



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Camila Coelho Guimarães

**DESEMPENHO DE MOTOR ESTACIONÁRIO EM FUNÇÃO
DA PROPORÇÃO DE BIODIESEL DE ÓLEO DE SOJA E DE
MAMONA ADICIONADA AO DIESEL**

JUAZEIRO – BA
2017

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Camila Coelho Guimarães

**DESEMPENHO DE MOTOR ESTACIONÁRIO EM FUNÇÃO
DA PROPORÇÃO DE BIODIESEL DE ÓLEO DE SOJA E DE
MAMONA ADICIONADAS AO DIESEL**

Trabalho apresentado a
Universidade Federal do Vale do
São Francisco – UNIVASF,
Campus Juazeiro, como requisito
da obtenção do Título de Mestre.

Orientadora: Profa. Dra. Vivianni
Marques Leite dos Santos
Co-orientador: Prof. Dr. Jorge
Wilson Cortez

JUAZEIRO – BA
2017

	Guimarães, Camila Coelho
G963d	Desempenho de motor estacionário em função da proporção de biodiesel de óleo de soja e de mamona adicionada ao diesel / Camila Coelho Guimarães. -- Juazeiro, 2017.
	viii, 92 f. : il. ; 29 cm.
	Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro-BA, 2017.
	Orientadora: Prof ^a . Dr ^a . Vivianni Marques Leite dos Santos. Co-orientador: Prof. Dr. Jorge Wilson Cortez.
	1. Biodiesel. 2. Energia de biomassa. 3. Mamona. 4. Soja. 5. Motores - Desempenho. I. Título. II. Santos, Vivianni Marques Leite dos. III. Cortez, Jorge Wilson. IV. Universidade Federal do Vale do São Francisco
	CDD 662.8

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Integrado de Biblioteca SIBI/UNIVASF
Bibliotecário: Renato Marques Alves

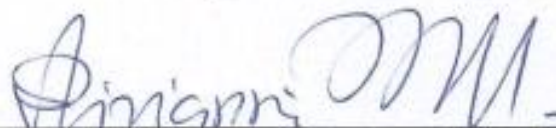
UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
MESTRADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

FOLHA DE APROVAÇÃO

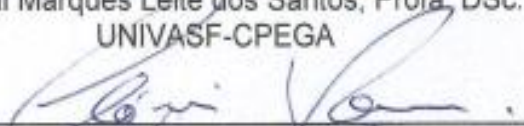
Camila Coelho Guimarães

**“DESEMPENHO DE MOTOR ESTACIONÁRIO EM FUNÇÃO DA
PROPORÇÃO DE BIODIESEL DE ÓLEO DE SOJA E DE MAMONA
ADICIONADAS AO DIESEL.”**

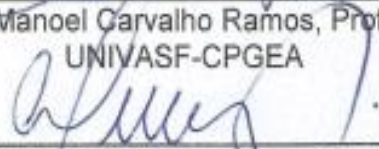
Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação *Strito Sensu* em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, como requisito parcial para obtenção do título de mestre.



Viviani Marques Leite dos Santos, Profa. DSc.
UNIVASF-CPEGA



Clóvis Manoel Carvalho Ramos, Prof. DSc.
UNIVASF-CPGEA



Alan Christie da Silva Dantas, Prof. DSc.
UNIVASF-CEMEC

Juazeiro-BA, 10 de Março de 2017.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me proporcionar saúde e perseverança para nunca desistir.

Agradeço aos meus pais, Antonio Nunes Guimarães e Maria das Dores Coelho Guimarães; as minhas irmãs, Catiúscia Coelho Guimarães e Clarissa Coelho Guimarães, e ao meu noivo Sérgio Roberto pela paciência, incentivo, apoio e compreensão durante este período tão intenso de minha vida, e agradeço por abraçarem meus projetos e sonhos de vida com muito carinho.

Agradeço a minha orientadora, Professora Doutora Viviani Marques Leite dos Santos, por acreditar, incentivar e ajudar em todos os momentos. Além disso, agradeço pela atenção e carinho que demonstrou durante todo o período do trabalho.

Agradeço ao meu Co-orientador, Professor Doutor Jorge Wilson Cortez, pelos esclarecimentos, mesmo a distância, pela paciência e pela confiança.

As pessoas que contribuíram direta e/ou indiretamente para o desenvolvimento do trabalho experimental, em especial a Lucas Di Paula, aluno de iniciação científica que deu apoio nos ensaios experimentais e a Regiane Rocha, assistente do Laboratório de Processo Químicos da UNIVASF. Agradeço também a Adelmo, mecânico especialista em motores do ciclo diesel, pela parceria e pela disponibilidade em ajudar.

A todos os professores do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, por proporcionarem valiosos momentos de aprendizado, não só intelectual, mas moral e cívico.

A todos os meus colegas da Pós-Graduação, por tornarem as aulas mais divertidas, menos cansativas e proveitosas.

A secretária do CPGEA, Carolina Oliveira, por tirar todas as dúvidas referentes às documentações exigidas pelo Programa de Mestrado e por sempre estar disponível a ajudar.

A todos, o meu sincero agradecimento.

GUIMARÃES, C. C. **Desempenho de motor estacionário em função da proporção de biodiesel de soja e de mamona adicionadas ao diesel.** 2017. 92f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF. Juazeiro-BA.

RESUMO

O aumento populacional e a crescente demanda energética mundial requer o desenvolvimento de tecnologias alternativas de energia, uma vez que o petróleo extraído vem sendo consumido em velocidade muito maior que aquela segundo a qual o mesmo é produzido. Neste contexto, os óleos vegetais aparecem como uma alternativa para produção de biodiesel e substituição ao diesel. Esta substituição promove diretamente o agronegócio, pelo aumento da demanda de produtos oriundos de cadeias produtivas agrícolas. Entretanto, para utilização em motores, devem-se considerar diversos parâmetros. Os óleos vegetais têm alta viscosidade, quando comparados ao biodiesel, podendo ocasionar depósito nos bicos injetores e desgaste prematuro dos pistões, anéis e cilindros. Como alternativa, pode-se realizar a transformação química dos componentes dos óleos, permitindo sua adequada utilização nos motores. Diante da diversidade de matéria-prima e de rotas tecnológicas, há necessidade de ampla pesquisa uma vez que há influências significativas na qualidade do biodiesel produzido. O biodiesel de mamona é bastante resistente à oxidação, porém muito viscoso, ao passo que o biodiesel de soja apresenta menor viscosidade, entretanto é pouco resistente a oxidação. Neste contexto, utilizaram-se blendas provenientes dessas duas matérias-primas, nas proporções S100M0, S75M25, S50M50, S25M75 e S0M100 (onde Sy representa o biodiesel de soja, Mx o biodiesel de mamona, y a proporção do biocombustível de soja e x a proporção de biodiesel de mamona), misturadas ao diesel comercial, contendo 7% de biodiesel (B7), formando as misturas biodiesel/diesel B25 e B40. Estas misturas foram testadas em motor diesel para obtenção da potência, do torque, do consumo e do ruído, desempenhados pelo motor, e da opacidade da fumaça emitida com os diferentes combustíveis. Os resultados, analisados estatisticamente por teste de médias, e no caso do ruído também por geoestatística, indicaram viabilidade no uso de maiores proporções de biodiesel no diesel, tanto em relação ao desempenho do motor (para a rotação de 2700 rpm), assim como em relação ao ruído (com emissão média das misturas/blendas equivalentes entre si), bem como em relação à emissão de material particulado (menor para maiores proporções de biodiesel de mamona e maior emissão para o diesel).

Palavra chave: Misturas de diesel/biodiesel. Biodiesel de soja/mamona. Desempenho de motor. Opacidade da fumaça. Ruído.

GUIMARÃES, C. C. **Stationary motor performance as a function of the proportion of soybean and castor oil biodiesel added to diesel.** 2017. 92f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF. Juazeiro-BA.

ABSTRACT

Population growth and the increasing world energy demand require the development of alternative energy technologies, since the extracted oil is being consumed at a much faster rate than the one under which it is produced. In this context, vegetable oils appear as an alternative for biodiesel production and diesel substitution. This substitution directly promotes agribusiness, by increasing the demand for products from agricultural production chains. However, for use in motors, several parameters must be considered. Vegetable oils have a high viscosity when compared to biodiesel, which can cause deposits in injectors and premature wear of pistons, rings and cylinders. As an alternative, the chemical transformation of the components of the oils can be carried out, allowing their adequate use in the engines. Given the diversity of raw materials and technological routes, there is a need for extensive research since there are significant influences on the quality of biodiesel produced. Castor oil biodiesel is very resistant to oxidation, but very viscous, while soybean biodiesel has a lower viscosity, but is little resistant to oxidation. In this context, blends from these two raw materials were used, in the proportions S100M0, S75M25, S50M50, S25M75 and S0M100 (where Sy represents soybean biodiesel, Mx castor biodiesel, and soybean biofuel proportion biodiesel proportion mixed with commercial diesel, containing 7% biodiesel (B7), forming the B25 and B40 biodiesel/diesel blends. These mixtures were tested in diesel engine to obtain the power, torque, consumption and noise, performed by the engine, and the opacity of the smoke emitted with the different combustibles. The results, statistically analyzed by means test, and in the case of noise also by geostatistics, indicated viability in the use of higher proportions of biodiesel in diesel, both in relation to the performance of the engine (for the rotation of 2700 rpm), as well as in (with the average emission of the mixtures / blends equivalent to each other), as well as in relation to the emission of particulate matter (smaller for larger proportions of castor biodiesel and higher emissions for diesel).

KeyWords: Mixtures of diesel/biodiesel. Soybean / castor bean biodiesel. Engine performance. Opacity of smoke. Noise.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. REVISÃO DA LITERATURA	12
2.1. Histórico do Biodiesel	12
2.2. Matérias-Primas para Produção de Biodiesel.....	14
2.3. Produção e Características do Biodiesel.....	17
2.4. Qualidade do Biodiesel.....	20
2.5. Desempenho do Motor com Uso de Biodiesel e Emissão de Poluentes	22
3. ARTIGO 1: REDUÇÃO DA EMISSÃO DE MATERIAL PARTICULADO EM FUNÇÃO DA INERÇÃO DE BLENAS DO BODIESEL DE SOJA E DE MAMONA NAS MISTURAS DIESEL/BODIESEL	26
4. ARTIGO 2: RUÍDO EMITIDO POR MOTOR UTILIZANDO BLENAS DE BODIESEL DE SOJA E MAMONA.....	43
5. ARTIGO 3: DESEMPENHO DE MOTOR COM BLENAS DE BODIESEL DE SOJA E MAMONA EM MISTURA AO DIESEL	64
6. CONCLUSÃO GERAL.....	85
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA.....	86

1. INTRODUÇÃO

O aumento populacional e crescente demanda energética mundial, aliada, à consciência ecológica, requer o desenvolvimento de tecnologias alternativas de energia, uma vez que o petróleo extraído vem sendo consumido em velocidade muito maior que aquela segundo a qual o mesmo é produzido, além de contribuir consideravelmente com a poluição ambiental.

Sendo assim, a partir de 1970, o governo brasileiro começou a tomar medidas para reduzir a dependência de importação do petróleo do Oriente Médio, por meio de programas de incentivo a pesquisa e desenvolvimento de biocombustíveis (SCHLOSSER et al., 2004). Atualmente, o Brasil dá andamento ao programa ligado ao Plano Nacional de Agroenergia, e ao Plano Nacional de Produção e uso do Biodiesel – PNPB (Decreto 04/12/2004). Neste contexto, os óleos vegetais aparecem como uma alternativa para produção do biodiesel em substituição ao diesel mineral, de forma a promover diretamente o agronegócio, pelo aumento da demanda de produtos oriundos de cadeias produtivas agrícolas.

Devido a grande diversidade de oleaginosas, que podem ser utilizadas para a produção de biodiesel, e da amplitude territorial, o Brasil é um dos países com maior potencial para a produção de combustíveis a partir de biomassa. No entanto, explora menos de um terço de sua área agriculturável, podendo dessa forma incorporar novas áreas à agricultura para geração de energia sem competir com a agricultura para alimentação (TRZECIAK et al., 2008).

Os óleos vegetais puros não são adequados para utilização direta em motor, devido à alta viscosidade que ocasiona depósito nos bicos injetores e desgaste prematuro de pistões, anéis e cilindros (SANTOS, 2010). Por isso, há necessidade de modificação química dos óleos para adequação às condições de qualidade impostas pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Além dos detrimientos causados ao motor, óleos sem modificação química provocam danos ambientais por meio da combustão incompleta. Sendo assim, o biodiesel é produto de transformação química dos componentes dos óleos que permite sua mais adequada utilização nos motores.

Diferentes alternativas têm sido consideradas, para a obtenção do biodiesel, tais como diluição, microemulsão, pirólise (craqueamento catalítico) e reação de

transesterificação com álcool de cadeia curta (FERRARI et al., 2005). Os parâmetros dos processos se diversificam, conforme as características da oleaginosa a ser utilizada, exercendo influência na qualidade do produto final e, desse modo, contribuindo significativamente no desempenho do motor. Diante disso, ainda há necessidade de desenvolvimento de pesquisas tendo em vista a diversidade de matéria-prima e rotas tecnológicas.

Assim como a viscosidade, a resistência à oxidação é um importante fator a ser considerado, tendo em vista que diferentemente do diesel, os ésteres componentes do biodiesel, sob condições de calor, radiação ultra-violeta, umidade, ar atmosférico e metais, mesmo que por pouco tempo, são induzidos sequencialmente a reações de formação de radicais livres, combinação desses radicais com oxigênio, formação e clivagem de peróxidos e posterior liberação de aldeídos, ácidos carboxílicos ou polímeros, que causam sérios danos aos motores e prejudicam o seu desempenho (SANTOS, 2010).

O biodiesel derivado da mamona é mais estável à oxidação e mais viscoso quando comparado ao biodiesel de soja, fatores que estão relacionados as características particulares de cada oleaginosa (VENTURA et al., 2010). Adicionalmente, o biodiesel apresenta oxigênio em sua composição molecular, que também é variável de acordo com a fonte oleaginosa, sendo este um dos fatores relacionados à menor emissão de poluentes atmosféricos, em comparação ao diesel (CÂMARA, 2009).

Teixeira (2010) analisou as emissões e o desempenho de motores diesel utilizando óleo diesel comercial, biodiesel de palma (B100) e misturas biodiesel de palma/diesel (BX) e verificou que, em relação às emissões de CO₂, o óleo diesel comercial (B3) emitiu, em média, 8% a mais se comparado aos demais combustíveis testados.

Câmara (2009) analisou a opacidade da fumaça de motor, operando com misturas de diesel/biodiesel de dendê, e verificou que houve redução significativa com o acréscimo de biodiesel a mistura, mesmo em pequenas quantidades, como na proporção B5, reduzindo a emissão em 50,4% comparando B100 com B0.

Sendo assim, a necessidade de ampliação do uso de matérias-primas alternativas para produção do biodiesel, minimizando a atual concentração na soja (ANP, 2014), motivou o desenvolvimento deste trabalho, que utilizou “blendas” (conforme nomenclatura utilizada por Ruschel et al., 2014) de diferentes proporções

de biodiesel de soja (Sy) e mamona (Mx) – S100M0, S25M75, S50M50, S75M25 e S0M100 – em mistura ao diesel, nas proporções de 25 e 40% de biodiesel (B25 e B40), para determinação dos ganhos com relação à viscosidade e estabilidade à oxidação. Além disso, foram avaliados os efeitos da utilização daquelas misturas/blendas com respeito ao desempenho (potência efetiva observada, torque e consumo específico), ruído e opacidade da fumaça em um motor estacionário a diesel.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Compreender a evolução e o contexto atual do biodiesel na matriz energética nacional é de suma importância para definir a importância desse biocombustível como alternativa ao diesel mineral. Para isso, faz-se necessário conhecer um breve histórico deste biocombustível.

2.1. Histórico do Biodiesel

Ao inventar o motor de combustão interna, no fim do século XIX, Rudolf Diesel utilizou o petróleo e o óleo de amendoim como combustível. Esse foi o início do uso de óleo vegetal para acionamento e funcionamento de motor, que aconteceu durante a exposição internacional, em Paris, a pedido do governo francês. O resultado obtido, com a utilização de óleo vegetal no motor, foi à perfeita execução do sistema mecânico. Na época, porém, o petróleo tinha custo reduzido e isso foi determinante para a utilização desse combustível nos motores (GUERRA; FUCHS, 2010).

Os primeiros motores a diesel eram de injeção indireta e por isso podiam ser alimentados com petróleo filtrado e óleos vegetais. No entanto, com o passar do tempo, tanto o motor quanto o combustível evoluíram tecnologicamente. Assim, a aplicação direta de óleos vegetais nos motores encontra-se limitada devido aos problemas ocasionados por sua alta densidade e alta viscosidade, quando comparado ao óleo diesel refinado, características que prejudicam a injeção do combustível no motor e contribuem para queima incompleta, levando à formação de coque nos motores, os quais podem sofrer sérios danos em médio e longo prazo (ENCIMAR et al., 2002; FERRARI et al., 2005; SANTOS, 2010)

Abundante e com custo acessível, o petróleo firmou-se não apenas como fonte energética, mas também como matéria-prima para diversos produtos. No entanto, os acelerados e incontidos aumentos dos preços do petróleo, iniciados em 1973, geraram uma nova percepção a respeito da produção e do consumo de energia, principalmente as originárias de fontes não renováveis, como é o caso dos combustíveis fósseis (PARENTE, 2003).

Motivado pela necessidade de redução das importações de petróleo e diesel, que apresentavam preços e disponibilidade impactados pela crise do petróleo, o Brasil passou a rever sua política energética e consequente definição de programas relacionados ao biodiesel. Na década de 70, na Universidade Federal do Ceará, foi desenvolvido um novo combustível, originado de óleos vegetais, com propriedades semelhantes ao diesel de petróleo, intitulado de biodiesel. Após diversas pesquisas, em 1980, o professor Expedito José de Sá Parente, juntamente com a Universidade Federal do Ceará, registraram a primeira patente do biocombustível produzido através de uma mistura de vários óleos vegetais com metanol e etanol (PARENTE, 2003; AZEVEDO, 2010).

A iniciativa, levada a cabo pela universidade, posteriormente foi agregada a outras iniciativas nacionais de diversificação da matriz energética. Não obstante as questões econômicas e políticas, a motivação em torno de um programa para o biodiesel ganhou também a dimensão ambiental. Ao longo das décadas de 80 e 90, fortaleceu-se o clamor mundial em torno das preocupações com as mudanças climáticas ocorridas no planeta. Detectou-se que a emissão de dióxido de carbono (CO_2) e outros poluentes, causadores do efeito estufa (aquecimento global), eram provenientes da combustão dos derivados fósseis. Nesse contexto, o biodiesel foi apresentado como opção alternativa para mitigação dos efeitos causados pelos gases de efeito estufa, por ser um agrocombustível renovável e, em princípio, menos poluente que o diesel (GEHLING, 2007).

Em 2004, foi criado o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), vigente nos dias atuais. Esse programa tem como objetivos reduzir a dependência do petróleo; expandir os mercados das oleaginosas; impulsionar a demanda por combustíveis alternativos; e reduzir a emissão de gases poluentes; além de ter um caráter social, com a incorporação dos agricultores familiares, com ampliação da capacidade de geração de emprego e de renda, por meio do desenvolvimento regional, através da diversificação das matérias-primas e das regiões produtoras (CÂMARA, 2006; KOHLHEPP, 2010).

O governo, então, definiu metas para a inclusão efetiva do biodiesel na matriz energética brasileira, iniciando com autorização de 2% de biodiesel (B2) em mistura ao diesel mineral oriundos do petróleo, que passou a ser obrigatória em 2008. Em 2010, foi definido o uso obrigatório de 5% (B5) de biodiesel no óleo diesel. No

segundo semestre de 2014, o governo federal sinalizou o aumento obrigatório de biodiesel, na mistura biodiesel/diesel, que atualmente configura em 7% (B7).

Cabe à Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) estabelecer normas e autorizar o funcionamento das usinas produtoras, fiscalizar a estocagem, autorizar exportação e importação e determinar os parâmetros de qualidade. Sobretudo, é de sua responsabilidade a organização dos leilões de compra do produto, por meio dos quais os produtores de diesel, derivado de petróleo, adquirem o B100 (100% de biodiesel) para repassá-lo às várias distribuidoras, que misturam o biodiesel puro ao diesel fóssil (KOHLHEPP, 2010).

Para Azevedo (2010), o PNPB é um programa cujo objetivo é inserir o biodiesel na matriz energética brasileira, garantindo preço e qualidade, gerando benefícios sociais e ambientais. Por isso, quando implementado, o programa tinha, como matéria-prima de interesse, a mamona, devido ao elevado teor de óleo (47%) e ao caráter social, uma vez que, resistente à seca no Nordeste, poderia promover o desenvolvimento do semiárido e contribuir com a agricultura familiar.

No entanto, a maior parte do biodiesel produzido no Brasil é derivado do óleo de soja (cultura consolidada do agronegócio), que corresponde a uma média oscilante de 70 a 85% do total da produção de biodiesel nacional (ANP, 2015), embora seu teor de óleo seja de apenas 19% (ABDALLA et al, 2008). Isso mostra que apenas incentivos governamentais não são efetivos para reduzir a dependência de um só produto, como visto no início do programa PNPB.

Portanto, pesquisas são necessárias para qualificar a viabilidade da mamona como matéria-prima do biodiesel, além de ser necessária a estruturação da cadeia produtiva do biodiesel desta oleaginosa, tendo em vista o cumprimento dos objetivos sociais e ambientais do programa e o atendimento às questões econômicas.

2.2. Matérias-Primas para Produção de Biodiesel

A produção do biodiesel pode ter como base os óleos vegetais, gorduras de origem animal, além de óleos residuais (GOMES et al., 2008), sendo o Brasil capaz de produzir diferentes matérias-primas de origem vegetal para a produção de biodiesel, devido à vasta extensão territorial e a diversidade de condições edáficas e

climáticas que o país detém. Algumas das fontes para extração de óleo vegetal, com potencial para ser utilizado na produção de biodiesel, são: a soja (*Glycine max*), a mamona (*Ricinus communis*), o dendê (*Elaeis guineensis*), o babaçu (*Orrbignya speciosa*), o algodão (*Gossypium SSP. L.*); o girassol (*Helianthus annuus*) (RODRIGUES; RONDINA, 2013) e pinhão manso (*Jatropha curcas L.*) (FERREIRA et al, 2013).

A despeito da meta do PNPB, relativa à diversificação de matérias-primas para a produção de biodiesel, desde o início do Programa o óleo de soja é a principal fonte para produção de biodiesel. Em fevereiro de 2015, este óleo respondeu por 75,57% do biodiesel produzido (ANP, 2015), devido à consolidação do sistema agroindustrial da soja, no qual apresenta uma produção em larga escala e uma cadeia produtiva bem estruturada (WILKINSON; HERRERA, 2010).

A cultura da soja tem sido, até o momento, o sustentáculo de boa parte da produção nacional de biodiesel, justamente pelo fato desse importante agronegócio apresentar a escala necessária para atender as metas definidas no PNPB com preços competitivos (SALLET; ALVIM, 2011), apesar de não condizer com os objetivos iniciais relativos à inclusão social e desenvolvimento regional, visto que o crescimento da produção de biodiesel se deve ao agronegócio (SCHAFFEL; LA ROVERE, 2010).

A produção de biodiesel, da maneira como está estruturada, tendo a soja como principal matéria-prima, compete com a produção de alimentos, podendo aumentar seus preços; isso pode ocorrer pela menor oferta desses alimentos ou pelo aumento do valor das terras e da logística de transporte (SALLET; ALVIM, 2011).

O algodão, dentre as oleaginosas, depois da soja, é a que possui maior representação na produção de biodiesel, embora, em fevereiro de 2015, apenas 2,19% do biodiesel produzido originaram-se dessa fonte (ANP, 2015). As demais oleaginosas, como a mamona, por exemplo, tem pouca representatividade na matriz energética, perdendo espaço devido à baixa escala de produção e a menor organização de suas cadeias produtivas, o que eleva o preço final da matéria-prima. Diante disso, o incentivo à produção de oleaginosas, como a mamona, que não seja de cunho alimentício, para a produção de biodiesel, e que possam beneficiar a agricultura familiar de regiões semiáridas, deve ser estimulada, para que benefícios sociais sejam alcançados e que a produção alcance viabilidade econômica.

Algumas características da mamona, quando comparadas à soja, mostram-se vantajosas para a produção do biodiesel. A mamona possui rendimento, de óleo por grão, maior que o da soja, sendo este de 19% enquanto aquele varia entre 43 a 47% (ABDALLA et al., 2008). Além disso, a mamona apresenta rendimento do óleo de 0,5 a 1,0 tonelada por hectare (PINTO et al., 2005; BELICH, 2006), enquanto que a soja apresenta rendimento menor, entre 0,2 e 0,4 toneladas de óleo por hectare (ABDALLA et al., 2008).

Em sua composição, o óleo de mamona possui aproximadamente 90% de ácido ricinoléico (Tabela 1), conferindo propriedades físico-químicas diferenciadas, em relação à maioria das oleaginosas, devido à presença de uma hidroxila no 12º carbono. O ácido ricinoléico tem uma ligação insaturada e pertence ao grupo dos hidroxiácidos e se caracteriza por sua alta massa molecular (298 g) e baixo ponto de fusão (-5º C). O grupo hidroxila, presente no ácido ricinoléico, confere ao óleo de mamona, a propriedade exclusiva de solubilidade em álcool, que permite a conversão do óleo em biodiesel à temperatura ambiente; alta viscosidade, que é mantida em ampla faixa de temperatura, explicada pela formação de pontes de hidrogênio intermoleculares (WEISS, 1983); e a grande vantagem da estabilidade à oxidação (MELO, 2009).

