o conteúdo de óleo do endocarpo é passível da extração de cerca de 50% de óleo, cuja composição contém 90% de ácidos graxos (Melo et al., 2012). Neste sentido, Castro et al. (2006) discutem a possibilidade de extração de óleo por meio da extração de amêndoas; entretanto, chegam à conclusão de que, com o último processo, o conteúdo de ácido oleico é menor.

O tucumã é uma das muitas espécies nativas e oleaginosas da Amazônia que se enquadram nas propriedades exigidas para produção e utilização de

biodiesel (Melo et al., 2012). Desta forma, a Tabela 4 abaixo apresenta as características físico-químicas do óleo proveniente da polpa de tucumã.

Ressalta-se, porém, que formas de armazenagem e, sobretudo, da extração de óleo, necessitam de cautela para que o conteúdo oleico não sofra modificações nas características físico-químicas.

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

Parâmetros	Unidades	Frutos maduros	Frutos não maduros	Média
Densidade	g cm^{-3}	0,902	0,908	0,903
Viscosidade	$\text{mm}^2 \text{s}^{-1}$	77,1	73,5	76,3
Índice de Acidez	mg KOH g^{-1}	6,35	9,49	7,11
Índice de Iodo	$\text{G I}_2 10^{-2} \text{g}^{-1}$	114,62	110,28	113,84
Índice de peróxido	meq kg^{-1}	30,31	31,31	30,79
Índice de saponificação	mg KOH g^{-1}	210,41	213,32	211,38

Zaninetti (2009).

1.5.3 Buriti

O buritizeiro (*Mauritia flexuosa* L.) é uma palmeira pertencente à família *Arecaceae*, com predominância de exploração em regiões úmidas e alagadas brasileiras, tais como Norte, Nordeste e Centro (Spera et al., 2001). É uma planta também conhecida por miriti, muriti, palmeira-do-brejo, moriche, carangucha e aguaje (Sampaio et al., 2010). De acordo com Afonso e Ângelo (2012), o gênero *Mauritia* é mais citado nas literaturas com as espécies *flexuosa* e *vinífera* nas regiões da Amazônia e do Cerrado. Possui grande importância na preservação da flora nacional, dado que os frutos servem de alimentos para várias espécies de animais (Spera et al., 2001).

No Brasil, *Mauritia vinífera* Mart. é distribuída nos Estados do Amazonas, Pará, Maranhão, Piauí, Bahia, Ceará, Tocantins, Mato Grosso, Goiás, São Paulo e Distrito Federal, sendo habitualmente explorada em baixadas úmidas de áreas de Cerrado do Brasil Central (Sampaio et al., 2010). A palmeira de buriti apresenta grandes inflorescências, cujo fruto pode apresentar-se de várias formas. O epicarpo é escamado de cor avermelhado; mesocarpo amarelo ou laranja e endocarpo duro (Henderson, 1995 *apud* Fernandes, 2001).

O buriti da região Amazônica é muito representativo e com “estipe solitário, ereto, glabro, raramente cespitoso e/ou inclinado, que pode alcançar até 40 m de altura, embora predominem os espécimes com 20 a 25 m” (Afonso e Ângelo, 2002, p. 2). Robusta com 20 a 50 cm de diâmetro apresenta, quando adulta, estipe cilíndrico, coroado por um capitel de 20 a 30 folhas grandes, com 3 a 5 m de comprimento e 2 a 3 m de largura” (Figura 5 A). O buriti é uma espécie dioica, mas somente os indivíduos femininos são frutíferos (Santelli et al., 2009).



Figura 5. A) Buriti fêmea e Buriti macho. Sampaio et al. (2010).

A frutificação do buritizeiro é sazonal e irá depender das condições edafoclimáticas da região de cultivo. Geralmente, ocorre após longos períodos de chuva, proporcionando frutos de cores, formatos e tamanhos variados, com altas concentrações de lipídios, vitamina A e carotenoides (Barbosa et al., 2010). O fruto (Figura 5 B) apresenta, em média, 4 cm e possui formato ovalado de consistência dura e amêndoa comestível (Santelli et al., 2009).



Figura 5. B) Fruto com casca e semente. Adaptado de Sampaio et al. (2010).

Dados do IBGE mostraram que, no ano de 2016, foram produzidas, em média, 500 toneladas de buriti. Dentre as opções de uso desta oleaginosa, destaca-se a produção de biodiesel, dado que o óleo que é extraído dos frutos possui grandes quantidades de ácido oleico (79,2 %) e ácido palmítico (16,3 %) (Durães et al., 2006). Demais propriedades físico-químicas do óleo encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5- Propriedades físico-químicas do óleo de buriti.

Propriedades	Valor médio
Teor de ácidos graxos livres	0,32 %
Densidade a 25 °C	912,3 kg/ m ³
Índice de Saponificação	190 mg KOH/ g
Índice de iodo	7,24 mg I ₂ / 100g
Índice de peróxido	3,95 meq/ g
Ponto de solidificação	13 °C
Poder calorífico	9.256 Kcal/ g
Massa molecular média	870 g/mol
Viscosidade cinemática a 40 °C	35 cSt

Bicalho (2006) extraído de lamaguti (2014).

1.6 Referências

Abreu FLP, Santos Filho DME, Pereira RG, Baldner FO, Barbosa APF, Rodrigues CRC, Santos Júnior JJP, Siqueira JRR (2011) Avaliação da viscosidade dinâmica de biodiesel - rota etílica - e outros óleos utilizando-se de duas abordagens. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE METROLOGIA MECÂNICA, 2.; 2011, Natal. **Anais...** Natal: CIMMEC – Metrologia, p. 1-4.

Associação Dos Produtores de Biodiesel do Brasil – APROBIO (2018). Disponível em: <https://aprobio.com.br/>. Acesso em: 19 set. 2018.

Afonso SR, Ângelo H (2012) **A cadeira produtiva do buriti (*Mauritua* sp).** Universidade de Brasília. Disponível em: http://www.cnf.org.pe/secretaria_conflat/memorias/documentomesas/mesa04/SandraReginaAfonso.pdf. Acesso em: 19 set. 2018.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis- ANP. **Portaria ANP nº 255, 15 de Novembro de 2003** (2003) Disponível em: <http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/folder_portarias_anp/portarias_anp_tec/2003/setembro/panp%20255%20-%202003.xml>. Acesso em: 12 set. 2018.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis- ANP. **Resolução ANP n. 14, de 11 de Maio de 2012** (2012) Disponível em:http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2012/maio/ranp%2014%20-%202012.xml>. Acesso em: 13 jan. de 2015.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis –ANP. **Resolução nº 45 de 25 de Agosto de 2014** (2014) Disponível em:..em:..<http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2009/dezembro/ranp%2042%20-%202009.xml>. Acesso em 23 set 2018.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP. **Biocombustíveis** (2018)a. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/biocombustiveis>>. Acesso em: 03 set. 2018.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP. Produção de biocombustíveis... **RenovaBio** (2018)b. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/producao-de-biocombustiveis/renovabio>. Acesso em: 23 set. 2018.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP. Produção de biocombustíveis... Informações de mercado... **Boletim mensal do biodiesel** (julho/2018)... percentual de consumo de cada matéria-prima para produção de biodiesel nacional e por região (2018)c. Disponível em: www.anp.gov.br/images/PROD_FORN_BIOCOMBUSTIVEIS/Biodiesel/Processamento_de_materias-primas.xlsx. Acesso em: 23 set. 2018.

Albuquerque GA, Conceição MM, Silva MCD, Santos IMG, Fernandes Júnior VJ (2006) Avaliação Reológica e Caracterização Físico-Química do Biodiesel de Canola

e Misturas. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 1., Brasília. **Anais...** Brasília: SETEC/MCT/ABIPTI, p. 175–180.

Albuquerque MCG, Machado YL, Azevedo DCS, Cavalcante Jr CL, Firmiano LR, Parente Júnior EJS (2009) Properties of biodiesel oils formulated using different biomass sources and their blends. **Renewable Energy** 34: 857-859.

Almeida SP de, Proença CEB, Sano SM, Ribeiro JF (1998) Cerrado: espécies vegetais úteis. Planaltina, DF: Embrapa-CPAC. 464 p.

Almeida SCA (2008) **Technical and economic viability of the use of biodiesel indiesel engines.** Disponível em:<http://146.164.33.61/silviocarlos/Congressos/TRB2385.pdf>>. Acesso em: 01 out. 2018.

Almeida SGC de, Prados CP, Araújo J dos S (2016) Avaliação de metodologias de purificação do óleo residual de fritura visando à produção de biodiesel. **Revista Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada** 37 (1).

Antolín G, Tinaut FV, Briceno Y, Castano V, Perez C, Ramirez AI (2002) Optimization of biodiesel production by sunflower oil transesterification. **Bio resource technol** 83: 111- 114.

Araújo CDM, Andrade CC de, Silva EDS, Dupas FA (2013) Biodiesel production from used cooking oil: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 27: 445-452.

Bahadur NP, Boocock DGB, Konar SK (1995) Liquid Hydrocarbons from Catalytic Pyrolysis of Sewage Sludge Lipid and Canola Oil: Evaluation of Fuel Properties. **Energy & Fuels** 9: 248- 256.

Barbosa RI, Lima AD, Mourão Júnior M (2010) Biometria de frutos do buriti (*Mauritia flexuosa* LF-*Arecaceae*): produção de polpa e óleo em uma área de savana em Roraima. Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em periódico indexado (ALICE) 5: 71: 85.

Barroso LM (2012) **Produção e caracterização de biodiesel de óleo de tucumã. Relatório de pesquisa** (Ciências Exatas e da Terra: Química Analítica)- Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia - Itacoatiara. Disponível em : <http://riu.ufam.edu.br/handle/prefix/3157>. Aceso em 19 set. 2018.

Batistella EC (2018) Aprobio projeta produção recorde de biodiesel no ano. Jornal do Comércio ... Economia... Combustíveis... notícia do dia 05/ 01/ 2018. Disponível em : https://www.jornaldocomercio.com/_conteudo/2018/01/economia/605012-aprobio-projeta-producao-recorde-de-biodiesel-no-ano.html. Acesso em: 19 set. 2018.

Beltrão NE de M, de Oliveira MIP (2008) Oleaginosas e seus óleos: vantagens e desvantagens para produção de biodiesel. Embrapa Algodão-Documentos (INFOTECA-E).

Bicalho FS (2006) **Propriedades físicas do poliestireno e poli (metacrilato de metila) modificados com óleo de butiri (*Mauritia flexuosa*)**. 105 f. Dissertação (Mestrado em Física) – Departamento de Física. Universidade Federal do Pará-UFPA, Belém.

Brock J, Nogueira MR, Zakrzewski C, Corazza FC, Corazza ML (2008) Determinação experimental da viscosidade e condutividade térmica de óleos vegetais. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* 28: 564-570.

Buyukkaya E, Benli S, Karaaslan S, Guru M (2013) Effects of trout-oil methyl ester on a diesel engine performance and emission characteristics. **Energy Conversion and Management** 69: 41–48.

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

Carrazza LR, Ávila JCC, Silva MLD (2012) Manual tecnológico de aproveitamento integral do fruto e da folha do babaçu (*Attalea* spp.). Brasília – DF. Instituto Sociedade, População e Natureza (ISPN). Brasil, 68p.

Cardoso TN, Abreu LF, Fernandes AC, Macedo PCF (2013) Determinação de carotenoides em frutos de Tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.) In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E SEMINÁRIO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL, 17., 1., 2013, Belém. **Anais...** Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, p. 1-4.

Castro JC, Silva LP, Barreto AC (2006) Produção sustentável de biodiesel a partir de oleaginosas amazônicas em comunidades isoladas. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 1.

Carvalho HMO (2001) **Campesinato no Século XXI: possibilidades e condicionantes do desenvolvimento do campesinato no Brasil**. Vozes: Petrópolis-RJ.

Carvalho EM de (2006) O aprofundamento das relações do Brasil com os países do Oriente Médio durante os dois choques do petróleo da década de 1970: um exemplo de ação pragmática. **Revista Brasileira de Política Internacional** 49:157- 177.

Carvalho LC, Bueno RCOF, Carvalho MC, Favoreto AL, Godoy AF (2013) Cana-de-açúcar e álcool combustível: histórico, sustentabilidade e segurança energética. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer** 9: 530-543.

Castellanelli M, Souza SNM, Silva SL, Kailer EK (2008) Desempenho de motor ciclo diesel em bancada dinométrica utilizando misturas diesel/biodiesel. **Engenharia Agrícola** 28: 145-153.

Cavalcante PB (1991) Frutas comestíveis da Amazônia . 3ª ed. CEJUP, CNPq. Museu Paraense Emílio Goeldi – Coleção Adolfo Ducke. Belém. 279 p.

Chiaranda M, Andrade Júnior AM, Oliveira GT, Freitas Vian CD (2005) **A produção de biodiesel no Brasil e aspectos do PNPB. Grupo de Estudos e Extensão em Desenvolvimento Econômico e Social.** Departamento de Economia Administração e Sociologia. ESALQ-USP. Piracicaba (SP).

Conselho Nacional De Política Energética – CNPE (2017) **Resolução nº 14**, de 8 de junho De 2017.

Costa D, Oliveira M, Souza BOA (2010) Avaliação de caracteres de cachos em acessos de tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart). In *Embrapa Amazônia Oriental- Artigo em anais de congresso (ALICE)*. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA 14., 2010, Belém, PA. 1 CD-ROM. PIBIC.

Costa C da L, França ET de R, Santos DS, Costa MCP, Barbosa MDCL, Nascimento MDDSB (2015) Caracterização físico- química de óleos fixos artesanais do coco babaçu (*Orbignya phalerata*) de regiões ecológicas do Estado do Maranhão, Brasil. **Pesquisa em Foco** 20: 27-38.

Costa Neto PR, Rossi LFS, Zagonel GF, Ramos LP (2000) Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras. **Revista Química Nova** 23: 531-537.

Dabdoub MJ, Bronzel JL, Rampim MA (2009) Biodiesel: visão crítica do status atual e perspectivas na academia e na indústria. **Revista Química Nova**, São Paulo 32: 776-792.

Delalibera HC, Johann AL, de Figueiredo PR, Toledo AD, Weirich Neto PH, Ralish R (2017) Performance of diesel engine fuelled with four vegetable oils, preheated and at engine working temperature. **Engenharia Agrícola** 37: 302-314.

Demirbas A (2007) Importance of biodiesel as transportation fuel. **Energy policy** 35: 4661-4670.

Durães JA, Drummond AL, Pimentel TAPF, Murta MM, Bicalho FS, Moreira SGC, Sales MJA (2006) Absorption and photoluminescence of Buriti oil/polystyrene and Buriti oil/poly(methyl methacrylate) blends. **European Polymer Journal** 42: 3324-3332.

Energy Information Administration–EIA. **International energy statistics**. 2018. Disponível em:https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=biofuel_home. Acesso em: 03 set. 2018.

Farooq M, Ramli A, Subbarao D (2013) Biodiesel production from waste cooking oil using bifunctional heterogeneous solid catalysts. **Journal of Cleaner Production** 59: 131-140.

Fernandes NM de Paula (2001) **Estratégias de produção de sementes estabelecimento de plântulas de *Mauritia flexuosa* L. f. (Arecaceae) no Vale do**

Acre, Brasil. 203 p. Tese de Doutorado- Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia/ Universidade Federal do Amazonas- Manaus,AM.

Ferreira SAN, Gentil DFO (2006) Extração, embebição e germinação de sementes de tucumã *Astrocaryum aculeatum*. **Revista Acta Amazonica** 36:141-146.

Freitas VAA de, Lima JSV, Conceição RC da, Couceiro PRC (2009) Avaliação da transesterificação de três amostras de óleos vegetais para obtenção de biodiesel. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 32.,Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBQ, 1 CD-ROM.

Gabriel KCP (2015) **Produção de biodiesel a partir de óleo de palma.** 117 f. Dissertação (Mestrado em Química)- Técnico, Lisboa. Ghazali WNMW, Mamat R, Masjuki HH, Najafi G (2015) Effects of biodiesel from different feedstocks on engine performance and emissions: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 51: 585-602.

Ghazali WNMW, Mamat R, Masjuki HH, Najafi G (2015) Effects of biodiesel from different feedstocks on engine performance and emissions: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 51: 585-602.

Giakoumis EG, Sarakatsanis CK (2018) Estimation of biodiesel cetane number, density, kinematic viscosity and heating values from its fatty acid weight composition. **Fuel** 222: 574-585.

Gomes HO, Oliveira JF (2005) Metodologia de Avaliação da Lubricidade do Óleo diesel. Boletim técnico da Petrobrás: Rio de Janeiro.

Gorle RD, Kolhe AV (2012) Performance Analysis of a CI Engine Using Biodiesel as an Alternative Fuel. **Golden Research Thoughts** 2: 1-9.

Guimarães CC, Santos VMLD, Cortez JW, Santos LDPGD (2018) Redução da emissão de material particulado em função da inserção de misturas do biodiesel de soja e mamona ao diesel. **Engenharia sanitária ambiente** 23: 355-362.

Habib Z, Parthasarathy R, Gollahalli S (2010) Performance and emission characteristics of biofuel in a small-scale gas turbine engine. **Applied Energy** 87: 1701-1709.

Henderson AJ (1995) **The Palms of the Amazon.** New York: Oxford University Press, 1995, 326p.

Hernandez RR, Easter SB, Murphy-Mariscal ML, Maestre FT, Tavassoli M, Allen EB, ... Allen MF (2014) Environmental impacts of utility-scale solar energy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 29: 766-779.

Iamaguti PS (2014) **Biodiesel de buriti em trator: desempenho em função do tipo de diesel e da proporção de mistura na operação de preparo do solo.** 61p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) 61p. Jaboticabal/SP.

Instituto Brasileiro de Geografia Estatística- IBGE (2016) Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (PVES- 2016). Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pevs/quadros/brasil/2016>. Acesso em: 19 set 2018.

Junqueira NTV, Junqueira KP, Pereira A, Pereira E, Braga M, Conceição LD, Faleiro F (2012) Frutíferas nativas do cerrado: o extrativismo e a busca da domesticação. In *Embrapa Cerrados-Artigo em anais de congresso (ALICE)*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 22., Bento Gonçalves. Anais... Bento Gonçalves: SBF.

Kohlhepp G (2010) Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. **Estudos avançados** 24: 223-253.

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

Knothe G (2006) Analyzing biodiesel: standards and other methods. **Journal of the American Oil Chemists' Society** 83: 823-833.

Kumar BR, Saravanan S (2016) Use of higher alcohol biofuels in diesel engines: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 60: 84-115.

Kumar MV, Babu AV, Kumar PR (2018) The impacts on combustion, performance and emissions of biodiesel by using additives in direct injection diesel engine. **Alexandria Engineering Journal** 57: 509-516.

Lapuerta M, Villajos M, Agudelo JR, Boehman AL (2011) Key properties and blending strategies of hydrotreated vegetable oil as biofuel for diesel engines. **Fuel processing technology** 92: 2406-2411.

Lima JRP, da Silva RB, da Silva CCM, dos Santos LSS, dos Santos Jr JR, Moura EM, Moura CVR (2007) Biodiesel de Babaçu (*Orbignya* sp.) obtido por via etanólica. **Revista Química Nova** 30: 600-603.

Lima LP de (2012) **Biodiesel de dendê, mamona e tucumã no desempenho de um trator agrícola na operação de preparo de solo**. 119f. Tese (Doutorado em Agronomia) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, SP.

Lira TAM, Moreti TCF, Lopes A, Santos AP, de Oliveira MCJ, Neves MCT, Iamaguti PS, de Lima LP, Koike GHA, Silva R de A (2016) Smoke opacity of ethyl biodiesel from babassu and two types of diesel at different daytimes. **African Journal of Agricultural Research** 32:1596-1608.

Lôbo IP, Ferreira SLC, da Cruz RS (2009) Biodiesel: Parâmetros de qualidade e métodos analíticos. **Revista Química Nova** 32: 1596-1608.

Lopes A, Lanças KP, Furlani CE, Nagaoka AK, Castro Neto P, Grotta DCC (2003) Consumo de combustível de um trator em função do tipo de pneu, da lastragem e da velocidade de trabalho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 7: 382- 386.

Lopes A, Senô M, da Câmara FT, Furlani CEA, da Silva RP, Cortez JW (2008) Biodiesel no Brasil: aspectos gerais e síntese da legislação. **Atualidades Jurídicas** 1: 1-19.

