



ISSN: 1696-8352 - BRASIL – JUNIO 2016

POTENCIALIDADES DO USO DE ÓLEOS *IN NATURA* COMO COMBUSTÍVEL EM MOTORES DIESEL: UMA REVISÃO TÉCNICA E ECONÔMICA

Carlo Alessandro Castellanelli

Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

castellanelli@bol.com.br

Márcio Castellanelli

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Carlo Alessandro Castellanelli y Márcio Castellanelli (2016): "Potencialidades do uso de óleos *in natura* como combustível em motores diesel: uma revisão técnica e econômica", Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana, Brasil, (junio 2016). En línea: <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/br/16/diesel.html>

Resumo: A energia consumida no mundo é proveniente, principalmente, do petróleo, do carvão e do gás natural. No cenário atual despontam estudos que visam caracterizar as mais diversas oleaginosas como fontes potenciais para a produção de biocombustíveis. Análises sobre a potencialidade de utilização de óleos *in natura* são conduzidas em vários países e inclusive no Brasil. Resultados apontam um cenário promissor, tanto nas questões técnicas em substituição ao petrodiesel, quanto em ganhos ambientais e econômicos.

Palavras-chave: Biodiesel; Viabilidade Técnica; Viabilidade Econômica.

INTRODUÇÃO

A necessidade de substituição dos combustíveis derivados de petróleo sempre foi impulsionada pela busca de alternativas preferencialmente renováveis, oriundas da biomassa, tanto para os óleos combustíveis como para a gasolina. A procura de alternativas apoia-se nas oscilações de preço e oferta de petróleo e também nas previsões de sua escassez.

O Brasil não constitui exceção na busca de fontes alternativas de energia, e pelo fato de possuímos enorme gama de matérias-primas para produção de biodiesel, devemos ter estudos gerando parâmetros de utilização do biodiesel em motores a ignição por compressão. Mesmo outros países em outras condições climáticas menos favoráveis, senão adversas, já apresentam a disponibilidade de combustíveis alternativos para motores diesel.

É importante lembrar, também, dos efeitos do racionamento de energia elétrica que o Brasil foi submetido, desde junho de 2001 até meados de 2002. Esse racionamento de energia elétrica trouxe à tona, novamente, a necessidade de se pesquisarem fontes energéticas que, além de atuarem como alternativas aos combustíveis fósseis e à energia nuclear, sejam menos poluentes e renováveis.

Ainda, o fato de poderem ser oferecidas de forma descentralizada e com elevado grau de autonomia, as alternativas oriundas da biomassa surgem como excelente opção de energéticos para regiões afastadas ou de difícil acesso, como é o caso de certas regiões do norte do país. Certamente, se o produtor rural tiver condições de produzir combustível suficiente para atendimento de suas necessidades de energia em algumas operações da produção agrícola, senão todas, sem dependência das instabilidades no oriente médio e da variação dos preços do petróleo no mercado internacional, teremos o cenário imaginado por aqueles que buscam uma forma mais racionalizada de produção e de transporte de alimentos.

Sem dúvidas, a utilização de fontes alternativas de energia não provoca a degradação do meio ambiente nos níveis dos derivados de petróleo e suas emissões residuais tóxicas. Segundo PIMENTEL & BELCHIOR (2002), as emissões de CO, CO₂ e HC com o motor operando com óleo de dendê foram menores que com diesel. Esse fato não era esperado, devido a menor razão ar/combustível do dendê, já que o consumo de combustível com o motor operando com dendê foi maior. Uma possível explicação pela menor emissão de CO seria a presença do oxigênio na molécula de combustível.

Este trabalho tem como objetivo final demonstrar através de uma revisão bibliográfica a utilização de novas alternativas que possam conduzir à minimização da dependência de empresas de médio e grande porte dos derivados de petróleo, a partir da busca constante de autossuficiência

energética através da utilização de óleos *in natura* como substituto do óleo diesel convencional.

1. Óleos vegetais “*in natura*”

O óleo de palma estudado por TORRES (2000), que experimentou num motor pequeno o óleo na forma *in natura*, apresentou um decréscimo de potência de 5 a 15% quando comparado ao diesel convencional.

