

Análise do desempenho de um motor gerador acionado com biodiesel (B10)

**Lizandro do Amaral
Oliveira**

lamaralo@hotmail.com
Especialização Engenharia de
Petróleo
Universidade de Fortaleza

André Valente Bueno

bueno@ufc.br
Depto. Engenharia Mecânica
Universidade Federal do
Ceará Fortaleza

João Batista Furlan Duarte

funlan@unifor.br
Núcleo de Tecnologia da
Combustão - NTC
Universidade de Fortaleza

**Mona Lisa Moura de
Oliveira**

monalisa@unifor.br
Núcleo de Tecnologia da
Combustão
Universidade de Fortaleza

Resumo

Iniciativas de conservação ou economia de energia, bem como o uso de fontes alternativas de energia, começaram a ser adotadas pelo governo e sociedade na década de 70. O biodiesel é um combustível de queima limpa, renovável, biodegradável e ambientalmente correto. O uso do biodiesel em motores convencionais a diesel resulta na redução substancial de hidrocarbonetos, monóxido de carbono e material particulado, além de um menor consumo de combustível e de uma excelente reputação quanto à durabilidade destes motores. A utilização de B10, provavelmente, deverá ser implementada somente em 2015, contudo, esta mistura ainda se encontra em estudo para esta aplicação. Portanto, neste trabalho foram realizados estudos de desempenho de um motor gerador a diesel acionado com mistura parcial de biodiesel (B10), funcionando em momentos distintos com diesel mineral e misturas deste biocombustível.

Palavras-chave: Diesel. Biodiesel. Motor diesel. Eficiência. Energia.

Abstract

Conservation initiatives and energy saving as well as the use of alternative energy sources began to be adopted by the government and society in the 70s. Biodiesel is a clean-burning fuel, renewable, biodegradable and environmentally friendly. The use of biodiesel in conventional diesel engine results in substantial reduction of hydrocarbons, carbon monoxide and particulate matter, and a lower fuel consumption and an excellent reputation for durability of these engines. The use of B10 will probably be implemented only in 2015, however, this mixture is still under study for this application. Therefore, in this paper have been studies performance of an engine powered diesel generator with partial mixing of biodiesel (B10), working in different moments with mineral diesel and blends of biofuel.

Keywords: Diesel. Biodiesel. Diesel engines. Efficiency. Energy.

1 Introdução

O aumento no preço do petróleo, decorrente da crise dos anos 70, gerou uma nova consciência mundial a respeito da produção e consumo de energia daquela época, especialmente quando originária de fontes não renováveis, como é o caso dos combustíveis fósseis. Assim, iniciativas de conservação ou economia de energia, bem como o uso de fontes alternativas de energia, começaram a ser adotadas pelo governo e sociedade desde então (Fontes & Fontes, 1995).

Atualmente, o uso de biocombustíveis no mundo vem crescendo a cada ano. A motivação principal vem do aspecto ambiental, com a necessidade de contenção das emissões tóxicas e gases associados ao efeito estufa e o aquecimento global (Murillo et. al., 2007). Esta preocupação representa a efetiva motivação para o uso de combustíveis oriundos da biomassa em substituição/redução dos derivados do petróleo (Oliveira & Costa, 2010).

No que diz respeito à inserção do biodiesel no cenário energético, muitos estudos permitiram inferir que a substituição do diesel pela mistura com biodiesel resultaria em vantagens com importantes aspectos, sobretudo no âmbito sócio-ambiental (Marques, 2006). Vale ressaltar também, que este cenário energético com biodiesel abre oportunidades para grandes benefícios sociais decorrentes do alto índice de geração de empregos por capital investido, culminando com a valorização do campo e a promoção do trabalhador rural (Oliveira & Costa, 2005).

O biodiesel é um combustível de queima limpa, renovável, biodegradável e ambientalmente correto (Parente, 2005). O processo mais empregado é a transesterificação de oleoginosas, tendo como produtos de reação, ésteres de ácidos graxos metílicos ou etílicos (biodiesel) e glicerina (Ferrari et al, 2005).