Lorenzi H, de Souza HM, Costa JT de M, de Cerqueira LSC, Ferreira E (2004) **Palmeiras brasileiras e exóticas cultivadas**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 432p.

Lorenzi H (2010) Flora brasileira: *Aracaceae* (palmeiras). 1 ed. São Paulo: Nova Odessa, 367p.

Lu XC, Yang JG, Zhang WG (2004) Effect of cetane number improver on heat release rate and emissions of high speed diesel engine fueled with ethanol–diesel blend fuel. *Energy & Fuels* 83: 2013- 2020.

Mattei L (2010) Programa nacional para produção e uso do biodiesel no Brasil (PNPB): trajetória, situação atual e desafios. **Revista Econômica do Nordeste** 41: 731-740.

Mattos C, Gutterres M, Samios D (2010) Estudo do comportamento da lubricidade do óleo diesel com a adição de biodiesel. In: SEMINÁRIO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA (9.: 2010 out. 19-21: Porto Alegre, RS) **Anais eletrônicos** Porto Alegre, RS: UFRGS/PPGEQ. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/31929/000784011.pdf?sequence=1>. Acesso em: 21 set. 2018.

Melo WJ, Lopes A, de Oliveira MF, Saczk AA, Magriotis ZM, Modenes Jr MA, Yamanaka H, Zanoni MVB, Stradiotto NR (2012) Produção, caracterização e utilização do biodiesel de tucumã originário da região amazônica. In: Lemos EG de M, Stradiotto NR (Orgs.) **Bioenergia: Desenvolvimento, Pesquisa e Inovação**. São Paulo: Editora UNESP, p. 409- 446.

Meneghetti SP, Meneghetti MR, Brito YC (2013) A reação de transesterificação, algumas aplicações e obtenção de biodiesel. **Revista Virtual de Química** 5: 63-73.

Milli BB, Gripa DC, Simonelli G, Martins MOD (2011) Produção de biodiesel a partir da mistura de sebo bovino com óleo vegetal. **Enciclopédia Biosfera**. Centro Científico Conhecer 7: 1- 26.

Millo F, Debnath BK, Vlachos T, Ciaravino C, Postriotti L, Buitoni G (2015) Effects of different biofuels blends on performance and emissions of an automotive diesel engine. **Fuel** 159: 614-627.

Ministério de Minas e Energia- MME (2018) Secretarias... Petróleo, gás natural e biocombustíveis... Programas... **RenovaBio**... Disponível em:

<http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-combustiveis-renovaveis/programas/renovabio/principal>. Acesso em: 23 set 2018.

Mofijur M, Masjuki HH, Kalam MA, Rahman SA, Mahmudul HM (2015) Energy scenario and biofuel policies and targets in ASEAN countries. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 46: 51-61.

Moon SA, Bergey PKB, Bove LLC, Robinson S (2016) Message framing and individual traits in adopting innovative, sustainable products (ISPs): Evidence from biofuel adoption. **Journal of Business Research** 69: 3553–3560.

Monié F (2012) Petróleo, desenvolvimento e dinâmicas espaciais na África subsaariana. **Geografia e geopolítica do petróleo**, Mauad X: Rio de Janeiro, 201-236.

Moura MC de O, de Souza ECA, Rocha IDNA, de Souza GP, Santana MRS, de Souza SC, da Costa LAMA (2016) Relato de experiência sobre o curso “O biocombustível da biodiversidade” ligado ao projeto “Os novos talentos do Ensino Médio de Boa Vista-RR”. **RCT-Revista de Ciência e Tecnologia** 2: 1-10.

Mourão S, Sousa I, de Almeida JCR, Ueno M, Kanamura HY (2016) Aspectos socioambientais e de saúde das quebradeiras de coco babaçu na microrregião do Bico do Papagaio, Tocantins, Brasil. **Revista Ambiente e Água** 11: 1181- 1189.

Moreti TCF (2015) **Biodiesel etílico de babaçu x diesel B S1800: Ensaio de opacidade da fumaça do trator agrícola variando os horários do dia**. 84 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias- UNESP/ FCAV, Jaboticabal, SP.

Muñoz M, Moreno F, Morea J (2004) Emissions of an automobile diesel engine fueled with sunflower methyl ester. **American Society of Agricultural Engineers** 47: 5-11.

Nagano S, Yamamoto S, Nagakubo M, Atsumi K, Watanabe MM. Physical (2012) Properties of Hydrocarbon Oils Produced by *Botryococcus Braunii*: Density, Kinematic Viscosity, Surface Tension, and Distillation Properties. **Procedia Environmental Sciences** 15: 73-79.

Nayak SK, Pattanaik BP (2014) Experimental investigation on performance and emission characteristics of a diesel engine fuelled with mahua biodiesel using additive. **Energy procedia** 54: 569-579.

Neves MCT, Lopes A, de Lima LP, de Oliveira MCJ, Koike GHA (2013) Desempenho do trator agrícola em função do tipo de biodiesel (soja x murumuru). **Revista engenharia na agricultura-Reveng** 21: 351-360.

Neves MCT (2016) **Misturas de biodiesel de soja e de murumuru em trator agrícola**. 67 p. Tese (doutorado em Agronomia) Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, SP.

Novaes PC, Machado AMB, Lacerda FV (2014) Consumo e Descarte do Óleo Comestível em um Município do sul de Minas Gerais/Consumption and Disposal of Edible Oil in a city of Southern Minas Gerais. **Revista ciências em saúde** 4: 33-40.

Oh YK, Hwang KR, Kim C, Kim JR, Lee JS (2018) Recent developments and key barriers to advanced biofuels: A short review. **Bioresource technology** 257: 320-333.

Oliveira LR, Neves JA, da Silva MDJM (2013) Evaluation of physico-chemical quality crude oil almond babassu (Orbigny spp). **Comunicata Scientiae** 4: 161-167.

Oliveira MM, Gonçalves MFS (2016) Perspectivas do óleo residual de fritura: uma abordagem econômica, jurídica e socioambiental. **Revista Espacios** 37: 17.

Panwar NL, Kaushik SC, Kothari S (2011). Role of renewable energy sources in environmental protection: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 15: 1513-1524.

Peres S, Schuler A, Almeida C, Campos R, Lucena A (2007) 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, 1 CD-ROM.

Petranović Z, Bešenić T, Vujanović M, Duić N (2017)Modelling pollutant emissions in diesel engines, influence of biofuel on pollutant formation. **Journal of environmental management** 203: 1038-1046.

Petrobrás. **Características do Óleo Diesel**. 2013. Disponível em: <http://www.br.com.br/wps/portal/portalconteudo/produtos/paraembarcacoes/oleodiesel/!ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3hLf0N_P293QwMLD383A6MgbwNLE0MjAyDQL8h2VAQA9k0JIQ!!/?PC_7_9O1ONKG108HOF02RK09412000300000_WCM_CONTEXT=/wps/wcm/connect/portal+de+conteudo/produtos/automotivos/oleo+diesel/caracteristica+do+oleo>. Acesso em: 23 set. 2018.

Pinho LDA, Teixeira FLC (2015) Biodiesel no Brasil: uma análise da regulação e seus reflexos na diversificação das matérias-primas usadas no processo de produção Revista Brasileira de Administração Política 8: 141-161.

Pinto AC, Guarieiro LLN, Rezende MJC, Ribeiro NM, Torres EA, Lopes WA, Pereira PA de P, Andrade JB de (2005) Biodiesel: an overview. **Journal of Brazilian Chemical Society** 16: 1313-1330.

Portal Amazônia. **Pesquisadores estudam potencial do tucumã no AM**. 2012. Disponível em:< <http://www.portalamazonia.com.br/editoria/atualidades/ciencia-estuda-potencial-do-tucuma-no-amazonas/>>. Acesso em: 09 mar. 2015

Priambodo R, Chen TC, Lu MC, Geganken A, Liao JD, Huang YH (2015) Novel technology for bio-diesel production from cooking and waste cooking oil by microwave irradiation. **Energy Procedia** 75: 84-91.

Protásio T de P, Bufalino L, Tonoli GHD, Couto AM, Trugilho PF, Júnior MG (2011) Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira** 31: 113-122.

Raele R, Boaventura JMG, Fischmann AA, Sarturi G (2014) Scenarios for the second generation ethanol in Brazil. **Technological Forecasting & Social Change** 87: 205- 223.

Rathmann R, Benedetti O, Plá JA, Padula AD (2005) **Biodiesel: uma alternativa estratégica na matriz energética brasileira**. In: II SEMINÁRIO DE GESTÃO DE NEGÓCIOS, 1.

Reham SS, Masjuki HH, Kalam MA, Shancita I, Fattah IR, Ruhul AM (2015) Study on stability, fuel properties, engine combustion, performance and emission characteristics of biofuel emulsion. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 52: 1566-1579.

Rigotte MR, Secco D, Rosa HA, Souza SNM de, Santos RF, Gurgacz F, Silva TRB da (2017) Energy efficiency of engine-generator set using biofuels under varied loads. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 79:520-524.

Rodrigues LGDSM, Rodrigues FM, de Oliveira EM, Vieira VB, Arévalo AM, Violi SLM (2016) Peanut (*Arachis* sp.) as a source in the Brazilian energy matrix. **Journal of bioenergy and food science** 3:178-190.

Rogério JB, Duarte ID, Antoniassi R, Bizzo HR, Junqueira NTV (2010) Rendimento em óleo e composição em ácidos graxos de frutos de tucumã coletados no Estado do Mato Grosso. In Embrapa Agroindústria de Alimentos-Artigo em **Anais** de congresso (*ALICE*). In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BODIESEL, 4.; CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BODIESEL, 7., 2010, Belo Horizonte. Biodiesel: inovação tecnológica e qualidade: anais: trabalhos científicos. Lavras: UFLA, 2010. v. 1, p. 61-62.

Russini A, Farias MS, Schlosser JF (2018) Potente e Limpo: os novos padrões para o controle de emissões em máquinas agrícolas exigem motores mais limpos que, por causa da tecnologia incorporada, garantem ainda mais potência e estabilidade. **Cultivar Máquinas** 16: 23-25.

Sampaio MB, Schmidt IB, Figueiredo IB, Sano PT (2010) Boas práticas de manejo para o extrativismo sustentável do capim dourado e buriti . Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, Brasília: 72 p.

Santelli P, Calbo MER, Calbo AG (2009) Fisiologia pós-colheita de frutos da palmeira *Mauritia vinifera* Mart.(*Arecaceae*). **Acta Botanica Brasilica** 23: 697-702.

Santos VE, Rocha HV, dos Santos EM (2015) Gás de Folhelho: **Perspectivas de Exploração no Brasil**. In: ENERGY OUTLOOK IN LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN: CHALLENGES, COUNSTRAINTS AND OPPORTUNITIES, 5th ELAEE/IAEE Latin American Conference, March 15-18, 2015. International Association for Energy Economics.

Santos MX, da Silva JGF (2016) Aproveitamento do óleo residual de fritura na produção de biodiesel. **Revista Eletrônica Mestr. Educ. Ambient** 33: 299-306.

Silva AE da. **Estudo do processo enzimático de produção de biodiesel a partir de óleos e gorduras residuais de fritura** (2010) 71f. Dissertação (Mestrado em Engenharia química)- Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Alagoas.

Silva FC, Cavalcante KBS, Lourenzo HC, Moura KRM, Maciel AP, Soledade LEB, Souza AG (2010) Production of Biodiesel from Babassu Oil using Methanol-Ethanol Blends. **Eclética química** 35: 47-54.

Silva LEO (2012) **Limites e potencialidades do tucumã como fonte de energia para regiões isoladas da Amazônia**. 79 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Mecânicas)- Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Brasília/DF.

Silva KL da, Chagas KC das, Cruz MCP Produção de biocombustíveis a partir de resíduos vegetais (2012) **Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense**, Campos dos Goytacazes 2: 183-189.

Silva MGS, Ferreira KJN, Teixeira MM, Silva FC, Maciel AP (2014) Estudo de viabilidade técnica da produção de biodiesel de babaçu: uma revisão crítica. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde** 12: 434-443.

Silva MEC e, Bastos EM, Almeida Neto JR, dos Santos KPP, Vieira FJ, de Barros RFM (2017) Aspectos etnobotânicos da palmeira babaçu (*Attalea speciosa* Mart. ex Spreng.) em comunidades extrativistas no Piauí, nordeste do Brasil. **Gaia Scientia** 11: 196- 211.

Soler MP, Vitali ADA, Muto EF (2007) Babassu nut breaking technique. **Food Science and Technology** 27: 717-722.

Souza CDR de, Chaar J da S, Souza RCR, Jeffreys MF, Souza K dos S de, Costa EJC, Santos JC dos (2009) Caracterização físico-química das misturas binárias de biodiesel e diesel comercializados no Amazonas. **Acta Amazônica**, Manaus 39: 383–388.

Souza VHA, Santos LT dos, Campos AF, Carolino J (2016) Um panorama do biodiesel no brasil e no mundo: esforços para a ampliação do setor e desafios. **Revista Augustus** 21: 117-130.

Spera MRN, da Cunha R, Teixeira JB (2001) Quebra de dormência, viabilidade e conservação de sementes de buriti (*Mauritia flexuosa*). **Pesquisa agropecuária brasileira** 36: 1567-1572.

Totten GE, Westbrook ST, Shah RJ (2003) **Fuels and Lubricant Handbook: Technology, Properties, Performance, and Testing**. ASTM International, 1087 p.

União Brasileira dos Produtores de Biodiesel e Bioquerosene – UBRABIO (2018) ...Projetos... **Renovabio...** Disponível em: <https://ubrablo.com.br/2018/03/02/renovabio-noticia/>. Acesso em: 23 set. 2018.

Volpato CES, Conde ADP, Barbosa JA, Salvador N (2009) Performance of four stroke diesel cycle engine supplied with soybean oil biodiesel (B 100). **Ciência e Agrotecnologia** 33: 1125-1130.

Xing Peng (2015) Exhaust emission characteristics of various types of biofuels. **Advances in Mechanical engineering** 7: 1-7.

Yusuf NNAN, Kamarudin SK, Yaakub Z (2011) Overview on the current trends in biodiesel production. **Energy conversion and management** 52: 2741-2751.

Wilhelms C. Babaçu: Riqueza inexplorada; possibilidade para a intensificação das exportações brasileiras através das ofertas (1964) Traduzido por Roberto Tamara. Rio de Janeiro: CACEX.

Zaninetti RA (2009) **Caracterização do óleo de frutos de tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) para produção de biodiesel**. 47 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal.

Zuniga AD, Paula MM, Coimbra JSR, Martins ECA, Silva DX da, Télis Romero J (2011) Revisão: Propriedades Físico-Químicas do biodiesel. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente** 21: 55-72.

CAPITULO 2 – Emissões de escape em trator agrícola alimentado com biodiesel como combustível: uma abordagem sobre opacidade da fumaça

RESUMO- Este artigo é uma revisão de literatura sobre o panorama brasileiro em relação aos limites de emissões de escape originados por motores de ignição por compressão durante o processo de combustão, bem uma discussão sobre os resultados de opacidade da fumaça em trator agrícola encontrados na literatura. Tal estudo foi baseado nos relatos de mais de 100 cientistas que publicaram seus resultados até o ano de 2018. O interesse por esta verificação é justificado em razão dos limites cada vez mais rigorosos para emissões de escape no Brasil. Além disto, investigar sobre resultados já existentes de opacidade da fumaça com biodiesel de matérias-primas que, até então, foram pouco estudadas. Foi observado, a partir do levantamento bibliográfico que, em opacidade da fumaça, o biodiesel apresenta significativa redução quando comparado ao diesel, em virtude das características físico-químicas que lhe atribuem condições superiores na qualidade de combustão.

Palavras-chave: ciclo diesel, ignição por compressão, material particulado, biocombustível

2.1 Introdução

Com o uso excessivo dos combustíveis à base de petróleo na indústria e sua aplicação automobilística, o mundo vem passando por sérios problemas em meio à crise energética, tais como a poluição ambiental e o aquecimento global (Souza et al., 2018). Assim, a presente conjuntura mundial tem dado grande atenção para as questões que envolvem o meio ambiente em especial, a busca por alternativas novas que visam ao desenvolvimento sustentável da população, pois o homem está cada vez mais consciente em relação aos prejuízos advindos de uma atmosfera poluída (Francová et al., 2017; Wettestad, 2018).

É dado que a poluição atmosférica teve crescimento considerável a partir da era industrial e da explosão populacional do século XXI (Vanin et al., 2016; Souza, 2018). Nesse sentido, a Revolução Industrial, por exemplo, permitiu que a energia de trabalho humana pudesse ser substituída por máquinas de energia motriz (Ereno, 2008) e a partir daí, o homem vem investindo em tecnologias que otimizem a eficiência de trabalho das máquinas, que estão cada vez mais potentes e robustas (Mialhe, 2012; Araújo et al., 2014).

Na agricultura, a inovação tecnológica de técnicas de produção e de insumos para aumentar a produtividade, bem como os avanços na mecanização culminaram em impactos ao meio ambiente. A mecanização agrícola, por exemplo, expandiu a poluição atmosférica por meio da queima de combustíveis fósseis, conhecidos por prejudicar a qualidade do ar. Com base em padrões norte-americanos e europeus, o Brasil também está buscando estratégias para o controle de gases do efeito estufa (Magalhães e Domingues, 2013), em especial, em relação aos de escape que são originados pelos veículos automotores durante a combustão (Giechaskiel et al., 2014; Drumm et al., 2014). O processo de combustão que ocorre dentro do motor libera concentrações significativas de gases poluentes, tais como monóxidos de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxidos nitrosos (NO_x), óxidos sulfúricos (SO_x), hidrocarbonetos (HC) e materiais particulados (MP). Além de males ao meio ambiente, grande parte desses gases é responsável por danos à saúde humana, majoritariamente ao sistema respiratório.

O material particulado é muito conhecido dentre os gases poluentes, pois além dos riscos gerados ao meio ambiente, é de alta periculosidade à saúde

humana (Gonçalves Júnior, 2014; Kim et al., 2015). Desta forma, ensaios de opacidade da fumaça são bastante realizados como forma de se averiguar qualitativamente a concentração de tais materiais nas emissões de escape (Bhaskar, 2016; Górski e Smigins, 2018; Putra e Fernández, 2018).

A maneira mais citada na literatura como estratégia para a redução das emissões de gases poluentes advindos das emissões de escape é a substituição total ou parcial de biocombustíveis ao diesel, que tem origem fóssil (Oh et al., 2018). No caso de motores de ciclo diesel, tem-se o biodiesel. De acordo com Reşitoğlu e Keskin (2018) o tipo de combustível utilizado nesse tipo de motores tem influência direta na opacidade da fumaça. Uma vez quando é feita a comparação entre a opacidade da fumaça utilizando biodiesel na substituição do diesel a redução da opacidade pode chegar a valores superiores a 40%.

Ressalta-se ainda que o biodiesel possui grande diversidade de fontes de matérias-primas, o qual faz com que o comportamento do combustível seja influenciado na combustão interna, bem como na opacidade da fumaça. Em caso especial está o biodiesel originado de palmeiras, que tem apresentado maiores reduções na opacidade da fumaça, quando comparado com biodiesel originado de outras fontes.

De acordo com levantamento realizado pela ANP, no mês de julho de 2018, o óleo de soja representou 71,49% em relação ao processamento das matérias-primas na obtenção do biodiesel nacional, seguido da gordura bovina (12,03%). Ressalta-se neste sentido, que a produção de biodiesel, tendo como matéria-prima óleo vegetal proveniente de palmeiras nacionais, tem sido a minoria (cerca de 1%) (ANP, 2018).

Sabendo da necessidade brasileira de reduzir os Gases do Efeito Estufa de imediato, faz-se necessário, portanto, um maior número de pesquisas e publicações que tratem da aplicabilidade de biodiesel proveniente de palmeiras nacionais, no desempenho operacional de motores agrícolas, principalmente no tocante às avaliações de opacidade da fumaça em trator agrícola (Lima, 2012).

2.2 Objetivos

O presente capítulo tem o objetivo de revisar as principais publicações de cunho acadêmico e científico que tenham como escopo de pesquisa ensaios de opacidade da fumaça em motores funcionando com biodiesel.