PRYOR et al. (1983), no experimento onde avaliaram o comportamento de motores diesel de pequeno porte alimentados com óleo de soja cru e degomado, e éster etílico de óleo de soja, observaram que com o uso do éster, incrementos substanciais de consumo ocorreram. Ainda, o uso do éster originou depósitos nos injetores similares ao diesel convencional.

MACHADO (2003) em testes com motor diesel operando com óleo de soja afirma que o número de cetano não apropriado do óleo de soja puro combinado à menor turbulência do ar na câmara em rotações mais baixas também contribuíram para o decréscimo de torque. À medida que a rotação era elevada para valores acima de 2500 rpm, surgia uma indicação de que a turbulência do ar de admissão pode compensar o menor NC, pois com a maior dispersão da mistura na câmara, conseqüentemente, pode haver um melhor desenvolvimento do processo de combustão.

GRABOSKI & McCORMICK (1997) relataram que a carbonização e a polimerização produzidas pelos óleos vegetais podem ser minimizadas pela transesterificação.

Costa Neto et al. (2000) realizaram testes com biodiesel de óleo de fritura usado em ônibus de transporte urbano tendo sido verificado que, entre 3.000 e 5.000 rpm, a potência efetiva e o torque do motor foram pouco inferiores aos observados com óleo diesel. Não obstante, entre 1.500 e 3.000 rpm, os índices obtidos para ambos foram praticamente idênticos. A maior diferença verificou-se com relação à emissão de fumaça, cuja redução média foi 41,5 %, medido em escala Bosch.

Bueno (2003) realizou uma abordagem alternativa para o levantamento da taxa aparente de liberação de energia em motores diesel, promovendo a

separação entre a injeção e a queima do combustível, considerando-se a presença de combustível no fluido de trabalho. Os resultados obtidos para a massa total de combustível queimada, sob tal abordagem, mostraram-se consideravelmente realistas.

2. As misturas diesel/óleo vegetal “*in natura*”

LUNA (1990) avaliou misturas binárias, em diferentes graus, de óleos vegetais diversos com óleo diesel convencional em testes de curta e longa duração e concluiu que, em termos gerais, as misturas mostraram-se factíveis como combustível de um motor refrigerado a ar e injeção direta. Não se observaram grandes variações de potência e torque, apenas um ligeiro aumento de consumo específico. Nota-se que a elevada viscosidade faz com que a injeção seja afetada conforme se incrementa o percentual de óleo vegetal na mistura. Isso foi atribuído à deterioração da natureza da pulverização na câmara de combustão (forma do jato combustível e pressão de injeção). Ele ressalta, ainda, que não houve necessidade de troca de óleo lubrificante e filtros em intervalos diferentes dos usuais com óleo diesel convencional.

Para BALDWIN (1983), as maiores eficiências foram observadas para uma mistura de 20% de óleo de soja e 80% de óleo diesel convencional. O ponto de injeção foi variado de 16° a 22°, anteriores ao ponto morto superior.

DOMÍNGUEZ (1995) conclui que praticamente todos os motores diesel funcionam razoavelmente bem com óleos vegetais por um período que oscila entre 120 e 150 horas. Após, é necessário desmontar o motor para descarbonizar e degomar a câmara de combustão e os injetores. Este período de bom funcionamento pode ser prolongado usando-se misturas de óleo vegetal e óleo diesel, quanto maior a porcentagem de óleo diesel maior será a extensão deste período. Ainda, os motores de injeção indireta são mais aptos a trabalhar com óleos vegetais, pois sua câmara de pré-combustão opera com maiores temperaturas, permitindo uma combustão mais completa do biocombustível.