Tabela 1- Composição em ácidos graxos dos óleos de algumas espécies vegetais

Ácidos graxos		Soja	Nabo	Girassol	Mamona
Caprílico	C8:0	—	—	—	—
Cáprico	C10:0	—	—	—	—
Láurico	C12:0	—	—	—	—
Mirístico	C14:0	0,3	—	—	—
Palmítico	C16:0	7-11	7	6	1
Palmitolêico	C16:1	0-1	—	—	—
Esteárico	C18:0	3-6	2	4,2	1
Oléico	C18:1	22-34	22	18,7	3
Ricinoléico	C18:1	—	—	—	89,5
Linoleico	C18:2	50-60	15	69,3	4,2
Linolênico	C18:3	2-10	12	0,3	0,3

Araedânico	C20:0	5-10	1	1,4	—
Behênico	C22:0	5-10	—	—	—
Eicosanóico	C20:1	—	10	—	0,3
Erúxico	C22:1	—	29	—	—
Lignocérico	C24:0	—	1	—	—
Densidade a 15 ° C (g/cm ³)		0,927	0,916-0,918	0,915	0,961
Índice de Iodo		130,0	97-112	110-143	85,5
Índice de Saponificação		190,0	178-182	188-194	180,3

Fonte: Ferreira, Santos, Souza, 2008.

O óleo de soja, por apresentar uma predominância de ácidos graxos insaturados (linoleico, oleico e linolênico) (Tabela 1), é facilmente oxidado e, comparado ao óleo de mamona, apresenta menor viscosidade. Característica que é repassada aos correspondentes ésteres etílicos ou metílicos (biodiesel) obtidos a partir dessa oleaginosa. Uma das consequências da oxidação do biodiesel é o aumento da sua viscosidade, resultado das reações de condensação envolvendo as duplas ligações, levando à formação de gomas e sedimentos; além do aumento de sua acidez, tornando o produto mais corrosivo, o que pode ocasionar uma série de problemas aos motores que operam com este biocombustível (KNOTHE, 2007).

2.3. Produção e Características do Biodiesel

Devido a questões físico-químicas, como a alta viscosidade e a baixa volatilidade, os óleos vegetais *in natura* não são adequados ao uso direto em motores, pois podem provocar sérios problemas ao seu bom funcionamento (RAMOS et al., 2003). Sendo assim, algumas modificações químicas ou físicas podem ser utilizadas para superar esses problemas, tais como a pirólise, microemulsificação, diluição e transesterificação (PINTO et al., 2005; FERRARI et al., 2005).

Entre essas alternativas, a transesterificação (Figura 1) tem se apresentado como a melhor opção, visto que o processo é relativamente simples e, segundo

Bello et al. (2011), têm efeitos positivos sobre as propriedades dos óleos vegetais, tornando-os compatíveis com as exigências para os motores movidos a diesel. O processo se dá por meio da reação de óleos vegetais ou gordura animal com álcool, preferencialmente de cadeia curta, tais como o metanol (rota metílica) e o etanol (rota etílica), sendo a utilização de metanol geralmente preferida, principalmente por razões econômicas e relacionadas ao processo de produção.

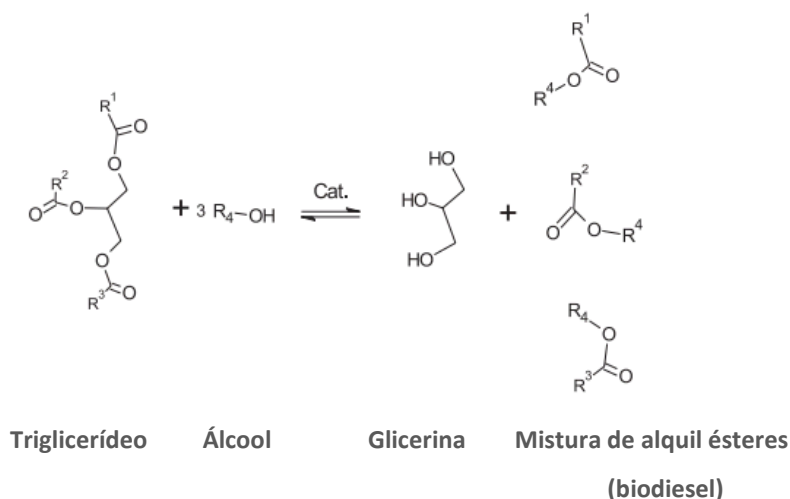


Figura 1- Reação de transesterificação de triglicerídeos

Fonte: Lôbo, Ferreira, Cruz, 2009.

Para acelerar a reação do processo, a transesterificação pode ser realizada tanto por catálise homogênea, em meio ácido ou meio básico, quanto por catálise heterogênea que recupera o catalisador e elimina a possibilidade da formação de sabão (BRANDÃO et al., 2006). A reação catalisada por bases (utilizando hidróxido ou alcóxido de sódio ou potássio) é mais rápida mesmo quando realizada à temperatura ambiente, diferentemente da transesterificação catalisada por ácidos, a qual necessita de temperaturas elevadas (170°C) (RINALDI et al., 2007). Ao final da transesterificação, os principais produtos gerados são os ésteres etílicos ou metílicos (Biodiesel), constituídos de triglicerídeos, cujo desempenho no motor é praticamente o mesmo, do diesel de petróleo, no que diz respeito à potência e ao torque (LÔBO; FERREIRA; CRUZ, 2009).

Enquanto produto, esse biocombustível tem todas as características necessárias para substituir o diesel mineral, de forma total ou parcial, com a vantagem de ser virtualmente livre de enxofre e de compostos orgânicos nocivos ao

ser humano. Além de ser uma fonte de energia que se pode renovar, é biodegradável, não tóxico (HAAS et al., 2001) e pode ser utilizado nos motores a diesel tradicionais, sem necessidade de adaptações (GUERRA; FUCHS, 2010).

O biodiesel, quando comparado ao diesel, tem maior ponto de fulgor, parâmetro indicativo da inflamabilidade do combustível, de modo que auxilia nas precauções durante o manuseio, transporte e armazenamento do combustível; além de alto índice de cetano, que representa a qualidade de ignição (CONCEIÇÃO et al., 2007). O biodiesel, portanto, é um combustível mais seguro e que apresenta melhor qualidade de ignição, frente ao diesel.

Adicionalmente, esse biocombustível apresenta uma quantidade muito reduzida ou nula de enxofre, mercúrio, fósforo e compostos aromáticos, vários deles carcinogênicos (SHARMA et al, 2009; SZULCZYK; McCARL, 2010). O enxofre, liberado na queima de combustíveis fósseis, é emitido na forma de óxidos de enxofre (SO_x), que, ao serem lançados na atmosfera, podem formar compostos de ácido sulfúrico e assim formar a chuva ácida. O SO_x , em altas concentrações, também é muito prejudicial à saúde (FETRANSPOR, 2011).

A combustão mais completa do biodiesel, em relação ao diesel pode tornar o consumo específico do biocombustível equivalente ao do combustível fóssil, segundo Parente (2006). A maior quantidade de oxigênio permite uma queima mais completa do biodiesel quando comparado ao diesel, reduzindo a emissão de material particulado (MP), monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos (HC) (SHARMA et al., 2009). Entretanto, há aumento na emissão de óxidos nitrosos (NO_x) e ruído (SZULCZYK; McCARL, 2010). Todos esses compostos comprometem a qualidade do ambiente e são prejudiciais à saúde.

Em relação às características energéticas e ambientais, por apresentar um conteúdo mais alto de oxigênio e uma quantidade similar de hidrogênio, o biodiesel em relação ao diesel tem poder calorífico inferior (PCI) menor, apresentando uma diferença em torno de 10% (CARRARETTO et al., 2004). De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) (EPE, 2011), o PCI do biodiesel é 9.000 kcal/kg, enquanto o do diesel é de 10.100 kcal/kg.

Além disso, o biodiesel tem um maior índice de iodo que o diesel, sendo que esse índice é bastante variável de acordo com o óleo vegetal com que é produzido. Esse parâmetro expressa o grau de insaturação do líquido, que está relacionado com a estabilidade dos compostos químicos contra a oxidação (estabilidade

oxidativa). Quanto maior o índice de iodo, maior é o número de insaturações e menor é a estabilidade oxidativa (VILLELA, 2009; ARREDONDO, 2009; CASTRO et al., 2010).

Contrariamente, quanto menos insaturações existem em um óleo ou gordura (quanto mais saturado ele for), mais viscoso ele é. Os óleos vegetais são muito mais viscosos que o diesel e o processo de transformação em biodiesel reduz substancialmente essa propriedade. Ainda assim, a viscosidade do biodiesel é maior que a do diesel, podendo ser pouco maior ou muito maior, de acordo com a composição do óleo que lhe deu origem (CASTRO et al., 2010).

Devido à viscosidade ser uma medida da resistência interna ao escoamento de um líquido, que interfere no escoamento e na capacidade lubrificante do combustível, quanto mais alto o valor deste parâmetro maior a tendência à formação de grandes gotas na injeção, o que pode causar má combustão e aumento da fumaça e emissões de poluentes. Entretanto, combustíveis com baixa viscosidade podem não fornecer lubrificação suficiente, o que provoca aumento do desgaste no motor (CASTRO et al., 2010).

O biodiesel proveniente da soja, por exemplo, tem menor viscosidade, e se enquadra nas exigências da ANP, diferentemente do biodiesel de mamona, que ultrapassa o limite máximo estabelecido para esse parâmetro. Uma alternativa para a utilização do biodiesel de mamona, que tem alta estabilidade a oxidação, é utilizá-lo em blenda (mistura) com o óleo de soja, por exemplo, garantindo que, tanto viscosidade como estabilidade a oxidação estejam dentro das especificações exigidos pela ANP.

2.4. Qualidade do Biodiesel

A qualidade do biodiesel pode sofrer variações conforme as estruturas moleculares dos seus ésteres constituintes ou devido à presença de contaminantes oriundos da matéria-prima, do processo de produção ou formadas durante a estocagem do biodiesel.

As estruturas moleculares dos ésteres podem variar tanto no tamanho da cadeia carbônica, quanto na quantidade e posição de insaturações ou mesmo devido à presença de agrupamentos na cadeia, a exemplo da hidroxila ligada à cadeia carbônica do alquiléster derivado do ácido ricinoléico ($C_{17}H_{32}OHCOOH$) proveniente da mamona.

A hidroxila constituinte do ácido ricinoléico é responsável por tornar o óleo e o biodiesel de mamona mais estável à oxidação e por conferir maior viscosidade ao mesmo. Comparando o biodiesel de mamona com o biodiesel de girassol, em termos de viscosidade e estabilidade oxidativa, Ventura et al. (2010) detectaram que, por apresentar em sua composição predominância de ácido graxo linoleico ($C_{18}H_{32}O_2$), o biodiesel de girassol apresenta menor viscosidade e menor estabilidade a oxidação que o de mamona.

Contaminantes procedentes da matéria-prima, a exemplo do fósforo, enxofre, cálcio e magnésio, podem também ser encontrados no biodiesel. Dependendo da eficiência do processo de produção do biodiesel, podem estar presentes em maior ou menor quantidade: glicerina livre, glicerídeos não reagidos, sabões, álcool residual, resíduos de catalisadores e água. Além disso, a absorção de umidade e os processos de degradação oxidativa durante o armazenamento do biodiesel contribuem para a presença de água, peróxidos e ácidos carboxílicos de baixa massa molecular (LÔBO; FERREIRA; CRUZ, 2009).

De acordo com Pinto et al. (2005), o tipo e a concentração de ácidos graxos possuem um efeito notável sobre a estabilidade oxidativa do biodiesel. Os ácidos graxos que esterificam com o glicerol apresentam cadeias alifáticas saturadas e insaturadas, em proporções variáveis. Como os óleos e gorduras contêm diferentes tipos de ácidos graxos, o comprimento da cadeia e o grau de insaturação exercem influência sobre as propriedades dos produtos de transesterificação (KNOTHE; STEIDLEY, 2005). Assim, para conhecer as características do biodiesel a ser produzido, é preciso ter conhecimento das particularidades dos óleos ou gorduras utilizados como matéria-prima.

Os óleos vegetais compostos por ácidos graxos, que apresentam polinsaturações, são mais propensos ao processo oxidativo, principalmente aqueles com proporções variáveis dos ácidos oléico ($C_{18:1}$), linoléico ($C_{18:2}$) e linolênico ($C_{18:3}$) (KNOTHE, 2006).

A estabilidade oxidativa é definida como a resistência à oxidação e é expressa pelo tempo de indução (TI), em horas, que representa o tempo decorrido entre o início da medição e o momento em que ocorre um aumento brusco na formação de produtos da oxidação (GARCIA-MESA, 1993). A auto-oxidação de ácidos graxos insaturados produz uma redução na estabilidade térmica dos óleos vegetais, causando uma diminuição no tempo de indução oxidativa – OIT (do inglês *Oxidation Induction Time*) (SOUZA et al., 2004).

Fatores como a mudança de coloração, aumento da viscosidade, acidez e alterações sensoriais podem ser observadas no processo de degradação do combustível (BELINATO, 2009). É importante ressaltar que uma vez iniciada a degradação oxidativa, não há mais como controlá-la, pois mesmo que sejam utilizados antioxidantes, não há como combater o processo já instalado, já que essas substâncias agem apenas evitando o início do processo de oxidação (SOUZA, 2007), que é favorecido por fatores tais como temperaturas elevadas, presença de luz ou materiais estranhos como metais ou iniciadores. Como resultado, tem-se a formação de compostos nocivos aos motores.

A oxidação do biocombustível causa um aumento da sua viscosidade pela ocorrência de reação de polimerização envolvendo as duplas ligações, que em estágios mais avançados, podem levar a formação de materiais insolúveis, tais como goma e sedimentos que podem entupir os filtros de combustível. A elevação da acidez e a presença de hidroperóxido, ambos decorrentes do desencadeamento de processos oxidativos, podem ocasionar a corrosão de componentes do sistema de injeção de combustível bem como o tanque de elastômeros (MONYEM; Van GERPEN, 2001).

Através da escolha da matéria-prima, do controle do processo de produção e do controle dos parâmetros de qualidade, exigidos pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), é possível produzir um combustível (biodiesel) que atenda a qualidade exigida, sem que o mesmo apresente diferenças significativas de desempenho do motor, comparando ao diesel de petróleo (MAIA et al., 2006).

2.5. Desempenho do Motor com Uso de Biodiesel e Emissão de Poluentes

Na matriz energética brasileira, o óleo diesel é o combustível mais consumido, sendo o seguimento de transporte o líder de consumo deste hidrocarboneto (EPE, 2014). Em 2007, mais de 75% do diesel foi consumido pelo setor de transportes. O setor agropecuário representou 16% e o de transformação, que utiliza o diesel na geração de energia elétrica, foi responsável por 5% do consumo total de diesel (DIESEL..., 2007).

O uso do diesel, atualmente comercializado no país, contendo 7% de biodiesel (B7), segundo o estudo "Benefícios Ambientais da Produção e do Uso de Biodiesel", da Câmara Setorial da Cadeia Produtiva de Oleaginosas e Biodiesel do Ministério da Agricultura, evita a emissão de aproximadamente 7,3 milhões de toneladas de CO₂ por ano (ICNA, 2014). Esse dado revela que o consumo de biodiesel traz benefícios ambientais com a redução de emissão de tal poluente, provedor do efeito estufa.

Com relação ao desempenho de motores com o uso de biodiesel, Barbosa et al. (2008), utilizando biodiesel de soja, constataram, nos ensaios de um motor ciclo diesel de um trator VALMET 85 id de 78 cv, que a eficiência térmica do motor aumentou quando se usou misturas de biodiesel de soja com diesel. Os valores de eficiência térmica ao se utilizar 100% de biodiesel foram em média 4% maiores do que quando se utilizou diesel mineral. O consumo energético foi diminuindo os valores à medida que se aumentava a quantidade de biodiesel misturado ao óleo diesel. Já a potência do motor, com o uso de biodiesel em 100% ou, em misturas com diesel, foi pouco inferior à potência apresentada com o óleo diesel comercial.

Volpato et al. (2009), ao utilizarem biodiesel puro de soja (B100) em um motor agrícola, observaram uma pequena redução na potência e no torque do motor, entretanto, para o consumo específico e horário, os resultados foram mais satisfatórios quando operando com biodiesel do que com o diesel fóssil. De acordo com Van Gerpen (2006), com viscosidade mais elevada a bomba injetora não fornece combustível suficiente ocasionando como efeito final a redução na potência. Para Beltrão (2005) a redução da potência pode estar relacionada com o aumento da quantidade de oxigênio presente no biodiesel puro, cerca de 11% de oxigênio na molécula, que embora seja menos poluente que o diesel acaba causando um menor poder calorífico ao biodiesel.

Tabile et al. (2009) realizaram ensaios dinâmico para avaliar o desempenho operacional, utilizando como parâmetro o consumo de combustível; e estático, para

mensurar a opacidade da fumaça (material particulado) do motor de um trator agrícola operando com diesel metropolitano e interior misturados ao biodiesel de mamona. Os autores observaram que à medida que se aumentou a proporção de biodiesel (B0 até B100) nos dois tipos de diesel, o consumo também aumentou. A opacidade da fumaça reduziu com acréscimo de biodiesel de mamona até B75 e cresceu em B100. Para a maior carga na barra de tração, ocorreu aumento no consumo horário volumétrico e ponderal, e o inverso, para o consumo específico.

Monteiro et al. (2013) avaliaram o impacto operacional da aplicação do biodiesel de mamona em um motor diesel automotivo e em um motor diesel estacionário de médio porte, estudando-se as alterações provenientes da utilização deste biocombustível puro preaquecido e, como misturas, B10 e B20. Observaram em bancada, à viabilidade de aplicação das misturas B10 e B20, tanto em mobilidade, quanto em geração de trabalho elétrico, pois as mesmas obtiveram desempenho similar ou superior ao do diesel mineral. Contudo, resultados inferiores de torque de frenagem e um aumento no consumo específico foram obtidos com o biodiesel de mamona previamente aquecido (B100) com relação ao óleo diesel.

Câmara (2009) analisou a opacidade da fumaça em função de misturas diesel/biodiesel de dendê em diferentes proporções, e verificou que houve redução significativa com o acréscimo de biodiesel a mistura, mesmo em pequenas quantidades, como na proporção B5, atingindo uma melhoria de 50,4% comparando B100 com B0. O autor atribuiu a menor emissão de material particulado, quando se utiliza biodiesel, à presença de oxigênio livre na molécula do referido biocombustível, que promove o aumento da eficiência na combustão.

Segundo Silva et al. (2005) a combustão do biodiesel é limpa, produz 78% menos dióxido de carbono, que é o gás responsável pelo efeito estufa, e 98% menos de emissão de enxofre. Maziero et al. (2006), utilizando biodiesel de girassol em motor de ignição por compressão, verificaram redução na emissão de monóxido de carbono, hidrocarbonetos e material particulado de 32,2; 31 e 41%, respectivamente, porém, aumentou a emissão de óxido de nitrogênio em 5,7%. Característica, que segundo os autores, não é isolada para o biodiesel de girassol, ressaltando que qualquer biodiesel provoca o mesmo efeito.

Segundo Silva et al. (2012), o desempenho do grupo gerador de pequeno porte (monocilíndrico) foi superior com a utilização de diesel quando comparado com proporções de biodiesel. No entanto, foi observado pelos autores que misturas com

proporções de 20% de biodiesel não afetaram significativamente o desempenho do motor. Valores de eficiência entre 19 e 21% foram observadas para cargas maiores e mais próximas da potência máxima de geração do grupo gerador. Por outro lado, a eficiência do conjunto foi inferior a 15% quando as cargas aplicadas estavam abaixo de 30% da potência máxima do gerador, o que evidenciou um aproveitamento extremamente baixo do conteúdo energético dos combustíveis.

De acordo com Corrêa et al. (2008), um aumento máximo de 7,3% no consumo de combustível e uma redução máxima de 2,2% na potência foram obtidas com a utilização de proporções de biodiesel de girassol com óleo diesel (B5, B10, B20 e B100). O trabalho foi complementado com avaliações da qualidade do óleo lubrificante, após 96 horas de uso com B100, e foi verificado que não houve alterações nas características do óleo lubrificante usado no motor.

Trabalhos realizados por Reis et al. (2013), que avaliaram um grupo gerador monocilíndrico, com motor diesel de 3,7 kW e gerador com capacidade nominal de 2,2 kW, submetidos a concentrações de 5% (B5), 10% (B10), 20% (B20), 50% (B50), 75% (B75) e 100% de biodiesel de soja (B100) misturadas ao diesel, mostraram que houve aumento do consumo de combustível e aumento da eficiência do processo do combustão ao utilizar biodiesel de soja, em função da alteração na demanda de potência. Além disso, os autores identificaram maior emissão de CO, CO₂, SO₂, utilizando o diesel (B5) em relação aos outros combustíveis analisados. Comportamentos diferentes foram observados com a emissão de O₂ e NO_x, que apresentaram maiores valores quando prevalecia o biodiesel na mistura. Já as emissões de enxofre decresceram até serem anuladas quando utilizadas concentrações acima de 80% de biodiesel.

A aplicação de óleos vegetais como combustível é de fundamental importância para países com enorme potencialidade agrícola e em desenvolvimento como o Brasil. A introdução desse biocombustível na matriz energética resulta em redução do envio de divisas para o exterior, já que reduz o consumo de diesel proveniente de origem externa. Além de criar empregos e um mercado rural para a cultura de oleaginosas, a utilização do biodiesel reduz a poluição ambiental, devido, por exemplo, a combustão ser praticamente livre de enxofre, isso porque o biodiesel é praticamente isento desse componente.

3. ARTIGO 1: REDUÇÃO DA EMISSÃO DE MATERIAL PARTICULADO EM FUNÇÃO DA INSERÇÃO DE BLENDS DO BIODIESEL DE SOJA E DE MAMONA NAS MISTURAS DIESEL/BIODIESEL

Resumo

Preocupações ambientais e econômicas resultantes da demanda por combustíveis fósseis corroboram com a necessidade de alternativas para redução dos impactos ambientais e econômicos advindos da crescente utilização dos veículos e máquinas movidas a diesel. A diversificação das matérias-primas para produção do biodiesel pode possibilitar a melhoria da qualidade do combustível e das emissões resultantes de sua utilização nos motores. Este estudo avaliou a emissão de material particulado (MP) utilizando blends de biodiesel de soja e de mamona misturadas ao diesel, bem como a sua viscosidade e estabilidade à oxidação (pré-requisitos de qualidade). Para isso, testou-se blends de biodiesel de soja e de mamona (SyMx), onde y e x representam os percentuais de biodiesel de soja e de mamona, respectivamente: S100M0, S75M25, S50M50, S25M75 e S0M100, em mistura ao diesel, nos seguintes percentuais: 7 (diesel B7), 25 (B25), 40 (B40), 50 (B50), 75 (B75) e 100% (B100). A opacidade da fumaça, viscosidade e estabilidade à oxidação foram determinadas conforme as normas NBR 13037, NBR 10441 e EN 14112, respectivamente. Entre as misturas analisadas, o diesel comercial (B7) emitiu maior quantidade de MP, ao passo que as demais misturas, que atenderam aos pré-requisitos de qualidade (B25 e B40), emitiram menos MP conforme aumento do percentual de biodiesel de mamona nas blends, bem como com o aumento de biodiesel na mistura. Também foram obtidos ganhos relativos à qualidade em função das diferentes composições das blends.

Palavras-chave: Opacidade, Biocombustíveis, Oleaginosas, Poluição ambiental

Abstract

Environmental and economic concerns resulting from demand for fossil fuels corroborate the need for alternatives to reduce environmental and economic impacts arising from the increasing use of diesel-powered vehicles and machines. The diversification of raw materials used to produce biodiesel can allow the improvement of fuel quality and of emissions resulting from their use in engines. This study

evaluated the emission of particulate matter (PM) using biodiesel blends from soybean and castor bean in diesel/biodiesel mixtures, as well as its viscosity and oxidation stability (prerequisites for quality). For this purpose, biodiesel blends from soybean and castor bean (SyMx) were evaluated, where y and x represent soybean and castor bean biodiesel percentages, respectively: S100M0, S75M25, S50M50, S25M75 and S0M100, mixed with diesel, in the following percentages: 7 (diesel B7), 25 (B25), 40 (B40), 50 (B50), 75 (B75) and 100% (B100). The smoke opacity, viscosity and oxidation stability were determined according to NBR 13037, NBR 10441 and EN 14112, respectively. Among the analyzed mixtures, the commercial diesel (B7) emitted higher amounts of PM, whereas other mixtures, which met the prerequisites for quality (B25 and B40), emitted smaller amounts of PM as increased castor bean biodiesel percentage in blends, as well as with the increase of biodiesel in the mixtures. They were also achieved gains in quality as a function of the different compositions of blends.

Key words: Opacity, Biofuels, Oilseeds, Environmental pollution

Introdução

O biodiesel é um combustível renovável, oriundo de óleos vegetais e/ou gordura animal (SILVA et al., 2012), cujo processo mais comumente empregado para sua produção decorre da reação de transesterificação, na qual triglicerídeos reagem com um álcool de cadeia curta, na presença de um catalisador. Esse biocombustível representa uma alternativa potencial ao uso de diesel mineral, devido ter características físico-químicas semelhantes, contribuir com a redução de poluentes (efeito de uma combustão mais limpa), bem como incentivar a agricultura e o desenvolvimento rural.

Dentre os compostos emitidos na combustão de motores a diesel estão os monóxidos de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio (NOx), óxidos de enxofre (SOx) e material particulado (MP) (NEEFT et al., 1996). Em comparação com o diesel convencional, o uso de biodiesel, geralmente, reduz as emissões de HC, CO e MP (também conhecido como fuligem ou opacidade da fumaça), mas aumenta o NOx (HOEKMAN; ROBBINS, 2012; RIBAS, et al., 2016). De acordo com Reis et al. (2013), concentrações acima de 65% de biodiesel no diesel reduzem consideravelmente a emissão da maioria dos gases poluentes e, praticamente, se anula a emissão de enxofre. Segundo Cunha et al. (2015), esta

pode ser uma das grandes vantagens da utilização de biodiesel como combustível, pois o mesmo não apresenta compostos de enxofre em sua composição.

O MP é composto, basicamente, de aglomerados de núcleos de carbono e de hidrocarbonetos (fração orgânica solúvel), SO_3 (trióxido de enxofre) ou ácido sulfúrico, e água, adsorvidos ou condensados sobre os núcleos carbônicos (NEEFT et al., 1996; BRAUN et al., 2003). O nível de MP presente na fumaça varia conforme a cor, apresentando maior concentração em fumaças mais escuras (GONÇALVES et al., 2013).