2.3 Metodologia

Conduziu-se a presente pesquisa no laboratório de biocombustíveis e ensaio de máquinas-BIOEM, integrante do Instituto de Pesquisa em Bioenergia-IPBEN, da unidade de Jaboticabal-UNESP/FCAV. Utilizou-se a metodologia conforme Markoni e Lakatos (2001) e Diehl e Tatim (2004), na qual trata-se de abordagens exploratórias, investigativas e qualitativas por meio de revisões bibliográficas.

A pesquisa bibliográfica foi composta por uma gama de estudos sistematizados e desenvolvidos com base em material nacional ou internacional. Quanto aos fins, este tipo de pesquisa é classificado como descritiva, pois expõe os fatos e estabelece correlações sobre as variáveis de interesse (Prodanov e Freitas, 2013). Para tanto, a busca por artigos deu-se por meio de bases de dados assinadas pela UNESP e pela CAPES, portal de periódicos de agências de fomento à pesquisa e bibliotecas digitais.

As premissas necessárias para condução desta atividade são propostas por Brocke et al. (2009) que apresentam um modelo para a realização desse tipo de estudo, ou seja, processo de busca que envolve pesquisas em banco de dados, palavras-chave, retrocessos e avanços. Assim buscas iterativas foram conduzidas na base de dados *Web of Science*, selecionando apenas artigos revisados por pares, por meio da utilização das seguintes palavras-chave: (“*smoke opacity*” AND “*biodiesel*”); OR (“*exhaust emissions*” AND “*diesel engine*”); OR (“*exhaust emissions*” AND “*biodiesel*”); OR (“*smoke opacit*” AND “*diesel engine*”). A frequência de palavras é proposta por De Paulo e Porto (2017), como sendo uma maneira usual de analisar conteúdos em diferentes tipos de documentos. Escolher expressões corretas e palavras que representam a melhor semântica sobre uma área é crucial para analisar as tendências da tecnologia, de acordo com as publicações anteriores.

O propósito básico deste levantamento bibliográfico consistiu em verificar o desenvolvimento do conhecimento científico acerca das emissões de escape em motor de ignição por compressão com biodiesel, contido em trabalhos acadêmicos considerados relevantes nas bases de dados. Desta forma, realizou-se uma pesquisa bibliográfica com o máximo de transparência possível a respeito das várias decisões no estudo (Webster e Watson, 2002).

Após a coleta de dados, analisaram-se os resultados de forma qualitativa, de modo que se pudesse descrevê-los, bem como desenvolver estratégias de interferência para a realidade abordada.

2.4 Revisão Bibliográfica

2.4.1 Regulamentações brasileiras para as emissões de escape

Desde a década de 80, a preocupação com a qualidade do ar e os efeitos negativos causados pelas emissões veiculares fizeram com que cientistas alertassem os Governos em relação ao fenômeno do aquecimento global, mostrando, a partir de inúmeras pesquisas, que a temperatura da Terra vem subindo mais do que se era esperado, com base em registros históricos (Guerra et al., 2015). No caso, a queima de combustíveis fósseis tem sido, desde então considerada a principal causa desse fenômeno sendo que os níveis de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, o principal gás de efeito estufa (Basha et al., 2009), têm subido de 280 ppm (partes por milhão), índice que prevalecia antes da Revolução Industrial, para 380 ppm nos dias de hoje (Leite e Leal, 2007).

A Convenção do Clima no Rio de Janeiro, em 1992 (ECO-92), e a subsequente assinatura do Protocolo de Quioto, em 1997, legitimaram assim, as preocupações para com o clima global e designaram responsabilidades para as nações signatárias, sendo o Brasil, um desses países. O Protocolo de Quioto, por sua vez, formalizou o controle das emissões de GEE (gases do efeito estufa) sob o objetivo de “alcançar a estabilização da concentração de gases na atmosfera, reduzindo sua interferência no clima e, portanto, contribuindo para a sustentabilidade do planeta” (Souza e Corazza, 2017). Nesse sentido, os biocombustíveis vêm sendo inseridos na matriz energética mundial como forma de amenizar os impactos

provenientes das emissões de GEE, além de substituir parcialmente o petróleo, que é fonte energética fóssil e não renovável.

De acordo com Santhiago (2007), de todo o volume de emissões de gases de efeito estufa apenas 20% são provenientes de atividades de desmatamento de áreas florestais ou de outros usos inadequados do solo: "A grande maioria, 80%, provém da queima de combustíveis fósseis", garante o autor em entrevista concedida ao Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2007). Isto acontece, pois a queima de combustíveis provenientes do petróleo ocorre de forma incompleta quando utilizados em máquinas térmicas e veículos automotores. Tal processo resulta no lançamento de grandes quantidades de monóxido e de dióxido de carbono (gás carbônico) na atmosfera, fazendo destes grandes "vilões" no que se refere ao aquecimento global e ao efeito estufa (Drumm et al., 2014).

Além do gás carbônico, outros gases são conhecidos por contribuírem negativamente com o efeito estufa (acréscimo constante da temperatura média da Terra), tais como os clorofluorcarbonos (CFCs), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O). Conforme Drumm et al. (2014), estes gases capturam parte da radiação infravermelha que a Terra devolve para o espaço, provocando assim o aumento da temperatura atmosférica com as decorrentes mudanças climáticas. Vale ressaltar que o gás de efeito estufa de maior importância é o dióxido de carbono, que é o principal composto resultante da combustão completa de combustíveis.

Em grandes quantidades, o gás carbônico e outros poluentes formam uma "barreira" na atmosfera, fazendo com que o calor obtido pelo aquecimento solar durante o dia fique retido na Terra e, como consequência, provoque aumento na temperatura média (Moreira, 2007). Neste sentido, tendo em vista a magnitude com a preocupação mundial sobre o aquecimento globais, por meio dos gases de efeito estufa provenientes das emissões de escape, as primeiras regulamentações pertinentes aos níveis de emissões automotivas aconteceram na década de 50, nos Estados Unidos e na Europa. Ambos os países tiveram o objetivo comum de regulamentar e, conseqüentemente, de reduzir as emissões de monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos (HC). Na década de 60, os Estados Unidos voltaram a atenção para os níveis de material particulado (Braun et al., 2003).

O Brasil segue a tendência proposta pelos limites da legislação que é imposta pelos Estados Unidos e Europa. Em 1981, foi criado o Conselho Nacional

do Meio Ambiente-CONAMA, com o propósito de se controlar as emissões nocivas à saúde e ao meio ambiente geradas por veículos automotores (Rios e Araújo, 2005). Trata-se de um órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente-SISNAMA, que foi introduzido à legislação brasileira por meio da Lei n. 6.938/81, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, regulamentada pelo Decreto 99.274/90.

A Lei da Política Nacional do Meio Ambiente (n. 6.938/81) visa preservar e recuperar a qualidade ambiental propícia à vida: *“visando a assegurar, no País, condições ao desenvolvimento sócioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana”* (Rios e Araújo, 2005). Nesse sentido, o CONAMA, desde sua criação, tem a competência de estabelecer padrões e metodologias ambientais em todo o território brasileiro. A magnitude que a preocupação com os níveis de poluição foi tomando, entretanto, fez com que a Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental-CETESB, que é vinculada à Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, criasse uma base técnica que, posteriormente, originaria a Resolução 18/86 do CONAMA (Drumm et al., 2014).

Com o objetivo de se controlar as emissões nocivas à saúde e ao meio ambiente geradas por veículos automotores, o CONAMA originou, em 1986, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores-PROCONVE, fixando prazos, limites máximos de emissão e estabelecendo exigências tecnológicas para veículos automotores, nacionais e importados (Drumm et al., 2014). Tal iniciativa contou com a parceria de outros órgãos de importância nacional, como o IBAMA, ANP, Petrobrás, CETESB, Sindipeças, entre outros (IBAMA, 2017).

A Resolução do CONAMA n. 3, de 28 de junho de 1990, no artigo primeiro e parágrafo único, caracterizou como poluente: *“qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar: impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde; inconveniente ao bem-estar público; danoso aos materiais, à fauna e flora; prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade”* (Carmo et al., 2010).

Foi então, no ano de 1993, que a Lei n. 8.723 dispôs sobre a exigência de controle de emissão de poluentes de origem veicular (Santos et al., 2014). Esta foi

mais uma medida nacional que impulsionou o desenvolvimento de novas tecnologias a fim de atender aos limites estabelecidos. Nesse contexto, a indústria automotiva viu-se obrigada a investir em métodos inovadores para fabricação de motores, bem como a legislação brasileira incentivada para a criação de políticas para a imposição de combustíveis menos poluidores, o que vem crescendo a partir daí (Russini et al., 2018).

A fim de atender às exigências da legislação vigente, o Proconve foi criado para colocar em prática a fiscalização da fumaça opaca, conhecida como “fumaça preta”, estabelecendo limites de emissões de poluentes em veículos, incluindo os de abastecimento a diesel (Pereira Júnior, 2007). Esta fiscalização inclui inspeções, treinamentos e orientações, bem como a aplicação de multas aos veículos que não respeitarem padrões estabelecidos para emissões de gases, dado que, desde a implantação do programa, os limites para emissões de escape têm-se tornado cada vez mais restritivos (Santos e Matai, 2008).

Por meio da Resolução n. 8/1993, o CONAMA estabeleceu limites máximos para emissões de poluentes em veículos novos e pesados, sendo eles importados ou nacionais. Na Tabela 1, é possível observar o progresso das fases de implementação, baseado no sistema europeu “Euro” para controle de emissões.

Tabela 1- Limites das emissões para veículos pesados a diesel (g/kWh).

PROCONVE	EURO	CO	HC	NO _x	MP	Vigência	Teor de enxofre (ppm)
Fase I	-	14,0	3,50	18,0	-	1989 a 1993	-
Fase II	Euro 0	11,20	2,45	14,4	0,60	1994 a 1995	3.000 - 10.000
Fase III	Euro 1	4,90	1,23	9,0	0,40 ou 0,70	1996 a 1999	3.000 - 10.000
Fase IV	Euro 2	4,0	1,10	7,0	0,15	2000 a 2005	3.000 - 10.000
Fase V	Euro 3	2,10	0,66	5,0	0,10 ou 0,13	2006 a 2008	500 - 2.000
Fase VI	Euro 4	1,50	0,46	3,50	0,02	2009 a 2012	50
Fase VII	Euro 5	1,50	0,46	2,0	0,02	A partir de 2012	10

Adaptado de Santos e Matei (2008) e Proconve (2012) *apud* Santana (2015).

De acordo com Pereira Júnior (2007, p.10), a Resolução do CONAMA n. 251, de 1999, de 7 de janeiro de 1999 (publicada no DOU de 12 de janeiro de 1999) "Estabelece critérios, procedimentos e limites máximos de opacidade da emissão de escapamento para avaliação do estado de manutenção dos veículos automotores do ciclo Diesel". Assim, para veículos automotores do ciclo Diesel, nacionais ou importados, anteriores à vigência da Resolução do CONAMA n.16/95, foram estabelecidos os limites máximos de opacidade como pode ser mostrado na Tabela 2 abaixo:

Tabela 2- Limites máximos de opacidade em aceleração livre relativos aos veículos não abrangidos pela Resolução n. 16/ 95.

Altitude	Tipo de motor	
	Naturalmente Aspirado ou Turboalimentado com LDA*	Turboalimentado
Até 350 m	1,7 m ⁻¹	2,1 m ⁻¹
Acima de 350 m	2,5 m ⁻¹	2,8 m ⁻¹

Conama (1999) *LDA é o dispositivo de controle da bomba injetora de combustível para adequação de seu débito à pressão do turboalimentador

As medidas de controle de gases poluentes, provenientes dos motores de combustão interna, que equipam as máquinas agrícolas, por exemplo, têm tido significativo progresso desde a criação do Conselho Nacional do Meio Ambiente, no ano de 1981. Desse modo, a terceira fase MAR-I do Proconve, que terá início em 2019, é advinda da Resolução 433/2011 do Conama e estabelece limites para emissão de gases de escape, como é o caso do material particulado (MP), monóxido de Carbono (CO), óxidos nitroso (NO_x) e hidrocarbonetos (HC), o que demanda a utilização de óleo diesel com menores índices de enxofre. Estes limites máximos são apresentados na Tabela 3, cujos valores de emissões devem observar a norma ISSO 8178-1 (2006), correspondente à NBR ISSO 8178-4 (2002).

Tabela 3- Limites máximos de emissão de gases poluentes para motores de máquinas agrícolas e rodoviárias (Proconve MAR-I)

Potência- P* (kW)**	CO (g/kWh)	HC+ NO _x (g/kWh)	MP (g/kWh)
130 ≤ P < 560	3,5	4,0	0,2
75 ≤ P < 130	5,0	4,0	0,3
37 ≤ P < 75	5,0	4,7	0,4
19 ≤ P < 37	5,5	7,5	0,6

CONAMA- Resolução n. 433, de 13 de julho de 2011. Retirado de Russini et al. (2018)

*Potência máxima do motor de acordo com a Norma ISSO TR 14396 (2002). ** Potência do motor em kW (para converter em cv ÷ por 0,7355).

Vale destacar que a primeira fase do Proconve MAR-I foi em 1989, mas somente para veículos leves. No caso de máquinas agrícolas e de construções, a primeira fase de MAR-I foi introduzida no ano de 2015. Em 2017, entrou em vigor a segunda fase do PROCONVE MAR-1 para todos os modelos de máquinas agrícolas com potência igual ou superior a 75 kW (101 cv) até 560 kW (761 cv). A terceira fase, entretanto, contará com normas de emissão de poluentes para motores de máquinas com potência igual ou superior a 19 kW (25 cv) até 75 kW (101 cv), e espera-se que a redução da poluição por material particulado chegue a 85% e a de NO_x até 75% (Olivi, 2017).

No Brasil, a adição compulsória de 10% de biodiesel ao óleo diesel (B10), no ano de 2018, possibilita reduções significativas de CO, HC e MP. Utilizar combustíveis alternativos, portanto, tem feito parte da meta que visa a atender aos limites para emissões de gases poluentes, como forma de reduzir os efeitos negativos relacionados com o meio ambiente (Ramadhas et al., 2004; Öner e Altum, 2009; Yusuf et al., 2011).

A redução de gases nocivos ao ambiente pode chegar a 98% em relação aos óxidos de enxofre e 50% da quantidade de material particulado por meio da utilização de biodiesel em motores do ciclo diesel (Summers et al., 1986). Com esse entendimento, o trabalho de Ferreira et al. (2008) trouxe uma parte da pesquisa realizada pela *Environmental Protection Agency* (EPA), onde foi apresentada a influência que os incrementos de biodiesel, acrescidos ao diesel, exercem às

emissões de gases poluentes. Como resultado, observou-se em B100[†] a redução de 67% para hidrocarbonetos não queimados; 48% para o monóxido de carbono, e 47% para o material particulado. Em contrapartida, ao se analisar B20, estas diminuições foram de 20; 12 e 12%, respectivamente para os dados de HC, CO e MP.

2.4.2 Emissões dos motores de ciclo diesel

Como forma de promover a proteção da saúde humana e o meio ambiente, estudos por novas tecnologias para redução de emissões nocivas à atmosfera, como é o caso dos gases poluentes via emissões de escape, são assunto de grande repercussão e merecem atenção imediata (Giechaskiel et al., 2014). O Proconve considera a qualidade do combustível e a concepção tecnológica do motor como os principais fatores da emissão dos poluentes (Proconve, 2018), ou seja, gases de escape contribuem significativamente para a carga antrópica, afetando, assim a composição química da atmosfera, a qualidade do ar e as mudanças climáticas (Habib et al., 2010; Zhu et al., 2010).

Os motores de ciclo diesel são vantajosos em relação aos motores de ciclo Otto, principalmente no que diz respeito ao aproveitamento energético e à eficiência dos mesmos (Squaiella et al., 2013). Basicamente, este tipo de ciclo funciona por meio da aspiração do ar e depois pela compressão, sendo um processo que produz pressão e calor em altos níveis e que possibilita a queima do combustível que é pulverizado. Em decorrência dessa dinâmica, o motor é caracterizado com o comportamento de ignição por compressão (Tillman, 2013).

Sabe-se que os motores de ciclo diesel são de ampla utilização em máquinas e veículos automotores pelo mérito de sua eficiência térmica (Öner e Altum, 2009; Squaiella et al., 2013). Por outro lado, são os principais responsáveis pela emissão de diversos poluentes, como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), material particulado (MP), hidrocarbonetos (HC) e outros componentes prejudiciais (How et al., 2018). Em meio a diversas causas que fazem

[†] Para fins de caracterização do combustível, utiliza-se "B x": em que x significa a percentagem de biodiesel que é acrescida na mistura com óleo diesel como combustível. Como exemplo, B100: (100% de biodiesel e 0% de diesel).

os motores a diesel serem considerados grandes culpados em relação às emissões poluentes de escape, destaca-se a utilização, em grande parte, do óleo diesel mineral como combustível, uma vez que o uso deste tipo de combustível resulta em emissões de “fumaça preta” (Behçet et al., 2015; Masera e Hossain, 2018).

O óleo diesel é um combustível de origem fóssil derivado do petróleo, cuja composição é complexa (8 a 16 carbonos) e basicamente formada por hidrocarbonetos parafínicos, olefínicos e aromáticos e, em menor quantidade, por substâncias cuja fórmula química contém átomos de enxofre, nitrogênio, metais e resíduos de petróleo bruto, entre outros (ANP, 2017).

Com base na Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) por meio da Resolução n. 65 em dezembro de 2011, o diesel automotivo foi classificado sob quatro categorias. Tais categorias foram baseadas de acordo com o teor de enxofre (mg/ kg) presente no combustível, sendo elas (ANP, 2011).

- A) Óleo diesel S10: combustíveis com teor de enxofre máximo de 10 mg/kg;
- B) Óleo diesel S50: combustíveis com teor de enxofre máximo de 50 mg/kg;
- C) Óleo diesel S500: combustíveis com teor de enxofre máximo de 500 mg/kg;
- D) Óleo diesel S1800: combustíveis com teor de enxofre máximo de 1800 mg/kg

Ao longo dos anos, a ANP vem trabalhando para que o enxofre seja reduzido no óleo diesel que é utilizado no Brasil. Atualmente, estão vigentes o diesel B S10 e o diesel B S500, sendo que este último recebe a adição de corante avermelhado como forma de diferenciá-lo da versão menos poluente, o B S10. O diesel B S1800, entretanto, tem a autorização de uso restrita às atividades não rodoviárias, como em termoelétricas e em atividades de mineração (ANP, 2017). Esta é uma medida que possibilita atender às normas mais rigorosas de emissões de escape.

O teor de enxofre no combustível é reputado mundialmente em virtude dos danos causados ao meio ambiente via emissões de escape. A presença deste elemento no combustível diminui a vida útil do motor e promove as emissões de óxidos de enxofre; gases como estes (SO_2 ou SO_3), quando associados com a água contida na atmosfera, contribuem para a formação das chamadas “chuvas ácidas” e ainda, material particulado (MP) por efeito da presença de sulfatos (ANP, 2017).

Ao ser comparado com o óleo diesel, Özener et al. (2012) e Xing Peng (2015) esclarecem que o oxigênio presente nas moléculas que compõem o biodiesel

é responsável pela melhor queima do combustível. A queima mais eficiente de um combustível possibilita a redução na emissão de gases poluidores, como é o caso dos GEE, que são lançados no ambiente (Masera e Hossain, 2018). Nesse mesmo sentido, Reis et al. (2013) reiteram que as emissões contendo enxofre podem ser quase nulas com o acréscimo de valores superiores a 80% de biodiesel ao diesel.

Diante da contextualização que compreende as emissões de escape advindas de motores de ciclo diesel, as emissões de particulados de veículos automotores têm recebido maior atenção nas duas últimas décadas, devido aos riscos à saúde humana e à poluição atmosférica. Relativamente ao agravamento da poluição, o MP causa dano direto ao clima global em decorrência da absorção da radiação solar (Kumar et al., 2010). Tais partículas são originárias, preferencialmente, da queima de combustíveis fósseis (MMA, 2018), o que é bastante complexo e envolve uma série de etapas. Além disso, a formação de material particulado vai depender de diversos fatores, como o tipo de motor, as condições de operação e da composição do combustível, por exemplo (Braun, 2003; Bhaskar, 2018). Para Guarieiro et al. (2011), o MP é um aglomerado de resíduos formados durante uma combustão incompleta, ou seja, quando o combustível injetado no cilindro não encontra a quantidade necessária de ar para a queima.