2.1 Misturas biodiesel / diesel

De acordo com PARENTE (2003), pelas semelhanças de propriedades fluidodinâmicas e termodinâmicas, o biodiesel e o diesel do petróleo possuem características de completa equivalência, especialmente vistas sob os aspectos de combustibilidade em motores do ciclo diesel. Portanto, os desempenhos e os consumos são praticamente equivalentes, e ainda, que não há necessidade de qualquer modificação ou adaptação dos motores para funcionar regularmente com um ou com o outro combustível pela equivalência de suas propriedades físico-químicas e como o biodiesel e o diesel mineral são completamente miscíveis, as misturas de biodiesel com o diesel mineral podem ser empregadas em qualquer proporção. Essa condição é vantajosa, especialmente, quando comparada com a situação problemática do álcool hidratado, uma vez que não são requeridas bombas específicas para os abastecimentos de biodiesel, nem tampouco motores diferenciados e dedicados para o uso de um ou do outro combustível, inclusive de suas misturas.

PETERSON et al. (1996) testaram um biodiesel do tipo etílico filtrado, produzido à base de sementes de colza, em um veículo movido originalmente a diesel mineral sem efetuar alteração alguma. Para obtenção dos resultados, executaram o teste em duas etapas: a primeira foi um teste de pista, utilizando o veículo em viagens pelas estradas norte-americanas percorrendo um total de 14.069 km; a segunda etapa foi um teste laboratorial utilizando-se um dinamômetro. Após os testes, concluíram que o motor do veículo quando consumindo 100% biodiesel (B100), apresentou redução de 1,8% na potência e acréscimo de 8,9% no consumo a 2.500 rpm, quando comparado ao desempenho do mesmo funcionando a diesel 100%, porém nenhum problema foi observado no veículo no decorrer das duas etapas do teste.

O éster etílico de óleo de soja hidrogenado foi comparado ao diesel D2 em quatro motores de ciclo diesel. Notou-se a redução da potência e do torque em 5% e acréscimo do consumo específico de 7% (PETERSON, 1986).

CLARK et al. (1984) efetuaram comparações dos combustíveis éster etílico, éster metílico proveniente de óleo de soja, com o diesel D2 como referência e constataram que as curvas de potência, torque e consumo específico se mostraram bastante similares à do diesel convencional; com relação à temperatura dos gases de escape ocorreu um valor maior para o éster metílico do que para o diesel e para o éster etílico a diferença em relação ao diesel foi insignificante.

Segundo SILVA (2002), o Instituto de Tecnologia do Paraná, *TECPAR*, efetuou ensaios comparativos entre o *B-20* (80% diesel +20% de éster de óleo de soja) e o diesel metropolitano (Diesel-C), utilizando duas frotas de transporte coletivo urbano, uma para cada tipo de combustível. Os resultados mostraram um incremento de 3% no consumo de combustível e redução das emissões de gases residuais nocivos.

Para GRABOSKI & McCORMICK (1997), o número de cetanos de um biodiesel depende do óleo que lhe deu origem, mas em geral situa-se próximo ao valor final da faixa típica do óleo diesel de petróleo. O efeito das misturas de biodiesel esterificado com óleo diesel convencional sobre o número de cetanos é aproximadamente linear, crescente com o percentual de éster na mistura.

Relata DELGADO (1994) que os experimentos realizados pela SCANIA com óleo vegetal (éster metílico de óleo de soja) mostraram os problemas que ocorrem a partir de 150 horas de operação: “óleos lubrificantes dissociados ou modificados, surgimento de flocos e borras no sistema de combustível, elevado custo, forte odor exalado, combustão incompleta a cargas parciais e dificuldade de partida a frio”. Foram realizados mais de 340.000 km de testes sem nenhum problema técnico ou operacional, porém com um custo operacional em torno de 6 vezes superior.

GRABOSKI & McCORMICK (1997) relatam que o combustível de ésteres de óleo de girassol produziu de fato menores depósitos de carbono em um motor de teste do que o diesel derivado de petróleo.

NIEHAUS, GOERING & SAVAGE (1986) utilizaram a decomposição térmica do óleo de soja como forma de criação de um combustível menos viscoso e com propriedades mais próximas às do óleo diesel. A decomposição térmica (cracking térmico) de um óleo vegetal implica em ter a sua estrutura molecular e peso molecular alterados. O óleo produzido apresentou um número

de cetano melhorado (43 contra 38 anterior) e uma viscosidade muito mais baixa. Quando utilizado num motor diesel de injeção direta, esse combustível causou alteração na relação combustível/ar e maior consumo específico, com uma ligeira redução na máxima potência produzida.