Estudos apontam que a concentração de MP, acima dos limites estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), influencia diretamente nas condições atmosféricas. No estudo de Santos et al. (2016) foi destacado que, na região metropolitana do Rio de Janeiro são registradas, rotineiramente, concentrações de MP acima dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 03/90 e que este poluente contribuiu com a ausência de precipitação e a ocorrência de inversões térmicas na baixa troposfera, além de influenciar na atuação do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul. Além disso, o MP é um dos poluentes causadores de problemas respiratórios, assim como foi observado por Castro et al. (2009), que identificou diminuição da função respiratória em crianças expostas a níveis aceitáveis de poluição, no Rio de Janeiro.

A emissão dos gases de combustão em motores a diesel está diretamente ligada aos parâmetros físico-químicos de qualidade do biodiesel, cuja composição varia de acordo com a matéria-prima utilizada para sua produção, fazendo-se necessário o atendimento rigoroso aos padrões de qualidade (LÔBO; FERREIRA; CRUZ, 2009; ZHU et al., 2010; CAN, 2014). Prabhakar e Annamalai (2011), por exemplo, citaram que a combustão incompleta foi favorecida em consequência do aumento da viscosidade do biodiesel de diferentes oleaginosas, com consequente aumento da emissão de MP.

Para Pena et al. (2009), a alta viscosidade do biodiesel de mamona pode comprometer o funcionamento do sistema de injeção e a eficiência do motor. Por outro lado, de acordo com Berman et al. (2011), o biodiesel de mamona confere maior estabilidade oxidativa ao biodiesel quando comparado à soja, sendo esta última altamente susceptível a degradação, embora, favoravelmente, apresente menor viscosidade do que o biodiesel de mamona (USTRA, 2012). Em função dos diferentes parâmetros físico-químicos, estima-se que a utilização de blends de

biodiesel de soja e de mamona pode favorecer a obtenção de novos parâmetros adequados para a utilização em motores.

Ainda são poucos os estudos que contemplam os efeitos do uso de biodiesel de mamona com biodiesel das demais oleaginosas nos motores a diesel. Monteiro et al. (2013) avaliaram o desempenho de motor diesel automotivo e estacionário de médio porte, utilizando biodiesel de mamona puro (B100), pré-aquecido (para obter viscosidade dentro dos limites da ANP), e como misturas (B10 e B20), observando viabilidade no uso das misturas com desempenho similar ou superior ao diesel convencional.

Tabile et al. (2009) avaliaram a opacidade da fumaça de um trator agrícola, operando com diesel metropolitano (enxofre total máxima de 500 mg kg^{-1}) e com diesel do interior (enxofre total máxima de 2000 mg kg^{-1}) misturados ao biodiesel de mamona. Os resultados mostraram que o tipo de diesel e os diferentes percentuais de biodiesel influenciaram na emissão de MP, sendo reduções das emissões verificadas para o diesel metropolitano (devido menor presença de enxofre) e para as misturas contendo até 75% de biodiesel.

Carvalho Filho et al. (2013) verificaram redução da emissão de MP (opacidade da fumaça) ao utilizar maiores concentrações de biodiesel de soja em trator agrícola da marca Valtra, modelo 785 4x2 TDA, sob condição estática. Para isto foram avaliadas as misturas B5, B10 e B25 de biodiesel de soja, no qual foi constatada redução da opacidade utilizando 25% de biodiesel em comparação ao B5.

Foram identificados estudos relativos à redução da emissão de MP em função de diferentes percentuais de biodiesel de soja (CARVALHO FILHO et al., 2013) e de mamona (TABILE et al., 2009) no diesel, além de verificados parâmetros físico-químicos não adequados para cada um destes biocombustíveis advindos da soja e da mamona (BERMAN et al., 2011; PENA et al., 2009).

Nesse contexto, objetivou-se avaliar a emissão de MP resultante da utilização de blendas de biodiesel de soja e de mamona misturadas ao diesel, bem como a sua viscosidade e estabilidade à oxidação, pré-requisitos de qualidade.

Metodologia

O trabalho foi conduzido na Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), em Juazeiro (BA), no Laboratório de Processos Químicos (LPQ), localizado na latitude $09^{\circ}24'$ sul, longitude $40^{\circ}30'$ oeste e altitude de 368 m.

O biodiesel de soja, produzido por via metálica, com catálise alcalina, foi adquirido em parceria com Granol (GO), enquanto que o biodiesel de mamona foi transesterificado com o apoio da Usina Experimental de Biodiesel de Caetés (PE).

As blendas com diferentes proporções de biodiesel de soja e de mamona (S100M0; S75M25, S50M50, S25M75 e S0M100) foram misturadas ao diesel comercial (atualmente B7) para obtenção das misturas B25, B40, B50, B75 e B100. Destaca-se ainda que o diesel B7 utilizado neste estudo contém até 500 mg.kg^{-1} de enxofre (conhecido como S500).

Para uma melhor compreensão do texto, deve-se destacar que o termo “mistura” está sendo utilizado para as composições envolvendo diferentes proporções do biodiesel no diesel, incluindo 100% de biodiesel (B100), e o termo “blenda” está sendo utilizado para o biodiesel contendo diferentes proporções de biodiesel das diferentes oleaginosas. Apesar do S100M0 e o S0M100 conterem apenas biodiesel de soja e de mamona, respectivamente, não constituindo de fato blendas, foi adotada a nomenclatura SyMx incluindo estes biocombustíveis oriundo de apenas uma das oleaginosas, com a finalidade de facilitar a compreensão do estudo.

A viscosidade cinemática a 40°C foi determinada de acordo com a norma NBR 10441 (ABNT, 2014), utilizando um viscosímetro *Canon Fenske* N° 75 e N° 150 para líquidos opacos, cujos limites aceitáveis para utilização do biodiesel encontram-se na gama de $3,0$ a $6,0 \text{ mm}^2.\text{s}^{-1}$ (ANP, 2014).

A estabilidade à oxidação foi determinada utilizando o método descrito na norma EN 14112 (CEN, 2003), designado como método Rancimat, segundo o qual $3,0$ gramas de cada amostra é envelhecida ou degradada em fluxo de ar de 10 L.h^{-1} a 110°C , em célula de medição abastecida por água deionizada. Este método mede o tempo de indução (TI) de acordo com a condutividade (ZULETA et al., 2012), que deve ser maior ou igual a 6 h (ANP, 2014).

Os testes de opacidade foram conduzidos em motor estacionário do ciclo Diesel, mono-cilindro, de quatro tempos, marca Branco, modelo BD 10.0, arrefecido a ar, com injeção direta e potência nominal de 10 cv ($6,7 \text{ kW}$) a 3600 rpm , apto para utilização de 2% de biodiesel (B2). O motor foi testado em bancada dinamométrica, acoplado a gerador trifásico de 36 kVA , marca Negrine, ano 1978. Destaca-se ainda que o referido motor foi adquirido para uso exclusivo em pesquisa e passa por manutenção periódica.

O ensaio da emissão da fumaça ou opacidade (material particulado) é denominado de “Ensaio de Aceleração Livre”, conforme a norma NBR 13037/1993 (ABNT, 1993), sendo esse o regime em que o motor é submetido ao débito máximo de combustível. O equipamento utilizado para a coleta de gás do escapamento foi o opacímetro de fluxo parcial da marca Tecnomotor (TM 133) cuja precisão é de $\pm 2\%$ (TECNOMOTOR, 2007a), ligado ao controlador serial da marca Tecnomotor (TM 616), de modo que a comunicação dos equipamentos foi feita por meio de uma porta serial conectada ao microcomputador (TECNOMOTOR, 2010). Desde que a opacidade da fumaça indica a impenetrabilidade da luz em um meio, quanto mais escura a fumaça, maior será sua opacidade ou quantidade de MP (LIMA *et al.*, 2012).

A rotação do motor foi obtida utilizando-se tacômetro universal, da marca Tecnomotor (TM525/2), que efetua leituras de rotação entre 300 a 9990 rpm, sendo este equipamento ligado ao controlador serial por pinças indutivas (TECNOMOTOR, 2007c). O funcionamento do opacímetro e do controlador serial foi auxiliado pelo *software* de inspeção veicular da Tecnomotor, denominado IGOR® (TECNOMOTOR, 2007b), instalado ao microcomputador.

Os dados de opacidade, com medições baseadas no coeficiente de absorção de luz, foram obtidos por meio de um tubo de captação e uma sonda, montados no cano de escape do motor. Os ensaios foram realizados para as misturas B25 e B40, obtidas a partir do biodiesel de todas as blendas (SyMx), devido atenderem os pré-requisitos de qualidade (viscosidade e estabilidade à oxidação), além da testemunha B7, com três repetições e quatro replicações.

Ao término de cada ensaio para determinação da opacidade, realizou-se a drenagem completa do sistema de alimentação do motor, evitando-se a contaminação do ensaio seguinte. Além disso, depois da troca do combustível, o motor permaneceu em funcionamento por dez minutos antes do início de cada teste.

Para tratamento dos dados, analisou-se a variância utilizando o delineamento inteiramente casualizado (DIC) em fatorial (Blendas x Misturas) e aplicou-se o teste de Tukey para comparação de médias, quando significativas no teste de Fisher “F” a pelo menos 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

Os resultados das análises de qualidade, referentes à viscosidade cinemática a 40° C e ao tempo de indução (TI), medida da estabilidade/resistência à oxidação, para as misturas B25, B40, B50, B75 e B100 das blendas S100M0, S75M25, S50M50, S25M75 e S0M100, estão descritos na Tabela 1, onde constam os resultados de cada tratamento e análises de variância, e nas Tabelas 2 e 3, os resultados das interações dos tratamentos (blendas e misturas), com relação à viscosidade e ao TI, respectivamente.

Tabela 1. Síntese da análise de variância dos valores médios da viscosidade e do tempo de indução em função das blendas e misturas de biodiesel.

Fatores	Viscosidade (mm ² .s ⁻¹)	Tempo de Indução (h)
Blenda (b)		
S100M0	3,65 e	8,8 e
S75M25	4,17 d	9,7 d
S50M50	5,20 c	10,7 c
S25M75	6,66 b	16,1 b
S0M100	8,96 a	21,4 a
Mistura (m)		
B25	3,44 e	15,9 a
B40	4,23 d	13,5 b
B50	4,72 c	15,7 a
B75	6,41 b	11,4 c
B100	9,83 a	10,2 d
B7 (testemunha)	3,03	35,0
TESTE DE F	F calculado	F calculado
Blendas (b)	2166,71**	1185,36**
Misturas (m)	3052,31**	268,23**
Interação b x m	517,25**	146,88**
Fatorial x testemunha	660,14**	3780,30**
Tratamentos	1192,49**	477,79**
CV	3,16	4,22

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo Teste de Tukey. ns: não significativo (P>0,05); *: significativo (P≤0,05); **: significativo (P≤0,01); CV: coeficiente de variação (%).

Diante da elevada viscosidade do óleo de mamona, como destacado por Monteiro (2013), quanto maior a concentração de biodiesel de mamona, maior é a resistência ao escoamento, tanto nas blendas como nas misturas (Tabela 1). Ao passo que verificou-se um aumento da estabilidade à oxidação com o aumento da

concentração do biodiesel de mamona em todas as blendas (valores de TI crescentes). A redução da estabilidade à oxidação nas blendas contendo maiores percentuais de biodiesel de soja (Tabela 1) ocorre devido a presença de insaturações nos componentes do óleo de soja, que de acordo com Berman et al. (2011), aumenta sua suscetibilidade à oxidação.

Deve-se destacar que após a adição das blendas ao diesel comercial (B7), cuja composição apresenta menor concentração de moléculas insaturadas e, portanto elevada estabilidade à oxidação (TI = 35 horas), constatou-se uma redução do TI à medida que aumenta o percentual de biodiesel nas misturas (Tabela 1). Todavia, verificou-se que não há diferença significativa entre as misturas contendo 25 e 50% de biodiesel (B25 e B50) e que as médias de todas as misturas B100 (10,2 horas) mantiveram-se dentro dos padrões de qualidade estipulados pela ANP (TI \geq 6 horas).

A análise dos resultados contidos na Tabela 2 indica a não conformidade de algumas misturas com relação aos padrões da ANP nº 45/2014 para a viscosidade (3,0 a 6,0 mm².s⁻¹). Dentre estas misturas tem-se o B100, cujas blendas contêm 50, 75 e 100% de biodiesel de mamona (S50M50, S25M75 e S0M100), o B50, com 100% de mamona (S0M100) e a mistura B75 contendo as blendas S25M75 e S0M100.

Com o desdobramento das interações entre as blendas (b) e misturas (m) (Tabela 2), confirmou-se que maiores proporções de biodiesel na mistura contribuem para o aumento da viscosidade do biocombustível, sendo essa condição mais acentuada com o acréscimo de biodiesel de mamona nas blendas. Este fato está associado à presença do grupamento hidroxila na composição do éster de ácido graxo ricinoleico, que compõe aproximadamente 90% do biodiesel de mamona (BERMAN et al., 2011). A alta viscosidade do biodiesel de mamona também foi ressaltada por Nagano et al. (2012). Por conseguinte, com base nas blendas avaliadas, 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%.

As misturas diesel/biodiesel com 7 (B7 – Tabela 1), 25 e 40% de biodiesel (B25 e B40 – Tabela 2) se apresentaram dentro dos padrões de viscosidade para todas as blendas SyMx, sendo portanto adotadas para o estudo do efeito da utilização das misturas na emissão de MP, visto que, segundo Nagano et al. (2012), altos valores

de viscosidade são prejudiciais ao mecanismo de atomização do jato de combustível. A viscosidade da mistura B40 contendo apenas biodiesel do óleo de mamona (S0M100) ($5,26 \text{ mm}^2.\text{s}^{-1}$) está de acordo com a viscosidade obtida por Murugesan et al. (2009) ($5,2 \text{ mm}^2.\text{s}^{-1}$), que avaliou a adição do biodiesel de mamona ao diesel.

Tabela 2. Síntese do desdobramento da interação dos valores médios de viscosidade ($\text{mm}^2.\text{s}^{-1}$) em função das blendas e misturas de biodiesel.

Blendas	Misturas de Biodiesel				
	B25	B40	B50	B75	B100
S100M0	3,19 bC	3,35 dC	3,51 dBC	3,90 eB	4,33 eA
S75M25	3,31 bD	3,70 dCD	3,90 dC	4,73 dB	5,19 dA
S50M50	3,38 bD	4,17 cC	4,42 cC	5,72 cB	8,29 cA
S25M75	3,49 abE	4,66 bD	5,15 bC	7,81 bB	12,18 bA
S0M100	3,84 aE	5,26 aD	6,61 aC	9,92 aB	19,15 aA

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

Quanto ao efeito da utilização das blendas de biodiesel de soja e de mamona, na estabilidade à oxidação, observou-se que os resultados foram satisfatórios para todas as misturas (Tabela 3), com destaque para as misturas diesel/biodiesel contendo maior concentração de biodiesel de mamona. Deve-se ressaltar ainda que os TIs das misturas são maiores que aqueles do biodiesel puro. Conforme citado anteriormente, o diesel não contém insaturações nas suas moléculas, de modo que sua presença favorece o aumento da estabilidade à oxidação.

Para o B25 e o B40, observa-se que a partir da combinação 75% biodiesel de soja e 25% de biodiesel de mamona (S75M25), tem-se aumento da estabilidade à oxidação conforme o aumento de biodiesel de mamona, enquanto que para as misturas B50 e B75, o mesmo comportamento ocorre a partir das blendas S50M50, com maior tempo de indução para o biodiesel de mamona (ou blenda S0M100), evidenciando as vantagens nas propriedades físico-químicas resultantes das combinações de biodiesel de soja e mamona em mistura ao diesel (Tabela 3).

No que diz respeito ao biodiesel B100 produzido apenas a partir da soja (S100M0) ou da mamona (S0M100) (Tabela 3), verifica-se que o TI do biodiesel de mamona (9,5 h) é maior que o da soja (7,7 h) e que nas demais blendas do B100, a interação entre os componentes resultou em tempos de indução ainda maiores.

Estes resultados tornam as blendas de soja e de mamona mais promissoras do que o esperado, já que eram previstos valores intermediários.

Tabela 3. Síntese do desdobramento da interação dos valores médios do tempo de indução (h) em função das blendas e misturas de biodiesel.

Blendas	Misturas de Biodiesel				
	B25	B40	B50	B75	B100
S100M0	10,6 cA	8,0 dB	10,0 dA	7,9 dB	7,7 cB
S75M25	7,6 dC	6,5 eC	12,5 cA	10,6 cB	11,3 aAB
S50M50	11,0 cAB	10,9 cABC	9,6 dC	10,0 cBC	12,0 aA
S25M75	19,2 bA	17,3 bB	20,4 bA	12,7 bC	10,7 abD
S0M100	31,0 aA	25,0 aB	26,0 aB	15,6 aC	9,5 bD

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

Quanto à análise da emissão de MP, a testemunha (diesel comercial ou B7), cuja opacidade média correspondeu a $1,19 \text{ m}^{-1}$, diferiu dos tratamentos (blendas e misturas), sendo observado que o maior nível de emissão de MP ocorreu com o uso dessa mistura, a qual contém menor proporção de biodiesel (Tabela 4).

Existem relatos na literatura de que o enxofre presente no diesel contribui para o aumento da emissão de MP (TABILE et al., 2009). De acordo com Maziero et al. (2006), o aumento da emissão ocorre em virtude do compartilhamento do oxigênio disponível na fase tardia da combustão entre o enxofre e o carbono resultante da combustão incompleta, em algumas condições de funcionamento do motor.

A redução da opacidade média da fumaça com o aumento de biodiesel nas misturas, em comparação ao diesel B7, foi de 58% para a mistura B25 ($1,19$ para $0,49 \text{ m}^{-1}$) e de 65% para a mistura B40 ($1,19$ para $0,41 \text{ m}^{-1}$), independente daquele proveniente da soja, da mamona ou de suas blendas (Tabela 4).

Analisando a emissão de MP utilizando o biodiesel de cada oleaginosa, verificou-se que as maiores reduções do MP ocorreram quando utilizadas maiores proporções de biodiesel de mamona (S0M100), constatando-se redução da opacidade da fumaça tanto do B7 para o B25, como do B25 para o B40 (Tabela 5). Em termos percentuais, utilizando a mistura B40 com biodiesel de mamona (S0M100), houve redução de 77% na emissão de MP em comparação com o diesel comercial (B7), de modo que este resultado representou o maior ganho ambiental, entre os biocombustíveis testados.

A redução da emissão de MP usando maiores proporções de biodiesel de mamona ocorreu, embora houvesse o receio de que o aumento da viscosidade (Tabela 2) favoreceria a combustão incompleta, com conseqüente aumento da emissão de MP. Sugere-se que, no caso do biodiesel de mamona, apesar de sua maior viscosidade, a redução da emissão de MP, verificada neste estudo, se deve a presença do maior teor de oxigênio nesse biocombustível, cujos componentes contém, além da presença de oxigênio nos grupamentos do tipo éster, característico do biodiesel das demais oleaginosas, o oxigênio da hidroxila, específico do éster ácido graxo ricinoleico, principal componente do biodiesel de mamona.

Essa justificativa está embasada nos estudos de Sahoo et al. (2009) e Grabosky e McCormick (1998), segundo os quais, o teor de oxigênio no biodiesel promove uma combustão mais limpa, gerando uma queima mais completa do combustível e reduzindo o MP formado na câmara de combustão. Adicionalmente, de acordo com Boldaji et al. (2011), o teor de oxigênio varia conforme a matéria-prima empregada em sua produção.

Tabela 4. Síntese da análise de variância dos valores médios de opacidade em função das blendas e misturas de biodiesel.

Fatores	Opacidade
Blenda (B)	
S100M0	0,47 a
S75M25	0,55 a
S50M50	0,47 a
S25M75	0,42 ab
S0M100	0,35 b
Mistura (M)	
B25	0,49 a
B40	0,41 b
B7 (testemunha)	1,19
TESTE DE F	F calculado
Blendas (b)	5,30**
Misturas (m)	8,66**
Interação b x m	5,47**
Fatorial x testemunha	259,08**
Tratamentos	31,08**
CV	29,04

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo Teste de Tukey. ns: não significativo ($P > 0,05$); *: significativo ($P \leq 0,05$); **: significativo ($P \leq 0,01$); CV: coeficiente de variação (%).

Para o biodiesel de soja (S100M0), houve redução da opacidade da fumaça do B25 em relação ao B7 (Tabela 4), cujo resultado está de acordo com aquele obtido por Carvalho Filho et al. (2013), quando comparou a emissão de MP utilizando o B25 e o diesel comercializado naquele ano (B5). Todavia, não houve diferença na opacidade da fumaça emitida utilizando B25 ou B40 com o biodiesel de soja (Tabela 5).

Tabela 5. Síntese do desdobramento da interação dos valores médios de opacidade em função das blendas e misturas de biodiesel.

Blendas	Misturas de Biodiesel	
	B25	B40
S100M0	0,51 bA	0,44 aA
S75M25	0,69 aA	0,40 aB
S50M50	0,43 bA	0,52 aA
S25M75	0,42 bA	0,43 aA
S0M100	0,43 bA	0,27 bB

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

Ainda com base no desdobramento das interações (Tabela 5), a blenda S75M25 também reduziu a emissão de MP quando se utilizou B40 em lugar de B25, sendo que para as demais blendas não houve diferença significativa.

Mesmo representando a menor redução da emissão de MP, o uso da mistura B25 contendo a blenda S75M25 reduziu 42% da opacidade da fumaça quando comparado ao B7. Essa redução se torna ainda maior quando se utiliza o B40 da mesma blenda (S75M25), cuja redução foi de 66%.

Apesar dos níveis de opacidade obtidos para todas as misturas testadas estarem abaixo de $2,5 \text{ m}^{-1}$, limite estabelecido na resolução do CONAMA nº. 251 de 1999 (CONAMA, 1999) para motores automotivos, diante da crescente poluição atmosférica, a inserção do biodiesel até 40% nas misturas diesel/biodiesel pode promover ganhos ambientais relativos à diminuição do MP emitido pelos motores, com resultados bastante expressivos para as misturas contendo biodiesel de mamona.

Conclusões

O diesel comercializado atualmente (B7) emitiu maior quantidade de MP, quando comparado às misturas contendo maior quantidade de biodiesel. Ao passo que a menor emissão foi verificada para a mistura B40 com 100% de biodiesel de mamona (S0M100), reduzindo a opacidade da fumaça em 77% em comparação ao B7.

Diante da poluição atmosférica, resultante da emissão de gases e MP pelos motores, e dos resultados obtidos neste estudo, a inserção do biodiesel até 40% nas misturas diesel/biodiesel pode promover ganhos ambientais relativos à diminuição da emissão de MP, com resultados bastante expressivos para as misturas contendo biodiesel de mamona.

De acordo com 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). Esta blenda obteve ganhos com relação à diminuição da viscosidade associada ao biodiesel de mamona (S0M100) e promoveu aumento da estabilidade à oxidação, quando comparado ao biodiesel de soja (S100M0).

Quanto ao B100, verificou-se que o TI do biodiesel de mamona (S0M100) é maior que o da soja (S100M0) e que o biodiesel obtido a partir de ambas as oleaginosas resultou em tempos de indução ainda maiores. Estes resultados tornam as blendas de soja e de mamona mais promissoras do que o esperado no que diz respeito à sua estabilidade à oxidação.

Referências

AGENCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. *Resolução ANP Nº 45 de 25 de agosto de 2014*. Dispõe sobre a especificação do biodiesel contida no Regulamento Técnico anp nº 3 de 2014 e as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas pelos diversos agentes econômicos que comercializam o produto em todo o território nacional. Diário Oficial da União, Poder Executivo, DF, de 26 de agosto de 2014, Seção 1, p. 68.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 10441: *Produtos de petróleo – Líquidos transparentes e opacos — Determinação da viscosidade cinemática e cálculo da viscosidade dinâmica*. Rio de Janeiro: 2014. 22p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR-13037 - *Gás de escapamento emitido por motor diesel em aceleração livre - Determinação da opacidade - Método de Ensaio*. Rio de Janeiro: 1993. 4 p.

BERMAN, P.; NIZRI, S.; WIESMAN, Z. Castor oil biodiesel and blends as alternative fuel. *Biomass Bioenergy*, v. 35, n. 7, 2011, p. 2861-2866.

BOLDAJI, M. T.; EBRAHIMZADEH, R.; KHEIRALIPOUR, K.; BORGHEI, A.M. Effect of some BED blends on the equivalence ratio, exhaust oxygen fraction and water and oil temperature of a diesel engine. *Biomass and Bioenergy*, v. 35, 2011, p. 4099-4106.

BRAUN, S.; APPEL, L. G.; SCHMAL, M. 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*, Brasília, v. 27, n. 3, 2003, p. 472-482.

CARVALHO FILHO, C. A. de; CORTEZ, J. W.; SANTOS, V. M. L. dos; ARCOVERDE, S. N. S.; NAGAHAMA, H. de J. Ensaio de um trator agrícola em função da marcha e proporção de biodiesel. *Energia na Agricultura*, Botucatu, v. 28, n. 3, 2013, p. 135-142.

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

CASTRO, H. A. de; CUNHA M. F. da; MENDONÇA, G. A.; S.; JUNGER, W. L.; CUNHA-CRUZ, J.; LEON, A. P. de. Efeitos da poluição do ar na função respiratória de escolares, Rio de Janeiro, RJ. *Revista de Saúde Pública* v. 43, n. 1, 2009.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. *Resolução CONAMA nº 251, de 7 de janeiro de 1999*. Dispõe sobre os critérios, procedimentos e limites máximos de opacidade da emissão de escapamento dos veículos automotores do ciclo Diesel, em uso no Território Nacional, a serem utilizados em programas de I/M. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, n.7, de 12 de janeiro de 1999, Seção 1, página 97.