Dados da Cetesb (2017) mostraram que, no ano de 2016, as emissões de particulados provenientes de veículos abastecidos a diesel, no Estado de São Paulo, foram estimadas em 5.000 toneladas. Dias et al. (2015) traçaram uma evolutiva sobre as mesmas emissões em relação ao ciclo Otto, durante os anos compreendidos entre 2006 a 2014 (Figura 1).

A partir do estudo de Dias et al. (2015), fica evidente a contribuição que o processo de combustão de um motor ciclo diesel representa às emissões de MP. Contudo, é válido destacar, também, a queda de tais emissões, dado o ano de 2006 (aproximadamente 10 mil toneladas), comparado ao ano de 2014, com cerca de 5 mil toneladas, diferentemente do ciclo Otto que teve incremento de 25%.

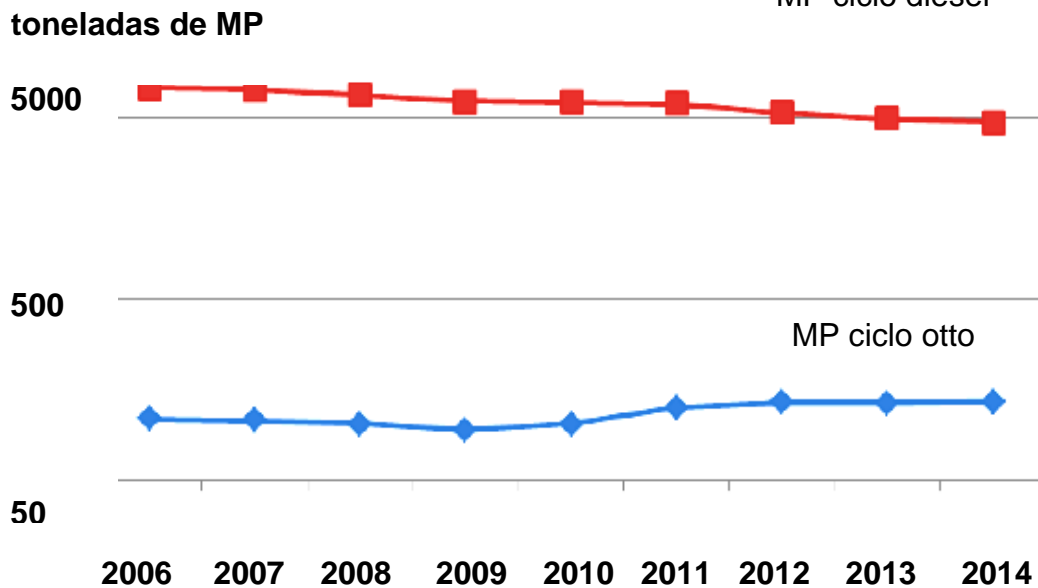


Figura 1. Evolução das emissões de MP no Estado de São Paulo, entre 2006 e 2014. Adaptado de Dias et al. (2015).

O material particulado pode ser definido como aglomerados de núcleos de carbono, óxidos de enxofre ou ácido sulfúrico, hidrocarbonetos e água. A aglomeração dos núcleos de carbono contém hidrocarbonetos, tem início na câmara de combustão e dura até o processo de exaustão dos gases (Braun et al., 2003; Guarieiro et al., 2011). Conforme a norma técnica NBR 14.489, o MP pode ser definido como “qualquer material coletado nos filtros do sistema de amostragem, após a diluição do gás de exaustão bruto do motor com o ar limpo e filtrado”. Deste modo, as partes do sistema de diluição e do sistema de amostragem, que vão do tubo de escapamento até o suporte do filtro, que estão em contato com o gás de exaustão bruto e diluído, devem ser projetadas para minimizar a deposição ou a alteração do material particulado.

Basicamente, a composição média do material particulado é 70% de massa de carbono, 20% de oxigênio, 3% de enxofre, 1,5% de hidrogênio, menos que 1% de nitrogênio e, aproximadamente, 1% de elementos traços (Neeft et al., 1996). O nitrogênio do particulado tem origem nos compostos nitrogenados contidos no diesel, em menor escala, e, em maior escala, nos óxidos de nitrogênio. Entretanto, a composição elementar pode variar grandemente, dependendo da qualidade do diesel, da performance do motor e do modo de operação da máquina (Braun et al., 2003).

A periculosidade dos particulados é em razão do pequeno diâmetro aerodinâmico (entre 0,01-0,25 μm), da grande área superficial e também em virtude

dos compostos orgânicos que podem ser adsorvidos pelas partículas (Menezes e Cataluña, 2008; Kumar et al., 2016). Por serem muito pequenas, as partículas podem ser facilmente inaladas pelas vias respiratórias e acumuladas nos alvéolos pulmonares.

Considerando os problemas que o material particulado representa ao meio ambiente e à saúde humana, muitos autores contemplam a verificação da opacidade da fumaça proveniente das emissões de escape de tratores agrícolas, como um meio de qualificar índices que remetem à concentração de MP. Desse modo, quanto mais escura a cor da fumaça, também conhecida como “fumaça preta”, maior será o carbono resultante do processo de combustão (Burigo, 2016; Tecnomotor, 2018).

O ensaio de material particulado ou opacidade é chamado de “Ensaio de Aceleração Livre”, conforme a Norma Brasileira NBR 13037/2001 (ABNT, 2001; Araújo et al., 2014). Apesar de a opacidade não ser um parâmetro regulamentado para as emissões, ela é utilizada frequentemente como um sinal indicativo do que conferem as emissões de partículas poluentes, que são difíceis de medir instantaneamente, além do alto custo e dos problemas de calibração e de manutenção do equipamento necessário (Lapuerta et al., 2004; Masera e Hossain, 2018). De fato, outras metodologias são encontradas na literatura para estimar a emissão de material particulado (Giechaskiel et al., 2014). Contudo, a opacidade da fumaça ainda é o meio mais fácil e simples para qualificar partículas (Armas et al., 2006).

2.4.3 Opacidade da fumaça

A estimativa das emissões de particulados de motores de ciclo diesel tem sido uma prática comum há décadas. No entanto, a instalação experimental é complexa no que se refere à diluição controlada, à coleta de partículas, ao condicionamento de filtro e à pesagem de partículas (Lapuerta et al., 2004). Por esta razão, ensaios de opacidade da fumaça em motores têm sido vastamente realizados como forma de avaliar a fumaça proveniente da exaustão dos gases (Putra e Fernandez, 2018); pois, como já visto, a formação de fumaça escura é principalmente o resultado da queima incompleta do combustível, de hidrocarboneto

e do conteúdo de carbono parcialmente reagido no combustível líquido (Özener et al., 2012).

Emissões de fumaça são partículas suspensas, presentes no escapamento, devido à combustão incompleta. Nos motores de ciclo diesel, a fumaça é produzida em zonas deficientes de oxigênio (Kumar et al., 2016; Masera e Hossain, 2018). Todavia, a metodologia que compreende os ensaios de opacidade da fumaça permite mensurar a densidade de partículas capazes de absorver feixes de luz, de forma que esta luz seja obscurecida pela fumaça (Putra e Fernandez, 2018). Nas palavras de Brunelli (2009), a quantidade de luz recebida pelo equipamento de avaliação é inversamente proporcional à concentração de fumaça de cor escura (opaca). Neste ensejo, esta técnica tem-se mostrado uma medida simples e rápida para obtenção de resultados capazes de estimar a quantidade de partículas advindas do processo de combustão de um determinado combustível, embora sejam necessários cuidados com a calibração (Lapuerta et al., 2004).

Em geral, as fumaças de escape podem ser divididas em três: preta, branca e azul. A fumaça preta é reflexo da concentração de material particulado (MP) presente na fumaça (Sayin, 2010) e do excesso de combustível (mistura rica), enquanto a fumaça de cor branca sugere a composição por vapor d' água condensada e por combustível líquido não queimado. A fumaça de cor azul é o produto da combustão incompleta de combustível e/ou de lubrificante (NBR 13.037, 2001; Lima et al., 2012).

A opacidade da fumaça é baseada na evidência de que a escuridão do gás de exaustão, assim como a dos filtros do medidor de fumaça, é causada principalmente pela presença de fuligem, que é considerada como o principal componente do material particulado. No entanto, o material particulado também é composto pela chamada fração solúvel orgânica (SOF), composta por diferentes hidrocarbonetos, em fase gasosa ou condensada, que são adsorvidos na superfície dos núcleos de fuligem (Zhang et al., 2012). Essa fração solúvel pode atingir a maioria da massa particulada (Lapuerta et al., 2004).

Após a contextualização sobre as emissões de escape, bem como as regulamentações brasileiras, cada vez mais restritivas, o item a seguir é baseado em resultados de pesquisas sobre ensaios de opacidade da fumaça em motores de ciclo diesel, alimentados com biodiesel.

2.4.3.1 Utilização de biodiesel como combustível em motores ciclo diesel

Neves et al. (2013) avaliaram a opacidade da fumaça de um trator agrícola de 125 cv equipado com turbocompressor e *intercooler*, funcionando com biodiesel de murumuru e soja, nas proporções de 5; 25; 50; 75 e 100%, tendo o diesel B S1800 como B0. O biodiesel de soja apresentou redução na emissão de particulados quando houve adição de 50% de biodiesel ao diesel B S1800 (B50). Pesquisa semelhante foi realizada por Lima et al. (2015), que na opacidade da fumaça, o biodiesel de soja (B100) teve redução de 26% quando comparado ao diesel B S1800 (B0).

Um opacímetro de fluxo parcial e software de inspeção denominado de IGOR[®], foram utilizados por Gonçalves et al. (2013) para a verificação da opacidade da fumaça de um trator agrícola alimentado com biodiesel de soja, nas proporções de 5; 10 e 25%. Neste estudo, a diferença entre B5 e B10 foi de 5,88%, e de B5 e B25 foi de 17,65% para a opacidade, e entre B10 e B25 foi de 12,50% para a mesma variável. Assim, com a utilização do biodiesel no diesel, até B25, foi possível reduzir a emissão de material particulado em 17,65%. Em relação ao incremento de porções de biodiesel ao diesel na mistura do combustível, a prestigiada obra de Von Wedel (1999) traz como informação que reduções de até 70% das partículas que compõem a fumaça advinda das emissões de escape, podem ser resultantes da utilização de 100% de biodiesel. Em contrapartida, esta mesma redução pode chegar a 45% ao utilizar-se B20.

Do mesmo modo, os efeitos do biodiesel de soja no desempenho de um motor de ciclo diesel foram estudados por Özener et al. (2012), que avaliaram as características de combustão, o desempenho e a emissão de combustível diesel convencional e biodiesel produzido a partir de óleo de soja, nas proporções de B10; B20 e B50. A opacidade da fumaça neste estudo diminuiu com o aumento do percentual de biodiesel na mistura.

Ainda sobre o trabalho de Özener et al. (2012) e Gonçalves et al. (2013), os autores explicaram a redução de níveis de opacidade da fumaça com o uso de biodiesel em decorrência da ausência de enxofre em sua composição. Outra discussão acerca de tais resultados foi em virtude do maior conteúdo de oxigênio

presente no biodiesel. Vale ressaltar que, nesses dois estudos citados, as características do diesel utilizado no ensaio não foram apresentadas.

Chauan et al. (2012) esclarece que a ausência de compostos aromáticos e sulfurados no biodiesel, quando se compara ao diesel convencional, bem como o conteúdo de oxigênio na molécula levam a uma melhora na relação combustível/oxigênio local durante a combustão, reduzindo assim a opacidade de fumaça no gás de exaustão, dado que a fuligem é resultante da combustão incompleta (Qi et al., 2009).

O trabalho de Lempek (2016) teve como um dos objetivos a avaliação do comportamento da opacidade da fumaça em um grupo motor-gerador de ciclo diesel. Neste ensaio, foi utilizado diesel comercial com a adição de 7% de biodiesel em sua composição (B7) e as misturas B20, B25, B30, B50 e B100 de biodiesel etílico ou metílico de soja, bem como biodiesel tendo como fonte de matéria-prima gordura suína. Conforme houve adição na porcentagem de biodiesel ao diesel comercial, os valores de opacidade da fumaça foram decrescentes, dado que o maior emissor de opacidade foi o diesel como combustível (6,85%) e depois o B20 proveniente de gordura suína via rota etílica (6,20%). Os menores valores de opacidade (1,40%) foram encontrados com B100 de soja por rota metílica, que foi considerado o combustível que remete menores índices de particulados.

No mesmo trabalho de Lempek (2016), todavia, as fontes de combustíveis e de rotas de produção, quando analisadas separadamente, não apresentaram diferenças significativas. No entanto, de acordo com o autor, misturas com ésteres etílicos possuem maior viscosidade do que as misturas com ésteres metílicos, e isso influencia na qualidade da queima da mistura ar/combustível, assim somando motivos para a formação de depósitos na câmara, em consequência de uma combustão incompleta (maior valor de opacidade).

Brunelli (2009), em bancada dinamométrica e com equipamento AVL *smoke meter*, concluiu que o biodiesel de soja (B100) apresentou maiores reduções no teor de fumaça em relação ao óleo diesel padrão (não informado). Vale pontuar neste ensaio que apenas se pode inferir sobre quantidade de fumaça; entretanto, pouco se pode concluir sobre os valores de opacidade da mesma. Estes dados estão de acordo com os que foram encontrados por Canakci (2007), que estudou e comparou a combustão de um motor de ciclo diesel com diesel *versus* biodiesel proveniente do

óleo de soja. Os valores de material particulado (MP) diminuíram quando foi utilizado o biodiesel de soja.

De acordo com Chauhan et al. (2012), os resultados encontrados por Brunelli (2009) foram possíveis em virtude do maior índice de cetano (valor de 60 para o biodiesel de soja, conforme Alptekin e Canakci (2008) e valor aproximado de 50 para o diesel, conforme Chauhan et al. (2012) e oxigênio embutido do biodiesel que resulta em melhor combustão e, conseqüentemente, em menores níveis de opacidade da fumaça. Quando comparado com o combustível petrodiesel (B0), o biodiesel possui várias características de combustão superiores, segundo Xing Peng (2015). Por exemplo, quando o biodiesel é utilizado como combustível para motores, seu teor de oxigênio constitui aproximadamente 10% do peso da molécula, o que acarreta na combustão mais completa e efetivamente reduz a produção de HC, CO, assim como de grânulos de carbono suspensos na fumaça (opaca).

A pesquisa de Xing Peng (2015) apresentou menores valores de opacidade da fumaça em um motor de ciclo diesel equipado com turbocompressor e *intercooler*, quando este estava abastecido com biodiesel de óleo residual, seguido pelo biodiesel proveniente de óleo de soja e, por último, de biodiesel a partir do óleo de dendê. O atraso de ignição observado com a utilização de biodiesel a partir de óleo residual foi menor do que a do diesel, que resultou na redução de fumaça opaca. Em relação ao diesel ensaiado (B0), as reduções foram de 20,3% para o biodiesel de óleo residual, ao passo que foi de 18,5% para o biodiesel de soja. A explicação para estes resultados também foi em virtude de o biodiesel (independentemente da fonte) ser livre de enxofre e, portanto, menores emissões de sulfato e de partículas foram relatadas no escape.

Em relação às proporções de biodiesel metílico de soja, Zhang et al. (2008) estudaram as misturas B20, B50 e B100 comparadas ao diesel (B0), em um motor de injeção direta de cilindro único, com diferentes cargas e velocidade constante. Os resultados, mais uma vez, evidenciaram a redução significativa para opacidade da fumaça, conforme se aumentou o biodiesel na mistura com diesel, tendo maior redução da variável opacidade em B100.

No experimento de Dawod e Bhatt (2013), foram realizadas investigações teóricas e experimentais em um motor diesel de injeção direta, de cilindro único, operando em diferentes misturas de um éster metílico de soja comparados com óleo

diesel. Os resultados indicaram que o uso do biodiesel de soja produziu menor opacidade da fumaça em 48,23%, quando comparado à alimentação por diesel como combustível. Em contrapartida, maiores reduções na opacidade da fumaça (71%) foram encontradas por Peterson et al. (1995) *apud* Nabi et al. (2006), que avaliaram o comportamento da opacidade da fumaça em um motor de ciclo diesel, equipado com *intercooler*, abastecido por ésteres etílicos produzidos a partir do óleo de soja hidrogenado, em comparação ao óleo diesel conhecido como n. 2.

A variação do coeficiente de absorção em m^{-1} foi investigada por Qi et al. (2010). Este coeficiente utilizado para avaliações de opacidade da fumaça é o k , que apresentou valores reduzidos para o biodiesel metílico de soja e suas misturas (B30, B50, B80 e B100), em relação ao diesel como combustível no motor diesel. Assim, o valor de k para o diesel foi máximo de $0,7 m^{-1}$, sendo que o motor alimentado com biodiesel e as referidas misturas não ultrapassaram o valor de $0,5 m^{-1}$. De acordo com os autores, isso ocorreu em razão de a viscosidade do biodiesel ser superior à do diesel, o que resulta em baixa atomização e misturas localmente ricas em cargas baixas e médias do motor. Em altas cargas de motor, por exemplo, a redução de fumaça, quando se utiliza biodiesel, é explicada pelo teor de oxigênio no combustível, que contribui para a oxidação completa do combustível, mesmo em zonas ricas localmente, diminuindo a tendência de se produzir fuligem. Além disto, o conteúdo de carbono (C/H) no biodiesel é menor que o diesel (B0), e quanto mais carbono por molécula o combustível contiver, maior a probabilidade de produzir fuligem.

A redução da emissão de material particulado (opacidade da fumaça), em função da inserção de misturas do biodiesel de soja e mamona ao diesel foi verificada por Guimarães et al. (2018). Como resultados, verificou-se que (B7) comercializado na época da condução do ensaio, foi o que gerou maior resultado em opacidade da fumaça, quando comparado às misturas contendo maior quantidade de biodiesel, independentemente da fonte, para obtenção de óleo. No entanto, os melhores valores de opacidade da fumaça, ou seja, os menores valores em m^{-1} foram verificados com o B40: 40% do biodiesel de mamona (B100) adicionados ao diesel comercial (B7). Tais resultados apontaram melhor desempenho do biodiesel de mamona quando comparado ao biodiesel proveniente do óleo de soja para opacidade, pois, conforme os resultados, a utilização de B100 com biodiesel de

mamona é viável em relação aos padrões de viscosidade, desde que combinado ao biodiesel de soja na proporção de até 25% (S75M25).

O biodiesel de mamona, nas avaliações de opacidade da fumaça, também foi estudado por Tabile et al. (2009), que avaliaram a opacidade da fumaça (material particulado) do motor de um trator agrícola, operando com dois tipos de diesel: (a) quantidade de enxofre total máxima de 2.000 mg.kg^{-1} e (b) quantidade de enxofre total máxima de 500 mg.kg^{-1} , misturados ao biodiesel de mamona, nas seguintes proporções (B0; B5; B15; B25; B50; B75 e B100). Nesse estudo, independentemente do diesel, a opacidade reduziu à medida que aumentou a quantidade de biodiesel até a proporção de B75; comparando B0 a B100, a redução foi de 22% para o diesel tipo **a** e de 10,6% para o diesel tipo **b**. No entanto, para os tipos de diesel a partir de B75, a opacidade voltou a aumentar, especificamente para o de quantidade de enxofre total máxima de 500 mg.kg^{-1} , em que B100 foi semelhante a B0. Essa situação foi explicada em função do alto índice de viscosidade do biodiesel de mamona, sendo que tal característica ocasiona maiores dificuldade para trabalhar com esse biocombustível. Resultados semelhantes foram encontrados por Barbosa (2007), sendo que a opacidade da fumaça de um trator agrícola foi reduzida à medida que se adicionou biodiesel de mamona ao diesel, com redução de 35%, comparando B0 a B75.

Sem levar em consideração a matéria-prima utilizada para fabricação de biodiesel, outros autores como Srikanth et al. (2013), Silitonga et al. (2013), Nayaki e Pattanaik (2014) e Behçet et al. (2015) encontraram notáveis reduções de material particulado com o uso do biocombustível. Vale explicar, entretanto, que nem todas estas metodologias se utilizaram da opacidade da fumaça como meio de avaliação.

A partir dos dados levantados, é possível inferir que a utilização de biodiesel em motores de ignição por compressão é uma alternativa eficiente para redução de valores de opacidade da fumaça (m^{-1}) e, assim, das emissões de partículas finas na atmosfera. Na Figura 2, tem-se um esboço das principais justificativas fornecidas pelos autores investigados como discussão dos menores resultados desta variável ao se acrescentar proporções de biodiesel na mistura.