KAUFMAN & ZIEJEWSKI (1984), utilizando um éster metílico de óleo de girassol em um motor de injeção direta, concluíram que o fluxo de massa combustível cresceu 8,6% devido às maiores densidade e viscosidade do éster e também uma redução de 5,3% na energia produzida devido ao menor poder calorífico.

Pesquisas de MONYEM & VAN GERPEN (2001) para avaliação da influência da oxidação de óleos vegetais sobre motores diesel levaram à conclusão que, quanto a rendimento, o biodiesel oxidado ou não produziu a mesma eficiência térmica que o óleo diesel, com maior consumo de combustível.

OLIVEIRA & DA COSTA (2002) relataram testes realizados em 2001 com um biodiesel derivado de óleos de fritura onde foi comprovado o potencial de utilização da mistura óleo diesel-biodiesel, sugerindo-se uma proporção de 5 para (5:1). O uso do biodiesel (esterificado) apenas determinou um incremento de 1,3% na emissão de NO_x , sendo que todos os testes de desempenho mostraram resultados bastante satisfatórios, com eficiência de queima superior à dos óleos vegetais *in natura*. O rendimento dos motores e o consumo de combustível foram praticamente idênticos com o óleo diesel e com os ésteres. Ressaltam ainda que uma mistura de apenas 5% de biodiesel ao diesel convencional, descarta qualquer necessidade de alteração dos motores.

Reforçando a utilização do biodiesel, segundo MEIRELLES (2003), umas de suas grandes vantagens é a adaptabilidade aos motores do ciclo diesel, onde a combustão deste pode dispensar modificações, configurando-se em uma alternativa técnica capaz de atender a frota movida atualmente a diesel, enquanto o uso de combustíveis alternativos como o gás natural ou biogás requerem adaptação dos motores para a sua utilização.

MASJUKI & SAPUAN (1995) utilizando éster metílico de óleo de palma observaram um decréscimo na potência, na medida em que aumentava a porcentagem de éster na mistura éster e diesel convencional. Notaram também

um acréscimo no consumo específico para o éster, comparado ao diesel, principalmente para rotações mais elevadas.

SIL, MASJUKI & ZAKI (1995) também notaram um decréscimo de potência, porém apenas para uma faixa de rotação do motor. Num estudo de desempenho realizado através de dinamômetro, verificaram que o éster metílico de óleo de palma, apresentou o mesmo consumo específico comparado ao óleo diesel convencional e desenvolveu a mesma potência entre 800 e 2.000 rpm, a partir desta rotação até 3.600 rpm o diesel proporcionou maior potência.

De acordo com a AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO (2002), atualmente são comercializadas misturas com diferentes proporções de óleo diesel e óleos vegetais transesterificados em outros países (soja nos Estados Unidos e canola na França e Alemanha) e, já se comprovou a viabilidade de adoção de misturas de até 5% (v/v) de biodiesel, sem que qualquer modificação nos veículos seja necessária, ao contrário, a adição de biodiesel ao diesel convencional melhora a lubricidade, o número de cetano, reduzindo o teor de enxofre e elevando o ponto de fulgor do combustível.

Utilizando-se de um motor de ciclo diesel, de injeção direta, de um cilindro e sem adaptações, RABELO (2001) observou que misturas de biodiesel e diesel resultaram num aumento discreto de potência e torque quando se aumentou a proporção de biodiesel no diesel, principalmente para faixas de rotações mais baixas. O consumo específico destas misturas, porém, se apresentou levemente mais elevado e a adição de biodiesel ao diesel resultou numa melhoria do rendimento para rotações acima de 1.800 rpm.

Segundo dados da Secretaria de Tecnologia Industrial do MDIC (1985), ao se construir uma curva de consumo específico ($\text{g.HP}^{-1}.\text{h}^{-1}$) para o diesel e para o B11 (11% de biodiesel e 89% de diesel) verificou-se que era mais elevado o consumo específico do B11 em comparação ao diesel.