CUNHA, J. P. B.; REIS, E. F. DOS; COUTO, R. F.; HOLTZ, V.; MACHADO, T. DE A.; LEONÍDIO, D. M. Efeito de diferentes concentrações de biodiesel nas emissões gasosas de um trator agrícola em operação. *Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Recife, v. 10, n. 4, 2015, p. 564-569.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION – CEN. *EN 14112: Fat and oil derivatives, fatty acid methyl esters (FAME)*. Determination of oxidation stability (accelerated oxidation test). Brussels: 2003. 18 p.

GONÇALVES, S. S.; CORTEZ, J. W.; ARCOVERDE, S. N. S.; MACHADO, N. S.; NAGAHAMA, H. DE J. Ensaio de opacidade e nível de ruído de um trator agrícola. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa, v. 21, n. 3, 2013, p. 244-252.

GRABOSK, M. S.; MCCORMICK, R. L. Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines. *Progress in Energy and Combustion Science*. v. 24, i. 2, 1998, p. 125-164.

HOEKMAN S. K.; ROBBINS C. Review of the effects of biodiesel on NOx emissions. *Fuel Processing Technology*, v. 96, 2012, p. 237-249.

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

LÔBO, I. P.; FERREIRA, S.L.C.; CRUZ, R. S. Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. *Revista Química Nova*, São Paulo, v. 32, nº 6, 2009, p. 1596-1608.

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

MONTEIRO, L. DE A.; JÚNIOR, G. P.; VELÁSQUEZ, J. A.; ROCHA, D. S.; BUENO, A. V. Performance impact of the application of castor oil biodiesel in diesel engines. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 33, n. 6, 2013, p. 1165-1171.

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

NAGANO S.; YAMAMOTO S.; NAGAKUBO M.; ATSUMI K.; WATANABE M.M. Physical properties of hydrocarbon oils produced by *Botryococcus Braunii*: density, kinematic viscosity, surface tension, and distillation properties. *Procedia Environmental Sciences*, v.15, 2012, p. 73-79.

NEEFT, J. P. A.; MAKKEE, M.; MOULIJN, J. A. Diesel particulate emission control. *Fuel Processing Technology*, Hershey, v. 47, 1996, n. 1, p. 1-69.

PENA, R.; ROMERO, R.; MARTINEZ, S. L.; RAMOS, M. J.; MARTINEZ, A.; NATIVIDAD, R.; Transesterification of castor oil: effect of catalyst and co-solvent. *Industrial Engineering Chemistry Research*. v. 48, n.3, 2009, p. 1186-1189.

PRABHAKAR, S.; ANNAMALAI, K. Comparison of sound, exhaust gas temperature and smoke opacity characteristics of methyl esters of vegetable oils blends. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, v. 6, n. 10, 2011, p. 34-40.

REIS, E. F. DOS; CUNHA, J. P. B.; MATEUS, D. L. S.; DELMOND, J. G.; COUTO, R. F. Desempenho e emissões de um motor-gerador ciclo diesel sob diferentes concentrações de biodiesel de soja. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 17, n. 5, 2013, p. 565-571.

RIBAS, W. F.; BILOTTA, P.; JANISSEK, P. R.; CARVALHO FILHO, M. A. da S., PENTEADO NETO, R. A.; Influência do combustível (diesel e biodiesel) e das características da frota de veículos do transporte coletivo de Curitiba, Paraná, nas emissões de NOx. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 2016.

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

SANTOS, T. C.; CARVALHO, V. S. B.; REBOITA, M. S. Avaliação da influência das condições meteorológicas em dias com altas concentrações de material particulado na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. *Engenharia Sanitária e Ambiental* v. 21, n. 2, 2016.

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

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

TECNOMOTOR – TECNOMOTOR ELETRÔNICA DO BRASIL LTDA. *TM 133 Opacímetro*. Manual de operação. São Carlos: Tecnomotor, 2007a. Ed. 10/07, 12 p.

TECNOMOTOR – TECNOMOTOR ELETRÔNICA DO BRASIL LTDA. *Software IGOR*. Manual de operação. São Carlos: Tecnomotor, 2007b. Ed. 08/07, 64 p.

TECNOMOTOR – TECNOMOTOR ELETRÔNICA DO BRASIL LTDA. *TM 525/2 Tacometro Universal*. Manual de instruções. São Carlos: Tecnomotor, 2007c. Ed. 09/07, 12 p.

TECNOMOTOR – TECNOMOTOR ELETRÔNICA DO BRASIL LTDA. *TM 616 - Controlador Serial*. Manual de operação. São Carlos: Tecnomotor, 2010. Ed. 07/10, 12 p.

USTRA, M. K.; SILVA J. R. F.; ANSOLIN, M.; BALEN, M.; CANTELLI, K.; ALKIMIM, I. P., MAZUTTI, M. A.; VOLL, F. A. P.; CABRAL, V. F.; CARDOZO-FILHO L.; CORAZZA, M. L.; OLIVEIRA, J. V. Effect of temperature and composition on density, viscosity and thermal conductivity of fatty acid methyl esters from soybean, castor and Jatropha curcas oils. *The Journal Chemical Thermodynamics*, v. 58, 2013, p. 460-466.

ZHU, L.; ZHANG, W.; LIU, W.; HUANG, Z. Experimental study on particulate and NOx emission of a diesel engine fueled with ultralow sulfur diesel, RME-diesel blends and PME-diesel blends. *Science of the Total Environment*, Amsterdam, v. 408, n. 5, 2010, p. 1050-1058.

ZULETA, E. C.; BAENA, L.; RIOS, L. A.; CALDERÓN, J. A. The oxidative stability of biodiesel and its impact on the deterioration of metallic and polymeric material: a review. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 23, n. 12, 2012, p. 2159-2175.

4. ARTIGO 2: RUÍDO EMITIDO POR MOTOR UTILIZANDO BLENDA DE BIODIESEL DE SOJA E MAMONA

Resumo

As máquinas e equipamentos utilizados no meio agrícola são atualmente dotados de motor movido a diesel, sendo este a principal fonte de emissão de potência sonora devido ao processo de combustão. A exposição excessiva a esse agente físico pode provocar danos à saúde dos operadores e reduzir seu desempenho produtivo. Nesse sentido, buscas por equipamentos de proteção e condições de trabalho têm sido alternativas encontradas para a proteção dos trabalhadores. Como o biodiesel tem sido inserido gradativamente na matriz energética e pode ser obtido de diferentes fontes, este trabalho teve por objetivo avaliar as possíveis alterações na emissão de ruído de motor estacionário a diesel utilizando misturas de diesel/biodiesel (B25 e B40), sendo estas compostas por blendas de biodiesel de soja e mamona (S100M0, S75M25, S50M50, S25M75 e S0M100), em diferentes rotações (3500, 2900, 2200 e 1500 rpm). Também foi considerado o raio de afastamento da fonte de emissão sonora e a posição (anterior, posterior, esquerda e direita) em relação ao motor. O tratamento dos dados foi feito por meio da análise de variância e do teste de Tukey e também por meio da geoestatística. O uso das blendas de biodiesel de soja e mamona em misturas contendo até 40% de biodiesel no diesel é viável quanto à emissão de ruído, uma vez que as médias não diferem entre si, independente do raio de afastamento, da posição e da rotação, com resultados similares àquele obtido como o diesel comercial (B7). A potência sonora é captada com menor magnitude, conforme o aumento do raio de afastamento, bem como com a redução da rotação. Adicionalmente, verificou-se maior emissão de ruído para a posição esquerda devido à presença do escapamento e necessidade de utilização de proteção auricular em até 4 m de distância do motor.

Palavras-chaves: Misturas biodiesel/diesel, Blendas de biodiesel de soja e mamona, Emissão de ruído

Abstract

The machines and equipment used in the agricultural environment are currently equipped with a diesel driven motor, which is the main source of sound power

emission due to the combustion process. Excessive exposure to this physical agent can cause damage to the health of operators and reduce their productive performance. In this sense, searches for protective equipment and working conditions have been found alternatives for the protection of workers. As biodiesel has been gradually inserted into the energy matrix and can be obtained from different sources, this work had the objective of evaluating the possible changes in the emission of diesel stationary diesel engine using diesel/biodiesel blends (B25 and B40) (S100M0, S75M25, S50M50, S25M75 and S0M100) at different rotations (3500, 2900, 2200 and 1500 rpm). Also considered was the distance radius of the source of sound emission and the position (anterior, posterior, left and right) in relation to the engine. The data were processed through analysis of variance and Tukey test and also through geostatistics. The use of biodiesel blends of soybean and castor oil in mixtures containing up to 40% of biodiesel without diesel is feasible in terms of noise emission, since as averages they do not differ from each other, regardless of distance, position and rotation, with results similar to that obtained with commercial diesel (B7). The sound power is picked up with less magnitude, depending on the increase in the radius of separation, as well as with a reduction of the rotation. In addition, the highest noise emission has been verified for an essence mark of obstruction detection and need for ear protection at up to 4 meters away from the motor.

Keywords: Biodiesel/diesel blends, Soybean and castor oil biodiesel blends, Noise emission

Introdução

A geração de ruído em motores constitui um processo de grande complexidade e classifica-se em dois tipos diferentes, o mecânico e o de combustão. No processo de combustão a variação brusca da pressão dos gases dentro da câmara, dá origem ao ruído de combustão. Enquanto que a contribuição de todas as outras fontes do motor caracteriza o ruído mecânico (ZANNIN; PACHECO, 2006).

O ruído de combustão é influenciado por diversos fatores dentre eles estão o tipo de sistema de combustão, o tempo de entrega dos combustíveis na câmara de combustão, temperatura do motor, condições ambientes e o tipo de combustível utilizado. Como a combustão constitui a principal fonte de emissão de potência sonora dentre os tipos de processos de geração do ruído, conhecer a influência de

diferentes tipos de combustíveis na emissão sonora é um parâmetro importante para avaliação de novos combustíveis (ZANNIN; PACHECO, 2006).

O ruído característico da queima do diesel faz do motor a principal fonte de ruído em máquinas movidas a diesel (JENKINS, 1975; PARIZET et al., 2004). Além disso, a combustão dos derivados de petróleo, como o diesel, contribui com a emissão de muitos gases poluentes (PERIN et al., 2015), impactando negativamente a saúde humana e promovendo alterações climáticas (SANTOS et al., 2016)

A necessidade de buscar modos de redução da emissão de poluentes, sejam eles gasosos ou sonoros, tem corroborado a investigação de tecnologias que possam auxiliar na atividade laboral, de forma a reduzir os impactos negativos causados por tais fatores. Pesquisadores, como Yanagi Junior et al. (2012), Magalhães et al. (2012) e Nagahama et al. (2012), investigaram a propagação do ruído utilizando diferentes máquinas agrícolas e situações de trabalho, correlacionando os resultados com as melhores condições de utilização dos equipamentos, conforme as normas do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE).

Boas condições de trabalho constituem importante diferencial para o incremento da produtividade nas operações agrícolas (SANTOS FILHO, 2004), visto que condições adversas, inerentes às práticas agrícolas, tais como as questões ambientais e os agentes físicos, como a potência sonora, promovem aumento do estresse e do desconforto nas atividades de campo, podendo comprometer, em longo prazo, a saúde do trabalhador, reduzindo sua eficiência operacional e aumentando o risco de acidentes de trabalho (CUNHA; TEODORO, 2006).

A utilização de biodiesel em substituição ao diesel vem sendo feita de forma progressiva em virtude dos compromissos com a redução da emissão de poluentes, além de possuir como característica a não toxicidade, a biodegradabilidade e poder de renovação (energia renovável) (SELVAM; VADIVEL, 2013). Devido às características físico-químicas do biodiesel, intimamente ligadas à fonte oleaginosa, pressupõe-se aumento do nível de ruído do motor promovido pela combustão (ROUNCE et al., 2010). No entanto, poucas pesquisas referentes ao efeito do uso de biodiesel puro ou misturado ao diesel em relação à emissão de potência sonora estão disponíveis na literatura.

Nesse sentido, foram investigadas possíveis diferenças existentes na emissão da potência sonora de blends de biodiesel de soja e mamona (S100M0, S75M25, S50M50, S25M75 e S0M100) misturadas ao diesel (S500), em relação ao diesel

comercial (B7), submetidas a quatro rotações distintas (3500, 2900, 2200 e 1500 rpm). Adicionalmente, avaliou-se a captação de potência sonora em diferentes raios de afastamento e posições em relação ao motor, comparando os resultados com as normas que estabelecem limite de exposição humana a esse agente físico, utilizando duas metodologias de análises estatísticas, a análise de variância e a geoestatística.

Metodologia

O trabalho foi conduzido na Universidade Federal do Vale do São Francisco, localizada em Juazeiro (BA), cuja latitude é de 09°24' sul, longitude de 40°30' oeste e altitude de 368 m.

As condições meteorológicas locais, durante a realização do ensaio de ruído, não excederam 32°C de temperatura e 7,00 m/s de velocidade do vento, cuja determinação foi obtida com o auxílio do THERMO ANEMOMETER da marca Homis, com precisão de $\pm 3\% \pm 0,20$ m/s, na leitura da velocidade do vento, e de $\pm 2,0^\circ\text{C}$, em relação à temperatura.

O biodiesel de soja, obtido por transesterificação metílica, com catálise alcalina, utilizado para o teste ruído, foi cedido pela Granol (GO), enquanto que o biodiesel de mamona foi transesterificado com o apoio da Usina Experimental de Biodiesel de Caetés (PE).

As blendas analisadas nesse estudo resultaram de diferentes combinações de biodiesel de soja e de mamona, que originaram cinco blendas, sendo elas designadas pela sigla SyMx, onde S corresponde ao biodiesel de soja e M ao biodiesel de mamona, cujas proporções (%) equivalem a y e x, respectivamente. Em seguida, as blendas S100M0, S75M25, S50M50, S25M75 e S0M100 foram misturadas ao diesel comercial S500 (com 7% de biodiesel, B7) para obtenção das misturas com 25 (B25) e 40% de biodiesel (B40).

Alguns parâmetros de controle de qualidade dos combustíveis utilizados nesse estudo estão dispostos na Tabela 1, e apresentam conformidade com os limites estabelecidos pela Agencia Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.

Tabela 1. Especificação da qualidade dos combustíveis em termos de viscosidade cinemática e estabilidade a oxidação.

Blendas	Viscosidade cinemática a 40° C		Estabilidade a oxidação	
	[ABNT NBR 10441 – 3-6 mm ² s ⁻¹]		[EN 14112 – 6 h]	
	(mm ² s ⁻¹)		(h)	
	B25	B40	B25	B40
S100M0	3,19	3,35	10,6	8,0
S75M25	3,31	3,70	7,6	6,5
S50M50	3,38	4,17	11,0	10,9
S25M75	3,49	4,66	19,2	17,3
S0M100	3,84	5,26	31,0	25,0
B7	3,03		35,0	

A fonte de potência foi localizada no centro de uma área em torno de 900 m², a céu aberto, com piso concretado. O motor utilizado nos teste foi do tipo estacionário, da marca Branco, modelo BD 10.0, mono-cilíndrico, 4 tempos, injeção direta de combustível e potência nominal de 5,7 kW a 3000 rpm e 6,7 kW a 3600 rpm; acoplado a um gerador trifásico Negrini, com 36 kVA de potência, 1800 rpm e 220 volts.

Os níveis de ruído foram determinados por meio do decibelímetro digital da marca Homis – modelo IEC 61672-1, com três faixas de medição (30-80; 50-100 e 80-130 dB) e protetor de vento, classe tipo 2 – conforme BRASIL (2014) nos circuitos de resposta lenta (S-LOW) e de equalização “A”, sendo expresso em dB.

Para a medição dos níveis de ruído do motor, sobre influência das misturas B25 e B40 com as blendas S100M0, S25M75, S50M50, S25M75 e S0M100 e das rotações de 3500, 2900, 2200 e 1500 rpm, posicionou-se o medidor de nível de potência sonora próximo ao ouvido do avaliador, cuja altura era de 1,70 m, conforme metodologia adaptada daquela utilizada por Alves et al. (2011).

Avaliou-se o ruído em função do raio de afastamento em relação ao trator, com verificação das leituras a cada distância de 1 m do motor até a distância máxima de

15 m, nas posições anterior, posterior, esquerda e direita, considerando o motor no centro da área experimental (Figura 1) e cinco repetições de leitura para cada condição (cada ponto).

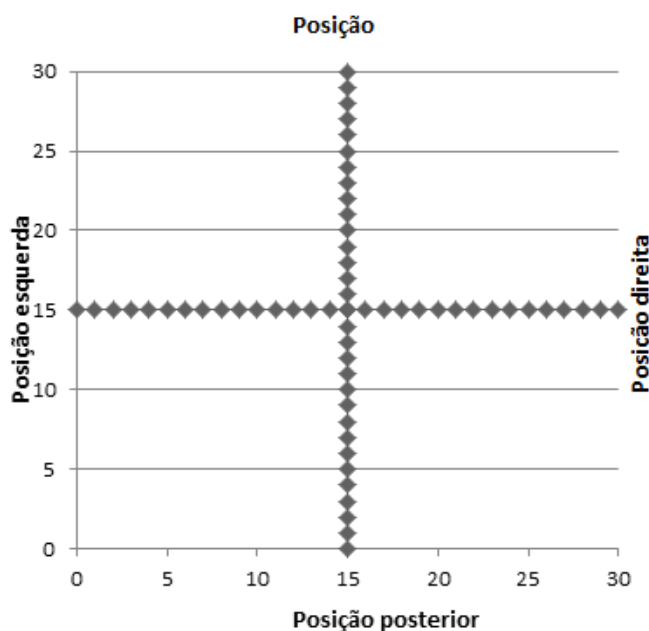


Figura 1- Esquema de amostragem dos valores de ruído em relação da posição do motor.

Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC) em fatorial com três fatores, 11x4x4, para a avaliação do nível de ruído em função das onze misturas/blendas, das quatro posições (anterior, posterior, esquerda e direita) e das quatro rotações (3500, 2900, 2200 e 1500 rpm), para cada raio de afastamento. Realizou-se a análise de variância, aplicando-se o teste de Tukey para comparação de médias quando significativos no teste de Fisher “F” a 5% de probabilidade.

Para uma visualização da propagação espacial do ruído, utilizou-se a geoestatística, ferramenta de análise que identifica a variabilidade espacial e como esta se distribui na área em estudo, com a confecção de mapas, de forma a permitir o gerenciamento mais preciso das intervenções necessárias (FERRAZ et al., 2017) com relação à exposição ao ruído, sendo esta metodologia recomendada por Yanagi Junior et al. (2012).

Para isso, foram construídos semivariogramas, partindo-se da pressuposição de estacionalidade da hipótese intrínseca e do cálculo da função semivariância, e os ajustes dos modelos teóricos. Esse ajuste foi feito “a sentimento”, expressão que

representa a escolha do modelo e respectivos parâmetros utilizando-se os pontos estimados e a melhor adequação visual gráfica. O ajuste do semivariograma foi determinado pelo maior valor do coeficiente de determinação (R^2), menor valor da soma do quadrado dos desvios (RSS) e maior valor da dependência espacial (ADE).

O modelo escolhido foi posto a prova por meio da validação cruzada, que permite selecionar o semivariograma adequadamente. O melhor detalhamento espacial do atributo estudado foi obtido com os mapas de isolinhas (bidimensionais), determinados utilizando a Krigagem ordinária.

Resultados e Discussão

A média do ruído para as misturas/blendas, posições e rotações, bem como para a interação desses fatores entre si, foram significativos, quando avaliados em relação a cada raio de afastamento. Adicionalmente, a média do nível de ruído emitido com o uso das misturas/blendas e os valores encontrados para cada raio de afastamento, apresentaram significância conforme análise de variância (Tabela 2).

Tabela 2- Síntese da análise de variância dos valores médios do nível de ruído em função da posição, mistura/blenda (BX/SyMx), rotação e raio de afastamento (R).

TESTE DE F										
R (m)	F calculado para cada raio de afastamento								Trata- mento **	CV (%)
	Posição (F1)	BX/SyMx (F2)	Rotação (F3)	F1xF2	F1xF3	F2xF3	F1xF2xF3			
	**	**	**	**	**	**	**			
1	8871,72	11,74	9204,63	15,74	47,56	10,76	18,61	327,11	0,50	
2	1422,05	20,72	6208,52	11,09	57,76	12,58	9,51	143,91	0,58	
3	1341,37	16,15	4881,79	9,28	34,11	9,11	9,77	117,54	0,69	
4	2286,03	41,48	8284,74	32,64	54,10	30,58	21,50	208,26	0,54	
5	1410,66	35,76	7906,54	25,84	78,44	19,32	9,21	178,28	0,60	
6	1705,41	54,74	11786,74	29,47	121,92	19,90	15,20	256,97	0,50	
7	1104,96	68,29	9783,30	24,20	80,10	21,45	15,58	210,52	0,53	
8	457,26	31,64	7187,96	14,66	26,09	23,31	9,60	145,66	0,63	
9	988,37	70,52	10219,07	25,03	39,34	30,46	15,28	215,55	0,52	
10	2041,63	48,28	8992,15	22,27	62,58	16,17	13,69	208,76	0,53	
11	3166,87	52,35	7180,65	18,70	84,06	10,25	10,07	194,84	0,59	
12	2585,64	35,90	4821,02	17,19	47,70	8,62	6,82	139,41	0,74	
13	5049,42	52,97	7975,90	22,21	98,26	19,00	9,48	243,31	0,59	

14	784,48	11,34	2247,65	5,48	23,25	5,28	2,53	56,97	1,15
15	1313,30	32,76	5888,71	8,35	44,02	9,59	5,02	133,25	0,75
F calculado									
Misturas/blendas: 0,0385 **; CV (%): 7,36					Raio de afastamento: 3560,77 **; CV (%): 0,41				

** significativo ($P \leq 0,01$); CV: coeficiente de variação (%).

Como era esperado, a potência sonora foi captada com maior intensidade nos raios de afastamento mais próximos ao motor, como pode ser verificado nos dados descritos na Tabela 3. A análise foi feita em função do raio de afastamento, com exceção das médias das misturas/blendas (BX/SyMx).

Consequências sérias decorrem da exposição a faixa de ruído entre 85 e 120 dB(A), com alterações reversíveis ou irreversíveis no ouvido e perdas crescentes de percepção (MIALHE, 1996), de modo que quanto mais perto da fonte de emissão sonora e maior o tempo de exposição ao ruído, maiores os riscos para a saúde humana.

Ao avaliar o nível de ruído emitido por raio de afastamento (Tabela 3), observou-se a existência de resultados que diferem significativamente, entre as misturas/blendas em relação a cada distância em que foi posicionado o decibelímetro.

O diesel B7 e a mistura/blenda com 40% de biodiesel (B40) de mamona (S0M100) foram os que apresentaram menor valor de ruído em todas as distâncias avaliadas, enquanto que o B25 S50M50 foi o que promoveu maior emissão de ruído. No entanto, essas diferenças são muito pequenas, e por isso, as médias das emissões de ruído das misturas/blendas foram semelhantes entre si (Tabela 3), mostrando que o uso de até 40% de biodiesel de mamona em mistura ao diesel (B40 S0M100) não promoveu alterações no processo de combustão, e, conseqüentemente, não aumentou a emissão de ruído.

Este resultado evidencia viabilidade no uso das misturas/blendas estudadas, tendo em vista que se esperava aumento da emissão de potência sonora devido a maior viscosidade e a presença de oxigênio na molécula do biodiesel, pois, segundo Rounce et al. (2010), combustíveis oxigenados promovem aumento do pico de pressão no cilindro e conseqüentemente aumento de ruído.

Tabela 3- Síntese dos valores médios do ruído obtido com as diferentes misturas/blendas (BX/SyMx) em relação ao raio de afastamento.

R (m)	MISTURAS/BLENDAS											Ruído médio R
	B25 S100M0	B25 S75M25	B25 S50M50	B25 S25M75	B25 S0M100	B40 S100M0	B40 S75M25	B40 S50M50	B40 S25M75	B40 S0M100	B7	
1	87,51 bc	87,50 bc	87,80 a	87,56 b	87,33 cd	87,62 ab	87,44 bc	87,44 bc	87,45 bc	87,17d	87,29 cd	87,44 A
2	85,51b	85,58 b	85,97 a	85,33 bc	85,46 b	85,54 b	85,53 b	85,33 bc	85,44 b	84,99 d	85,16 cd	85,44 B
3	82,59 cd	83,09 ab	83,28 a	83,16 a	82,92 ab	82,98 ab	82,97 ab	82,84 bc	82,84 bc	82,45 d	82,49 d	82,87 C
4	80,82ad	81,18 a	81,19 a	81,21 a	80,92 bc	81,08 ab	80,72 cd	80,64 de	80,83 cd	80,25 f	80,44 ef	80,84 D
5	78,28 ef	78,65 bc	78,80 ab	78,91 a	78,52 cd	78,82 ab	78,24 ef	78,65 bc	78,40 de	77,91 g	78,14 fg	78,48 E
6	76,72 de	77,14 ab	77,33 a	76,99 bc	76,85 cd	77,06 b	76,49 f	76,85 cd	76,61 ef	76,23 g	76,56 ef	76,80 F
7	75,26 de	75,89 b	76,18 a	75,56 c	75,46 cd	75,79 b	75,35 cde	75,44 cd	75,42 cde	74,79 f	75,24 e	75,49 G
8	74,31 de	74,60 bc	74,94 a	74,39 cde	74,34 de	74,63 b	74,17 ef	74,47 bcd	74,28 de	73,92 g	73,99 fg	74,37 H
9	73,58 c	74,14 a	74,28 a	73,65 bc	73,66 bc	73,69 bc	73,37 d	73,84 b	73,61 c	73,09 e	73,20 de	73,65 I
10	73,14 de	73,46 ab	73,63 a	73,06 e	73,15 de	73,26 cd	72,76 f	73,35 bc	73,15 de	72,69 f	72,75 f	74,13 J
11	72,47 d	72,84 b	73,16 a	72,50 d	72,75 b	72,75 b	72,41 d	72,74 bc	72,51 cd	72,05 e	71,95 e	72,56 L
12	71,80 cd	72,00 bc	72,50 a	71,71 d	71,89 bcd	72,08 b	71,66 d	71,90 bcd	71,72 d	71,32 e	71,18 e	71,80 M
13	71,14 cde	71,37 b	71,87 a	71,07 de	71,16 bcde	71,28 bcd	71,11 cde	71,30 bc	71,02 e	70,52 g	70,76 f	71,15 N
14	70,26 bc	70,64 ab	70,79 a	70,33 b	70,45 ab	70,37 b	70,27 b	70,49 ab	70,29 b	69,74 d	69,86 cd	70,32 O
15	69,33 def	69,93 ab	70,10 a	69,42 de	69,38 de	69,49 cde	69,56 cd	69,71 bc	69,25 efg	69,11 fg	68,98 g	69,48 P
Média BX/Sy Mx	76,18 a	76,53 a	76,76 a	76,32 a	76,28 a	76,43 a	76,13 a	76,33 a	76,19 a	75,75 a	75,87 a	

R representa o raio de afastamento. Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A maior viscosidade do biodiesel, em relação ao diesel, (sendo o de mamona mais viscoso que o de soja) (MONTEIRO et al., 2013), pode contribuir com o aumento da emissão de ruído do motor, devido a redução da vazão da bomba de injeção de combustível, e conseqüente aumento da pressão na linha de injeção (PAYRI et al., 2011). No entanto, o bom desempenho das misturas/blendas estudadas, cujas médias de ruído foram similares ao obtido com o diesel (B7), pode está relacionado à conformidade das mesmas, em termos de viscosidade, com as exigências da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).