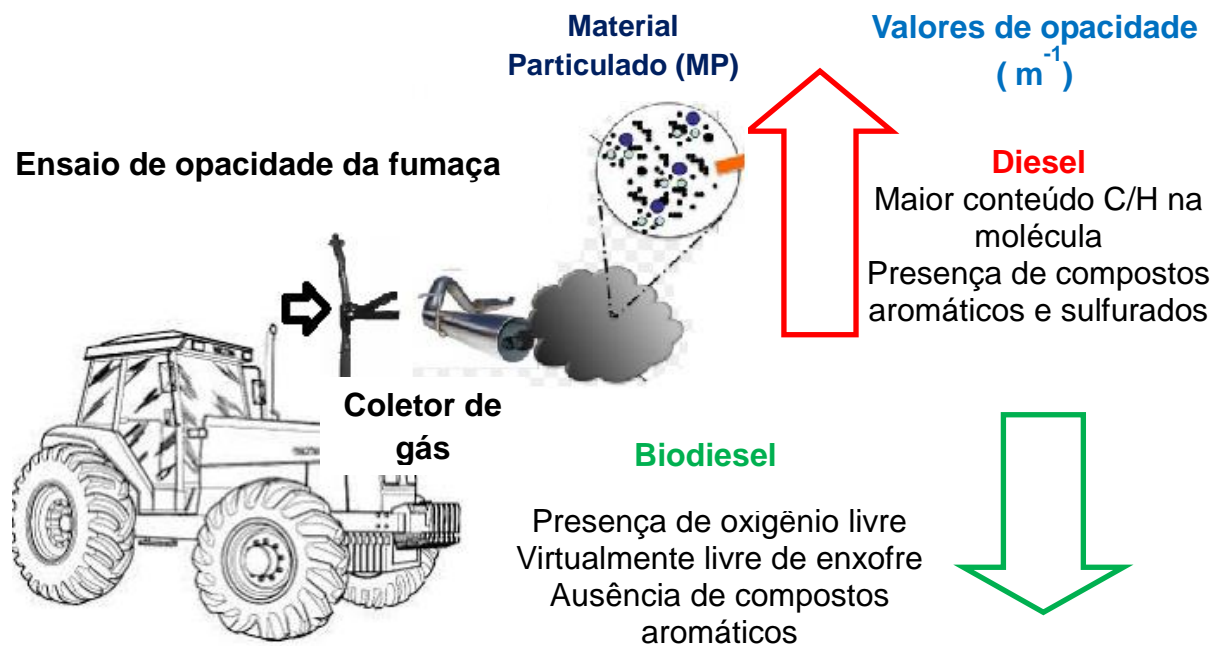


Figura 2. Diesel x Biodiesel no comportamento da opacidade da fumaça. Ilustração elaborada pela autora (2018).

Notou-se, portanto, que, na maioria dos estudos pesquisados, a justificativa para os menores resultados de opacidade da fumaça com a utilização de biodiesel fundamentou-se sobre dois aspectos principais: a presença de oxigênio livre em sua molécula e a ausência de compostos aromáticos e sulfurados. Neste ensejo, elaborou-se a Tabela 4 como forma de auxiliar na compreensão dos valores em opacidade da fumaça, tanto para diesel, quanto para biodiesel, em termos de causa e efeito.

Tabela 4- Causas- Efeitos das valores de opacidade da fumaça

Causa	Efeito	Autores
O₂ na molécula	Maior eficiência do processo de combustão, combustão mais completa	Dabdoub et al. (2009); Di et al. (2009); Qui et al. (2010); Lima et al. (2012); Chauhan et al. (2012); Ozener et al. (2012); Gonçalves et al. (2013); Xue (2013); Ajtai et al. (2016)
Número de cetano	As diferentes fontes de matérias-primas ao biodiesel permitem a variação desta propriedade nos combustíveis, o que pode influenciar no comportamento do motor	Peres et al. (2007) Lima et al. (2015) Mahalingam et al. (2017)
Ausência de compostos aromáticos e sulfurados	Melhora na relação combustível/oxigênio local durante a combustão, reduzindo assim a opacidade de fumaça no gás de exaustão, dado que a fuligem é obtida por meio de combustão incompleta	Armas et al. (2006) Lapuerta et al. (2008) Qi et al. (2009) Chauhan et al. (2012) Ozener et al. (2012) Srithar et al. (2013) Khalife et al. (2017)
Razão entre carbono e hidrogênio contido na molécula do combustível (C/H)	A probabilidade de emissão de fuligem aumenta conforme o conteúdo (C/H) é maior, sendo que a composição elementar do MP é o carbono	Lobo et al. (2009) Xing Peng et al. (2015) Ajtai et al. (2016)
Viscosidade	Maiores índices de viscosidade do combustível contribuem para a formação de depósitos na câmara de combustão	Tabile et al. (2009) ; Prabhakar e Anamalai (2011); Lempek (2016)

Elaborado pela autora (2018).

A partir da Tabela 4, evidencia-se que as características físico-químicas dos combustíveis exercem influência direta no comportamento de um motor ciclo diesel e, conseqüentemente, na qualidade do processo de combustão, o que pode ocasionar maiores ou menores valores em opacidade da fumaça.

2.4.3.2 Opacidade da fumaça em trator agrícola alimentado com biodiesel de palmeiras

Grande parte das pesquisas encontradas na literatura para avaliações de opacidade da fumaça em trator agrícola utilizou-se da matéria-prima soja como fonte para biodiesel. Contudo, o biodiesel proveniente de palmeiras brasileiras também foi objeto de estudo em pesquisas similares.

Neves et al. (2013) avaliaram a opacidade da fumaça de trator agrícola alimentado com biodiesel proveniente de duas matérias-primas: murumuru e soja. Neste trabalho, os dois biocombustíveis proporcionaram redução significativa na opacidade da fumaça; contudo, quando comparados com B0, observou-se que, em todas as proporções, o biodiesel de murumuru emitiu menos material, ou seja, a opacidade da fumaça foi 19,81% menor que para o biodiesel de soja

Iamaguti (2017) estudou a mistura de combustível com proporções de biodiesel de murumuru *versus* biodiesel de soja na opacidade da fumaça de trator agrícola. Corroborando os resultados de Neves et al. (2013), a mistura contendo 90% do biodiesel de soja com 10% do biodiesel de murumuru foi a que apresentou maiores índices para opacidade da fumaça: $k \text{ (m}^{-1}\text{)}$. Quando comparado ao combustível 90M10S (90% de biodiesel de murumuru + 10% biodiesel de soja), o combustível com predominância do óleo de murumuru reduziu em 40% a emissão de fumaça da mistura ensaiada. Pesquisa semelhante foi realizada por Oliveira (2016), onde se pode observar a redução da opacidade da fumaça com o uso do B100 de soja e B100 de murumuru, em 37% e 60%, respectivamente, quando comparados com o diesel B S 1800 e o diesel B S 500 (que não diferiram entre si).

Lima et al. (2014) compararam a opacidade da fumaça de um trator agrícola utilizando como combustível misturas de biodiesel de dendê com diesel de quantidade de enxofre total máxima de 1.800 mg kg^{-1} , sob seis proporções de mistura biodiesel/diesel (B0, B5, B25, B50, B75 e B100). Neste experimento, quando se avaliou opacidade em função das proporções de mistura, houve redução significativa com o acréscimo de biodiesel de dendê, atingindo melhoria de 35,1%, comparando B100 com B0. Esse fato foi explicado em virtude à menor emissão de material particulado quando se utiliza biodiesel, pois, no referido biocombustível, há

presença de oxigênio livre na molécula e pressupõe-se que esse fato esteja relacionado com a maior eficiência da combustão.

O biodiesel de dendê, nas avaliações de opacidade da fumaça em trator agrícola, também foi estudado por Câmara (2009), na comparação com diesel com quantidade de enxofre total máxima foi 2.000 mg kg^{-1} , sob cinco proporções de misturas: B0, B25, B50, B75 e B100. Quando se avaliou a opacidade em função da proporção de mistura, houve redução significativa com o acréscimo de biodiesel à mistura, mesmo em pequenas quantidades, conforme observado na proporção B5, atingindo uma melhoria de 50,4%, comparando B100 com B0. Resultados semelhantes foram encontrados por Lima et al. (2013) que, ao avaliarem as mesmas proporções de mistura de biodiesel de dendê ao diesel de petróleo, verificaram a redução de opacidade da fumaça de um trator agrícola a partir da adição de 5% de biodiesel.

Quando comparado ao biodiesel de murumuru e ao diesel, o trabalho de Neves et al. (2012) concluiu que, a partir da adição de 25% (B25) de biodiesel de dendê no diesel, houve redução na emissão de particulado. Comparando-se B0 e B100, o decréscimo na opacidade foi de 31,5%. O biodiesel de murumuru reduziu a emissão quando houve adição de 5% de biodiesel (B5) no diesel, sendo observada redução de 53,33% na opacidade da fumaça, quando comparado B0 a B100. Comparando-se os tipos de biodiesel, observou-se que, em todas as proporções, o biodiesel de murumuru emitiu menos material particulado, sendo que a diferença entre B100 de dendê e B100 de murumuru foi de 31,81%.

Com o objetivo de estabelecer um comparativo entre o biodiesel de tucumã e o de dendê na opacidade da fumaça de um trator agrícola, Lima et al. (2012) estudaram estes dois tipos de combustíveis em seis proporções de mistura biodiesel/diesel (B0, B5, B25, B50, B75 e B100). Verificou-se, portanto, a redução da opacidade da fumaça à medida que se aumentou a quantidade de biodiesel na mistura, destacando-se o biodiesel de tucumã com a redução de 60% e o de dendê 36,25%, respectivamente.

O biodiesel de tucumã foi novamente estudado por Lima et al. (2015), que compararam o biodiesel proveniente das matérias-primas tucumã e murumuru. Em opacidade da fumaça, o biodiesel de tucumã foi o que apresentou melhores resultados para a variável estudada. Estes resultados foram justificados por

entender-se que as propriedades do biodiesel são fortemente influenciadas pelas características individuais dos ésteres graxos provenientes das fontes oleaginosas que formam o combustível (Armas et al., 2006; Dabdoub et al., 2009; Chauhan et al., 2012).

Outra palmeira brasileira promissora na obtenção de óleo para fabricação de biodiesel é o babaçu. Desse modo, o biodiesel de babaçu foi estudado por Lira et al. (2016), nas avaliações de opacidade da fumaça de um trator agrícola. Valores reduzidos de opacidade de fumaça foram registrados, diminuindo em 55,4 e 51,82% quando comparados com B S1800 e B S10 com B100, dentre os quais se destacou o biodiesel de babaçu. Assim, as misturas de biodiesel de babaçu com diesel B S1800 e B S10 mostraram-se eficientes na redução da opacidade de fumaça de motor de trator agrícola. Resultados semelhantes foram encontrados por Santos (2014), onde este mesmo biodiesel apresentou redução de 68,6% e 58% na opacidade da fumaça, comparado ao diesel B S1800 e B S50, respectivamente.

O buritizeiro também se tem tornado conhecido pelo grande potencial na fabricação de biodiesel. Assim, na avaliação da opacidade da fumaça em trator agrícola, lamaguti et al. (2016) avaliaram as misturas deste biodiesel nas proporções B0, B5, B15, B25, B50 e B75, em relação ao diesel fóssil B S1800 e B S50 (B0 diesel). Em B100, a opacidade da fumaça reduziu-se em 33,33% e 28,90%, respectivamente.

Tendo em vista a deficiência de trabalhos que tratem da opacidade da fumaça em trator agrícola, alimentado por biodiesel de palmeiras brasileiras como combustível e suas comparações ao diesel, elaborou-se uma tabela (Tabela 5) mostrando a média dos principais resultados de opacidade (m^{-1}) que foram encontrados no levantamento bibliográfico para tais fontes oleaginosas até então pouco estudadas, em relação às emissões de gases de escape, bem como estes mesmos valores para diesel com teores máximos de enxofre distintos.

Tabela 5- Média dos valores de opacidade da fumaça em trator agrícola encontrados na literatura até o mês de setembro de 2018.

Combustível	Média dos valores de Opacidade (m¹)	Referencial de pesquisa
Biodiesel (B100)		
Dendê	1,33	Camara (2009); Lima et al. (2012); Neves et al. (2012); Lima et al. (2013); Lima et al. (2014);
Murumuru	1,37	Neves et al. (2012); Neves et al. (2013); Lima et al. (2015); Oliveira (2016); Oliveira et al. (2016)
Babaçu	0,97	Santos (2014); Moreti (2015); Lira (2015); Lira et al. (2016)
Tucumã	0,79	Lima et al. (2012); Lima et al. (2015)
Buriti	1,82	Iamaguti (2014); Iamaguti et al. (2016)
Diesel (B0)		
B S10	2,12	Lira (2015); Lira et al. (2016)
B S50	1,88	Iamaguti (2014); Santos (2014); Iamaguti et al. (2016)
B S500	2,56	Oliveira (2016); Oliveira et al. (2016)
B S 1800	2,32	Lima et al. (2014); Santos (2014); Iamaguti (2014); Moreti (2015); Lima et al. (2015); Oliveira (2016); Iamaguti et al. (2016); Lira et al. (2016); Oliveira et al. (2016)

Elaborado pela autora (2018).

Os valores de opacidade apresentados na Tabela 5 variaram de acordo com as condições de cada ensaio realizado pelos autores. Contudo, é válido destacar que a média dos valores contidos na tabela estão abaixo do limite estabelecido pelas normas brasileiras já apresentadas neste trabalho, que é de 2,5 m⁻¹. Salvo o óleo diesel B S500 (combustíveis com teor de enxofre máximo de 500 mg/kg).

A partir dos dados levantados, também é possível inferir que o biodiesel, em maiores ou menores proporções e independentemente da matéria-prima, apresenta comportamento favorável nas avaliações de opacidade da fumaça quando comparado ao diesel, em virtude das características físico-químicas do biodiesel

como combustível. Tais propriedades são responsáveis pela combustão mais eficiente, ou seja, completa.

Vale complementar em relação à comparação com outras matérias-primas oleaginosas na fabricação de biodiesel, que os valores de opacidade da fumaça não dependem apenas do tipo e da proporção de combustível que compõe uma mistura, mas, sim de outros fatores, tais como: falhas ocorridas em um sistema de injeção (Dürnholtz et al., 1994; Machado, 2003; Delalibera et al., 2012; Araújo et al., 2014; Maser e Hossain, 2018); condições atmosféricas (Soares e Sodré, 2002; Liotti et al., 2010; Moreti, 2015; Lira, 2015; Lira et al., 2016); armazenamento do combustível (Oliveira et al., 2015), e outros parâmetros operacionais (Rinaldi et al., 2007; Xing Peng, 2015), por exemplo.

De acordo com Machado (2003), a deposição de material carbonoso com a utilização de óleos vegetais pode estar associada aos motores que, normalmente, são ensaiados sem sofrerem modificações em seu sistema injetor. Assim, um sistema de injeção inadequado à viscosidade do combustível utilizado não irá proporcionar a atomização necessária à formação de uma mistura ar/combustível apropriada e, conseqüentemente, haverá má distribuição da mistura na câmara de combustão. Tais fatores levam à produção de resíduos carbonosos característicos de uma combustão incompleta. Nestas condições de funcionamento, a formação de fuligem é bastante acentuada, e parte destes resíduos deposita-se no motor, causando seu “envelhecimento” prematuro. Os resíduos são facilmente perceptíveis pela coloração escura dos gases exaustos, conhecidos como “fumaça preta” (Burigo, 2016).

Para Maser e Hossain (2018), a redução na opacidade da fumaça é observada pelo avanço do tempo de injeção e/ ou pelo aumento da pressão de abertura do bico injetor, em virtude das melhores características de pulverização e pela melhor mistura ar/combustível dentro da câmara de combustão. Outro fator apontado por esses autores é o pré-aquecimento do combustível a fim de reduzir características como viscosidade e densidade, melhorando a combustão que, por sua vez, leva aos menores índices de opacidade da fumaça.

2.5 Conclusões

Em todos os trabalhos verificados em literatura, à medida que se adicionaram incrementos de biodiesel na mistura de combustível, houve redução nos valores de opacidade. Contudo, fatores como falhas no sistema de injeção, condições atmosféricas, armazenamento do combustível e outros parâmetros operacionais podem influenciar os resultados de opacidade da fumaça.

Vale salientar que foram poucos os estudos encontrados na literatura que tenham como escopo de pesquisa avaliações de opacidade da fumaça de trator agrícola alimentado com biodiesel de palmeiras da família *Arecaceae*, em especial o de babaçu, tucumã e buriti. Portanto, ressalta-se a necessidade de outras pesquisas com este objeto de estudo, tendo em vista a necessidade brasileira de mitigar gases do efeito estufa nos anos próximos, o grande potencial na aplicabilidade da produção de biodiesel destas oleaginosas, bem como o interesse mundial pela continuação dos estudos com biodiesel.

2.6 Referências

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP (2017) **Derivados de petróleo...Óleo diesel**. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/petroleo-derivados/155-combustiveis/1857-oleo-diesel>. Acesso em: 18 set. 2018.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP (2018 **a**) Produção de biocombustíveis... Informações de mercado... **Boletim mensal do biodiesel** (julho/ 2018)... percentual de consumo de cada matéria-prima para produção de biodiesel nacional e por região (2018)c. Disponível em: www.anp.gov.br/images/PROD_FORN_BIOCOMBUSTIVEIS/Biodiesel/Processamento_de_materias-primas.xlsx. Acesso em: 23 set. 2018.

Ajtai T, Pintér M, Utry N, Kiss-Albert G, Gulyás G, Pusztai P, Kónya Z (2016) Characterisation of diesel particulate emission from engines using commercial diesel and biofuels. **Atmospheric Environment** 134: 109-120.

Alptekin E, Canakci M (2008) Determination of the density and the viscosities of biodiesel– diesel fuel blends. **Renewable Energy** 33: 2623- 2.630.

Araújo VF de, Honorato A da C, Cortez JW, Patrocínio Filho AP, Nagahama H de J (2014) Patinagem, opacidade e ruído de três tratores agrícolas de pneus. **Revista Energia na agricultura** 29: 1-8.

Armas O, Hernández JJ, Cárdenas MD (2006) Reduction of diesel smoke opacity from vegetable oil methyl esters during transient operation. **Fuel** 85: 2427-2438.

Associação Brasileira De Normas Técnicas- ABNT (2001) **NBR 13037**: veículos rodoviários automotores: gás de escapamento emitido por motor diesel em aceleração livre: determinação de opacidade da fumaça. Rio de Janeiro: ABNT, 5 p.

Barbosa ALPBF (2007) **Biodiesel de mamona em trator agrícola na operação de preparo do solo**. 62 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP/FCAV, Jaboticabal/SP.

Basha SA, Gopal KR, Jebaraj S (2009) A review on biodiesel production, combustion, emissions and performance. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 13:1628–1634

Behçet R, Oktay H, Çakmak A, Aydin H (2015) Comparison of exhaust emissions of biodiesel–diesel fuel blends produced from animal fats. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 46: 157-165.

Bhaskar SV (2016) Effect of Injection Pressure on Emission of CO, Smoke Opacity of Diesel Engine Using Jatropha Curcas Oil Methyl Ester as Biodiesel. **International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)** 2: 1115-1118.

Bhaskar SV (2018) Effect of Fuel Injection Pressure on Exhaust Emissions of CIDI Engine using Azadirachta Indica Biodiesel and its Diesel Blends. **Fuel** 7: 20-24.

Braga A, Pereira LAA, Bohm GM, Saldiva P (2001) Poluição atmosférica e saúde humana. **Revista USP** (51), 58-71.

Braun S, Appel LG, Schmal M (2003) A poluição gerada por máquinas de combustão interna movidas a diesel – a questão dos particulados. Estratégias atuais para a redução e controle das emissões e tendências futuras. **Química Nova** 27: 472-482.

Brunelli RR (2009) **Estudo de viabilidade operacional e desempenho de motores de combustão interna operando com combustível biodiesel em relação ao combustível diesel automotivo**. 142 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

Burigo SD (2016) **Análise da emissão de fumaça preta em obras de construção e montagem industrial no Brasil**. 90p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético)- Universidade Federal do Rio de Janeiro -UFRJ/ COPPE, Rio de Janeiro, RJ.