GROTTA (2003), durante a avaliação de desempenho de um trator Valtra modelo BM 100, 4 cilindros com potência nominal de 73,6 kW (100cv) em condições de campo e em operação de gradagem, utilizou óleo diesel e biodiesel de óleo residual de soja (nas proporções de 0%, 25%, 75% e 100%), observou um maior consumo específico à medida que as proporções de biodiesel aumentam. Segundo o autor, isto ocorre devido ao menor poder

calorífico do biodiesel, cerca de 3% a 4% menor que o poder calorífico do diesel.

Barbosa et al. (2006), avaliou a eficiência térmica de um motor à compressão funcionando em momentos distintos com diesel mineral e misturas deste com biodiesel nas proporções B2, B5, B20 e B100. Para realização dos ensaios, foi utilizado um motor ciclo diesel de um trator Valmet 85 id, modelo MWM-D225-4TVA, de 4 tempos, injeção direta, 23 refrigerado à água com 4 cilindros em linha, cilindrada total de 3.778 cm³, taxa de compressão 18:1, com potência nominal segundo o fabricante de 78 CV (58,2 kW) a 2.300 rpm, seguindo-se a metodologia estabelecida pela norma NBR 5484 da ABNT, que se refere ao ensaio dinamométrico de motores de ciclo Otto e Diesel. Concluiu-se que a potência do motor ao se utilizar biodiesel foi pouco inferior àquela desempenhada pelo diesel mineral, chegando a uma redução média de 1,31 %.

3. Vantagens econômicas

Van Kasteren e Nisworo (2007) analisaram o custo de produção do biodiesel a partir da transesterificação supercrítica do óleo de fritura. Segundo o autor, este processo pode ser competitivo frente aos processos catalisados por ácidos e bases, por eliminar custos operacionais e com pré-tratamento. A planta simulada é composta por uma unidade de reação e uma de separação, e as simulações foram feitas com o auxílio do software AspenPlus®. A análise foi efetuada considerando-se diferentes capacidades de processamento (8.000, 80.000 e 125.000 t.ano⁻¹) e duas localizações (EUA e Nova Zelândia). O reator de transesterificação foi modelado como um reator adiabático de fluxo empistonado (PFR).

Morais et al. (2010) reportaram a simulação e a análise do ciclo de vida da produção de biodiesel a partir de óleos vegetais. A simulação foi realizada com auxílio do software AspenPlus® considerando-se uma planta contínua com capacidade de 3.500 t.ano⁻¹. Os processos analisados foram: convencional com catalisador alcalino, catalisado por ácido e o processo em condições supercríticas. Os autores concluíram que o processo supercrítico é o

mais viável ambientalmente, apesar de não ser competitivo economicamente frente aos outros processos no atual estágio de desenvolvimento.

Araújo et al. (2002) realizaram uma avaliação técnica e econômica da produção de biodiesel a partir da soja e da mamona no Brasil, através da transesterificação alcalina com etanol. As simulações foram feitas para diferentes cenários utilizando-se o software SuperPro®, sendo que a planta proposta consta das seções de reação e de separação. Segundo os autores, o processo é economicamente viável quando se utiliza óleo extraído da torta de soja, usando a extração e a transesterificação, com aproveitamento da proteína de soja como coproduto.

Portela (2007) realizou um estudo técnico-econômico da produção de biodiesel no Brasil a partir da soja e da mamona através da transesterificação alcalina. Segundo o autor a produção de biodiesel é uma alternativa viável apenas se as três motivações econômica, ambiental e social forem igualmente consideradas, pois nenhuma delas possui fôlego suficiente para, isoladamente, sustentar o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel.