A emissão de ruído pode ter sofrido influência, também, de outras características do combustível, como o número de cetano (NC), que é maior para o biodiesel que para o diesel (LÔBO; FERREIRA; CRUZ, 2009). Considerando este parâmetro, o biodiesel promove menor emissão de potência sonora, tendo em vista que, segundo Ladommatos, Parsi e Knowles (1996), o aumento do NC reduz o aumento máximo da pressão, devido ao menor atraso da ignição, reduzindo assim a emissão de ruído irradiado e de gases poluentes.

Sendo assim, os resultados similares de nível de ruído para as misturas/blendas, quando comparadas ao diesel, podem estar relacionados à compensação, devido as diferentes características físico-químicas do biodiesel e suas influências sobre o ruído.

Com o distanciamento progressivo da fonte geradora de ruído, houve esperada redução da potência sonora registrada no decibelímetro, de modo que, para todos os combustíveis analisados, o menor valor foi observado para o raio de afastamento de 15 m (Tabela 3 e Tabela 4). Segundo Fernandes (2005), o aumento da distância em relação à fonte, aumenta a área de propagação das ondas vibratórias e, conseqüentemente, diminui a intensidade sonora.

Esse resultado concorda com os obtidos por Alves et al. (2011), que estudaram a interação dos níveis de potência sonora em função da posição e do raio de afastamento em condição estática e dinâmica e também com aqueles obtidos por Magalhães et al. (2012) e Nagahama et al. (2012), ao estudarem níveis de potência sonora em tratores agrícolas.

Tabela 4- Síntese dos valores médios do ruído obtido com as diferentes posições e rotações em relação ao raio de afastamento.

R (m)	POSIÇÃO				ROTAÇÃO (rpm)			
	Anterior	Posterior	Esquerda	Direita	3500	2900	2200	1500
1	88,96 b	84,01 d	90,37 a	86,52 c	89,83 a	88,79 b	87,89 c	83,36 d
2	85,81 b	84,00 d	86,96 a	84,98 c	87,50 a	86,85 b	85,75 c	81,65 d
3	83,52 b	81,24 d	84,46 a	82,25 c	84,92 a	84,48 b	83,08 c	78,99 d
4	80,88 b	80,97 b	82,49 a	79,03 c	82,92 a	82,36 b	81,14 c	76,95 d
5	78,49 b	77,17 d	80,06 a	78,21 c	80,84 a	79,97 b	78,67 c	74,45 d
6	77,00 b	75,30 c	77,83 a	77,08 b	79,20 a	78,15 b	77,11 c	72,76 d
7	75,20 c	74,36 d	76,41 a	75,97 b	77,70 a	76,85 b	75,74 c	71,65 d
8	73,82 c	73,91 c	75,27 a	74,46 b	76,63 a	75,71 b	74,52 c	70,59 d
9	72,82 c	73,52 b	74,75 a	73,49 b	75,78 a	74,99 b	73,88 c	69,94 d
10	72,03 d	72,75 c	74,79 a	72,94 b	75,05 a	74,52 b	73,38 c	69,57 d
11	71,18 d	71,88 c	74,92 a	72,25 b	74,45 a	73,96 b	72,81 c	69,01 d
12	70,18 d	70,86 c	74,34 a	71,79 b	73,73 a	73,22 b	72,02 c	68,22 d
13	69,40 d	70,01 c	73,97 a	71,19 b	73,10 a	72,64 b	71,46 c	67,46 d
14	68,93 d	69,46 c	72,41 a	70,47 b	72,24 a	71,73 b	70,76 c	66,54 d
15	68,35 d	68,81 c	71,24 a	69,52 b	71,52 a	71,03 b	69,75 c	65,61 d

R representa o raio de afastamento. Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No que diz respeito à posição (anterior, posterior, esquerda e direita) em relação ao motor, nota-se que, para todos os raios de afastamento, independente da mistura/blenda e da rotação analisada, o lado esquerdo foi o que apresentou maior ruído (Tabela 4), devido à presença do tubo de escapamento. Resultado também verificado nos trabalhos de Oliveira Junior et al. (2011) e Lima Junior et al., (2014), que observaram maior propagação de ruído no lado do trator influenciado pela saída dos gases de exaustão.

Os níveis de ruído também sofrem influência da rotação, considerando cada raio de afastamento, independente da mistura/blenda e da posição, de forma que o aumento da velocidade promove maior emissão de potência sonora (Tabela 4). Outros estudos também mostraram que a velocidade do motor é um dos parâmetros de operação que mais se correlaciona com o nível de ruído irradiado (TORREGROSA et al., 2007), sendo observado por Arcoverde et al. (2011) e

Nagahama et al. (2012) uma relação direta do aumento de ruído médio com o incremento da exigência de potência do motor.

Ainda com base nas médias descritas na Tabela 3, foram identificados ruídos com valores acima de 85 dB(A) para as distâncias até 2 metros do centro de geração do ruído, independente da mistura/blenda utilizada como combustível, em quaisquer das posições de medição do ruído em relação ao motor (anterior, posterior, esquerda e direita) e nas rotações mais elevadas 3000, 2900 e 2200 rpm (Tabela 4). Ao passo que, a análise das interações dos fatores estudados permitiu identificar que também na menor rotação (1500 rpm), o ruído ultrapassa 85 dB(A), para todas as misturas/blendas, quando medido na posição esquerda, até 1 metro de distância do motor.

Estudos registram evidências de que a perda auditiva neurosensorial de origem ocupacional é derivada da exposição a ruídos acima de 85 dB(A), durante oito horas diárias. Segundo Montenegro, Pérez e Bergmann (2016), essa condição pode causar danos irreversíveis aos trabalhadores, sendo os homens, entre 50 e 65 anos que trabalham perto de fontes de ruído, os potencialmente mais afetados.

Sendo assim, o teste de médias (Tabela 3) evidencia que, no raio de afastamento de 2 m os níveis médios de ruído do motor utilizando misturas/blendas de diesel/biodiesel de soja/mamona encontram-se acima do recomendado pela norma NR-15 (BRASIL, 2014), que estabelece valores de 85 dB(A), para uma exposição de no máximo 8 horas diárias.

No entanto, os resultados da interação entre a posição esquerda (onde está localizado escapamento) e a maior rotação avaliada (3500 rpm) apontam valores maiores que 85 dB(A) a um raio de afastamento de 4 m, para algumas misturas/blendas, como o B25 S50M50, cuja média foi de 85,34 dB(A). Nesse sentido, torna-se necessária a proteção auricular para permanência do operador em um raio de afastamento de até 4 m, durante o período de 8 horas diárias.

Baseando-se na metodologia de análise geoestatística, foi possível obter a propagação espacial do ruído, quantificando a magnitude e a estrutura de dependência espacial, em termos do raio de afastamento e da posição, para as misturas/blendas submetidas às rotações de 3500, 2900, 2200 e 1500 rpm. A regionalização da dispersão dos pontos amostrados (análise do semivariograma do nível de ruído do motor) resultou que o melhor ajuste para as misturas/blendas nas

rotações propostas foi obtido para o modelo esférico, com altas porcentagens de significância, cujos coeficientes de determinação (R^2) variaram de 0,97 a 0,99.

O efeito pepita (C_0), parâmetro do semivariograma que indica a variabilidade não explicada, considerando a distância de amostragem utilizada (TRANGMAR; YOST; UEHARA, 1985), apresentou resultado igual a 0,10 para todas as misturas/blendas, independente da rotação empregada. Este resultado, que se encontra próximo à zero, aumenta a exatidão de estimativas por meio da krigagem, tendo em vista que, conforme Vieira (2010), quanto menor a variação ao acaso, mais exata é a estimativa.

Devido o efeito pepita (C_0) ter sido menor que 25% do patamar (C_0+C), de acordo com classificação de Cambardella et al. (1994), observa-se forte dependência espacial. Outro parâmetro que evidenciou a dependência espacial foi o ADE (análise de desempenho espacial), cujo resultado correspondeu a 0,99 para todas as condições estudadas, estando próximo de uma unidade, o que indica forte associação do ruído as condições do espaço em análise.

Encontrou-se proporcionalidade entre os valores amostrados e os estimados, a partir da validação cruzada, cujo coeficiente angular (b) da reta, para todas as misturas/blendas e rotações, apresentou valor próximo a uma unidade, sendo este um requisito para equiparação (CARVALHO et al., 2006). As retas ajustadas mantiveram-se em torno de 45° , com coeficiente de regressão estatisticamente equivalente a um (1).

Sendo assim, os parâmetros do semivariograma foram satisfatórios para os valores do nível de ruído médio das misturas/blendas em cada rotação em função da posição x distância, com validação cruzada apresentando coeficientes de determinação (R^2) entre 0,92 a 0,98.

Os mapas de isolinhas, interpolados por krigagem, que representam a emissão de ruído do motor em relação à posição e ao raio de afastamento, conforme o uso de diferentes misturas (B25 e B40) de diesel com blendas de biodiesel de soja e mamona (S100M0, S75M25, S50M50, S25M75 e S0M100), além do diesel comercial (B7), em diferentes rotações (3500, 2900, 2200, 1500 rpm), estão dispostos nas Figuras 2, 3 e 4, permitindo visualizar espacialmente a propagação sonora na área de estudo, de forma a permitir o gerenciamento dos métodos de proteção ao trabalhador.

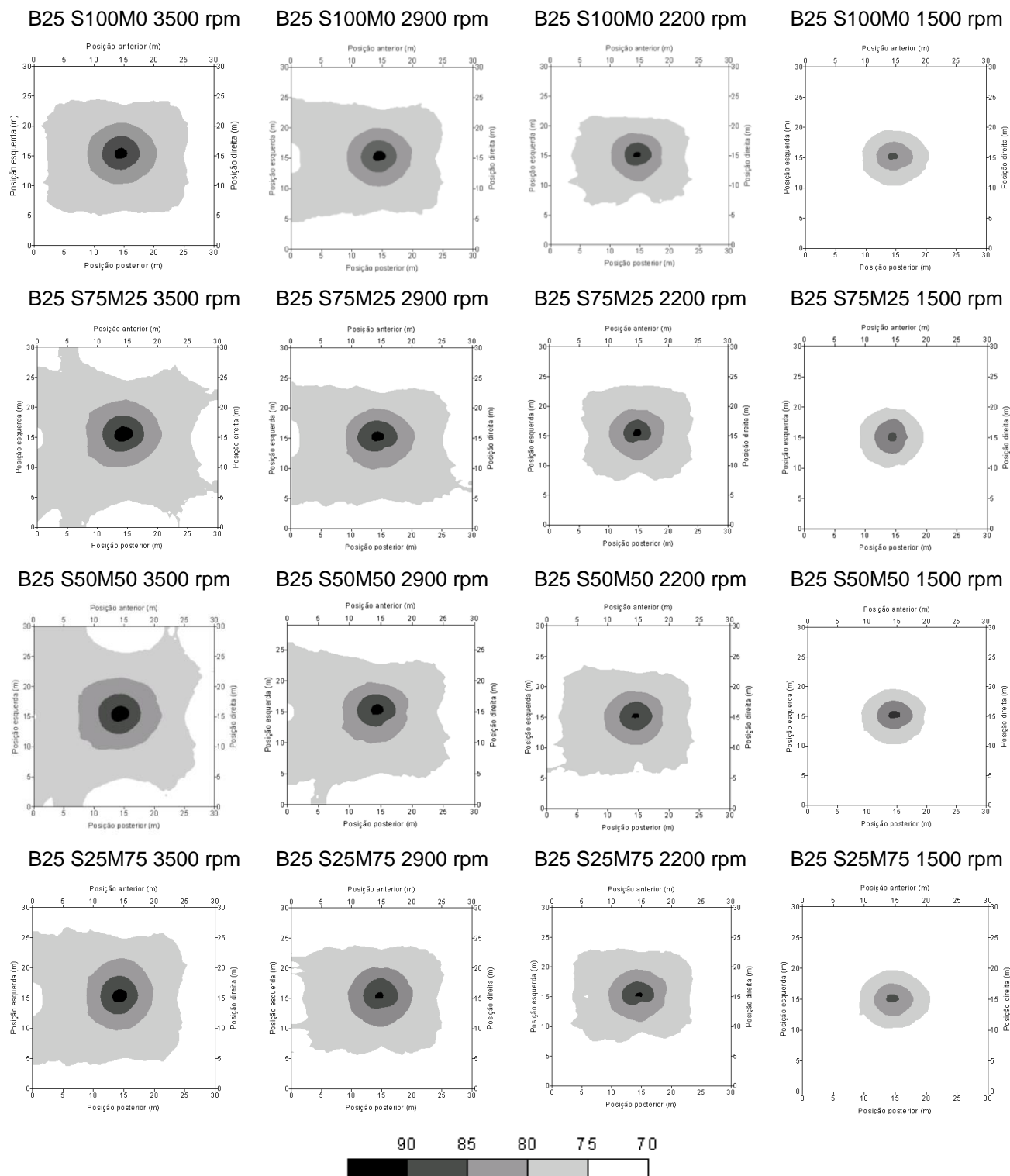


Figura 2. Mapas de propagação do ruído das misturas/blendas B25 S100M0, B25 S75M25, B25 S50M50 e B25 S25M75, nas diferentes rotações, distâncias e posições analisadas.

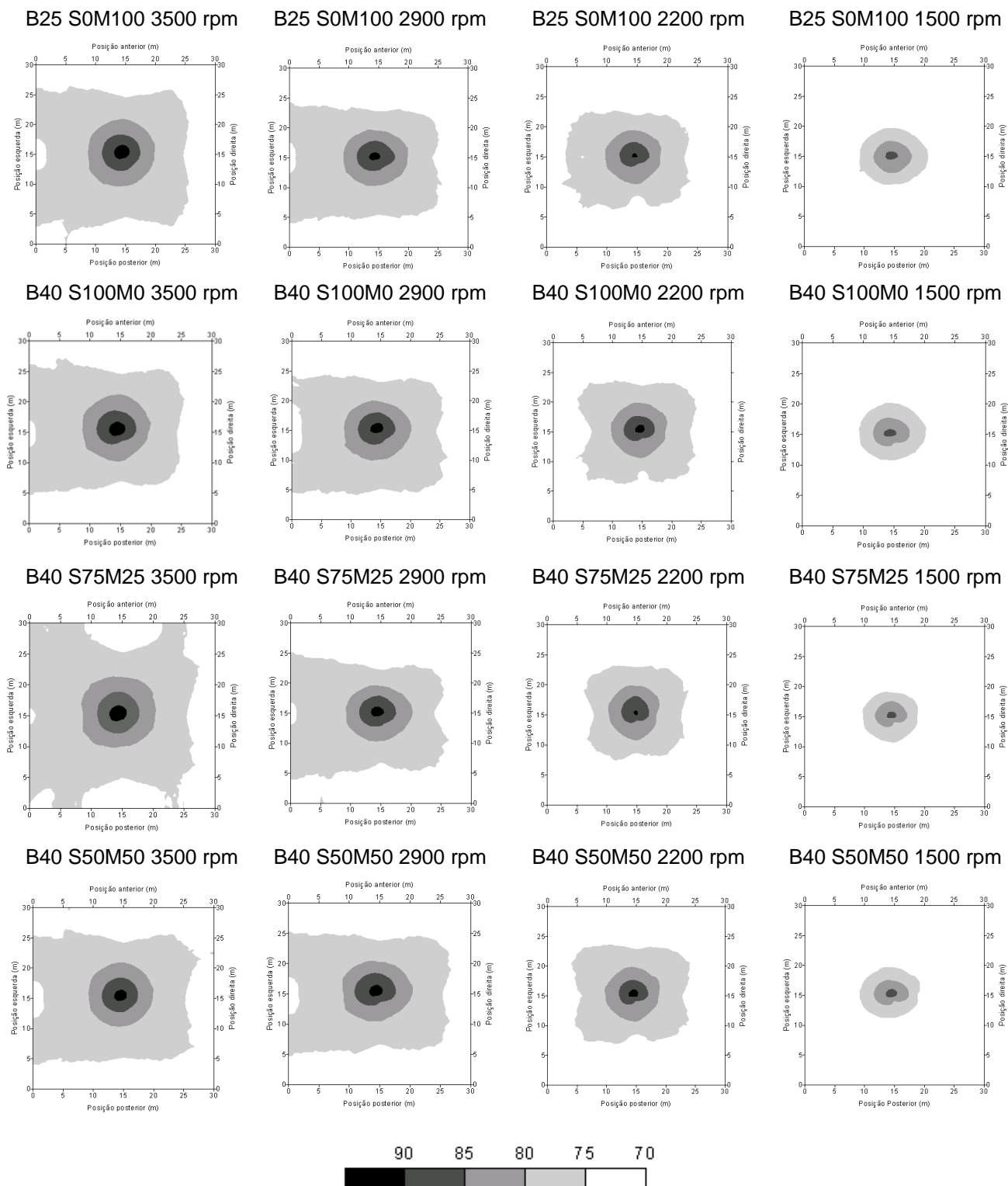


Figura 3. Mapas de propagação do ruído das misturas/blendas B25 S0M100, B40 S100M0, B40 S75M25 e B40 S50M50, nas diferentes rotações, distâncias e posições analisadas.

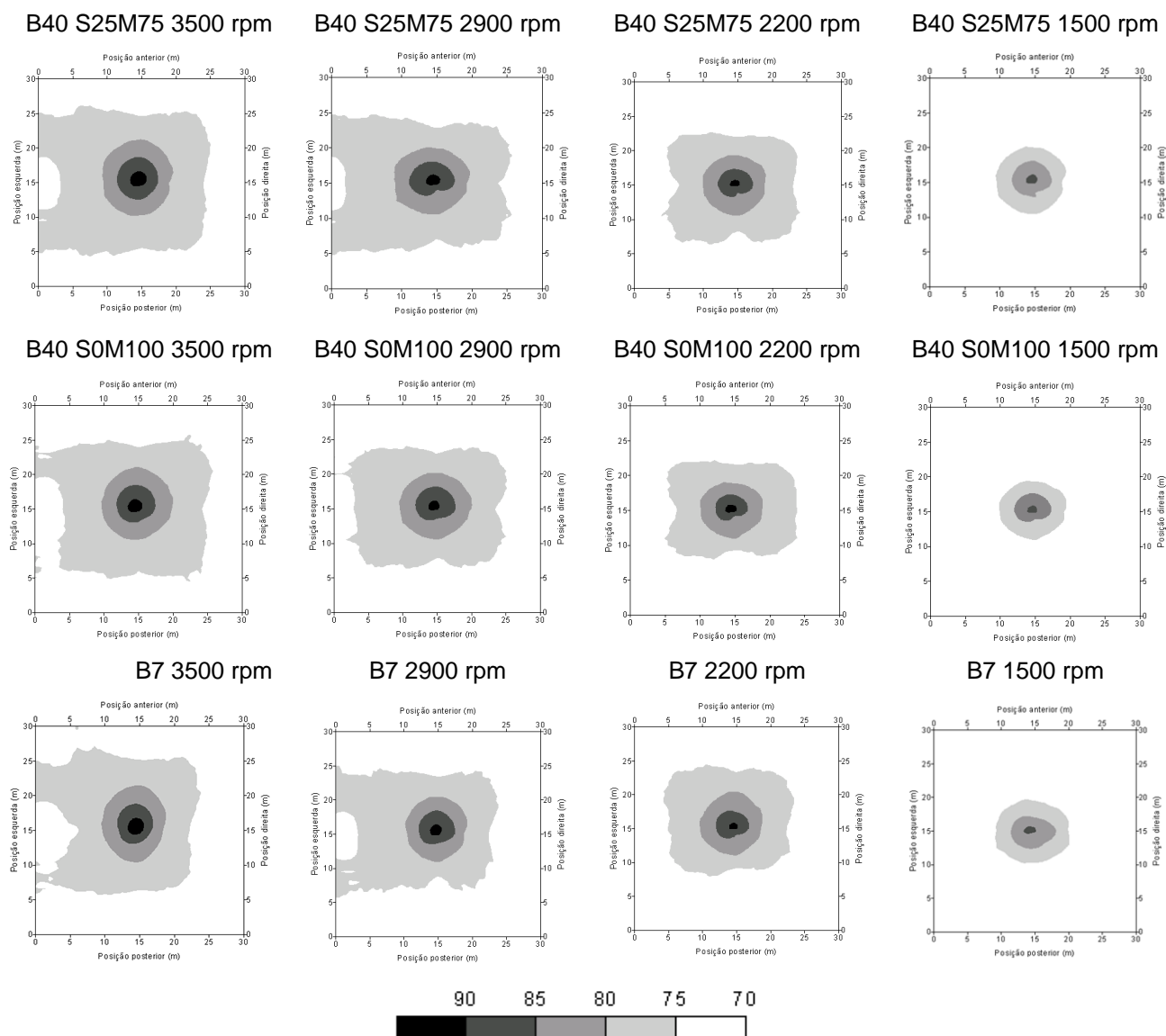


Figura 4. Mapas de propagação do ruído das misturas/blendas B40 S25M75, B40 S0M100 e B7, nas diferentes rotações, distâncias e posições analisadas.

É possível observar que, assim como verificado nos resultados obtidos com os testes de média, o ruído tende a se propagar mais acentuadamente na posição esquerda, onde se encontra o escapamento.

Além disso, percebe-se um comportamento de propagação do ruído muito parecido entre as misturas/blendas, nas rotações de 3500, 2900 e 2200 rpm, partindo da fonte emissora de potência sonora até a distância em que se atingi 80 dB(A). Para a rotação de 1500 rpm, observou-se comportamento similar entre todas as misturas/blendas (Figuras 2, 3 e 4).

Adicionalmente, as rotações mais elevadas promovem maior emissão de potência sonora, cujos valores ultrapassam 90 dB(A) em raios de afastamento mais próximos ao motor (de aproximadamente 1 m), destacado em preto em todos os mapas. Já, na rotação de 1500 rpm, o ruído máximo é menor que 90 dB(A), e níveis de até 85 dB(A) estão presentes a uma distância de aproximadamente 1 m do motor (Figuras 2, 3 e 4).

De acordo com os modelos ou mapas de espacialização, em distâncias de até 4 m do motor, para a maioria das misturas/blendas, em relação às rotações mais elevadas (3500 e 2900 rpm) e a posição esquerda, tem-se emissão de potência sonora acima do limite estabelecido pela norma NR 15, para uma exposição de até 8 horas (BRASIL, 2014), sendo, nesse caso, necessária proteção auricular.

Embora este resultado confirme aquele obtido a partir do teste de médias, considerando análise das interações, durante o estudo verificou-se que a geoestatística tem diagnóstico mais simples que o obtido com o teste de média, tendo em vista que, para a determinação da distância mínima necessária para uso de equipamentos de proteção auricular por comparação das médias, foi necessário analisar todos os dados de interação, enquanto que a geoestatística apresenta detalhadamente e de forma ilustrativa a propagação do ruído, tornando mais fácil a identificação dos raios de afastamento e posições onde se identifica maior potência sonora.

Yanagi Junior et al. (2012), ao caracterizarem a variabilidade espacial do nível de ruído gerado por quatro diferentes máquinas agrícolas, (derriçadora, motosserra, roçadora e trator) utilizando a geoestatística, constataram viabilidade da técnica para definição de zonas de manejo e proteção adequadas para os trabalhadores, conforme as diferentes máquinas estudadas, e os raios de afastamento de trabalho. Além disso, o autor identificou que essa técnica é mais adequada que a tomada de decisão por meio da estatística descritiva.

Nesse contexto, para a escolha quanto ao uso de proteção auricular, que assegurem as condições de menor risco para o operador, em função das distâncias em relação à fonte de emissão sonora, deve ser considerada proteção auricular para o raio de afastamento de até 4 m da fonte de ruído, cujo resultado foi identificado com base em ambos os métodos estatísticos empregados neste estudo.

Conclusão

Há viabilidade no uso de misturas de diesel com blendas de biodiesel de soja e mamona quanto à emissão de ruído, tendo em vista que as médias das misturas/blendas não diferiram entre si, considerando todos os dados de ruído independente do raio de afastamento, da posição e da rotação, apresentando resultados similares àquele obtido com o diesel comercial (B7).

Com relação à propagação de potência sonora, verifica-se diferenças nas posições de referência em relação ao motor, sendo constatada a maior emissão de ruído na posição onde está localizado o tubo de exaustão de gases, bem como em regiões mais próximas ao motor e conforme a maior exigência de potência.

O estudo da variabilidade espacial da propagação de ruído também permite identificar a ocorrência de ruídos acima de 85 dB(A) até 4 metros de motores do ciclo diesel, independente da mistura/blenda utilizada, de modo que, com base na NR-15, recomenda-se uso de proteção auricular para permanência naquele raio de afastamento, durante períodos iguais ou acima de 8 horas diárias.