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

Canakci M, Erdil A, Arcakliouglu E (2006) Performance and exhaust emissions of a biodiesel engine. **Applied Energy** 83:594 -605.

Canakci M (2007) Combustion characteristics of a turbocharged DI compression ignition engine fueled with petroleum diesel fuels and biodiesel. **Bioresource Technology** 98:1167- 1175.

Carmo CD do, Hacon S, Longo KM, Freitas S, Ignoti E, Leon APD, Artaxo P (2010) Associação entre material particulado de queimadas e doenças respiratórias na região sul da Amazônia brasileira. **Revista Panamericana de Salud Pública** 27: 10-16.

Chauhan BS, Kumar N, Cho H M (2012) A study on the performance and emission of a diesel engine fueled with Jatropha biodiesel oil and its blends. **Energy** 37: 616-622.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo-CETESB (2017) **Emissões veiculares no Estado de São Paulo** [on line] 219 p. Disponível em: <http://www.despoluir.org.br/publicacaoexterna/lista/Invent%C3%A1rios%20de%20Emiss%C3%B5es>. Acesso em 01 out. 2018.

Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA (1995) **Resolução CONAMA nº 16**. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, n.249, de 29 de dezembro de 1995, Seção 1, páginas 22877-22878.

Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA (1999) **Resolução CONAMA n. 251**. Diário Oficial da União. Brasília, DF.

Dabdoub MJ, Bronzel JL, Rampin MA (2009) Biodiesel: visão crítica do status atual e perspectivas na academia e na indústria. **Química Nova** 32: 776-792.

Dawod AL, Bhatti SK (2014) Experimental and computational investigations for combustion, performance and emission parameters of a diesel engine fueled with soybean biodiesel-diesel blends. **Energy Procedia** 52: 421-430.

Delalibera HC, Campolina N, Weirich Neto PH, Ralish R (2012) Performance of a diesel engine fueled with a preheated blend of soybean oil and petrodiesel. **Engenharia Agrícola** 32: 1058-1067.

De Paulo AF, Porto GS (2017) Solar energy technologies and open innovation: A study based on bibliometric and social network analysis. **Energy Policy** 108: 228-238.

Di Y, Cheung CS, Huang Z (2009) Comparison of the effect of biodiesel-diesel and ethanol-diesel on the particulate emissions of a direct injection diesel engine. **Aerosol Science and Technology** 43: 455-465.

Dias C, Bales MP, da Silva SR (2015) A evolução das emissões veiculares no Estado de São Paulo com a inclusão das emissões de abastecimento, no período de 2006 a 2014. **Blucher Engineering Proceedings** 2: 82-98.

Diehl AA, Tatim DC (2004) **Pesquisa em ciências sociais aplicadas: métodos e técnicas**. Pearson Brasil.

Dürnhholz M, Endres H, Frise P (1994) Preinjection a measure to optimize the emission behavior of DI-diesel engine. **SAE Technical Paper** 940674: 122- 129.

Drumm FC, Gerhardt AE, Fernandes GDA, Chagas P, Socolotti MS, da Cunha KPD (2014) Air pollution from the burning of fuels derived from petroleum in motor vehicles. **Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology (REGET)** 18: 66-78.

Ferreira SL, Santos AMD, Souza GRD, Polito WL, Módolo DL (2008) Análise por cromatografia gasosa de BTEX nas emissões de motor de combustão interna alimentado com diesel e mistura diesel-biodiesel (B10). **Química Nova**, 31: 539-545.

Francová A, Chrastný V, Šillerová H, Vítková M, Kocourková J, Komárek, M (2017) Evaluating the suitability of different environmental samples for tracing atmospheric pollution in industrial areas. **Environmental Pollution** 220: 286-297.

Giechaskiel B, Maricq M, Ntziachristos L, Dardiotis C, Wang X, Axmann H, ... Schindler W (2014) Review of motor vehicle particulate emissions sampling and measurement: From smoke and filter mass to particle number. **Journal of Aerosol Science** 67: 48-86.

Gonçalves SS, Cortez JW, Arcoverde SNS, Machado NS, de Jesus Nagahama H (2013) Ensaio de opacidade e nível de ruído de um trator agrícola. **Engenharia na agricultura** 21: 244-252.

Gonçalves Júnior SJ (2014) **Avaliação da participação de material particulado e seus impactos à saúde humana em escolas próximas a vias de tráfego veicular e refinaria de petróleo**. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais)- Universidade Federal do Paraná- UFPR, Curitiba, PR.

Górski K, Smigins R (2018) Selected physicochemical properties of diethyl ether/rapeseed oil blends and their impact on diesel engine smoke opacity. **Energy & Fuels**, 32: 1796-1803.

Guarieiro LLN, Vasconcellos PC, Solci MC (2011) Poluentes Atmosféricos Provenientes da Queima de Combustíveis Fósseis e Biocombustíveis: Uma Breve Revisão. **Revista Virtual Química** 3: 434-445.

Guerra J, Ferreira JG, Schmidt L, Campos IS, Lopes GP, Vizinho A (2015) Alterações climáticas nos municípios portugueses: resultados de um inquérito. In: 1º CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO INTERNACIONAL DE CIÊNCIAS SOCIAIS E HUMANAS EM LÍNGUA PORTUGUESA, Associação Internacional de Ciências Sociais e Humanas em Língua Portuguesa 1: 10320-10228.

Guimarães CC, Santos VMLD, Cortez JW, Santos LDPGD (2018) Redução da emissão de material particulado em função da inserção de misturas do biodiesel de soja e mamona ao diesel. **Engenharia sanitária ambiente** 23: 355-362.

Habib Z, Parthasarathy R, Gollahalli S (2010) Performance and emission characteristics of biofuel in a small-scale gas turbine engine. **Applied Energy** 87: 1701-1709.

How HG, Masjuki HH, Kalam MA, Teoh YH, Chuah HG (2018) Effect of Calophyllum Inophyllum biodiesel-diesel blends on combustion, performance, exhaust particulate matter and gaseous emissions in a multi-cylinder diesel engine. **Fuel** 227: 154-164.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis- IBAMA (2017) Página inicial... Emissões... Veículos automotores... **Programa de controle de emissões veiculares (Proconve)**. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/emissoes/veiculos-automotores/programa-de-controle-de-emissoes-veiculares-proconve>. Acesso em 01 out. 2018.

Iamaguti PS (2014) **Biodiesel de buriti em trator: desempenho em função do tipo de diesel e da proporção de mistura na operação de preparo do solo**. 61p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) 61p. Jaboticabal/SP.

Iamaguti OS, Lopes A, de Oliveira MCJ, Neves MCT, Lira TAM, Moreti TCF, de Lima LP, Koike GHA (2016) Operational performance of tractor running with diesel and biodiesel from buriti oil ('Mauritia flexuosa'). **Australian Journal of Crop Science**, 10: 336-341.

Iamaguti PS (2017) **Desempenho operacional do trator agrícola sob proporções de Biodiesel**. 70 p. Tese (Doutorado em Agronomia)- Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal/ SP.

Khalife E, Tabatabaei M, Dermibas A, Aghbashlo M (2017) Impacts of additives on performance and emission characteristics of diesel engines during steady state operation. **Progress in Energy and Combustion Science** 59: 32-78

Kim KH, Kabir E, Kabir S (2015) A review on the human health impact of airborne particulate matter. **Environment international** 74:136-143.

Kumar SD, Dobhal DP, Juyal N (2010) Variability of aerosol optical depth and recent recession trend in Dokriani Glacier, Bhagirathi Valley, Garhwal Himalaya. **Current Science** 99: 1816-1821.

Kumar N, Soni SL, Sharma D, Srivastava AK (2016) Performance Evaluation And Emission Analysis Of Variable Compression Ratio Direct Injection Diesel Engine. **MATTER: International Journal of Science and Technology** 2: 32-47.

Lapuerta M, Armas O, Hernandez JJ, Ballesteros R (2004) Estimation of diesel particulate emissions from hydrocarbon emissions and smoke opacity. In *Thermo- and Fluid Dynamic Processes in Diesel Engines 2*: 487-501.

Lapuerta M, Armas O, Fernandez JR (2008) Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions. *Progress in Energy and Combustion Science* 34:198–223.

Leite RCDC, Leal MRL (2007) O biocombustível no Brasil. *Novos estudos-CEBRAP* (78):15-21.

Lempek JRO (2016) **Comparativo entre biodieseis produzidos a partir de diferentes matérias-primas e rotas de produção e utilizados em motor estacionário** 79f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia dos materiais)- Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS.

Lima LP de (2012) **Biodiesel de dendê, mamona e tucumã no desempenho de um trator agrícola na operação de preparo de solo**. 119f. Tese (Doutorado em Agronomia) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, SP.

Lima LP, Lopes A, de Oliveira MCJ, Neves MCT, Koike GHA (2012) Comparativo entre biodiesel de dendê e tucumã no desempenho operacional de trator agrícola. *Engenharia na agricultura* 20: 39- 46.

Lima LP, Lopes A, Oliveira MCJ, Neves MCT, Iamaguti OS (2013) Biodiesel em trator agrícola: comportamento operacional em função do tipo e proporções de mistura no diesel de petróleo. *Revista engenharia na agricultura-Reveng* 21: 447-455.

Lima LP, Lopes A, Oliveira MCJ, Neves MCT, Iamaguti PS (2014) Biodiesel de dendê em trator agrícola: opacidade da fumaça em função das condições de funcionamento do motor. *Ciência & Tecnologia Fatec-JB* 6: 22-31.

Lima LP de, de Oliveira CAA, dos Santos Pereira P, da Silva FJ (2015) Opacidade da fumaça de um trator agrícola funcionando com três fontes de biodiesel como combustível. *Ciência e Tecnologia* 7: 39-46.

Liotti CG, Lopes A, de Lima LP, Camara FT, Guiotto FA, Koike GHA (2010) Opacidade da fumaça de trator agrícola em função do uso de biodiesel de dendê e das condições climáticas. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 22., 2010, Marília. *Anais...* Marília: UNESP, p.1-4.

Lira TAM (2015) **Opacidade da fumaça do trator agrícola funcionando com biodiesel etílico destilado de babaçu e Diesel B S10 em períodos do dia** 72 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal/SP.

Lira TAM, Moreti TCF, Lopes A, Santos AP, de Oliveira MCJ, Neves MCT, Iamaguti PS, de Lima LP, Koike GHA, Silva R de A (2016) Smoke opacity of ethyl biodiesel

from babassu and two types of diesel at different daytimes. **African Journal of Agricultural Research** 32:1596-1608.

Lôbo IP, Ferreira SLC, da Cruz RS (2009) Biodiesel: Parâmetros de qualidade e métodos analíticos. **Revista Química Nova** 32: 1596-1608.

Machado PRMM (2003) **Avaliação de desempenho do óleo de soja como combustível para motores diesel**. 211p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS.

Magalhães AS, Domingues EP (2013) **Economia de baixo carbono no Brasil: alternativas de políticas e custos de redução de emissões de gases de efeito estufa**. 34 p. (Texto para discussão nº491) - Universidade Federal de Minas Gerais- CEDEPLAR, Belo Horizonte, MG.

Mahalingam A, Devarajan Y, Radhakrishnan S, Vellaiyan S, Nagappan B (2017). Emissions analysis on mahua oil biodiesel and higher alcohol blends in diesel engine. **Alexandria Engineering Journal** <http://dx.doi.org/10.1016/j.aej.2017.07.009>

Markoni M de A, Lakatos EM (2001) **Metodologia do trabalho científico: procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projeto e relatório, publicações e trabalhos científicos**. Atlas.

Masera K, Hossain AK (2018) Biofuels and thermal barrier: A review on compression ignition engine performance, combustion and exhaust gas emission. **Journal of the Energy Institute** 1: 1-19.

Menezes EWD, Cataluña VR (2008) Amostragem do material particulado e fração orgânica volátil das emissões em motor ciclo diesel sem a utilização de túnel de diluição. **Química nova** 31: 2027-2030.

Mialhe LG (2012) **Máquinas agrícolas para plantio**. Campinas: Millennium, 179p.

Ministério do Meio Ambiente- MMA (2007) Combustíveis fósseis e o efeito estufa. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/informma/item/4125-combustiveis-fosseis-sao-maiores-responsaveis-pelo-efeito-estufa>. Acesso em: 23 set. 2018.

Ministério do Meio Ambiente- MMA (2018) **Indicadores Ambientais ...** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/informacoes-ambientais/indicadores-ambientais/item/11346.html>. Acesso em: 20 set. 2018.

Moreti TCF (2015) **Biodiesel etílico de babaçu x diesel B S1800: Ensaio de opacidade da fumaça do trator agrícola variando os horários do dia**. 84 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias- UNESP/ FCAV, Jaboticabal, SP.

Nabi MN, Akhter MS, Zaglul Shahadat MM (2006) Improvement of engine emissions with conventional diesel fuel and diesel–biodiesel blends. **Bioresource Technology** 97: 372–378.

Nayak SK, Pattanaik BP (2014) Experimental investigation on performance and emission characteristics of a diesel engine fuelled with mahua biodiesel using additive. **Energy procedia** 54: 569-579.

Neeft JPA, Makkee M, Moulijn JA (1996) Diesel particulate emission control. **Fuel Processing Technology** 47: 1-69.

Neves MCT, Lopes A, de Oliveira MCJ, Iamaguti PS (2012) Opacidade da fumaça de um trator agrícola em função do tipo de biodiesel (dendêx murumuru). **Ciência e Tecnologia** 4: 1-4.

Neves MCT, Lopes A, de Lima LP, de Oliveira MCJ, Koike GHA (2013) Desempenho do trator agrícola em função do tipo de biodiesel (soja x murumuru). **Revista engenharia na agricultura-reveng** 21: 351-360.

Neves MCT (2016) **Misturas de biodiesel de soja e de murumuru em trator agrícola**. 67 p. Tese-(Doutorado em Agronomia) Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, SP.

Oh YK, Hwang KR, Kim C, Kim JR, Lee JS (2018) Recent developments and key barriers to advanced biofuels: A short review. **Bioresource technology** 257: 320-333.

Oliveira MCJ de, Lopes A, de Lima LP, Neves MCT, Iamaguti PS, Lira TAM, Moreti TCF, Koike GHA (2015) Performance in function of storage period and different proportions of biodiesel and diesel. **Australian Journal of Crop Science** 9: 909-914.

Oliveira MCJ de (2016) **Diesel e biodiesel de murumuru e de soja: desempenho operacional de trator agrícola no preparo do solo**. 87 f. Tese (Doutorado em Agronomia)- Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, SP.

Oliveira MCJ, Lopes A, de Lima LP, Neves MCT, Iamaguti OS, Lira TAM, Moreti TCF, Koike GHA, Santos AP, Silva R de A (2016) Effect of type of fuel and speed of engine on the performance of agricultural tractor. **African Journal of Agricultural Research** 11: 4048-4054.

Olivi F. Marcas e Máquinas...Nova Legislação: Entenda a MAR- 1. Disponível em: <https://blogs.canalrural.uol.com.br/marcasemaquinas/2017/01/13/nova-legislacao-entenda-mar-1/>. Acesso em: 24 set. 2018.

Öner C, Altun Ş (2009) Biodiesel production from inedible animal tallow and an experimental investigation of its use as alternative fuel in a direct injection diesel engine. **Applied energy** 86: 2114-2120.

Özener O, Yüksek L, Ergenç AT, Özkan M (2012) Effects of soybean biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics. **Fuel** 115: 875-883.

Pereira Júnior J de S (2007) **Legislação brasileira sobre a poluição do ar**. 11f. Câmara dos Deputados, Brasília- DF.

Peres S, Schuler A, Almeida C, Campos R, Lucena A (2007) 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, 1 CD-ROM.

Prabhakar S, Annamalai K (2011) Comparison of sound, exhaust gas temperature and smoke opacity characteristics of methyl esters of vegetable oils blends. **Journal of Engineering and Applied Sciences** 6: 34-40.

Prodanov CC, de Freitas EC (2013) **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico-2ª Edição**. Editora Feevale.

Putra DS, Fernandez D (2018) Optimization of Digital Image Processing Method to Improve Smoke Opacity Meter Accuracy **JOIV: International Journal on Informatics Visualization** 2: 88-91.

Qi DH, Geng LM, Chen H, Bian YZ, Liu J, Ren XC (2009) Combustion and performance evaluation of a diesel engine fueled with biodiesel produced from soybean crude oil. **Renewable Energy** 34: 2706-2713.

Qi DH, Chen H, Geng LM, Bian YZ (2010) Experimental studies on the combustion characteristics and performance of a direct injection engine fueled with biodiesel/diesel blends. **Energy Conversion and Management** 51: 2985–2992.

Ramadhas AS, Jayaraj S, Muraleedharan C (2004) Use of vegetable oils as IC engine fuels - a review **Renewable energy** 29: 727-742.

Reis EF dos, Cunha JPB, Mateus DLS, Delmond JG, Couto RF (2013) Desempenho e emissões de um motor-gerador ciclo diesel sob diferentes concentrações de biodiesel de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 17: 565-571.

Reşitoğlu IA, Keskin A (2018) The Effect of Biodiesel Derived from Waste Oil on Engine Performance and Emission Characteristics. **Journal of Environmental Science Studies** 1: 55-62.

Rinaldi R, Garcia C, Marciniuk LL, Rossi AV, Schuchardt (2007) Síntese de biodiesel: uma proposta contextualizada de experimento para laboratório de química geral. **Química Nova** 30: 1374-1380.

Rios, AVV, Araújo U (2005) Política nacional do meio ambiente. **O direito e o desenvolvimento sustentável**, p. 149, Editora Peirópolis.

Russini A, Farias MS, Schlosser JF (2018) Potente e Limpo: os novos padrões para o controle de emissões em máquinas agrícolas exigem motores mais limpos que, por

causa da tecnologia incorporada, garantem ainda mais potência e estabilidade. **Cultivar Máquinas** 16: 23-25.

Santos MAD, Matai PHLDS (2011) Aspectos técnicos e ambientais relativos ao uso de biodiesel em motores de combustão. **InterfacEHS- Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade** 3: 1-18.

Santos AP (2014) **Desempenho de trator agrícola em operação de preparo do solo utilizando diesel e proporções de biodiesel de babaçu**. 69 p. Tese (Doutorado em Agronomia)- Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal/SP.

Santos NC, Bortoloti MA, Piacente FJ, Silva RGD (2014) Análise das vantagens ecológicas de veículos automotivos com motores: flex e híbrido. **Bioenergia em Revista: Diálogos** 4: 100-127.

Sayin C (2010) Engine performance and exhaust gas emissions of methanol and ethanol–diesel blends. **Fuel** 89: 3410-3415.

Silitonga AS, Masjuki HH, Mahlia TMI, Ong HC, Chong WT (2013). Experimental study on performance and exhaust emissions of a diesel engine fuelled with Ceiba pentandra biodiesel blends. **Energy conversion and management** 76: 828-836.

Soares SMC, Sodré JR (2002) Avaliação de fatores de correção de potência para diferentes condições ambientais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS TÉRMICAS, 9., Caxambu. **Anais...** Caxambu: CIT02-0849. 2002. 1 CD-ROM.

Souza MCO, Corazza RI (2017). Do Protocolo Kyoto ao Acordo de Paris: uma análise das mudanças no regime climático global a partir do estudo da evolução de perfis de emissões de gases de efeito estufa. **Desenvolvimento e Meio Ambiente** 42: 52-80.

Souza FSPM de (2018) **Economia e meio ambiente: um debate teórico**. 55 p. Trabalho de graduação de curso- (Graduação em Ciências Econômicas)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

Souza ML de, de Freitas DAF, Gonçalves CS (2018) Biodegradabilidade para a produção de energia renovável. **Revista Eletrônica Interdisciplinar** 11: 26-38.

Squaiella LLF, Martins CAM, Lacava PT (2013) Strategies for emission control in diesel engine to meet Euro VI. **Fuel** 104: 183-193.

Srikanth MVSM, Krishna P, Ushasri PVK (2013) Murthy, Performance exhaust emissions, and combustion characteristics of cotton seed oil based biodiesel in ceramic coated diesel engine. **Int. J. Mech. Eng.** 2 : 67- 82.

Summers HR, Hellwing RE, Monroe GE (1986) Measuring implement power requirements from tractor fuel consumption. **American Society of Agricultural Engineers** 29: 85-89.