O uso do biodiesel em motores convencionais a diesel resulta na redução substancial de hidrocarbonetos, monóxido de carbono e material particulado, além de um menor consumo de combustível e de uma excelente reputação quanto à durabilidade destes motores (Bueno et al, 2011). Já o diesel petroquímico é constituído basicamente por hidrocarbonetos de cadeia longa e, em baixas concentrações, por enxofre, nitrogênio e oxigênio (Conde, 2007). Um grande número de grupos geradores, tipicamente acionados por motores a diesel, está instalado em diversos setores da economia, tal como os instalados em indústrias, hotéis e hospitais (Pereira et al., 2007). É importante também destacar que o atual modelo brasileiro de transporte de cargas é apoiado, principalmente, em veículos movidos por motores a diesel em via rodoviária. Alguns fabricantes de motores, tal como a Scania, Massey Ferguson e Valtra autorizaram a utilização do biodiesel tipo B100 (blend 100%) em seus motores. Contudo, a garantia para a utilização do B100 é dada apenas para os padrões de biodiesel EN14214 (europeu) e ASTM D6751 (Americano) (Gonçalves & Ferreira 2008).

No motor ciclo Diesel, a ignição se dá quando o combustível é injetado no ar comprimido, atingindo uma temperatura suficientemente elevada para a auto-ignição do combustível, com eficiência térmica variando entre 40 a 46% (NBR 1985). Corrêa et al. (2008), utilizou misturas parciais de biodiesel derivado de óleo de girassol em um motor de um trator e concluíram que o uso das misturas B5, B10, B20 e B100 proporcionou alteração no desempenho do motor, com redução máxima de 2,2% na potência e aumento máximo de 7,3%, no consumo específico. Bueno e colaboradores (2011) testaram diversos blends (B5 a B20) no motor diesel MWM 6.07T GMT-400, em diversos regimes de operação, incluindo a análise exergética. Foi constatado que um dos principais benefícios da adição de biodiesel ao óleo diesel consistiu na redução do valor da exergia química da carga ao final da combustão.

Em geral, o biodiesel, principalmente para as misturas com uma pequena porção de biodiesel, é tecnicamente viável como combustível alternativo, com pouca ou nenhuma modificação dos motores diesel, contudo, a metodologia ou os instrumentos utilizados para os testes precisam ser melhorados para satisfazer os requisitos esperados de especificação e manter uma homogeneidade dos ensaios (Xue et al. 2011).

Em 2008, tornou-se obrigatório a adição voluntária de 2% de biodiesel ao diesel distribuído em todo Brasil (Lei 11.097/05). Desde 1º de janeiro de 2010, o percentual do biocombustível na mistura passou para 5%. De acordo com a ANP, a produção de biodiesel no país passou de 1,6 bilhão de litros em 2009 para 2,2 bilhões no ano de 2010 (ANP-Biocombustíveis, 2011). A utilização de B10 permitiria a substituição total do diesel importado, contudo, esta mistura se encontra ainda em estudo e provavelmente só deverá ser implementada a partir de 2015 (Biodiesel, 2011). Portanto, o presente trabalho tem como objetivo analisar o desempenho de um motor gerador a diesel acionado com mistura parcial de biodiesel, a proporção equivalente a B10 (blend - 90% de diesel mineral e 10% de biodiesel), funcionando momentos distintos com diesel mineral e misturas deste biocombustível.

2 Metodologia e Aparato Experimental

2.1 Preparação da mistura - Blend B10

Inicialmente foi realizada a preparação da mistura parcial de biodiesel – B10, quer dizer, 90% de diesel mineral e 10% de biodiesel. Vale ressaltar que os combustíveis utilizados nos ensaios, diesel mineral puro e biodiesel puro, foram fornecidos pela SP COMBUSTÍVEIS DISTRIBUIDORA, e o biodiesel oriundo da usina de Biodiesel de Quixadá em operação na cidade de Quixadá (CE). O biodiesel utilizado foi considerado como padrão, pois apresenta aproximadamente 100% de ésteres metílicos, de acordo com as especificações técnicas do laboratório da Distribuidora como também da refinaria. Já as análises físico-químicas das amostras foram realizadas no Laboratório de Combustíveis e Lubrificantes da Universidade Federal do Ceará (LCL-UFC).