Referências

ALVES, A. D. S.; COSTA, F. R. L.; CORTEZ, J. W.; DANTAS, A. C. S.; NAGAHAMA, H. J. Níveis de potência sonora emitidos por trator agrícola em condições estáticas e dinâmicas. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 14, n.1, p. 110-119, 2011.

ARCOVERDE, S. N.S.; CORTEZ, J. W.; PITANGA JÚNIOR, C. O.; NAGAHAMA, H. J. Nível de ruído emitido por conjuntos mecanizados em função da velocidade e da condição do solo. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.6, n.3, p. 514-520, 2011.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. (2014). *Norma Regulamentadora 15 – Atividades e operações insalubres*. Publicação Portaria GM n.º 3.214, de 08 de junho de 1978. Alterações/Atualizações. Portaria MTE n.º 1.297, de 13 de agosto de 2014. Brasília, DF: Diário Oficial da União.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.

CARVALHO, G. J.; CARVALHO, M. P.; FREDDI, O. S.; MARTINS, M. V. Correlação da produtividade do feijão com a resistência à penetração do solo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 765-771, 2006.

CUNHA, J. P. A. R.; TEODORO, R. E. F. Avaliação do nível de potência sonora em derriçadores e pulverizadores motorizados portáteis utilizados em lavouras de café. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 22, n. 3, p. 71-77, 2006.

FERNANDES, J. C. *Princípios do Som, Apostila Acústica e Ruídos*, Cap. 3, p. 27, 2005. Disponível em: <http://www.wp.feb.unesp.br/jcandido/acustica/apostila.htm>. Acesso em: 12 jul. 2016.

FERRAZ, G. A. e S.; SILVA, F. M. da; OLIVEIRA, M. S. de; CUSTÓDIO, A. A. P. FERRAZ, P. F. P. Variabilidade espacial dos atributos da planta de uma lavoura cafeeira. *Revista Ciência Agronômica*, v. 48, n. 1, 2017.

JENKINS, S. H. Analysis and treatment of diesel engine noise. *J. Sound Vibr.*, v. 43, n. 2, p. 293-304, 1975.

LADOMMATOS, N.; PARSI, M.; KNOWLES, A. The effect of fuel cetane improver on diesel pollutant emissions, *Fuel*, v. 75, p. 8-14, 1996.

LIMA JÚNIOR, P. da S.; CORTEZ, J. W.; NAGAHAMA, H. de J.; ARCOVERDE, S. N. S. Ruído em função da rotação, raio de afastamento, velocidade de trabalho e tipo de pista de um conjunto trator-carreta cafeeira. *Revista Agrarian*, v. 7, n. 26, p. 581-589, 2014.

LÔBO, I. P.; FERREIRA, S. L. C.; CRUZ, R. S. da. Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. *Química Nova*, v. 32, n. 6, p. 1596-1608, 2009.

MACHADO, L. O.; LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C.; FERREIRA, C. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, n.3, p.591-599, 2007.

MAGALHÃES, A. T.; CORTEZ, J. W.; NAGAHAMA, H. de J. Nível de ruído de um trator agrícola em função da rotação, da distância, da velocidade e da condição de solo obtido por meio de decibelímetro com e sem proteção de vento. *Revista Energia na Agricultura*, v. 27, n. 4, p. 27-44, 2012.

MIALHE, L. G. *Máquinas agrícolas: ensaios e certificações*. Piracicaba: Fealq, 1996.

MONTEIRO, L. DE A.; JUNIOR, P. G.; VELÁSQUEZ, J. A.; ROCHA, D. S.; BUENO, A. V. Performance impact of the application of castor oil biodiesel in diesel engines. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.33, n.6, p.1165-1171, 2013.

MONTENEGRO, A. E. C., PÉREZ, A. M. C.; BERGMANN, J. L. C. Modelamiento Predictivo de la Pérdida Auditiva Laboral, Relacionada con el Tratamiento de Absorción Acústica en una Industria Metal-Mecánica en Chile. *Ciencia & Trabajo*, v.18, n.56, p. 73-80, 2016.

NAGAHAMA, H. de J.; CORTEZ, J. W.; GRANJA, G. P. GARRIDO, M. da S.; CARVALHO, P. G. S. de. Níveis de potência sonora emitido por um trator agrícola de pneus em função da rotação, raio de afastamento, velocidade e tipo de pista. *Engenharia na Agricultura*, v. 20, n. 4, 2012.

OLIVEIRA JÚNIOR, A.; ALVES, G. S.; CUNHA, J. P. A. R. Avaliação dos níveis de ruído emitido por um trator agrícola em diferentes operações mecanizadas. *Enciclopédia Biosfera*, v. 7, n.12, p.1 - 13, 2011.

PARIZET, E., BROCARD, J.; PIQUET, B. Influence of noise and vibration to comfort in diesel engine cars running at idle. *Acta Acustica united with Acustica*, v. 90, n. 5, p. 987-993, 2004.

PAYRI, R.; SALVADOR, F.J.; GIMENO J.; BRACHO, G.; The effect of temperature and pressure on thermodynamic properties of diesel and biodiesel fuels, *Fuel*, v. 90, p. 1172-1180, 2011.

PERIN, G. F.; SCHLOSSER, J. F.; FARIAS, M. S. de; ESTRADA, J. S.; TREICHEL, H.; GALON, L. Emissões de motor agrícola com o uso de diferentes tipos de diesel e concentrações de biodiesel na mistura combustível. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 50, n. 12, p. 1168-1176, 2015.

ROUNCE, P.; TSOLAKIS, A.; LEUNG, P.; YORK, A. P. E. A comparison of diesel and biodiesel emissions using dimethyl carbonate as an oxygenated additive, *Energy and Fuels*, v. 24, n. 9, p. 4812-4819, 2010.

SANTOS FILHO, P. F.; FERNANDES, H. C.; QUEIROZ, D. M.; SOUZA, A. P. de; CAMILO, A. J. Utilização de um sistema de aquisição automática de dados para avaliação dos níveis de ruído de um trator agrícola de pneus. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 381-386, 2004.

SANTOS, T. C.; CARVALHO, V. S. B.; REBOITA, M. S. Avaliação da influência das condições meteorológicas em dias com altas concentrações de material particulado na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 21, n. 2, p. 307-313, 2016.

SELVAM, D.J.P., VADIVEL, K. An experimental investigation on performance, emission, and combustion characteristics of a diesel engine fueled with methyl esters of waste pork lard and diesel blends. *International Journal of Green Energy*, v. 10, p. 908-923, 2013.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy*, v. 38, n. 1, p. 45-94, 1985.

TORREGROSA, A. J., BROATCH, A., MARTÍN J. AND MONELLETTA, L. Combustion noise level assessment in direct injection Diesel engines by means of in-cylinder pressure components. *Measurement Science and Technology*, v. 18, n. 7, p. 2131-2142, 2007.

VIEIRA, S. R.; GARCIA, M. A. G.; PAZ-GONÇÁLEZ, A.; SIQUEIRA, G. M. Variabilidade espacial e temporal do teor de água do solo sob duas formas de uso. *Bragantia*, Campinas, v. 69, n. 1, p. 181-190, 2010.

YANAGI JUNIOR, T.; SCHIASSI, L.; ROSSONI, D. F.; PONCIANO, P. F.; LIMA, R. R. de. Variabilidade espacial do nível de ruído em máquinas agrícolas. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.32, n.2, p.217-225, mar./abr. 2012.

ZANNIN, P. H. T. ,PACHECO, H. Avaliação do ruído através da técnica de intensidade sonora. *Revista de acústica*. v. 37, n. 1-2, p. 21-25, 2006.

5. ARTIGO 3: DESEMPENHO DE MOTOR COM BLENAS DE BIODIESEL DE SOJA E MAMONA EM MISTURA AO DIESEL

Resumo

A utilização do biodiesel pode promover maior diversificação e equilíbrio da matriz energética brasileira, reduzindo a elevada dependência dos combustíveis fósseis empregados na geração de energia e no transporte rural. Para evitar a dependência de uma única fonte oleaginosa e viabilizar o uso de oleaginosa com restrições de qualidade para aplicação em motores e máquinas agrícolas, nesse estudo, foi avaliado o desempenho de motor diesel estacionário com o uso de blendas de biodiesel de soja e mamona em diferentes concentrações (S100M0, S75M25, S50M50, S25M75 e S0M100) misturadas ao diesel comercial, formando as mistura B25 e B40 de cada blenda. Na rotação máxima (3000 rpm), misturas com proporções elevadas de biodiesel de mamona apresentam redução na potência efetiva observada e no torque, de modo que o diesel B7 foi o que apresentou melhor desempenho nesse regime. Adicionalmente, foram avaliados os parâmetros de desempenho em diferentes condições de operação, sendo verificado que em menores rotações, a utilização de blendas com biodiesel de mamona contribuiu para um desempenho similar ou maior que o obtido com o diesel. Devido ao melhor desempenho em rotações abaixo de 3000 rpm, as misturas/blendas B40 S100M0 e B40 S75M25 apresentaram potência efetiva observada média equivalente ao diesel; maior torque médio, comparado ao diesel; e consumo específico médio equivalente ao do diesel, mostrando viabilidade no uso das mesmas. Identificou-se ainda, que na rotação de menor consumo (2700 rpm) essas misturas/blendas (B40 S100M0 e B40 S75M25) apresentaram o melhor desempenho de potência efetiva observada e torque entre os combustíveis analisados. Complementarmente, em rotações mais baixas (1500 rpm), geralmente empregadas em operações agrícolas, as misturas/blendas de biodiesel de soja e mamona utilizadas nesse estudo, apresentaram melhor desempenho em relação ao diesel B7.

Palavras-chave: Blendas de biodiesel de mamona e soja, Potência, Torque, Consumo específico

Abstract

The use of biodiesel can promote greater diversification and balance of the Brazilian energy matrix, reducing the high dependence of fossil fuels used in energy generation and rural transportation. In order to avoid the dependence of a single oil source and to enable the use of oilseeds with quality restrictions for application in engines and agricultural machines, in this study, the performance of a stationary diesel engine with the use of biodiesel blends of soybean and castor oil in Different concentrations (S100M0, S75M25, S50M50, S25M75 and S0M100) mixed with the commercial diesel, forming the B25 and B40 mixes of each blend. At the maximum rotation (3000 rpm), mixtures with high proportions of castor biodiesel present a reduction in the observed effective power and torque, so that B7 diesel was the one that presented the best performance in this regime. In addition, the performance parameters in different operating conditions were evaluated, and it was verified that at lower rotations, the use of blends with castor oil biodiesel contributed to a performance similar to or greater than that obtained with diesel. Due to the better performance at speeds lower than 3000 rpm, the blends B40 S100M0 and B40 S75M25 showed average observed effective power equivalent to diesel; Higher average torque compared to diesel; And average specific consumption equivalent to that of diesel, showing viability in the use of the same. It was also identified that in the rotation of lower consumption (2700 rpm) these mixtures/blends (B40 S100M0 and B40 S75M25) presented the best performance of effective observed power and torque between the analyzed fuels. In addition, at lower RPMs (1500 rpm), generally employed in agricultural operations, the blends of soybean and castor oil biodiesel used in this study showed better performance compared to B7 diesel.

Keywords: Biodiesel blends of castor oil and soybean, Power, Torque, Specific consumption

Introdução

A maioria das máquinas, atualmente utilizadas no meio agrícola, seja para mobilidade ou geração de energia, é dotada de motores de ciclo diesel devido à eficiência que apresentam. No entanto, a previsão de indisponibilidade dos combustíveis fósseis a longo prazo e a emissão de poluentes tem estimulado pesquisas referentes aos biocombustíveis (PERIN et al., 2015), principalmente com

respeito aos aspectos ambientais, econômicos, políticos, culturais e técnicos no tocante à agricultura (BUYUKKAYA, 2010; BALLESTEROS et al., 2014).

Dentre os biocombustíveis, o biodiesel é uma opção atraente para utilização em motores a diesel, podendo ser produzido a partir de diversas fontes oleaginosas, com a característica de ser biodegradável, renovável, não tóxico (SELVAM; VADIVEL, 2013), apresentar alta densidade energética, compatibilidade com os motores existentes, baixas emissões de NO_x e SO_x após a combustão (RASHID et al., 2014) e menor impacto com relação às emissões de CO₂ em relação aos derivados fósseis (KOHLHEPP, 2010; CHAUHAN et al., 2013; ZHOU et al., 2014).

Programas governamentais incentivam o uso de diferentes tipos de biomassa para a produção de biodiesel, conforme disponibilidade de cada região, bem como o aumento gradual de biodiesel adicionado ao diesel comercial, que hoje se encontra no patamar de 7% (B7).

Diante disso, inúmeros trabalhos vêm investigando a utilização de biodiesel de diferentes fontes e percentuais em motor a diesel. No entanto, de acordo com Brasil (2015), a alta variabilidade de resultados dificulta a obtenção de estimativas homogêneas e compatíveis para fins de tomada de decisão.

Castellanelli et al. (2008), por exemplo, ao avaliarem o desempenho de motor diesel, com diferentes misturas diesel/biodiesel de soja, obtiveram torque, potência e consumo específico similar entre B0 (diesel), B2, B5 e B10, melhor desempenho com o uso de B20 e pior performance para o B100. Já Nietiedt et al. (2011) identificaram melhor potência e consumo com o uso de B10 e pior resultado com o B100 em comparação com B5 e B20. A diferença nos resultados, encontrados pelos autores mencionados, pode estar relacionada à diferença de metodologia e equipamentos do ensaio, qualidade do combustível testado, entre outros.

Segundo McCormick e Westbrook (2010), a depender da matéria-prima utilizada, as características físico-químicas do biodiesel são alteradas, o que interfere diretamente no desempenho do motor. Dentre essas características, destaca-se a estabilidade à oxidação, já que, diferentemente dos combustíveis fósseis, o biodiesel oxida com mais facilidade, gerando compostos prejudiciais à combustão (JAIN; SHARMA, 2011) e, conseqüentemente, ao desempenho do motor.

Nesse contexto, o biodiesel proveniente da soja, que corresponde a 86,7% do biodiesel produzido no Brasil (RIBEIRO; DIAS, 2016), é um dos mais susceptíveis a oxidação, diferentemente do biodiesel de mamona que apresenta maior estabilidade

e em mistura ao de soja promove o aumento do tempo de resistência aos fatores oxidativos (BERMAN et al., 2011; CARVALHO et al., 2013). No entanto, características físicas-químicas particulares do biodiesel de mamona, como a alta viscosidade, dificultam a utilização desse biodiesel, fazendo-se necessária a investigação dos efeitos desse combustível no desempenho dos motores de combustão interna (MONTEIRO et al., 2013).

Diante da necessidade de reduzir a dependência de uma única matéria-prima, atualmente muito concentrada na soja, e de promover adequada inserção de fontes oleaginosas que apresentam restrições para o desempenho mecânico do motor, como é o caso do biodiesel de mamona, foram investigadas blendas de biodiesel de soja e mamona em cinco proporções (S100M0, S75M25, S50M50, S25M75 e S0M100), misturadas ao diesel (S500), em duas concentrações (20% e 40%), avaliando-se a potência efetiva observada, o consumo específico e o torque.

Metodologia

O trabalho foi conduzido na Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), em Juazeiro (BA), no Laboratório de Processos Químicos (LPQ), localizado na latitude 09°24' sul, longitude 40°30' oeste e altitude de 368 m, cuja temperatura do local de prova correspondeu em média a 27°C.

O biodiesel de soja, obtido por transesterificação metílica, com catálise alcalina, utilizado para o teste de potência efetiva observada, consumo específico e torque, foi cedido pela Granol (GO), enquanto que o biodiesel de mamona foi transesterificado com o apoio da Usina Experimental de Biodiesel de Caetés (PE).

As blendas analisadas nesse estudo resultaram de diferentes combinações de biodiesel de soja e de mamona. Essas combinações deram origem a cinco blendas distintas, sendo elas designadas pela sigla SyMx, onde S corresponde ao biodiesel de soja e M ao biodiesel de mamona, cujas proporções (%) equivalem a y e x respectivamente. Sendo assim, as blendas S100M0, S75M25, S50M50, S25M75 e S0M100 foram misturadas ao diesel comercial S500 (atualmente com 7% de biodiesel, B7) para obtenção das misturas com 25 (B25) e 40% de biodiesel (B40).

Alguns parâmetros de controle de qualidade dos combustíveis utilizados nesse estudo estão dispostos na Tabela 1, e apresentam conformidade com os limites estabelecidos pela Agencia Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.

Tabela 1. Especificação da qualidade dos combustíveis em termos de viscosidade cinemática e estabilidade a oxidação.

Blendas	Viscosidade cinemática a 40° C		Estabilidade a oxidação	
	[ABNT NBR 10441 – 3-6 mm ² s ⁻¹]		[EN 14112 – 6 h]	
	(mm ² s ⁻¹)		(h)	
	B25	B40	B25	B40
S100M0	3,19	3,35	10,6	8,0
S75M25	3,31	3,70	7,6	6,5
S50M50	3,38	4,17	11,0	10,9
S25M75	3,49	4,66	19,2	17,3
S0M100	3,84	5,26	31,0	25,0
B7	3,03		35,0	

Para os testes de desempenho do motor, em termos de potência efetiva observada, consumo específico e torque, utilizou-se um dinamômetro elétrico constituído por motor estacionário a diesel, modelo BD 10.0 da marca Branco, com 10,0 cv de potência, mono-cilíndrico, 4 tempos, injeção direta de combustível e potência nominal de 5,7 kW a 3000 rpm e 6,7 kW a 3600 rpm; acoplado a um gerador trifásico Negrini, com 36 kVA de potência, 1800 rpm e 220 volts.

Acionado pela máquina em prova (motor), o gerador produziu energia elétrica que foi consumida por bancada resistiva trifásica de 8,64 kW, ligada na saída do gerador, o qual permitiu determinar a potência por meio da tensão e corrente geradas.

O procedimento do teste consistiu na inserção da mistura/blenda no reservatório de combustível do motor, o qual permaneceu inicialmente por 5 minutos em baixa rotação, para aquecimento e lubrificação das peças dinâmicas. Após aquecimento, o motor foi submetido à rotação máxima de 3600 rpm, condição em que permaneceu por 30 minutos. Em seguida ligou-se a bancada resistiva (8,64kW) e após 15 minutos de estabilização aferiu-se a rotação (que reduziu para 3000 rpm), com Tacômetro digital ICEL TC 5030 (exatidão: $\pm (0,05 + 1D)$); a tensão, com

Multímetro digital Minipa ET-2907 (precisão: $\pm (0,3\% + 10D)$); e a corrente gerada, com Amperímetro Minipa ET-3200A (precisão: $\pm (2,0\% + 5D)$).

O consumo volumétrico das diferentes mituras/blendas foi obtido com um medidor volumétrico, constituído por uma bureta graduada, acoplada à linha de alimentação do motor através de uma mangueira, conforme Barbosa et al. (2008) e Reis et al. (2013). O tempo de consumo do volume de combustível foi medido com o cronômetro digital KENKO KK 2808.

Após as medições, reduziu-se a rotação para 2700 rpm, repetindo o procedimento descrito acima para a medição da rotação, tensão, corrente e consumo, e assim sucessivamente para as rotações de 2400, 2100, 1800 e 1500 rpm. O teste foi repetido seis vezes para cada mistura/blenda, retirando-se todo o combustível testado contido no reservatório do motor ao final de cada teste.

De posse dos dados de corrente e tensão, determinou-se a potência efetiva observada produzida pelo motor sob as condições atmosféricas de ensaio, utilizando-se a Equação 1, segundo Kosow (1982).

$$P_{efetiva\ observada} = \sqrt{3} * V * I \quad (1)$$

Em que,

$P_{efetiva\ observada}$: Potência (Watts),

V : Tensão de saída (Volts), e

I : Corrente de saída (Ampere).

Vale ressaltar que, segundo o catálogo do fabricante do motor, para condições ambientes acima de 305 m de altitude tem-se uma perda de 3,5% na potência e a cada 5,6° C, acima da temperatura *standard* (15,6° C), perde-se 1% de potência.

O consumo específico de combustível foi determinado de acordo com Mialhe (1996), a partir dos valores de massa de combustível consumida, potência medida e tempo, conforme Equação 2.

$$CEC = \frac{3,6 * 10^3 * C * \mu}{P_{efetiva\ observada}} \quad (2)$$

Em que,

CEC : Consumo específico de combustível ($g\ kW^{-1}\ h^{-1}$),

C : Consumo horário (mL s^{-1}),

μ : Massa específica (kg m^{-3}), e

$P_{\text{efetiva observada}}$: Potência (Watts).

De posse dos valores de potência efetiva observada e de rotação obteve-se o torque segundo Equação 3, conforme Mialhe (1980).

$$T = \frac{P_{\text{efetiva observada}} * 974}{rpm} \quad (3)$$

Em que,

T : Torque (kgfm),

$P_{\text{efetiva observada}}$: Potência efetiva observada (Watts), e

rpm : Velocidade de giro do motor (rotações por minuto).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, por meio do delineamento inteiramente casualizado em fatorial com 6 repetições. Aplicou-se o teste de Tukey, a 5% de probabilidade, para comparação das médias quando o teste F indicou diferença significativa entre os tratamentos. Além disso, realizou-se análise de regressão para descrever o comportamento da potência efetiva observada, consumo específico e torque em função das rotações.

Resultados e Discussão

Efeitos significativos foram verificados nos resultados da potência efetiva observada, do consumo específico e do torque com relação às misturas/blendas e aos regimes de operação (rotações); bem como para a interação desses fatores entre si.

O comportamento do desempenho do motor, no que tange a potência efetiva observada, em relação às rotações empregadas, está disposto nos gráficos (Figura 1), que apresentam a tendência da potência para as misturas B25 e B40, de acordo com as composições das blendas de biodiesel de soja e mamona (SyMx), em comparação com o B7.

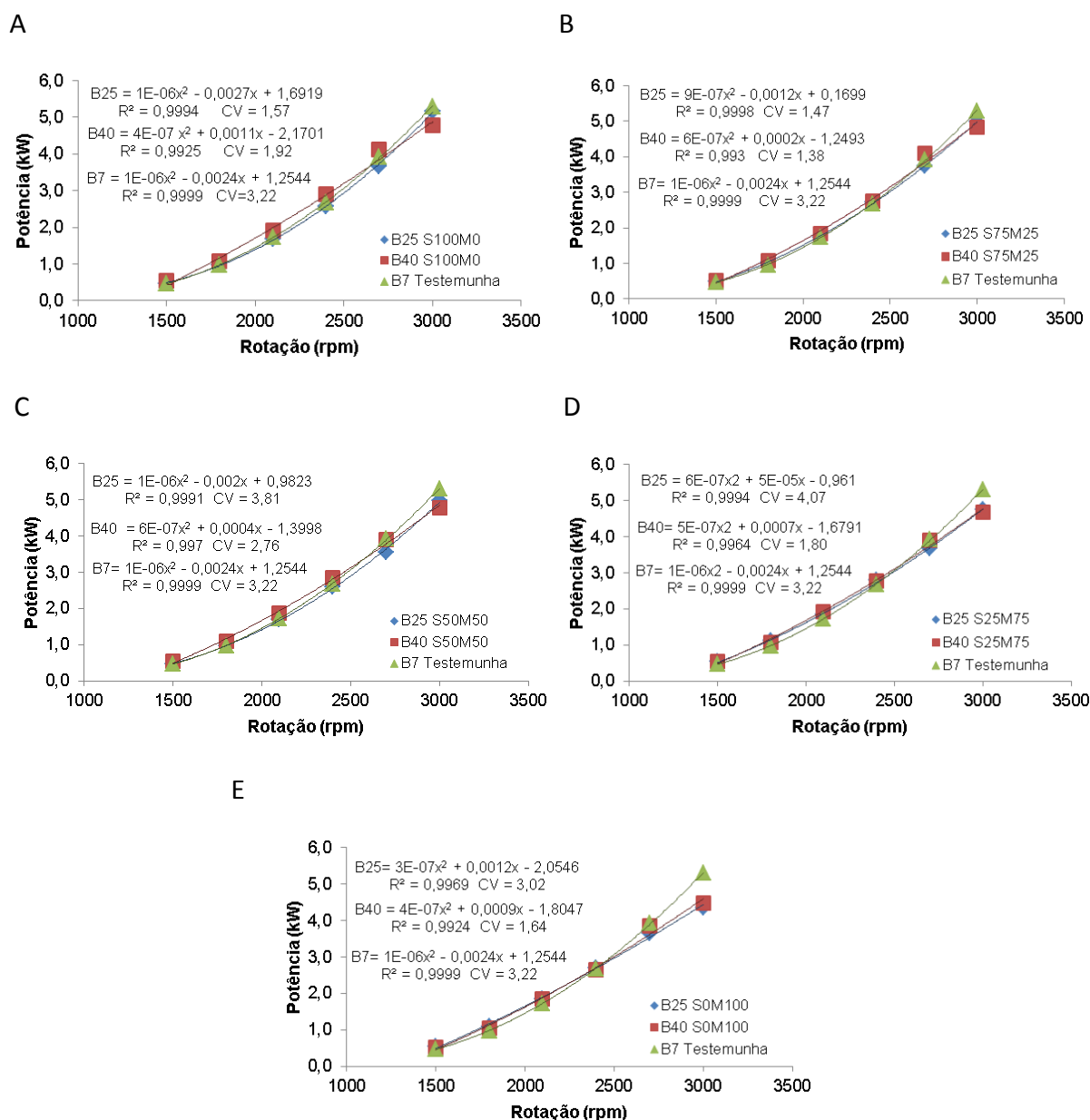


Figura 1. Curvas de potência efetiva observada em função da rotação das misturas B25 e B40 para a blenda: (A) S100M0; (B) S75M25; (C) S50M50; (D) S25M75 e (E) S0M100 em comparação com o diesel B7 Testemunha.

A potência efetiva observada aumenta conforme o aumento da rotação, atingindo valor máximo na rotação máxima imposta, correspondente a 3000 rpm, independente da blenda ou mistura analisada (Figura 1).

Para a rotação máxima (3000 rpm), o motor apresentou maior potência efetiva observada com o uso do B7 (diesel), seguido pelo uso do B25 com 100% de

biodiesel de soja (S100M0), que apresentou 2,5% de redução em relação ao diesel (Tabela 2). Houve reduções nos valores de potência máxima, com o uso de maiores proporções de biodiesel adicionado ao diesel comercial, o que, de acordo com Nietiedt et al. (2011), pode estar relacionado ao menor poder calorífico do biodiesel.