Tabile RA, Lopes A, Dabdoub MJ, da Câmara FT, Furlani CE, da Silva RP (2009) Biodiesel de mamona no diesel interior e metropolitano em trator agrícola. **Engenharia Agrícola** 92: 412-423.

Tecnomotor eletrônica do Brasil Ltda., Manual de operação- TECNOMOTOR (2018) Disponível em: <download.tecnomotor.com.br/?TM133/manual/Manual_133_port.pdf>. Acesso em 20 de maio de 2018.

Tillmann CA da C (2013) **Motores de combustão interna e seus sistemas**. Pelotas: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul –Rio grandense, Rede e Tec Brasil, 165 p.

Vanin AB, dos Santos D, Ferreira L, Ferreira RA (2016) Experimentação: uma maneira de ensinar e sensibilizar os alunos sobre a questão da poluição atmosférica. **Anuário Pesquisa e Extensão Unoesc Joaçaba** 1: 14p.

Von Wedel R (1999) **Handbook of biodiesel: emissions reductions with biodiesel**. Disponível em: <<http://www.cytoculture.com/Biodiesel%20Handbook.htm>>. Acesso em: 20 set. 2018

Xing Peng D (2015) Exhaust emission characteristics of various types of biofuels. **Advances in Mechanical engineering** 7: 1-7.

Xue J (2013) Combustion characteristics, engine performances and emissions of waste edible oil biodiesel in diesel engine. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 23: 350-365.

Yusuf NNAN, Kamarudin SK, Yaakub Z (2011) Overview on the current trends in biodiesel production. **Energy conversion and management** 52: 2741-2751.

Wang WG, Lyons DW, Clark NN, Gautam M, Norton PM (2000) Emissions from nine heavy trucks fuelled by diesel and biodiesel blend without engine modification. **Environ Science and Technology** 34:933–939.

Webster J, Watson JT (2002) Analyzing the past to prepare for the future: writing a literature review. **The Society for Information Management** 26:13-23.

Wettestad J (2018) **Clearing the air: European advances in tackling acid rain and atmospheric pollution**. Routledge.

Zhang X, Gao G, Li L, Wu Z, Hu Z, Deng J (2008) Characteristics of Combustion and Emissions in a DI Engine Fueled with Biodiesel Blends from Soybean Oil. **SAE Technical Paper Series**. 2008-01-1832, 10p.

Zhu L, Cheung CS, Zhang WG, Huang Z (2010) Emissions characteristics of a diesel engine operating on biodiesel and biodiesel blended with ethanol and methanol. **Science of the Total Environment** 408: 914-921.

CAPÍTULO 3– Opacidade da fumaça de trator agrícola com biodiesel de palmeiras pertencentes à família *Arecaceae*: babaçu, tucumã e buriti

RESUMO – O Brasil, signatário do Acordo de Paris, apresentou contribuição ao se comprometer a reduzir 37% das emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) até o ano de 2025. Para que o País cumpra essa meta, faz-se necessário o aumento da participação de energias limpas na matriz energética. Por esta razão, a substituição total ou parcial de diesel fóssil por biodiesel pode ser estratégia eficaz para atender a esse propósito, já que a utilização desses combustíveis mostra valores significativos para a redução de emissões de escape. O objetivo deste trabalho foi avaliar a opacidade da fumaça do motor de trator agrícola funcionando com biodiesel de palmeiras (babaçu, tucumã e buriti), nas seguintes proporções de mistura de biodiesel no diesel: B0, B5, B15, B25, B50, B75 e B100 (em que o número indica a percentagem de biodiesel no diesel B S50). O experimento foi desenvolvido no laboratório Biocombustível e Ensaio de Máquinas-BIOEM, do departamento de Engenharia Rural da UNESP, Câmpus de Jaboticabal-SP. Os resultados mostraram que a opacidade da fumaça foi influenciada pelo tipo de biodiesel, sendo o babaçu que se mostrou mais eficaz em relação aos demais biocombustíveis. Notou-se, também, que a opacidade da fumaça foi menor ao se aumentarem as proporções de biodiesel à mistura com diesel BS50, tornando-se, assim, método eficiente para a redução da opacidade da fumaça em motores ciclo diesel.

Palavras-chave: *astrocaryum aculeatum*, emissões de escape, *auritia flexuosa*, motor ciclo diesel, *orbignya* sp.

3.1 Introdução

Preocupações econômicas e ambientais advindas da demanda por combustíveis fósseis ratificam a necessidade de medidas alternativas que visem à redução dos impactos resultantes da crescente utilização de máquinas e veículos movidos a diesel. Assim, nota-se um mercado em potencial ascensão para o ramo bioenergético, setor esse no qual o Brasil tem experiência competitiva (ABBI, 2018).

O biodiesel é o combustível eficiente, sustentável e renovável que mais vem ganhando espaço na geração de renda, empregos e renovação de resíduos agroindustriais (Souza et al., 2016). A variedade das matérias-primas para a produção pode, portanto, oportunizar a melhoria da qualidade do combustível em si, bem como torná-lo medida mitigadora, no que tange às emissões resultantes de sua utilização em motores de ciclo diesel (Guimarães et al., 2018).

Obtido por meio de triglicerídeos contidos em óleos vegetais, residuais e gorduras de origem animal (Anp, 2018), o biodiesel é considerado uma das opções para adição ou substituição de combustíveis fósseis em motores de ignição por compressão (Ghazali et al., 2015; Mofijur et al., 2015). É um combustível que pode vir a substituir o diesel sem a necessidade de adaptações mecânicas (Delalibera et al., 2017). Contudo, o principal interesse e a principal motivação para a substituição do óleo diesel por combustível alternativo ainda se concentram nos problemas relacionados à poluição ambiental (Petranovic et al., 2017).

Dentre as substâncias poluentes originárias de emissões de escape, tem-se o Material Particulado (MP). São partículas prejudiciais à saúde (Bhaskar, 2018) que conseguem atingir de maneira direta o clima por meio da absorção e da dispersão dos raios solares (Kumar et al., 2010), justificando assim o interesse pela investigação de índices que remetam à concentração deste material (Gonçalves et al., 2013).

A opacidade da fumaça viabiliza mensurar a densidade de partículas (MP) que podem absorver a quantidade de feixes de luz, de forma que a luz seja obscurecida pela fumaça (Putra e Fernandez, 2018). Em suma, esta metodologia é simples e permite qualificar a cor da fumaça: quanto mais escura for sua cor, maior

será a concentração de carbono resultante do processo de combustão (Tecnomotor, 2018).

Além do interesse pela redução dos gases do efeito estufa com a utilização do biodiesel, outro estímulo para a realização desta pesquisa está no destaque brasileiro em relação às inúmeras opções de matérias-primas oleaginosas. Nesse sentido, as palmeiras pertencentes à família *Arecaceae* vêm chamando a atenção na produção de biodiesel, principalmente por apresentarem rendimento de obtenção de óleo superior à cultura da soja que, até então, é a cultura agrícola de maior representatividade para esse fim (Moura et al., 2016; ANP, 2018).

Ao compararem duas fontes oleaginosas, Neves et al. (2013) verificaram que a opacidade de B100 proveniente da palmeira de murumuru foi 19,81% menor que o biodiesel de soja (B100). Monirul et al. (2016) realizaram testes de emissões em motor diesel abastecido com proporções de biodiesel de dendê e pinhão-manso (B10 e B20). Para a opacidade da fumaça em questão, o diesel (B0) teve maiores valores quando comparado aos valores das misturas com biodiesel para essas duas matérias-primas e, ainda, conforme se aumentou o incremento de biocombustível na mistura, menores foram os índices de opacidade da fumaça.

A necessidade de suscitar mais informações acerca dos combustíveis alternativos para o funcionamento dos motores de ciclo diesel, principalmente aqueles obtidos por matérias-primas pouco estudadas até o momento, motivou a investigação hipotética da redução de opacidade da fumaça emitida pelos tratores agrícolas, neste estudo.

3.2 Objetivo

Avaliar a opacidade da fumaça do motor de um trator agrícola funcionando com biodiesel de palmeiras (babaçu, tucumã e buriti) como combustível, influenciada pelas proporções de mistura com diesel B S50.

3.3 Material e Métodos

3.3.1 Área experimental

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Pesquisa de Bioenergia e Ensaio de Máquinas (BIOEM) do Departamento de Engenharia Rural, UNESP, Câmpus de Jaboticabal - SP. O referido encontra-se localizado nas coordenadas geodésicas 21°15' S e 48°18' O, com altitude média de 570 m. A região apresenta temperatura média anual de 22,3 °C, umidade relativa média do ar de 71% e pressão atmosférica de 94,3 kPa, sendo o clima classificado como Aw perante a classificação de Köeppen, apresentando-se tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno (Unesp, 2015).

3.3.2 Óleo diesel

O óleo diesel foi o B S50 (B0), regulamentado no mercado nacional pelo Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE, classificado de acordo com a resolução ANP n. 62/2011. O Diesel B S50 tem quantidade de enxofre total máxima de 50 mg kg⁻¹, advindo da cidade de Jaboticabal-SP.

3.3.3. Biodiesel

O biodiesel ensaiado foi do tipo babaçu (*Orbignya* sp.), tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) e buriti (*Mauritia flexuosa*) etílicos destilados, cuja produção e fornecimento ficaram a cargo do Laboratório de Desenvolvimento de Tecnologias Limpas - LADETEL, da Universidade de São Paulo – USP, Câmpus de Ribeirão Preto, com a parceria da UNESP – Jaboticabal, desde o ano de 2001. As misturas de biodiesel no diesel foram realizadas no momento de cada ensaio.

3.3.4. Trator

Utilizou-se um trator agrícola da marca Valtra (Figura 1), modelo BM125i, 4x2, com tração dianteira auxiliar (TDA), potência máxima no motor de 91,9 kW (125 cv) a 2.300 rpm (ISO1585), equipado com sistema turbo compressor e *intercooler*, massa total de 7.000 kg, distribuídos 40 e 60% nos eixos dianteiro e traseiro, respectivamente, relação massa/potência de 76 kg kW⁻¹ (56 kg cv⁻¹). A instrumentação ocorreu conforme Lopes (2006).



Figura 1. Instrumentação do trator Valtra BM125 i utilizado no ensaio (Lopes, 2006).

3.3.5 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3x7, tendo 21 tratamentos e 3 repetições, totalizando 63 observações. As

combinações dos fatores foram três tipos de biodiesel (babaçu, tucumã e buriti) e sete proporções de mistura biodiesel/diesel (B0, B5, B15, B25, B50, B75 e B100).

Ressalta-se que, conforme a metodologia do ensaio da opacidade, em cada repetição, houve de sete a dez replicações, tendo como princípio que as três primeiras leituras são desprezadas pelo software, como é mostrado na Figura 2. As próximas quatro leituras são analisadas seguindo os seguintes critérios: a média das quatro leituras deve estar dentro dos limites máximos regulamentados pelo CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente); a diferença entre a maior e a menor leitura em cada replicação não pode ultrapassar $0,25 \text{ m}^{-1}$, e as quatro medições não podem estar em ordem decrescente. Caso algum desses critérios não sejam atendidos, a primeira das quatro repetições será desprezada, e o software realizará nova medição (com, no máximo, 10 medições).



Figura 2. Simulação de resultados do teste opacidade. Tecnomotor (2018).

As combinações e as respectivas designações dos tratamentos encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1- Designação e relação dos tratamentos para o ensaio de opacidade.

Tratamentos	Fatores comparativos		Designação	
	Tipo de biodiesel	Proporção (%)		
		Biodiesel		Diesel B S50
T01	Babaçu	0	100	Bba- B0
T02		5	95	Bba- B5
T03		15	85	Bba- B15
T04		25	75	Bba- B25
T05		50	50	Bba- B50
T06		75	25	Bba- B75
T07		100	0	Bba- B100
T08	Tucumã	0	100	Btu- B0
T09		5	95	Btu-B5
T10		15	85	Btu- B15
T11		25	75	Btu-B25
T12		50	50	Btu-B50
T13		75	25	Btu-B75
T14		100	0	Btu-B100
T15	Buriti	0	100	Bbu-B0
T16		5	95	Bbu- B5
T17		15	85	Bbu- B15
T18		25	75	Bbu-B25
T19		50	50	Bbu-B50
T20		75	25	Bbu-B75
T21		100	0	Bbu-B100

3.3.6 Ensaio de opacidade da fumaça

A opacidade da fumaça foi medida por um opacímetro de fluxo parcial (Tecnomotor, modelo TM 133), que mede a absorção de luz e segue os padrões propostos pela NBR 13.037 do INMETRO e CEE 72/306 (Figura 3).

Foi instalado um controlador serial para comunicação entre o equipamento de medida de opacidade da fumaça do trator por meio de uma porta serial ao microcomputador e software denominado IGOR®. Este instrumento é projetado para

quantificar a emissão de fumaça preta visível, utilizando fenômenos físicos, como a extinção de um feixe de luz por espalhamento e absorção.

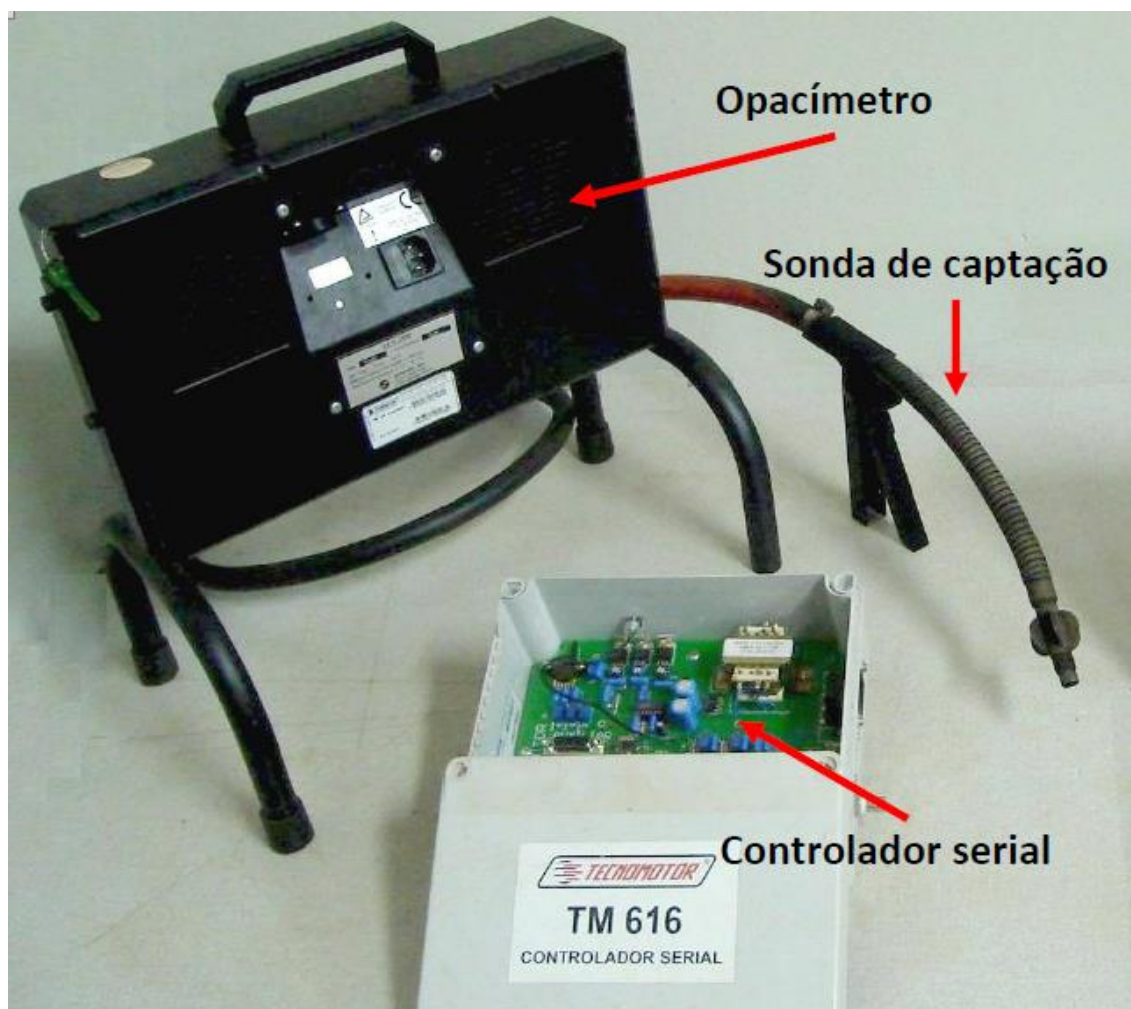


Figura 3. Instrumentação utilizada no ensaio de opacidade da fumaça. Lopes (2006).

Os ensaios foram realizados de acordo com o teste de inatividade, que consiste em submeter o motor a uma aceleração máxima por 3 a 5 segundos, sendo a potência desenvolvida absorvida apenas pela inércia dos componentes mecânicos do motor (embreagem, eixo primário da caixa de velocidades), com o trator estático, conforme descrito na NBR 13.037 (ABNT, 2001). Os resultados da medição da opacidade foram dados em K , que é o coeficiente de absorção de luz em m^{-1} (TECNOMOTOR, 2018).

A mistura de biodiesel ao diesel foi realizada no momento de cada ensaio, no qual o biodiesel não consumido, proveniente dos depósitos, filtros e tubulações, foi drenado para evitar a contaminação do ensaio seguinte. Para a estabilização após a troca de cada amostra de combustível, o motor permaneceu em funcionamento durante 10 minutos antes do início de cada ensaio.

Os dados foram submetidos à análise de variância e ao teste de comparação de médias de Tukey, a 5% de probabilidade.

3.4 Resultados e Discussões

Na Tabela 2, apresenta-se a síntese da análise de variância, onde os dados referentes aos fatores tipo de combustível e proporções de biodiesel representaram médias de 9 e 21 observações, respectivamente.

Tabela 2- Síntese da análise de variância e teste de médias para a variável opacidade da fumaça (Opac).

Fatores	Opacidade (m⁻¹)
Tipo de Biodiesel (TB)	
Babaçu	1,69 a
Tucumã	1,74 b
Buriti	2,22 c
Proporção de Biodiesel (Bn)	
B0	2,28 f
B5	2,19 e
B15	2,16 d
B25	2,03 c
B50	1,79 b
B75	1,51 b
B100	1,26 a
TESTE F	
TB	1305,807**
B _n	1014,483**
TBxB _n	79,779**
C.V.(%)	3,83
Média	1,89

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.

De acordo com a Tabela 2, observa-se que, para a opacidade da fumaça, houve interação significativa entre os fatores tipo de combustível e proporção do biodiesel. Em virtude disso, a referida variável foi analisada utilizando-se de uma tabela complementar de desdobramento (Tabela 3).

Tabela 3- Síntese do desdobramento da interação tipo de biodiesel e proporção de biodiesel no diesel B S50 para a variável opacidade da fumaça (m^{-1}).

Tipo de biodiesel	Proporção de Biodiesel							
	B0	B5	B15	B25	B50	B75	B100	
Babaçu	2,28Af	2,12Ae	2,00Ad	1,92Ad	1,50Ac	1,18Ab	0,84Aa	
Tucumã	2,28Af	2,05Ae	2,01Ae	1,89Ad	1,71Bc	1,26Bb	1,12Ba	
Buriti	2,28Ac	2,42Bd	2,47Bd	2,27Bc	2,16Cb	2,09Cb	1,82Ca	

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

Verificam-se, para todos os tipos de biodiesel utilizados, que a opacidade da fumaça reduziu à medida que foram acrescentadas proporções de biodiesel ao diesel, tendo maior redução em B100, quando comparado a B0 (Tabela 3). As reduções foram de 63,1; 50,9 e 20,2%, respectivamente, para o biodiesel de babaçu, tucumã e buriti. Esta redução pode ser explicada por Lapuerta et al. (2005), Armas et al. (2006), Di et al. (2009) e Xue (2013), que asseguram a presença de oxigênio livre na molécula de biodiesel. Buyukkaya (2010) reforça tal afirmação, uma vez que, ao avaliar a emissão de combustão de um motor ciclo diesel com óleo de colza (B5, B20, B70 e B100), notou que a utilização de biodiesel acarreta menor opacidade. Esse concluiu que a adição de biodiesel ao óleo diesel propicia aumento no teor de oxigênio na mistura, ou seja, mais oxigênio estará disponível para a combustão, tornando-a mais eficiente.