2.2 Aparato Experimental

Os testes do Motor Diesel foram realizados no Laboratório de Motores de Combustão Interna do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará (UFC). A bancada de teste é composta por um motor Diesel

marca MWM, modelo TD229 EC-6 (Figura 1a) e, um dinamômetro modelo TD 2296, marca POLIDIESEL (Figura 1b), onde o acoplamento entre os dois é feito pelo eixo.

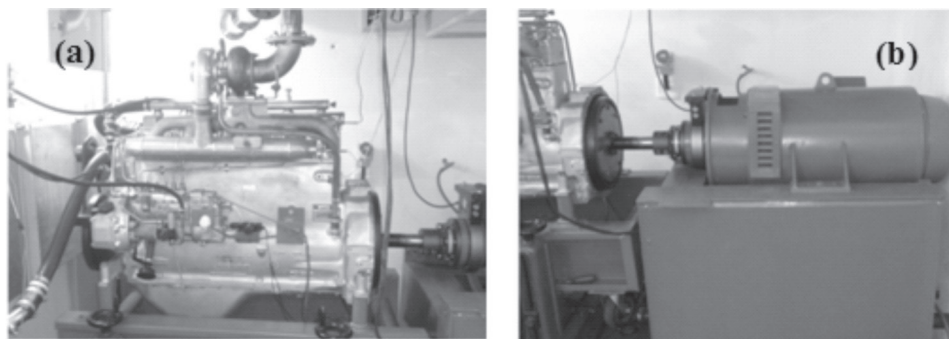


Figura 1: Bancada de teste – (a) Motor e (b) Dinamômetro

Na Tabela 1 estão descritas, detalhadamente, as especificações do motor utilizado nos ensaios. Este motor Diesel de quatro tempos, com turbocompressor e *intercooler*, é também empregado em caminhões leves, onde são considerados robustos e que se destacam por apresentar durabilidade, manutenção simples e baixo custo.

Tabela 1: Especificações do Motor

Fabricante	MWM
Modelo	TD229-EC6
Configurações	6 cilindros em linha
Válvulas/cilindros	2
Cilindrada	5.88L
Diametro x curso	102 x 120mm
Sistema de combustão	Injeção Direta
Aspiração	Turbo
Rotação de Potência Máxima	160 cv (119 kW) @ 2.600 rpm
Torque	56,9 Kgf.m (559 Nm) @ 1.500 rpm
Peso Seco	586 Kg

Fonte: www.mwm.com.br (2010)

Nos testes, o dinamômetro é utilizado para se obter os valores de torque e potência, no qual há transformação da energia mecânica em calor a partir da utilização de um eixo fixado através de *flange*. Este equipamento possui uma capacidade de potência efetiva de até 100 kW (120 CV), um torque máximo efetivo de 500 Nm @ 2000 rpm. O *software* instalado no computador da bancada do dinamômetro, apresenta interface *Windows*. Tal ferramenta possui como principais características: controlar o torque e rotação do motor; controle da bomba de injeção do óleo diesel, através do atuador eletrônico; monitorar o consumo de óleo diesel; monitorar e armazenar os sinais de todos os sensores instalados (transdutores de pressão, termopares e sensor de umidade relativa), através de uma placa de aquisição de dados de 32 canais de entrada analógica. Tudo isto se encontra na estação de controle, tal como apresentado na Figura 2.