O aumento da concentração de biodiesel de mamona nas blendas promoveu redução da potência máxima usando as misturas B25 e B40 em comparação com B7 (Figura 1), de modo que esses pontos se encontram mais afastados do diesel comercial (B7) utilizando as blendas S25M75 (Figura 1D) e S0M100 (Figura 1E).

Segundo Nietiedt et al. (2011), o distanciamento das curvas, a partir de certas faixas de rotação, pode estar relacionado à atomização ineficiente do combustível, devido à maior viscosidade do biodiesel. Nesse caso, apesar de todas as blendas e misturas estudadas apresentarem viscosidade e estabilidade oxidativa (Tabela 1) dentro dos limites estabelecidos pela ANP, o aumento da concentração de biodiesel de mamona na blenda e na mistura aumenta consideravelmente a viscosidade.

Além disso, segundo Santos e Silva (2013), o biodiesel de mamona é o que apresenta menor poder calorífico comparado ao biodiesel de soja e ao diesel, sendo este último o que apresenta maior conteúdo energético. A redução do poder energético está relacionada à presença de oxigênio na molécula do combustível, sendo esta uma característica do biodiesel (ISCAN; AYDIN, 2012), que varia conforme a matéria-prima utilizada em sua produção (BOLDAJI et al., 2011).

Nas rotações entre 3000 e 1500 rpm, observa-se que, com as misturas B40 (40% de biodiesel), o motor apresentou potência superior ou igual àquela obtida com as misturas B25 (25% de biodiesel), utilizando a mesma blenda. Além disso, percebe-se que todas as misturas com blendas de biodiesel de soja e mamona, independente da concentração, apresentam bom desempenho de potência em relação ao diesel, na faixa de 2400 a 1500 rpm, sendo as potências das misturas/blendas, na rotação mais baixa (1500 rpm), iguais entre si e em relação ao diesel B7 (Tabela 2).

Tabela 2. Média da potência efetiva observada para as misturas/blendas em função da rotação, média geral da potência efetiva observada em função dos tipos/proporções de biodiesel e síntese da análise de variância.

Potência efetiva observada (kW)

Mistura /Blendas	Rotação (rpm)						Média geral
	3000	2700	2400	2100	1800	1500	
B25 S100M0	5,17 b	3,70 de	2,58 f	1,68 c	0,97 bc	0,47 a	2,42 de
B40 S100M0	4,77 de	4,12 a	2,90 a	1,93 a	1,07 abc	0,54 a	2,55 a
B25 S75M25	4,98 c	3,74 cd	2,72 cd	1,74 bc	1,04 abc	0,48 a	2,45 cd
B40 S75M25	4,84 d	4,10 a	2,76 bcd	1,85 ab	1,07 abc	0,51 a	2,52 ab
B25 S50M50	4,98 c	3,55 e	2,59 ef	1,68 c	0,98 bc	0,46 a	2,37 f
B40 S50M50	4,72 de	3,91 b	2,85 ab	1,86 a	1,09 ab	0,55 a	2,50 bc
B25 S25M75	4,76 de	3,68 d	2,80 abc	1,84 ab	1,11 a	0,53 a	2,45 cd
B40 S25M75	4,69 e	3,91 b	2,76 bcd	1,93 a	1,08 abc	0,54 a	2,49 bc
B25 S0M100	4,36 f	3,66 de	2,71 cde	1,84 ab	1,10 a	0,54 a	2,37 f
B40 S0M100	4,48 f	3,86 bc	2,65 def	1,84 ab	1,05 abc	0,52 a	2,40 ef
B7	5,30 a	3,92 b	2,68 def	1,73 bc	0,96 c	0,47 a	2,51 ab
Teste de F					F calculado		
Misturas/Blendas					33,6514 **		
Misturas/Blendas x Rotação					32,3850 **		
CV%					2,59		

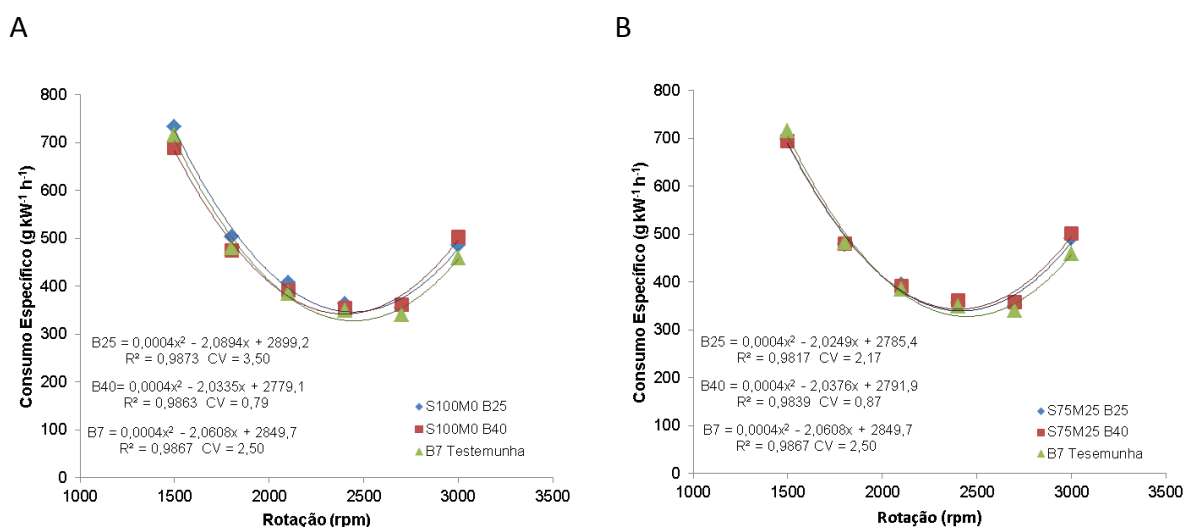
Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo Teste de Tukey. ns: não significativo ($P > 0,05$); *: significativo ($P \leq 0,05$); **: significativo ($P \leq 0,01$); CV: coeficiente de variação (%).

Segundo Ejim (2007), misturas binárias com maiores proporções de biodiesel ainda podem proporcionar características de atomização adequadas em motor diesel. Tal fator está associado ao aumento dos valores do número de cetano em misturas contendo maiores teores de biodiesel, o que acarreta melhoria da queima do combustível na câmara de combustão. Além disso, estudos mostram que o motor apresenta melhor eficiência térmica com uso de maiores proporções de biodiesel, o que contribui para aumentar o desempenho (BARBOSA, et al. 2008; FIORENSE, et al., 2012; MONTEIRO, et al., 2013).

De uma forma geral, o melhor desempenho foi conquistado com o uso de misturas diesel/biodiesel com 40% de biodiesel (B40), em relação às misturas com 25% (B25) da mesma blenda (Tabela 2). Percebe-se, também, que o aumento da concentração de biodiesel de mamona nas blends reduz a média geral da potência (Tabela 2).

A maior potência geral (Tabela 2) foi desenvolvida com o uso das misturas B40 contendo 100% de biodiesel de soja (S100M0), e aquela contendo 75% de biodiesel soja e 25% de biodiesel de mamona (S75M25), com potência equivalente ao resultado conseguido com o B7 (diesel comercial). O bom resultado médio de B40 S100M0 e B40 S75M25 está atrelado a maior potência desenvolvida por estas misturas/blendas nas rotações abaixo da máxima, com melhor desempenho nessas condições em relação ao diesel comercial.

No tocante ao consumo específico do motor, o maior valor ocorreu na rotação de 1500 rpm, independente da mistura/blenda (Figura 2), de modo que o aumento da rotação reduz o consumo específico até atingir seu valor mínimo na velocidade de 2700 rpm. A partir desse ponto, o aumento da rotação promove aumento no consumo.



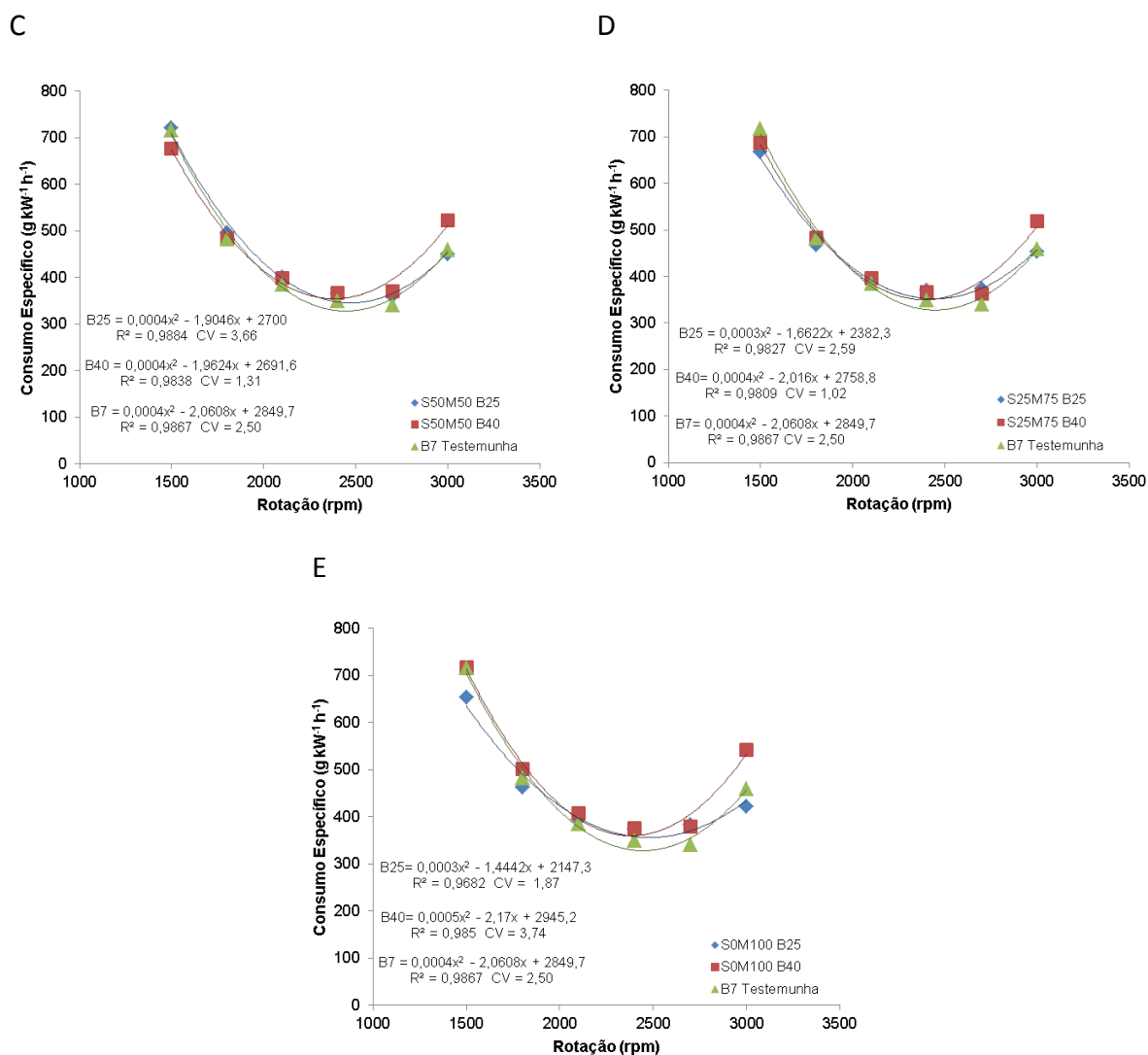


Figura 2. Curvas de consumo específico em função da rotação das misturas B25 e B40 para a blenda: (A) S100M0; (B) S75M25; (C) S50M50; (D) S25M75 e (E) S0M100 em comparação com o diesel B7 Testemunha.

Na rotação máxima, onde o motor desenvolve maior potência, observa-se maior consumo específico para misturas com 40% de biodiesel (B40). Esse parâmetro aumenta para blendas com maior concentração de biodiesel de mamona (S0M100) (Tabela 3). Em contra partida, o aumento de biodiesel de mamona em misturas com 25% de biodiesel (B25) reduz o consumo específico do motor na rotação de 3000 rpm, de modo que o menor valor encontrado nessa condição foi com o uso de B25 S0M100, em comparação também com o diesel comercial (Figura 2).

Tabela 3. Média do consumo específico para as misturas/blendas em função da rotação, média geral do consumo específico em função dos tipos/proporções de biodiesel e síntese da análise de variância.

Mistura / Blendas	Consumo (g kW ⁻¹ h ⁻¹)						Média geral
	Rotação (rpm)						
	3000	2700	2400	2100	1800	1500	
B25	485,36 c	353,78 cde	363,31 ab	407,55 a	504,15 a	733,86 a	474,67 b
S100M0							
B40	503,23 bc	361,45 bcd	354,76 ab	391,91 ab	475,51 cde	689,08 de	462,66 cd
S100M0							
B25	490,64 c	349,44 de	355,56 ab	395,07 ab	477,70 cde	697,73 bcd	461,02 cde
S75M25							
B40	501,63 bc	357,78 cde	361,53 ab	391,10 ab	480,22 bcde	695,36 cde	464,61 c
S75M25							
B25	450,51 d	360,19 bcde	364,84 ab	401,33 ab	495,49 abc	721,81 a	465,70 c
S50M50							
B40	522,05 ab	370,45 abcd	367,47 ab	398,00 ab	483,65 abcd	676,37 ef	469,67 bc
S50M50							
B25	452,63 d	374,34 abc	369,29 ab	391,86 ab	467,79 de	667,78 fg	453,93 ef
S25M75							
B40	517,90 b	362,53 abcd	366,81 ab	395,98 ab	483,67 abcd	686,78 def	468,95 bc
S25M75							
B25	422,05 e	383,38 a	373,85 a	392,48 ab	461,73 e	653,45 g	447,82 f
S0M100							
B40	542,68 a	379,77 ab	375,31 a	406,90 a	500,82 ab	718,13 ab	487,27 a
S0M100							
B7	458,87 d	339,99 e	349,11 b	383,99 b	481,14 bcde	716,22 abc	454,89 def
Teste de F		F calculado					
Misturas/Blendas		32,41 **					
Misturas/Blendas x Rotação		15,73 **					
CV (%)		2,45					

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo Teste de Tukey. ns: não significativo ($P > 0,05$); *: significativo ($P \leq 0,05$); **: significativo ($P \leq 0,01$); CV: coeficiente de variação (%).

O menor consumo específico (Tabela 3) se deu com o uso de B7, B25 (S100M0, S75M25 e S50M50) e B40 (S75M25) na rotação de 2700 rpm. Adicionalmente, as misturas/blendas B25 S0M100 e B25 S25M75 apresentaram

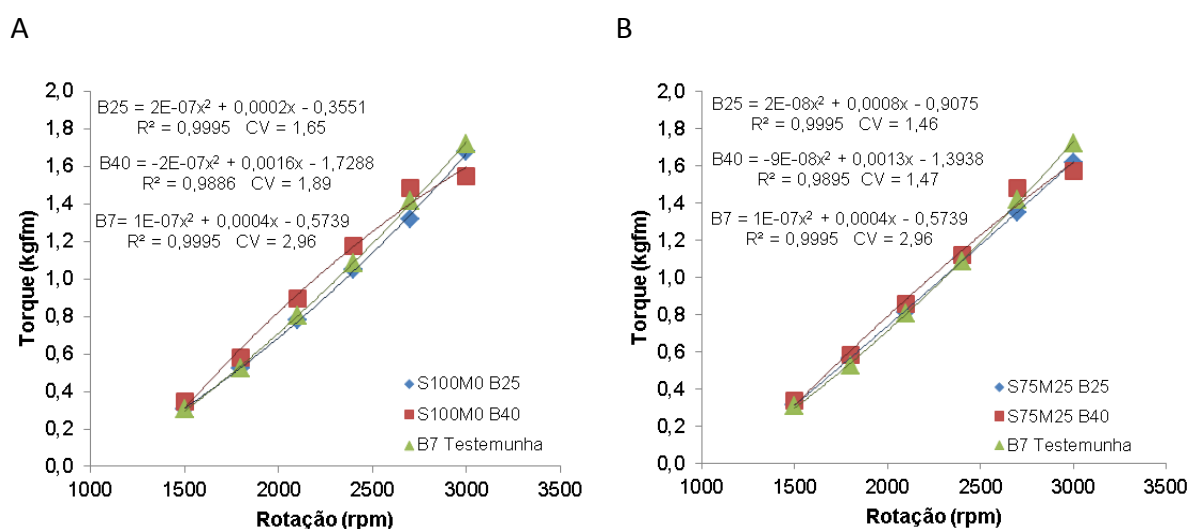
menor consumo na maioria das rotações, o que contribuiu para um menor consumo médio, igualando-se ao obtido com o diesel comercial (B7) (Tabela 3).

O torque atingiu melhores resultados em 3000 rpm (Figura 3). Nessa rotação, o diesel comercial (B7) e a mistura B25, contendo a blenda S100M0, apresentaram maior torque, verificando-se redução com o aumento de biodiesel de mamona nas misturas (Tabela 4).

Segundo Monteiro et al. (2013), a densidade e o elevado módulo de compressibilidade do combustível proveniente da mamona podem comprometer o funcionamento do sistema de injeção e com isso reduzir o torque em relação ao desenvolvido com o diesel e demais misturas/blendas na rotação de 3000 rpm. Para o torque máximo ser atingido em mais altas rotações é necessária uma maior eficiência na qualidade de ignição, que está relacionada ao maior número de cetano (FIORESE et al., 2012). Outros fatores, no entanto podem influenciar no desempenho como o poder calorífico e a viscosidade.

Comparado ao diesel fóssil, o biodiesel apresenta maiores valores no número de cetano (LÔBO; FERREIRA; CRUZ, 2009), sendo maior para o de soja que para o de mamona. No entanto, o óleo diesel apresenta maior poder calorífico, seguido pelo biodiesel de soja e pelo biodiesel de mamona, em ordem decrescente. (SANTOS; SILVA, 2013).

Desse modo, a eficiência térmica e o número de cetano compensaram o menor poder calorífico e maior viscosidade do B25 S100M0 em relação ao diesel, mantendo o torque da mistura/blenda semelhante ao do B7, na rotação máxima.



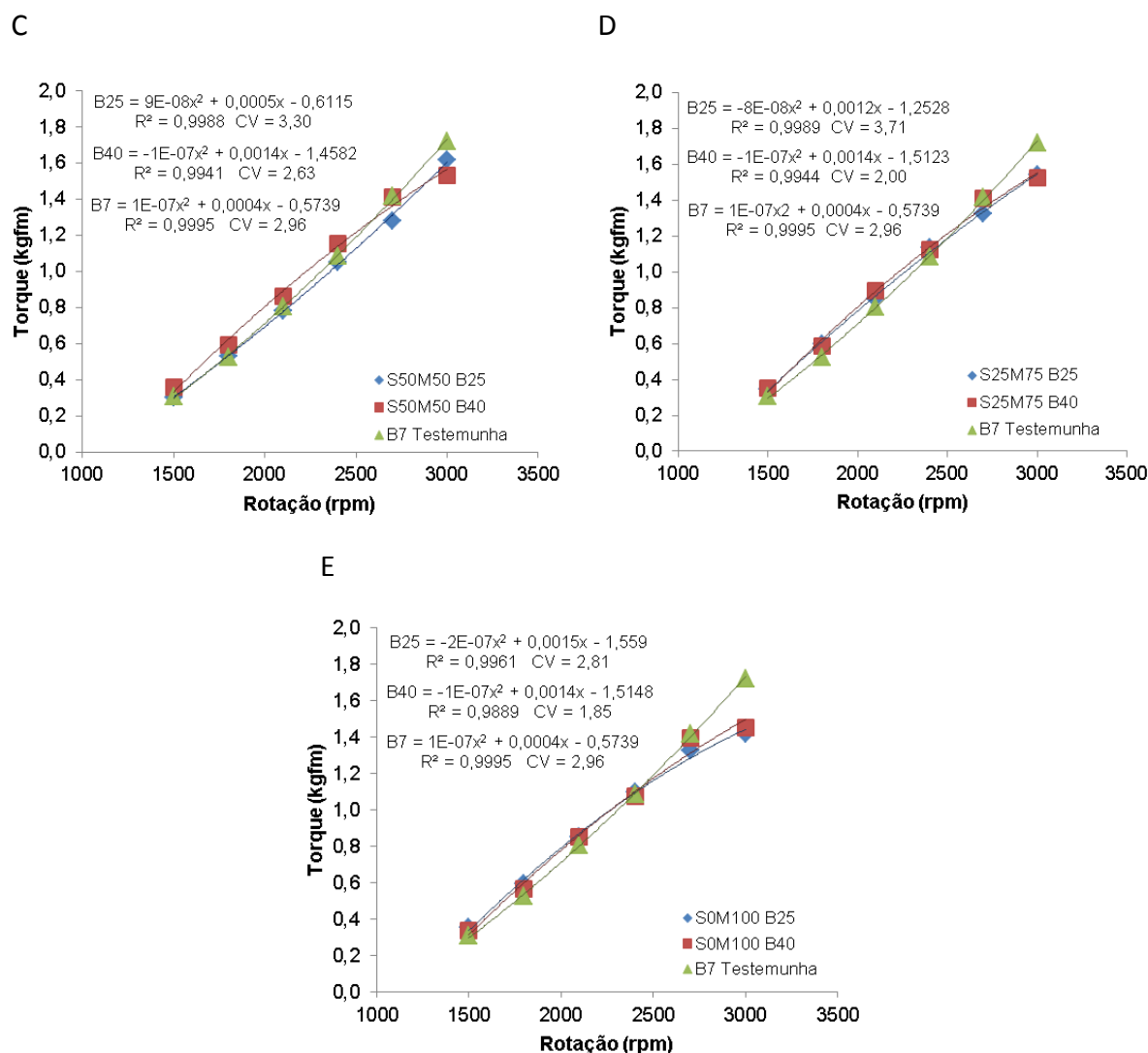


Figura 3. Curvas de torque em função da rotação das misturas B25 e B40 para a blenda: (A) S100M0; (B) S75M25; (C) S50M50; (D) S25M75 e (E) S0M100 em comparação com o diesel B7 Testemunha.

Nas demais rotações, para as blendas em análise, o B40 tende a apresentar resultado de torque superior ou igual ao desenvolvido com o B25 da mesma blenda, resultando, de um modo geral, em um melhor desempenho do B40, como pode ser visto na Tabela 4.

Observa-se, conforme exposto na Tabela 4, que em termos gerais o maior torque foi obtido com o uso de B40 S100M0 e de B40 S75M25, apresentando torque 3% maior em relação aquele desenvolvido pelo motor com o uso do diesel comercial (B7). Isso porque essas misturas/blendas tem melhor desempenho nas demais rotações o que é levado em consideração para o resultado geral. Pode-se destacar

também que, essas misturas/blendas apresentam maior potência efetiva observada e torque na rotação de 2700 rpm, além de baixo consumo específico.

Tabela 4. Média do torque para as misturas/blendas em função da rotação, média geral do torque em função dos tipos/proporções de biodiesel e síntese da análise de variância.

Mistura /Blendas	Torque (kgfm)						Média geral
	Rotação (rpm)						
	3000	2700	2400	2100	1800	1500	
B25 S100M0	1,68 a	1,32 de	1,05 f	0,78 d	0,53 bc	0,31 bcd	0,94 efg
B40 S100M0	1,55 cd	1,48 a	1,18 a	0,89 ab	0,58 a	0,35 ab	1,00 a
B25 S75M25	1,62 b	1,35 cd	1,10 cde	0,80 cd	0,56 abc	0,32 abcd	0,96 de
B40 S75M25	1,57 c	1,48 a	1,12 bcd	0,85 ab	0,58 a	0,33 abcd	0,99 ab
B25 S50M50	1,61 b	1,28 e	1,05 f	0,78 d	0,53 bc	0,30 d	0,93 g
B40 S50M50	1,53 cd	1,41 b	1,16 ab	0,86 ab	0,59 a	0,36 a	0,98 b
B25 S25M75	1,54 cd	1,33 d	1,14 abc	0,85 bc	0,60 a	0,34 abc	0,97 cd
B40 S25M75	1,52 d	1,41 b	1,12 bcd	0,90 a	0,58 a	0,35 ab	0,98 bc
B25 S0M100	1,42 e	1,32 de	1,10 cde	0,85 ab	0,59 a	0,35 ab	0,94 fg
B40 S0M100	1,45 e	1,39 bc	1,07 ef	0,85 bc	0,57 ab	0,33 abcd	0,95 ef
B7	1,72 a	1,42 b	1,09 def	0,80 d	0,52 c	0,30 cd	0,97 bcd
Teste de F		F calculado					
Misturas/Blendas		38,61 **					
Misturas/Blendas x Rotação		29,04 **					
CV%		2,44					

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo Teste de Tukey. ns: não significativo ($P > 0,05$); *: significativo ($P \leq 0,05$); **: significativo ($P \leq 0,01$); CV: coeficiente de variação (%).

Fator que também justifica os efeitos de melhoria na eficiência do motor operando com maiores proporções de biodiesel, provém da redução do atrito das partes móveis e estáticas do motor, devido à ação de lubrificação que o biodiesel detém, quando comparado com óleo diesel (FIORESE et al., 2012).

Foram identificados trabalhos com biodiesel de mamona usando misturas contendo 10 e 20% de biodiesel em mistura ao diesel, os quais apresentaram viabilidade, tanto para geração de trabalho elétrico, quanto para mobilidade (MONTEIRO et al., 2013), pois com o uso desses combustíveis os motores tiveram desempenho similar ou superior ao obtido com o diesel. Já no presente estudo, cujas concentrações de biodiesel de mamona na mistura são superiores àquelas estudadas por Monteiro, as misturas B25 e B40 de mamona (SOM100) apresentaram resultados gerais de potência e torque similares, no entanto inferiores ao obtido com diesel (B7).