Os resultados também indicaram que o uso de biodiesel resultou em diminuição da opacidade de fumaça para Xing Peng (2015), o qual testou três tipos de biodiesel (óleo de soja, óleo de palma e residual) em motor. Desta mesma forma, Tabile et al. (2009) puderam concluir que, pelo fato de o biodiesel ser virtualmente

livre de enxofre (Srithar et al., 2017), menores emissões de sulfato e redução de partículas foram relatadas nos gases de escape.

Vale a pena ressaltar, de acordo com Lôbo et al. (2009) e Rakopoulos et al. (2015), que as diferentes propriedades físicas e químicas dos biocombustíveis são usadas para auxiliar na interpretação do comportamento do motor. Como exemplo, têm-se os índices de viscosidade, onde maiores valores desse parâmetro levam a uma combustão incompleta (Carvalho Filho et al., 2013), o que reflete nos resultados para opacidade da fumaça (geralmente maiores). Contudo, Delalibera et al. (2012) ressaltam que maiores índices de opacidade com o biodiesel também podem ser o reflexo de falhas supostamente ocorridas em um sistema de injeção e não somente à qualidade do combustível em si.

A redução de opacidade de fumaça, conforme há o incremento de biodiesel ao combustível petrolífero, sob condições semelhantes de avaliação, também foi investigada em outras pesquisas. Lira et al. (2016) também mostraram que as misturas de biodiesel de babaçu com diesel B S1800 e B S10 foram mais eficientes na redução da opacidade de fumaça de um trator agrícola, com valores próximos de 55 e 54%, respectivamente.

Lima et al. (2012) verificaram que a opacidade da fumaça em trator agrícola foi diminuindo à medida que aumentou a quantidade de biodiesel de tucumã na mistura (60%), quando comparado ao biodiesel de dendê (36%). É importante reforçar neste contexto a importância da realização de trabalhos que tratem desta matéria prima com o biodiesel para fins comparativos de opacidade, pois são poucos os relatos existentes em literatura que apresentem objetivo semelhante.

O biodiesel de buriti também fora ensaiado por Iamaguti et al. (2016), que combinaram sete proporções de mistura (B0, B5, B25, B50, B75 e B100) com dois tipos de diesel (B S1800 e B S50) no estudo do comportamento da opacidade da fumaça de um trator agrícola. Nesta pesquisa, os resultados encontrados foram: ao comparar B0 e B100, a opacidade reduziu-se em 33,33 e 28,90% quando contrapostos ao diesel B S1800 e B S50, respectivamente. Além disso, a opacidade da fumaça do diesel B S50 foi 6,22% menor quando comparado com diesel B S1800.

Ainda na Tabela 3, ao analisar essa variável no fator proporção de biodiesel (na coluna), verifica-se que não houve diferença significativa entre os tipos de

biodiesel de babaçu e tucumã nas proporções B5, B15 e B25, sendo essas diferentes de B50 e B75, que apresentaram valores maiores que B100. Também avaliando-se as emissões de escape, Enweremadu et al. (2011) concordam em dizer que a opacidade da fumaça diminui à medida que o conteúdo de biodiesel nas misturas aumentou. Esses resultados corroboram Ajtai et al. (2016), ou seja, o conteúdo de biodiesel em relação à quantidade total de combustível, dentro de uma mistura, influencia significativamente o volume total, bem como o número de partículas ao ar provenientes de emissões de escape.

Ressalta-se que o biodiesel de buriti, nas proporções (B5, B15, B25, B50, B75 e B100), apresentou maior opacidade da fumaça quando comparado com as mesmas proporções do biodiesel de babaçu e tucumã. Comparando a proporção B100, o biodiesel de buriti apresentou maior opacidade (53,8% e 38,4%) ao biodiesel de babaçu e biodiesel de tucumã, respectivamente.

O biodiesel de babaçu foi o que proporcionou resultados mais eficientes para os fatores tipo e proporção de biodiesel. Tais resultados sugerem o que já fora proposto por Melo (2010) e Zuniga et al. (2011), de que as características do biodiesel podem variar em decorrência do tipo de estruturas moleculares dos ésteres constituintes e da presença de contaminantes na matéria-prima, formados no processo produtivo ou durante a estocagem do material. Lôbo et al. (2009) acrescentam que as estruturas moleculares dos ésteres podem variar quanto ao tamanho da cadeia carbônica, quantidade e posição de instaurações, por exemplo.

Quando se referem às causas que podem inferir no aumento de valores de opacidade da fumaça, mesmo quando é utilizado biodiesel, Lira et al. (2016) sugerem que as condições atmosféricas são fatores que podem afetar o desempenho de motores de combustão interna e devem ser considerados dentro de uma avaliação de opacidade da fumaça. Essa premissa pode justificar os resultados encontrados por Silva (2014), em que B20 (diesel B S10 com 20% de biodiesel) apresentou maior massa de fuligem proveniente da queima, quando comparado aos combustíveis fósseis S50 e S10. Por sua vez, Rinaldi et al. (2007) explicam que os parâmetros operacionais e a composição do combustível também irão exercer influência na quantificação de compostos químicos presentes no material particulado emitido e, portanto, precisam ser averiguados, como é mostrado no trabalho de Oliveira et al. (2015). Esse, ao utilizar-se de biodiesel de mamona na proporção

B100, obteve a opacidade da fumaça reduzida em 44%, sendo que o período de armazenamento de três meses resultou em 14,5% de redução na opacidade da fumaça.

De acordo com Khalife et al. (2017), a queima do biodiesel, quando comparada ao diesel, proporcionou menos fuligem, já que esse se encontra livre de compostos aromáticos.

O comportamento da opacidade da fumaça, em função do tipo e da proporção de mistura foi linear, conforme se nota na Figura 4.

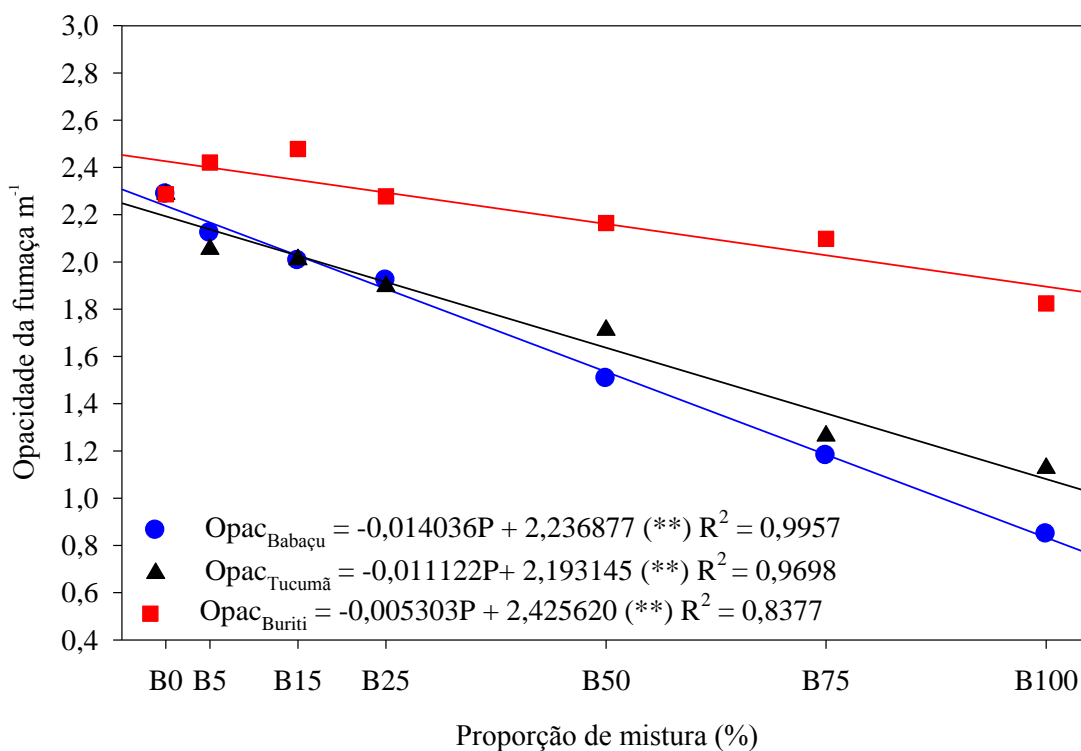


Figura 4. Modelo de regressão para opacidade da fumaça (Opac) em função do tipo de biodiesel (babaçu, tucumã e buriti) e das proporções de mistura de biodiesel com diesel B S50.

De acordo com a Figura 4, observa-se o comportamento linear decrescente da opacidade da fumaça em relação às proporções de mistura de biodiesel com diesel B S50. Quando o biodiesel é adicionado ao óleo diesel, o teor de oxigênio na mistura do combustível é aumentado e, assim, é necessário menos oxigênio para a combustão. No entanto, o oxigênio/combustível é a principal razão para uma combustão mais completa e, por isso, resulta na redução de emissões de poluentes

(Ghobadian et al., 2009; Reis et al., 2013). Nota-se que a opacidade da fumaça foi superior quando se utilizou biodiesel de buriti, já comparando tucumã com babaçu até a mistura de B15, a opacidade da fumaça foi semelhante. Após este ponto houve diminuição significativa para o biodiesel de babaçu.

Este comportamento registrado pelo biodiesel de buriti e tucumã, ao emitir maior opacidade quando comparado com babaçu, pode estar relacionado às propriedades físico-químicas deste combustível. As propriedades do biodiesel são influenciadas pelas características individuais dos ésteres graxos que formam esse combustível (Lôbo et al., 2009; Dabdoub et al., 2009).

A formação do material particulado gerado na combustão do diesel, é bastante complexa e envolve sequência de etapas reacionais (pirólise, nucleação, crescimento e coagulação, agregação e oxidação). Além disso, dependem de vários fatores, como tipo de motor, condições de operação, fatores climáticos e composição do combustível (Menezes e Cataluña, 2008; Lira et al., 2016).

3.5 Conclusões

As misturas de biodiesel de babaçu, tucumã e buriti com diesel B S50 mostraram-se eficientes na redução da opacidade da fumaça do motor de trator agrícola.

Não houve diferença significativa para os tipos de biodiesel de babaçu e tucumã nas proporções B5, B15 e B25, sendo essas diferentes de B50 e B75, os quais apresentaram valores maiores que B100.

O biodiesel de babaçu (B100) foi o que apresentou melhor resultado para os fatores tipo e proporção de biodiesel para a variável opacidade da fumaça em trator agrícola.

3.6 Referências

Associação Brasileira de Biotecnologia Industria- ABBI(2018) Noticias Bioenergia: Brasil é referência mundial em energia renovável. 2018. Disponível em: <http://www.abbi.org.br/pt/noticia/bioenergia-brasil-e-referencia-mundial-em-energia-renovavel/>. Acesso em: 21 mai. 2018.

Associação brasileira de normas técnicas- ABNT (2001) **NBR 13037**: Veículos rodoviários automotores – Gás de escapamento emitido por motor em aceleração livre – Determinação da opacidade. Rio de Janeiro.

Ajtai T, Pintér M, Utry N, Kiss-Albert G, Gulyás G, Pusztai P, Kónya Z (2016) Characterisation of diesel particulate emission from engines using commercial diesel and biofuels. **Atmospheric Environment** 134: 109-120.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis- ANP (2018) Biodiesel Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/producao-de-biocombustiveis/biodiesel>>. Acesso em 22 mai. 2018.

Armas O, Hernández JJ, Cárdenas MD (2006) Reduction of diesel smoke opacity from vegetable oil methyl esters during transient operation. **Fuel** 85: 2427-2438.

Bhaskar SV (2018) Effect of Fuel Injection Pressure on Exhaust Emissions of CIDI Engine using Azadirachta Indica Biodiesel and its Diesel Blends. **Fuel** 7.

Buyukkaya E (2010) Effects of biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristic. **Fuel** 89: 3099- 3105.

Carvalho Filho CA, Cortez JW, dos Santos VML, Arcoverde SNS, de Jesus Nagahama H (2013) Desempenho do trator agrícola em função das marchas e das proporções de biodiesel. **Energia na agricultura** 28 : 135-142.

Dabdoub MJ, Bronzel JL, Rampin MA (2009) Biodiesel: visão crítica do status atual e perspectivas na academia e na indústria. **Química Nova** 32: 776-792.

Delalibera HC, Campolina N, Weirich Neto PH, Ralish R (2012) Performance of a diesel engine fueled with a preheated blend of soybean oil and petrodiesel. **Engenharia Agrícola** 32: 1058- 1067.

Delalibera HC, Johann AL, de Figueiredo PR, Toledo AD, Weirich Neto PH, Ralish R (2017) Performance of diesel engine fuelled with four vegetable oils, preheated and at engine working temperature. **Engenharia Agrícola** 37: 302-314.

Di Y, Cheung CS, Huang Z (2009) Comparison of the effect of biodiesel-diesel and ethanol-diesel on the particulate emissions of a direct injection diesel engine. **Aerosol Science and Technology** 43: 455-465.

Enweremadu CC, Rutto HL, Peleowo N (2011) Performance evaluation of a diesel engine fueled with methyl ester of shea butter. **World Academy of Science, Engineering and Technology** 79: 142- 146.

Ghazali WNMW, Mamat R, Masjuki HH, Najafi G (2015) Effects of biodiesel from different feedstocks on engine performance and emissions: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 51: 585-602.

Ghobadian B, Rahimi H, Nikbakht AM, Najafi G, Yusaf TF (2009) Diesel engine performance and exhaust emission analysis using waste cooking biodiesel fuel with an artificial neural network. **Renewable energy** 34: 976-982.

Guimarães CC, Santos VMLD, Cortez JW, Santos LDPGD (2018) Redução da emissão de material particulado em função da inserção de misturas do biodiesel de soja e mamona ao diesel. **Engenharia sanitária e ambiental** 23: 355-362.

Gonçalves SS, Cortez JW, Arcoverde SNS, Machado NS, de Jesus Nagahama H (2013) Ensaio de opacidade e nível de ruído de um trator agrícola. **Engenharia na agricultura** 21: 244-252.

Iamaguti OS, Lopes A, de Oliveira MCJ, Neves MCT, Lira TAM, Moreti TCF, de Lima LP, Koike GHA (2016) Operational performance of tractor running with diesel and biodiesel from buriti oil ('Mauritia flexuosa'). **Australian Journal of Crop Science**, 10: 336-341.

Kumar SD, Dobhal DP, Juyal N (2010) Variability of aerosol optical depth and recent recession trend in Dokriani Glacier, Bhagirathi Valley, Garhwal Himalaya. **Current Science** 99: 1816-1821.

Khalife E, Tabatabaei M, Dermibas A, Aghbashlo M (2017) Impacts of additives on performance and emission characteristics of diesel engines during steady state operation. **Progress in Energy and Combustion Science** 59: 32-78.

Lapuerta M, Armas O, Ballesteros R, Fernández J (2005) Diesel emissions from biofuels derived from Spanish potential vegetable oils. **Fuel** 84: 773-780.

Lima LP, Lopes A, de Oliveira MCJ, Neves MCT, Koike GHA (2012) Comparativo entre biodiesel de dendê e tucumã no desempenho operacional de trator agrícola. **Engenharia na agricultura** 20: 39- 46.

Lima LP de (2012) **Biodiesel de dendê, mamona e tucumã no desempenho de um trator agrícola na operação de preparo de solo**.119f. Tese (Doutorado em Agronomia) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, SP.

Lira TAM, Moreti TCF, Lopes A, Santos AP, de Oliveira MCJ, Neves MCT, Iamaguti PS, de Lima LP, Koike GHA, Silva R de A (2016) Smoke opacity of ethyl biodiesel from babassu and two types of diesel at different daytimes. **African Journal of Agricultural Research** 32:1596-1608.

Lôbo IP, Ferreira SLC, da Cruz RS (2009) Biodiesel: Parâmetros de qualidade e métodos analíticos. **Revista Química Nova** 32: 1596-1608.

Lopes A (2006) **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.

Menezes EWD, Cataluña VR (2008) Amostragem do material particulado e fração orgânica volátil das emissões em motor ciclo diesel sem a utilização de túnel de diluição. **Química nova** 31: 2027- 2030.

Mofijur M, Masjuki HH, Kalam MA, Rahman SA, Mahmudul HM (2015) Energy scenario and biofuel policies and targets in ASEAN countries. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 46: 51-61.

Monirul IM, Masjuki HH, Kalam MA, Mosarof MH, Zulkifli NWM, Teoh YH, How, HG (2016) Assessment of performance, emission and combustion characteristics of palm, jatropha and Calophyllum inophyllum biodiesel blends. **Fuel** 181: 985- 995.

Moura MC de O, de Souza ECA, Rocha IDNA, de Souza GP, Santana MRS, de Souza SC, da Costa LAMA (2016) Relato de experiência sobre o curso “O biocombustível da biodiversidade” ligado ao projeto “Os novos talentos do Ensino Médio de Boa Vista-RR”. **RCT-Revista de Ciência e Tecnologia** 2: 1-10.

Neves MCT, Lopes A, de Lima LP, de Oliveira MCJ, Koike GHA (2013) Desempenho do trator agrícola em função do tipo de biodiesel (soja x murumuru). **Revista engenharia na agricultura-reveng** 21: 351-360.

Oliveira MCJ de, Lopes A, de Lima LP, Neves MCT, Iamaguti PS, Lira TAM, Moreti TCF, Koike GHA (2015) Performance in function of storage period and different proportions of biodiesel and diesel. **Australian Journal of Crop Science** 9: 909-914.

Petranović Z, Bešenić T, Vujanović M, Duić N (2017) Modelling pollutant emissions in diesel engines, influence of biofuel on pollutant formation. **Journal of environmental management** 203: 1038-1046.

Putra DS, Fernandez D (2018) Optimization of Digital Image Processing Method to Improve Smoke Opacity Meter Accuracy **JOIV: International Journal on Informatics Visualization** 2: 88-91.

Rakopoulos DC, Rakopoulos CD, Giakoumis EG (2015) Impact of properties of vegetable oil, bio-diesel, ethanol and n-butanol on the combustion and emissions of turbocharged HDDI diesel engine operating under steady and transient conditions. **Fuel** 156: 1-9.

Reis EF dos, Cunha JPB, Mateus DLS, Delmond JG, Couto RF (2013) Desempenho e emissões de um motor-gerador ciclo diesel sob diferentes concentrações de biodiesel de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 17: 565-571.

Rinaldi R, Garcia C, Marciniuk LL, Rossi AV, Schuchardt (2007) Síntese de biodiesel: uma proposta contextualizada de experimento para laboratório de química geral. **Química Nova** 30: 1374-1380.

Srithar K, Balasubramanian KA, Pavendan V, Kumar BA (2017) Experimental investigations on mixing of two biodiesels blended with diesel as alternative fuel for diesel engines. **Journal of King Saud University-Engineering Sciences** 29: 50-56.

Silva TOB (2014) **Inventário da emissão do material particulado proveniente de diesel e biodiesel brasileiro: Estudo em um banco de provas de motores**. 2014. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós Graduação em Eng. Ambiental, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

Souza VHA, dos Santos LT, Campos AF, Carolino J (2016) Um panorama do biodiesel no Brasil e no mundo: esforços para a ampliação do setor e desafios. **Revista Augustus** 21: 117- 130.

Tabile RA, Lopes A, Dabdoub MJ, da Câmara FT, Furlani CE, da Silva RP (2009) Biodiesel de mamona no diesel interior e metropolitano em trator agrícola. **Engenharia Agrícola** 92: 412- 423.

Tecnomotor eletrônica do Brasil Ltda (2018) Manual de operação. Disponível em:< download.tecnomotor.com.br/?TM133/manual/Manual_133_port.pdf>. Acesso em 20 de maio de 2018.

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”– UNESP, Câmpus de Jaboticabal (2015) Departamento de Ciências Exatas: **Estação meteorológica - Dados normais**. Disponível em: < www.fcav.unesp.br>.

Xing Peng D (2015) Exhaust emission characteristics of various types of biofuels. **Advances in Mechanical engineering** 7: 1-7.

Xue J (2013) Combustion characteristics, engine performances and emissions of waste edible oil biodiesel in diesel engine. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 23: 350-365.

Zuniga ADG, Paula MM, Coimbra JSR, Martins ECA, da Silva DX, Telis Romero J. Propriedades Físico-Químicas do biodiesel (2011) **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba 21: 55-72.