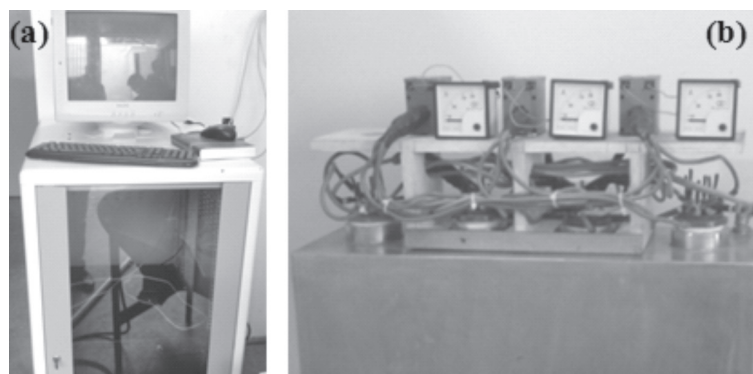


Figura 2: Aquisição de Dados - (a) Estação de controle e (b) Resistências /Geração

Vale ressaltar que para a realização dos ensaios do motor, foi adotada a metodologia estabelecida pela norma NBR 5484 da Associação Brasileira de Normas Técnicas, em vigor desde fevereiro de 1985, que fornece os parâmetros relativos ao ensaio dinamométrico de motores do ciclo Otto e Diesel, com as seguintes definições: potência efetiva (kW), torque (N.m), consumo horário (g/h).

O consumo de combustível horário do motor foi determinado por um fluxômetro marca Siemens, modelo FC300, em conjunto com o transmissor MASS 6000, o qual foi aferido para leitura em litros por hora e massa específica do fluido de acordo com a Tabela 2 (próxima seção). O poder calorífico inferior (PCI) foi estimado a partir da literatura (Murillo et al., 2007, Shagufta et al., 2007, M. Erol et al., 2010).

Nos testes do motor, a potência e o torque foram levantados no regime de até 1900 rpm, com óleo diesel mineral em injeção nas condições originais. Em seguida, foram levantadas as mesmas variáveis para mistura com biodiesel (blend B10).

A Potência efetiva (P) foi calculada a partir dos dados fornecidos pelos ensaios do motor, correspondente ao Torque (T) e à Velocidade Angular (N). É importante destacar que o torque do motor depende diretamente do impulso transmitido pelos pistões ao virabrequim. Esta variável informa de modo preciso, sobre o enchimento dos cilindros e sobre a força explosiva da carga aspirada. O consumo específico de combustível (Ce) indica qual a massa de combustível necessária para dissipar uma unidade de energia. Portanto, as equações utilizadas para calcular a potência efetiva (P), consumo específico (Ce) e rendimento térmico (η_T) do motor foram, respectivamente, as Equações (1), (2) e (3), onde, m_c representa o volume mássico de combustível utilizado na operação.

$$P = \frac{2\pi \times T \times N}{60000} \quad (1)$$

$$Ce = \frac{\dot{m}_c}{P} \quad (2)$$

$$\eta_T = \frac{1}{Ce \times PCI_c} \times 100 \quad (3)$$

3 Resultados e discussão

3.1 Caracterização dos Combustíveis

A qualidade do biodiesel, bem como do diesel mineral, é de fundamental importância para o bom funcionamento do motor e seus componentes. Portanto, é necessário analisar suas especificações de qualidade. Contudo, as análises físico-químicas das amostras de combustíveis foram realizadas no Laboratório de Combustíveis e Lubrificantes da Universidade Federal do Ceará (LCL-UFC) e, seus resultados apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Características físico-químicas dos combustíveis estudados.

Combustíveis	Diesel Puro	B10	*Biodiesel
Massa específica a 20°C [kg/m ³]	836,7	841,2	882,8
Destilação T10 (°C)	210,7	212,5	-
Destilação T50 (°C)	262,7	272,6	-
Destilação T85 (°C)	322,1	328,1	-
Destilação T90 (°C)	338,8	336,1	-
Índice de Cetano [ICC]	50	50	-
Viscosidade [cSt] (40°C)	2,7450	2,8293	4,5311
Enxofre Total [ppm]	6,0	5,0	2,0
Ponto de Fulgor (°C)	76	78	-
PCI [MJ/kg]	43**	42	37**