Segundo Miranda, Oliveira e Nunes (2000), a identificação da condição de operação mais favorável e o combustível que promove melhor condição de trabalho em relação ao consumo, potência e torque dos motores são fundamentais para garantir processos mais econômicos e maior tempo de vida útil das máquinas. Conforme os autores, a utilização de tratores agrícolas em altas rotações, na faixa de potência máxima do motor, promove elevação do custo operacional, aumento do consumo de combustível e rápido desgaste do trator.

Nesse sentido, foi possível identificar, neste trabalho, a variação no desempenho do motor conforme o regime de operação, sendo identificado que a rotação de 2700 rpm é a que contribuiu para menor consumo específico, e as misturas/blendas B40 S100M0 e B40 S75M25 as que apresentam melhor desempenho em termos de potência efetiva observada e torque, nesta rotação. De modo que é possível ressaltar que estes combustíveis, neste regime de funcionamento, são os mais indicados para operação do trator.

Além disso, em termos gerais essas misturas blendas (B40 S100M0 e B40 S75M25) se destacaram, com potência média, equivalente ao diesel; maior torque médio, comparado ao diesel; e consumo específico médio equivalente ao do diesel, o que as tornam bastante indicadas quando se considera o desempenho médio total.

Vale ressaltar ainda, que as operações agrícolas em tratores dotados de motor do ciclo diesel são, geralmente, conduzidas em rotações mais baixas, em uma faixa de trabalho entre 1200 e 2100 rpm (FIORESE, et al., 2012), que a máxima rotação avaliada nesse estudo (3000 rpm). Nesse sentido, foi verificado, por Silveira et al. (2013), ao utilizar um conjunto trator semeadora-adubadora em sistema de plantio direto na faixa de 1500 a 2100 rpm, que a rotação de 1500 rpm proporciona redução de consumo horário em relação à máxima rotação e recomendou a preocupação dos

tratoristas com relação ao consumo de combustível, tendo em vista que este é influenciado pela rotação e velocidade empregadas nas operações agrícolas.

Sendo assim, levando em consideração a faixa de rotação de trabalho dos tratores agrícolas, a condição de operação (rotação) destacada por Silveira et al. (2013) e os resultados encontrados nesse trabalho, é possível identificar que para as misturas/blendas não há diferença de potência efetiva média observada na rotação de 1500 rpm, quando comparada ao diesel B7, além do melhor desempenho quanto ao torque e ao consumo específico em relação ao diesel, sendo promissor o uso de misturas de até 40% de diesel com blendas de biodiesel de soja e mamona.

Conclusão

O comportamento das curvas para todas as blendas de biodiesel de soja e de mamona e diesel comercial (B7) é similar, com maior potência efetiva observada e torque na rotação máxima de 3000 rpm e consumo mínimo na rotação de 2700 rpm.

Na rotação onde se verifica menor consumo específico (2700 rpm) para todos os combustíveis testados, o B40 S100M0 e o B40 S75M25 proporcionam melhor desempenho em termos de potência efetiva observada e torque, de modo que foram identificadas essa rotação e misturas/blendas como o regime de operação e combustíveis para obtenção de melhor desempenho. Adicionalmente, essas misturas são as que contribuem para melhor desempenho médio de torque e potência efetiva considerando todas as rotações avaliadas.

Ressalta-se ainda, que a maior potência efetiva máxima (3000 rpm) foi obtida com o uso do diesel B7. Contudo, nas rotações inferiores, cujos valores se encontram dentro da faixa de rotação de trabalho dos tratores agrícolas, é possível identificar bom desempenho das misturas/blendas, que assim como o diesel B7, apresentam mesma potência efetiva observada na rotação de 1500 rpm, além de melhor desempenho de torque e consumo em relação ao diesel B7.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 14448. Produtos de petróleo — Líquidos transparentes e opacos — Determinação da viscosidade cinemática e cálculo da viscosidade dinâmica*, 2014.

BALLESTEROS, R.; GUILLÉN-FLORES, J.; MARTÍNEZ, J.D. Carbonyl emission and toxicity profile of diesel blends with an animal-fat biodiesel and a tire pyrolysis liquid fuel. *Chemosphere*, v. 96, p. 155-166, 2014.

BARBOSA, R. L.; SILVA, F. M. da; SALVADOR, N.; VOLPATO, E. S. V. Desempenho comparativo de um motor de ciclo diesel utilizando diesel e misturas de biodiesel. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.32, n. 5, p. 1588-1593, 2008.

BERMAN, P.; NIZRI, S.; WIESMAN, Z.; Castor oil biodiesel and its blends as alternative fuel. *Biomass Bioenergy*, v. 35, p. 2861-2866, 2011.

BOLDAJI, M.T.; EBRAHIMZADEH, R.; KHEIRALIPOUR, K.; BORGHEI, A.M. Effect of some BED blends on the equivalence ratio, exhaust oxygen fraction and water and oil temperature of a diesel engine. *Biomass and Bioenergy*, v. 35, p. 4099-4106, 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Uso de biodiesel no Brasil e no mundo*. Brasília: MAPA/ACE, 2015.

BUYUKKAYA, E. Effects of biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics. *Fuel*, v. 89, p. 3099-3105, 2010.

CARVALHO, A. L.; SANTANA, S. M. F.; SILVA, S. C.; PEPE, I. M.; BEZERRA, M. A.; ARAGÃO, L. M.; QUINTELLA, C. M.; TEIXEIRA, L. S. G. Evaluation of the Oxidative Stability of Biodiesel Blends from Soybean, Tallow and Castor Bean using Experimental Mixture Design. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 24, n. 8, p. 1373-1379, 2013.

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

CHAUHAN, B.S.; KUMAR, N.; CHO, H.M.; LIM, H.C. A study on the performance and emission of a diesel engine fueled with Karanja biodiesel and its blends. *Energy*, v. 56, p. 1-7, 2013.

EJIM, C.E. Analytical study for atomization of biodiesel and their blends in atypical injector: surface tension and viscosity effects. *Fuel*, v. 86, p.1534-1544, 2007.

EUROPEAN STANDARD. *CSN EN 14112. Fat and oil derivatives - Fatty Acid Methyl Esters (FAME) - Determination of oxidation stability (accelerated oxidation test)*, 2014.

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

ISCAN B.; AYDIN H. Improving the usability of vegetable oil as fuel in a low heat rejection diesel engine. *Fuel Processing Technology*, v. 98, p.59-64, 2012.

JAIN, S.; SHARMA, M. P.; Optimization of long-term storage stability of *Jatropha curcas* biodiesel using antioxidants by means of response surface methodology. *Biomass Bioenergy*, v. 35, n. 9, p. 4008-4014, 2011.

KOHLHEPP, G. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. *Estudos Avançados*, v. 24, p. 223-253, 2010.

KOSOW, I. L. *Máquinas elétricas e transformadores*. 4ª edição. Rio de Janeiro: Globo, 1982.

LÔBO, I. P.; FERREIRA, S. L. C.; CRUZ, R. S. da. Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. *Química Nova*, v. 32, n. 6, p. 1596-1608, 2009.

NIETIEDT, G. H.; SCHLOSSER, J. F.; RIBAS, R. L.; FRANTZ, U. G.; RUSSINI, A. Desempenho de motor de injeção direta sob misturas de biodiesel metílico de soja. *Ciência Rural*, v.41, n.7, P. 1177-1182, 2011.

MCCORMICK, R. L.; WESTBROOK, S. R. Storage Stability of Biodiesel and Biodiesel Blends. *Energy Fuels*, v. 24, p. 690-698, 2010.

MIALHE, L. G. *Máquinas motoras na agricultura*. São Paulo: EDUSP, v.1, 1980, 367p.

MIALHE, L. G. *Máquinas agrícolas: ensaios & certificação*. Piracicaba: FEALQ, 1996. 722p.

MIRANDA, N. de O.; OLIVEIRA, M. de; NUNES, R. L. Máquinas agrícolas: Desempenho operacional de trator com tração dianteira auxiliar na subsolagem de um inceptisol. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.4, n.1, p.97-102, 2000.

MONTEIRO, L. DE A.; JUNIOR, P. G.; VELÁSQUEZ, J. A.; ROCHA, D. S.; BUENO, A. V. Performance impact of the application of castor oil biodiesel in diesel engines. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.33, n.6, p.1165-1171, 2013.

PERIN, G. F.; SCHLOSSER, J. F.; FARIAS, M. S. de; ESTRADA, J. S.; TREICHEL, H.; GALON, L. Emissões de motor agrícola com o uso de diferentes tipos de diesel e concentrações de biodiesel na mistura combustível. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 50, n. 12, p. 1168-1176, dez. 2015.

RASHID, N.; REHMAN, M.S.U.; SADIQ, M.; MAHMOOD, T.; HAN, J.I. Current status, issues and developments in microalgae derived biodiesel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 40, p. 760-778, 2014.

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

SANTOS, J. da S.; SILVA, D. de M. Comparação da obtenção e ação de combustíveis: um estudo físico-químico para docentes. In: 11º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO QUÍMICA. Teresina: *Anais eletrônicos...*, Teresina: Associação Brasileira de Química, 2013. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/simpequi/2013/trabalhos/2172-15361.html>>. Acesso em: 20 de ago. 2016.

SELVAM, D.J.P., VADIVEL, K. An experimental investigation on performance, emission, and combustion characteristics of a diesel engine fueled with methyl esters of waste pork lard and diesel blends. *International Journal of Green Energy*, v. 10, p. 908-923, 2013.

SILVEIRA, J. C. M. DA; FERNANDES, H. C.; MODOLO, A. J.; SILVA, S. DE L.; TROGELLO, E. Demanda energética de uma semeadora-adubadora em diferentes velocidades de deslocamento e rotações do motor. *Revista Ciência Agronômica*, v. 44, n. 1, p. 44-52, 2013.

ZHOU, W.; CHEN, P.; MIN, M.; MA, X.; WANG, J.; GRIFFITH, R.; HUSSAIN, F.; PENG, P.; XIE, Q.; LI, Y.; SHI, J.; MENG, J.; RUAN, R. Environment-enhancing algal biofuel production using wastewater. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 36, p. 256-269, 2014.

6. CONCLUSÃO GERAL

Misturas contendo maior teor de biodiesel de mamona mostraram viabilidade quanto ao uso em questões relacionadas à menor emissão de poluentes. Foi verificado que tanto a emissão de material particulado, quanto à emissão de ruído, (em relação aos raios de afastamento) apresentaram menores valores para a mistura B40 S0M100, que para as demais misturas/blendas. De modo que o diesel B7 foi o combustível que emitiu maior quantidade de material particulado.

Encontrou-se viabilidade no uso de misturas de diesel com blendas de biodiesel de soja e mamona quanto à emissão de ruído, tendo em vista que as médias das misturas/blendas não diferiram entre si, considerando todos os dados de ruído independente do raio de afastamento, da posição e da rotação, apresentado resultados similares àquele obtido com o diesel comercial (B7).

Com relação ao desempenho mecânico do motor, o diesel B7 apresenta a maior potência efetiva observada e torque na rotação máxima, mas as demais misturas/blendas de biodiesel de soja e de mamona apresentam potência superior a do diesel B7 nas demais rotações analisadas, promovendo resultados satisfatórios de desempenho médio para o B40 S100M0 e o B40 S75M25, com potência efetiva observada média e consumo específico médio equivalente ao diesel B7, bem como maior torque médio.

Pode-se destacar ainda, que na rotação onde se observou menor consumo específico (2700 rpm), o B40 S100M0 e o B40 S75M25 apresentam melhor desempenho em termos de potência efetiva observada e torque, sendo esta a condição de operação do motor mais indicada, e essas misturas/blendas as que promoveram melhor desempenho.

Com isso, conclui-se que as misturas/blendas B40 S100M0 e a B40 S75M25 são as mais adequadas para utilização em motor do ciclo diesel, devido contribuírem com melhor desempenho do motor BD-10.0, utilizado neste estudo, em termos de potência, torque e consumo, na rotação de 2700 rpm, emitirem menor quantidade de material particulado, em relação ao diesel comercial (B7), além de não apresentarem prejuízos ao operador com relação à emissão de ruído, sendo esta última equivalente aquela resultante da utilização do diesel B7.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALLA, A. L.; SILVA FILHO, J. C.; GODOY, A. R.; CARMO, C. de A.; EDUARDO, J. L. de P.; Utilização de subprodutos da indústria de biodiesel na alimentação de ruminantes. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 37, número especial, p. 260-258, 2008.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2014). *Boletim mensal do biodiesel, Setembro, 2014*. Rio de Janeiro: ANP. Disponível em: www.anp.gov.br. Acesso em: 10 dez. 2014.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. *Boletim mensal do biodiesel- março 2015*. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/?pg=74914>. Acesso em: 02 abr. 2015.

ARREDONDO, H. I. V. *Avaliação exergética e exergo-ambiental da produção de biocombustíveis*. São Paulo, 2009. 235 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Escola Politécnica, USP, 2009.

AZEVEDO, A. M. M. de. *Análise top-down e bottom-up de um programa de inovação tecnológica na área de energia: o Programa Nacional de Produção e uso de Biodiesel (PNPB)*. 2010. 331 f. Tese (Doutorado em Política Científica e Tecnológica). Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

BARBOSA, R. L.; SILVA, F. M.; SALVADOR, N.; VOLPATO, C. E. S. Desempenho comparativo de um motor de ciclo diesel utilizando diesel e misturas de biodiesel. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1588-1593, 2008.

BELICH, F. *Análise do potencial brasileiro na produção de biodiesel*. I Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel: artigos técnico-científicos. Brasília, 31 de agosto a 1 de setembro de 2006. Brasília, DF: MCT/ABIPTI, 2006. v. 1, p 24-29, 2006.

BELINATO, G. *Estudo da oxidação de óleo de soja e dendê aditivados com antioxidantes para uso em tratamentos térmicos de têmpera*. 119f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia dos Materiais). Universidade de São Paulo, São Carlos/SP. 2009.

BELLO, E. I.; MOGAJI, T.; AGGE, MAKANJU; The effects of transesterification on selected fuel properties of three vegetable oils. *Journal of Mechanical Engineering Research*. v. 3, n. 7, p. 218-225, 2011.

BELTRÃO, N. E. M. *Agronegócio das oleaginosas no Brasil*. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 26, n. 229, p. 14-17, 2005.

BRANDÃO, K. S. R.; SILVA, F.C.; LOUZEIRO, H. C.; SOUZA, A. G.; CONCEIÇÃO, M. M.; MOURA, K. R. M. *Otimização do processo de produção de biodiesel metílico e etílico de babaçu*. Biodiesel: O Novo Combustível do Brasil, p. 135-140, 2006.

CÂMARA, G. M. S. *Biodiesel Brasil - estado atual da arte*. 2006. 26 p. Disponível em: <http://www.cib.org.br/pdf/biodiesel_brasil.pdf>. Acesso em: 18 mar.2015.

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

CASTRO, A.M.G, LIMA, S.M.V., SILVA, J.F.V. *Complexo agroindustrial de biodiesel no brasil: competitividade das cadeias produtivas de matérias-primas*, 1 ed., Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2010.

CONCEIÇÃO, M. M.; CANDEIA, R. A.; SILVA, F. C.; BEZERRA, A. F.; FERNANDES, J.; SOUZA, A. G.; Thermochemical Characterization of Castor Oil Biodiesel. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, v. 11, n. 5, p. 964-975, 2007.

CARRARETTO, C., MACOR, A., MIRANDOLA, A., Stoppato, A. Tonon, S.. Biodiesel as alternative fuel: Experimental analysis and energetic evaluations. *Energy*, v. 29, p. 2195-2211, 2004.

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

DIESEL *Combustível*. Biodieselbr.com, 14 ago. 2007. Disponível em: <http://www.biodieselbr.com/biodiesel/diesel/diesel-combustivel.htm>. Acesso em: 31 mar. 2015.

ENCIMAR, J. M.; GONZÁLEZ, J. F.; RODRÍGUEZ, J. J.; TEJEDOR, A. Biodiesel Fuels from Vegetable Oils: Transesterification of *Cynara cardunculus* L. Oils with Ethanol. *Energy Fuel*. v.16, p. 443-450, 2002.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). *Balanço Energético Nacional*. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, RJ, 2011.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). *Balanço Energético 2014: Relatório Síntese 2013*. Rio de Janeiro, RJ, 2014.

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

FERREIRA, W. J.; BATISTA, G. T.; CASTRO, C. M. de; DEVIDE, A. C. P. Biodiesel de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) em países emergentes: alternativa para o desenvolvimento regional *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, v. 9, n. 1, p. 3-16, 2013.

FERREIRA, S. L.; SANTOS, A. M. dos; SOUZA, G. R. de. Análise por cromatografia gasosa de btex nas emissões de motor de combustão interna alimentado com diesel e mistura diesel-biodiesel (B10). *Química Nova*, v. 31, n. 3, p. 539-545, 2008.

FETRANSPOR (Federação das Empresas de Transportes de Passageiros do Estado do Rio de Janeiro). *Biodiesel B20 – O Rio de Janeiro anda na frente*. Rio de Janeiro, RJ, 2011. Disponível em: <http://www.fetranspordocs.com.br/downloads/47BiodieselB20.pdf> . Acesso em 02 de abril de 2015.

GARCIA-MESA J. A., CASTRO, M. D L. de.; VARCARCEL, M. Factors Affecting the Gravimetric Determination of the Oxidative Stability of Oils. *Journal of the American Oil Chemists Society*. v. 70, p. 245-247, 1993.

GEHLING, R. *Alternativas à matriz energética brasileira: o caso do biodiesel*. 2007. 68 f. Monografia (Graduação em Ciências Econômicas). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

GOMES, L.F.S. et al. Biodiesel produzido com óleo de frango. *Acta Scientiarum Technology*, v. 30, n. 1, p. 57-62, 2008.

GUERRA, E. P.; FUCHS, W. Biocombustível renovável: uso de óleo vegetal em motores. *Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient.*, v. 8, n. 1, p. 103-112, 2010.

HAAS, M. J.; SCOTT, K. M.; ALLEMAN, T.L.; MCCORMICK, R.L. Engine performance of biodiesel fuel prepared from soybean soapstock a high quality renewable fuel produced from a waste feedstock. *Energy Fuels*, v. 15, n. 5, p. 1207-1212, 2001.

ICNA. *Mais biodiesel ao diesel é bem recebido por setor agrícola*, 2014. Disponível em: <http://www.icna.org.br/noticia/mais-biodiesel-ao-diesel-e-bem-recebido-por-setor-agricola>. Acesso em: 31 mar 2015.

KNOTHE, G. Some aspects of biodiesel oxidative stability. *Fuel Processing Technology*, v. 88, n. 7, 2007.

KNOTHE, G.; GERPEN, J. V.; KRAHL, J.; RAMOS, L.P., *Manual do Biodiesel*. Traduzido do original "The Biodiesel Handbook" por Luiz Pereira Ramos, São Paulo: Edgard Blucher, 2006.

KNOTHE, G.; STEIDLEY, K. R. Kinematic viscosity of biodiesel fuel components and related compounds. Influence of compound structure and comparison to petrodiesel fuel components. *Energy Fuels*, v. 84, p. 1059-1065, 2005.

KOHLHEPP, G. Análise da situação de produção da produção de etanol e biodiesel no Brasil. *Estudos Avançados*, p. 223-253, 2010.

LÔBO, I. P.; FERREIRA, S. L. C.; CRUZ, R. S. da. Biodiesel: Parâmetros de Qualidade e Métodos Analíticos. *Química Nova*, v. 32, n. 6, p. 1596-1608, 2009.

MAIA A. C. S.; TEIXEIRA J. C.; LIMA S. M.; FERREIRA C.V.; STRAGEVITCH L. *Estudo da Adição do Biodiesel de Mamona ao Óleo Diesel Mineral sobre a Massa Específica e Viscosidade Cinemática*. In: I Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia do Biodiesel, 2, 2006, Brasília. Anais eletrônicos... Brasília: ABIPTI, 2006. Disponível em: www.biodiesel.gov.br/docs/congresso2006/agricultura/balancoenergetico.pdf. Acesso em: 31 jun. 2015.

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

MELO, M. A. R. de. *Monitoramento da estabilidade oxidativa no armazenamento de biodiesel metílico de soja/mamona e misturas em recipientes de vidro*. 2009. 93f. Dissertação (Mestrado em Química), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009.

MONTEIRO L. de A.; PIANOVSKI JÚNIOR, G.; VELÁSQUEZ, J. A.; ROCHA, D. S. , BUENO, A. V. Performance Impact of the Application of Castor Oil Biodiesel in Diesel Engines. *Engenharia Agrícola.*, Jaboticabal, v. 33, n. 6, p. 1165-1171, 2013.

MONYEM, A.; Van GERPEN, J. H. The effect of biodiesel oxidation on engine performance and emissions. *Biomass and Bioenergy*, v. 20, n. 4, p. 317-325, 2001.

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

PARENTE, E.J. de S., 2003. *Biodiesel - Uma aventura tecnológica num país engraçado*. Fortaleza, CE. Disponível em: <http://www.xitizap.com/Livro-Biodiesel.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2015.

PINTO, Â. C.; GUARIEIRO, L. L. N.; REZENDE, M. J. C.; RIBEIRO, N. M.; TORRES, E. A.; LOPES, W. A.; PEREIRA, P. A. de P.; ANDRADE, J. B. de. Biodiesel: An Overview. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 16, n. 6B, p. 1313-1330, 2005.

RAMOS, L. P.; DOMINGOS, A. K.; KUCEK, K. T.; WILHELM, H. M. Biodiesel: um projeto de sustentabilidade econômica e sócio-ambiental para o Brasil. *Biotecnologia: Ciência e Desenvolvimento*, v. 31, p. 28-37, 2003.

REIS, E. F.; CUNHA, J. P. B.; MATEUS, D. L. S.; DEMOND, J. G.; COUTO, R. F. Desempenho e emissões de um motor-gerador ciclo diesel sob diferentes concentrações de biodiesel de soja. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n. 5, p. 565–571, 2013.

RINALDI, R.; GRACIA, C; MARCINIUK, L. L.; ROSSI, A. V.; SCHUCHARDT, U.; Síntese de biodiesel: uma proposta contextualizada de experimento para laboratório. *Química Nova*, v. 30, n. 5, p. 1374-1380, 2007.

RODRIGUES, F. V.; RONDINA, D.; Alternativas de uso de subprodutos da cadeia do biodiesel na alimentação de ruminantes: glicerina bruta. *Acta Veterinaria Brasilica*, v. 7, n. 2, p. 91-99, 2013.

SALLET, C. L.; ALVIM, A. M. Biocombustíveis: uma análise da evolução do biodiesel no Brasil. *Economia & Tecnologia*, v. 25, p. 13, 2011.

RUSCHEL, C. F. C.; HUANG, C. T.; SAMIOS, D.; FERRÃO, M. F. Análise exploratória aplicada a espectros de reflexão total atenuada no infravermelho com transformada de Fourier (ATR-FTIR) de blendas de biodiesel/diesel. *Química Nova*, v.37, n.5, 2014.

SANTOS V. M. L., SILVA J. A. B., STRAGEVITCH, L., LONGO, R. L. Thermochemistry of biodiesel oxidation reactions: A DFT study. *Fuel (Guildford)*, v. 90, p. 811 - 817, 2010.

SCHAFFEL, S.B.; LA ROVERE, E.L. The quest for eco-social efficiency in biofuels production in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, v. 18, p. 1663-1670, 2010.

SCHLOSSER, J.F.; CAMARGO, M.N.; MACHADO, P.R.M. Comportamento de um motor de ignição por compressão trabalhando com óleo diesel e gás natural. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.24, n.3, 2004.

SHARMA, Y.C.; SINGH, B. Development of Biodiesel: Current Scenario. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 13, p. 1646–1651, 2009.

SILVA, F. M.; LOPES, A.; CASTRO NETO, P.; DABDOUB, M. J.; SALVADOR, N.; FURLANI, C. E. A.; Desempenho de Motor Alimentado com Biodiesel Associado ao Biogás. *Revista Biodiesel: o novo combustível do Brasil*, p. 361-365, 2005.

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

SOUZA, E. C. de. *Estudo da Oxidação de Óleo de Soja com Diferentes Concentrações de Aditivos Anti-oxidantes, para Uso em Tratamentos Térmicos de Têmpera*. 2007. 160 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia dos Materiais) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

SOUZA, A. G.; SANTOS, J. C. O; CONCEIÇÃO, M. M; SILVA; M. C. D; PRASAD, S.A. Thermoanalytic and Kinetic Study of Sunflower Oil. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. v. 21, n. 2, p. 265-273, 2004.

SZULCZYK, K.R.; McCARL, B.A. Market penetration of biodiesel. *Renewable and Sustainable. Energy Reviews*, v.14, p. 2426–2433, 2010.

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

TEIXEIRA, C. V. *Análise de emissões e desempenho de motores diesel utilizando óleo diesel comercial, biodiesel de palma (B100) e misturas (Bx)*. 2010. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2010.

TRZECIAK, M. B.; NEVES, M. B. das; VINHOLES, P. da S.; VILLELA, F. A. *Utilização de sementes de espécies oleaginosas para produção de biodiesel*. *Informativo ABRATES*, v.18, n. 1,2,3 p. 30-38, 2008.

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

VENTURA, D. A. M. F; ALVES, K. B.; SANTOS, M. K. V. A. dos. *Análise comparativa entre o biodiesel de girassol e o biodiesel de mamona*. CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 4 & SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS ENERGÉTICAS, 1, 2010, João Pessoa. *Inclusão Social e Energia: Anais...* Campina grande: Embrapa Algodão. p. 7-12, 2010.

VILLELA, A. A. *O Dendê como Alternativa Energética Sustentável em Áreas Degradadas da Amazônia*. 160 f. 2009. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético)- Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro UFRJ, Rio de Janeiro, 2009.

VOLPATO, C. E. S.; CONDE, A. P.; BARBOSA, J. A.; SALVADOR, N. *Desempenho de motor diesel quatro tempos alimentado com biodiesel de óleo de soja (B100)*. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 33, n. 4, p. 1125-1130, 2009.

WEISS, E. A. *Oil seed crops*. London: Longman, p. 659, 1983

WILKINSON, J.; HERRERA, S. *Biofuels in Brazil: debates and impacts*, *The Journal of Peasant Studies*, v. 37, n. 4, p. 749-768, 2010.