Castellanelli (2015), em um estudo sobre a utilização de óleo de fritura usado em geradores diesel, relata que as receitas obtidas o empreendimento foi percebida a partir dos recursos que deixaram de ser gastos com a compra de eletricidade da concessionária distribuidora, na tarifa verde e no horário de ponta, cujo valor é R\$ 1276,31/MWh, já incluindo impostos. O total anual de economia com a compra de eletricidade no horário de ponta foi R\$404.590,27, caso não funcionasse no horário de ponta. Para empresa estudada, o qual já opera na tarifação verde, e já possui a auto-geração instalada, pôde-se verificar de imediato que a economia gerada anual foi de R\$ 40.543,44 para a geração com diesel convencional - B0, R\$ 104.184,55 para a geração com 50% de biodiesel obtido através do óleo de fritura usado - B50, e R\$ 132.291,31 para a geração com 100% de biodiesel obtido através do óleo de fritura usado - B100.

CONCLUSÃO

A literatura analisada permite concluir que a produção do biodiesel é tecnicamente viável. A tecnologia necessária para a fabricação do biodiesel é perfeitamente dominada e vem sendo desenvolvida desde a década de 1970,

quando ocorreram os choques do petróleo. Essa tecnologia é utilizada na Europa, Estados Unidos e também no Brasil. O biodiesel é uma alternativa para a diminuição do uso de petróleo, não um substituto. No entanto, em alguns casos, é necessário observar que nem todas as pesquisas apontam resultados favoráveis para a utilização de biodiesel puro ou misturado ao diesel convencional. É necessário considerar uma série de especificadas técnicas, como consumo, torque, rendimento, entre outros, para se chegar a um resultado de viabilidade verdadeira. Economicamente, algumas pesquisas demonstram usos e ganhos financeiros na utilização de biodiesel, porém é necessário, atentar também, para o fato que o mercado é variável devido as incertezas de mercado.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, K. M; OLIVEIRA, A. K. C; COSTA, G. B; QUEIROGA, R. N. G.; PANNIR SELVAM, P. V .Estudo comparativo técnico e econômico de diferentes óleos vegetais brasileiros para produção de biocombustível. Natal: UFFRN, 2002.

BALDWIN, J.D.C. Performance of a “DIESOL” – Fueled engine. Transactions of the ASAE, v.26, n.4, p. 962-965. 1983.

BUENO, A. V. Análise da liberação de energia em motores diesel operando com combustíveis alternativos. 2003. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, 2003.

BUENO, A. V. Análise da operação de motores diesel com misturas parciais de biodiesel. 2006. 103 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, 2006.

CASTELLANELLI, C.A. Autossuficiência energética no horário de ponta: Análise técnico-econômica de geradores operados com diesel e biodiesel obtido através do óleo de fritura usado. Espacios. Vol. 36 (Nº 19) Año 2015. Pág. 10, 2015.

CLARK, S. J. et al. Methyl and ethyl soybean esters as renewable fuels for diesel engines. Journal of the American Oil Chemists Society Kansas State University, Manhattan – U.S.A., v.61, n. 10, p. 1632-1637, Oct. 1984.

COSTA NETO, P. R. Obtenção de ésteres alquílicos (biodiesel) por via enzimática a partir do óleo de soja. 2002. 133 f. Tese (Doutorado em Química) - Centro de Ciências Físicas e Matemática, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 2002. 1995 .

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

DELGADO, L.M. Los biocarburantes: limitaciones y perspectives. Apostila Técnica, 32p. 1994.

DOMINGUEZ, L.A.A. Biocombustibles: Utilización de los aceites vegetales como energía renovable. Madrid, España: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Pesca y Alimentación. 1995. 203p.

GRABOSKI, M.S. & McCORMICK, R.L. Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines. Prog. Energy Combust. Sci. v.24, p 125 – 164, 1997.

GROTTA, D. C. C., Desempenho de um trator agrícola em operação de gradagem utilizando biodiesel etílico filtrado de óleo residual como combustível. 2003. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, São Paulo, 2003.

KAUFMAN, K.R.; ZIEJEWSKI, M. Sunflower methyl-esters for direct inject diesel engines. Transactions of the ASAE, v.27, n.06, p. 1626-1633, 1984.

LUNA, J.F. Aceites vegetales y motores diesel. Maquinas y Tractores. n.02, p. 40-46, 1990.