(*) Matéria prima: Soja

(**) Murillo et al., 2007

3.1 Testes de desempenho do motor

As curvas para os dois combustíveis apresentaram o mesmo comportamento da curva de torque declarado na NBR ISO 1585/1996. A Figura 3 apresenta as curvas de consumo específico (g/kWh) de combustível em função do torque do motor (N.m). Foi observado que o óleo diesel apresentou maior valor médio no consumo específico (g/kWh) do que o B10, respectivamente, 337 e 295 g/kWh. Foi observada uma economia cerca de 13% no consumo de combustível (Ce) quando o motor acionado com o blend B10, o que deva também ser atribuído a melhora de sua lubrificidade. Esse resultado é semelhante aos encontrados por alguns autores, tais como Rabelo et al. (2008), Murillo et al. (2007), Moron-Villarreyes et al., (2007). Alguns autores descrevem um aumento no consumo específico quando maiores proporções do biodiesel na mistura, atribuindo a redução do Poder Calorífico Inferior (PCI) da mistura e, portanto, aumento do consumo específico.

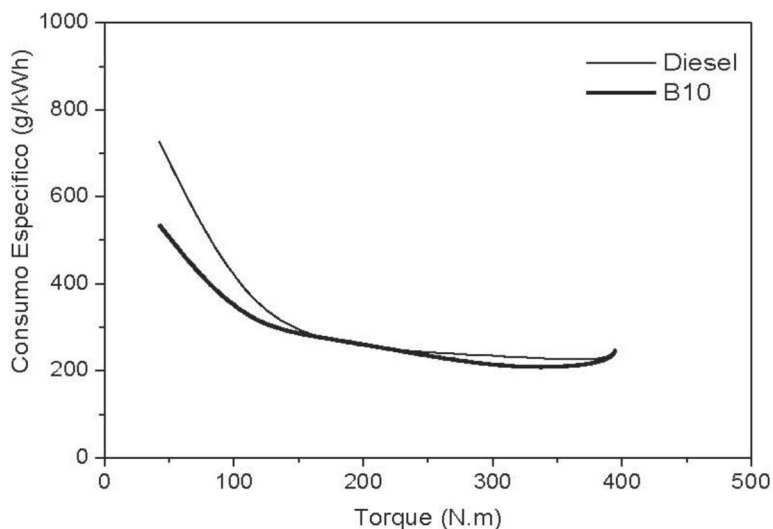


Figura 3: Consumo específico em função do torque para o B10 e diesel mineral

A Figura 4 ilustra a potência efetiva em função do torque para o B10 e diesel mineral. A máxima potência efetiva foi observada para o B10, cerca de 80 kW. Uma pequena redução de potência, superior a 3% foi observada quando o motor é acionado com o B10, um valor um pouco inferior do relatado em Murillo (2007) que foi de 5%.

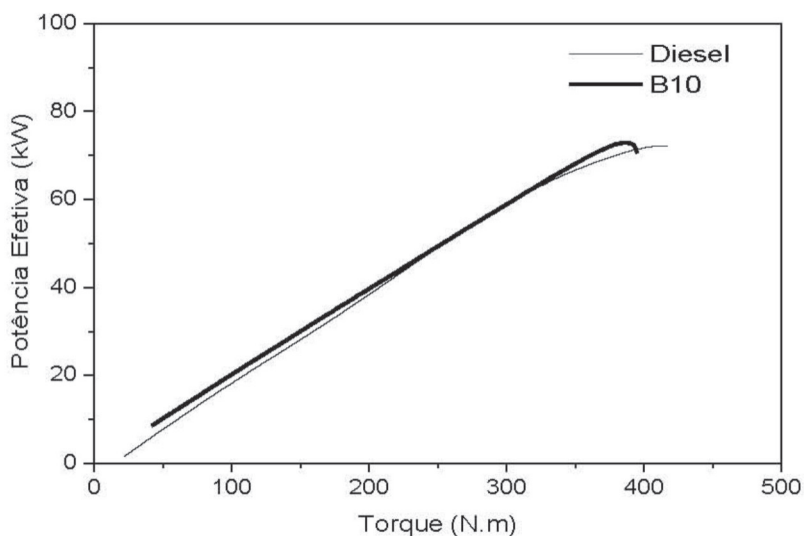


Figura 4: Potência efetiva em função do torque para o B10 e diesel mineral

A Figura 5 apresenta as curvas de rendimento térmico em função do torque do blend B10 e diesel mineral. Com adição de 10% de biodiesel no diesel mineral foi observado um aumento de 3% na eficiência térmica do motor em questão. Em geral, alguns autores (e.g., Rabelo, 2008) atribuem este comportamento devido a presença de maior quantidade de átomos de oxigênio, o que teria causado queima mais completa do combustível e, portanto, melhor rendimento do motor.

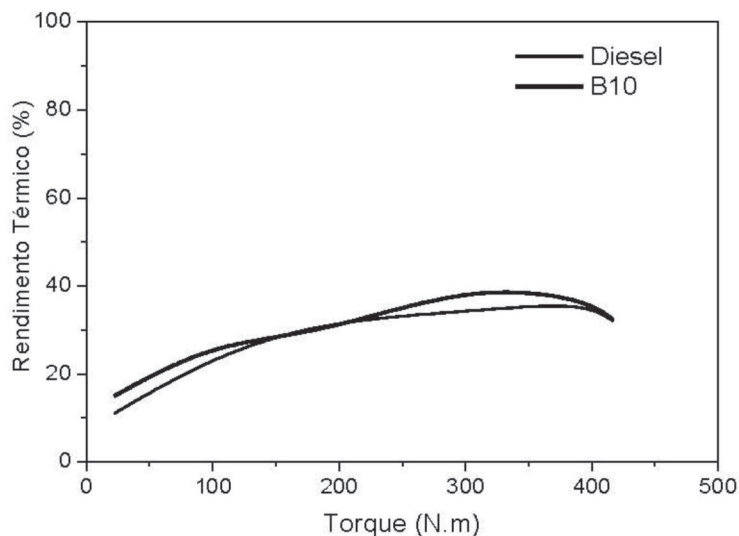


Figura 5: Rendimento térmico em função do torque para o B10 e diesel mineral

4 Conclusão

De acordo com resultados preliminares, as condições operacionais dos testes em estudo, mostraram a viabilidade de operação de um motor gerador ciclo diesel quando acionado com um *blend* B10 do biodiesel, comparado com o diesel mineral sem adição do biocombustível. A máxima potência efetiva foi observada para o B10, em torno de 78 kW. Um menor consumo específico e maior rendimento térmico foram observados. Contudo, estas análises representam uma tendência de comportamento, levando a necessidade de uma série de testes complementares, incluindo as respectivas emissões, das quais fazem parte de trabalhos futuros.

Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS. *Biocombustíveis*. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>>. Acesso em: 30 jan. 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5484*: motores alternativos de combustão interna de ignição por compressão (Diesel) ou ignição por centelha (Otto) de velocidade angular variável: ensaio. Rio de Janeiro, 1985.
- BARBOSA, R. L. et al. Desempenho comparativo de um motor de ciclo diesel utilizando diesel e misturas de biodiesel. *Ciênc. Agrotec.* v. 32, n. 5, p. 1588-1593. 2008.
- BIODIESEL. Disponível em: <<http://www.biodiesel.gov.br/faq.html>>. Acesso em: 30 jan. 2011.
- BUENO, A. V.; VELÁSQUEZ, J. A.; MILANEZ, L. F.; Heat release and engine performance effects of soybean oil ethyl ester blending into diesel fuel. *Energy*, v. 36 p. 3907-3916, 2011.
- FERRARI, R. A. et al. 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.
- CONDE, A. P. Desempenho de motor ciclo diesel alimentado com biodiesel de óleo de soja e oliva. 2007. 66 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola, Máquinas e Automação Agrícola)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.
- CORRÊA, Ila Maria et al. Performance of diesel engine fuelled with sunflower biodiesel blends. *Ciênc. Agrotec.*, Lavras, v. 32, n. 3, p. 923-928, maio/jun. 2008.