MACHADO, P.R.M. Avaliação de desempenho de do óleo de soja como combustível para motores diesel. 191f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, 2003.

MASJUKI, H. H.; SAPUAN, S. M. Palm oil methyl esters as lubricant additive in small diesel engine – Malaysia. Journal of the American Oil Chemists' Society, V. 72, n.5, p. 609-612, 1995.

MEIRELLES, F. DE S. Biodiesel. Brasília, 2003. Disponível em <http://www.faespcenar.com.br/faesp/economico/EstArtigos/biodiesel.pdf>. Acesso em 10 de SETEMBRO de 2015.

MONYEM, A. & VAN GERPEN, J.H. The effect of biodiesel oxidation on engine performance and emissions. Biomass and Bioenergy. v.20, p. 317-325, 2001.

MORAIS, S.; MATA, T. M.; MARTINS, A. A.; PINTO, G. A.; COSTA, C.A.V. Simulation and life cycle assessment of process design alternatives for biodiesel production from waste vegetable oils. Journal of Cleaner Production, Amsterdam, v. 18, p. 1251-1259, 2010.

NIEHAUS, R.A.; GOERING, C.E.; SAVAGE, L.D. et al. Cracked soybean oil as a fuel for a diesel engine. Transactions of the ASAE, v.29, n.02, p. 683-689, 1986.

OLIVEIRA, M.F., ALVARENGA, R.C., OLIVEIRA, A.C., CRUZ, J.C. Efeito da palha e da mistura atrazine e metalachlor no controle de plantas daninhas na cultura do milho, em sistema de plantio direto. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.36, n.1, p.37-41, 2001.

OLIVEIRA, L.B. & DA COSTA, A.O. Biodiesel – Uma experiência de desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro, 14 p., IVIG/COOPE/UFRJ, 2002. Disponível em www.ufrj.br. Acesso em 15 de setembro de 2015.

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

PETERSON, C.L. Vegetable oil as a diesel fuel: Status and research priorities. Transactions of the ASAE, v.29, n.05, p. 1413-1422, 1986.

PETERSON, C.L. et al. Ethyl ester of rapeseed used as a biodiesel fuel – a case study. Biomass and Bioenergy, Moscow, Idaho, EUA, v. 10, n. 5/6, p. 331-36, 1996.

PETERSON, C.L.; AULD, D.L.; THOMPSON, J.C. Experiments with vegetable oil expression. Transactions of the ASAE. v.26, n.05, p.1298-1302, 1983.

PIMENTEL, V.S.B. & BELCHIOR, C.P.R. Análise e Diagnóstico de Diesel Geradores Operando com Óleo de Dendê “in natura”. IN: AGRENER – 4º ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 2002, Campinas. Anais...Campinas: UNICAMP, 2002.

PORTELA, H. E. Avaliação técnico-econômica de um empreendimento produtivo de biodiesel. 2007. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, Salvador, BA.

PRYOR, R.W. et al. Soybean oil fuel in a small diesel engine. Transactions of the ASAE, v.26 n.02, p. 333-337, 1983.

SIL, H. S.; MASJUKI, H.; ZAKI, A. M. Dynamometer evaluation and engine wear characteristics of palm oil diesel emulsions. Journal of the American Oil Chemists' Society. V.72, n. 8, p. 905-909, 1995.

SILVA, O.C. Óleos Vegetais. São Paulo, out. 2002. Disponível em: <http://www.hidroweb.aneel.gov.br>. Acesso em 20 de set. 2015.

TORRES, E. A. – Avaliação de um motor ciclo diesel operando com óleo de dendê para suprimento energético em comunidades rurais. 3º Encontro de Energia no Meio Rural, Centro de Convenções UNICAMP, Campinas-SP, 6p. 12 a 15 de Setembro de 2000.

VAN KASTEREN, J. M. N.; NISWORO, A. P. A process model to estimate the cost of industrial scale biodiesel production from waste cooking oil by supercritical transesterification. *Resources, Conservation and Recycling*, Amsterdam, v. 50, p. 442-458, 2007.