EROL M., HAYKIRI-ACMA, H.; KÜÇÜKBAYRAK S. Calorific value estimation of biomass from their proximate analyses data, *Renewable Energy*, v. 35, n. 1, p. 170-173, 2010.

FONTES, J. A. O.; FONTES, F.O. Transformação de um motor ciclo Diesel em ciclo Otto para utilização de gás natural. In: CONGRESSO DE ENGENHARIA MECÂNICA, 13., 1995, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte, 1995. CD-ROM.

GONÇALVES, E. D. L.; FERREIRA, L. L. Flexibilidade na utilização de Diesel ou Biodiesel: uma abordagem via opções reais. *BBR Brazilian Business Review*, Vitória, ES, v. 5, n. 3, p. 229-243, set./dez. 2008.

MARQUES, G. G. Biodiesel, bom para o campo e cidade. *Informativo da Rede Baiana de Biocombustíveis*. Salvador, BA, n. 111, p. 1-2, abr. 2006.

MORON-VILLARREYES, Joaquín A. et al. Diesel/biodiesel proportion for by-compression ignition engines. *Fuel*, v. 86, p. 1977-1982, 2007.

MURILLO S. et al. Performance and exhaust emissions in the use of biodiesel in outboard diesel engines. *Fuel*, v. 86, p. 1765-1771, 2007.

MWM INTERNATIONAL Motores. Disponível em: <<http://www.mwm.com.br>>. Acesso em: 30 jan. 2011.

OLIVEIRA, L. B.; COSTA, A. O. da. *Biodiesel: uma experiência de desenvolvimento sustentável*. Disponível em: <<http://www.biodieselecooleo.com.br/biodiesel/estudos>>. Acesso em: 30 ago. 2010.

PARENTE, E. J. de S. *Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado*. Disponível em: <<http://www.tecbio.com.br>>. Acesso em: 30 ago. 2010.

PEREIRA, Ricardo H. et al. *Geração distribuída de energia elétrica: aplicação de motores bicompostível diesel/gás natural*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS, 3., 2004, Salvador, BA. *Anais...* Salvador, BA: 2004. CD-ROM.

PETROBRAS. *Consumidores*. Disponível em: <<http://www.br.com.br>>. Acesso em: 30 jul. 2010.

PETROBRAS DISTRIBUIDORA. *Óleo diesel*. Disponível em: <http://www.br.com.br/wps/portal/!ut/p/c1/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3hLf0N_P293QwN3d09XAyNTb5_AwKBgQwMDA30_j_zcVP2CbEdFAHXS8qI!/dl2/d1/L2dJQSEvUUt3QS9ZQnB3LzZfOU8xT05LRzEwOEhPRjAyUkswOTQxMjAwMDA!/?WCM_GLOBAL_CONTEXT=>>. Acesso em: 25 jan. 2011.

POSTALI, F. A. S. *Renda mineral, divisão de riscos e benefícios governamentais na exploração de petróleo no Brasil*. Rio de Janeiro: BNDES, 2002. 96 p.

RABELO, I. D.; HATAKEYAMA, K.; CRUZ, C. M. S. *Estudo de desempenho de combustíveis convencionais associados a biodiesel obtido pela transesterificação de óleo usado em fritura*. Disponível em: <<http://www.cefet.br/revistaeduca&tecnologia>>. Acesso em: 10 jan. 2011.

SHAGUFTA, U. P. et al. Estimation of gross calorific value of coals using artificial neural-networks, *Fuel*, v. 86, n. 3, p. 334-344, Feb. 2007.

XUE, Jinlin; GRIFT, Tony E.; HANSEN, Alan C. Effect of biodiesel on engine performances and emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 15, p. 1098-1116, 2011.