

ANÁLISE EXPERIMENTAL DO DESEMPENHO DAS MISTURAS ENTRE O ÉSTER ETÍLICO DO ÓLEO DE MAMONA E O ÓLEO DIESEL CONVENCIONAL

André Valente Bueno, bueno@ufc.br¹
Fabiano da Silva Matoso, fsmatoso@yahoo.com.br¹
Antônio José de Carvalho Júnior, antjosejr@gmail.com¹
Marcos Aurélio Moreira Vidal, marc0s_c7s@hotmail.com¹

¹Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici - Bloco 714 - CEP 60455-760 - Fortaleza - CE

Resumo: Estudaram-se os efeitos operacionais da adoção de misturas entre o óleo diesel e biodiesel proveniente do óleo de mamona em um motor de ciclo diesel. Buscaram-se proporções de mistura diesel-biodiesel capazes de aprimorar as características de eficiência, consumo, desempenho e/ou emissões poluentes de um motor diesel de injeção direta turbo-alimentado. Esta análise foi conduzida investigando-se os processos de combustão e de formação de mistura, a partir dos quais foram estabelecidas relações de causa e efeito entre o desempenho do motor e as alterações impostas pela adição do biodiesel do óleo de mamona nas propriedades do combustível. Foram incluídos aspectos como eficiência de conversão do combustível, consumo específico, desempenho em carga máxima e emissões poluentes (NO, CO, HC e material particulado). Resultados interessantes foram alcançados com a mistura B10 (10% de biodiesel e 90% de óleo diesel, em volume), registrando-se uma queda de 26 g/kWh no consumo específico do motor em condições de plena carga. O uso da mistura B10 não alterou de forma significativa às emissões poluentes, exceto por uma modesta redução nas emissões de material particulado. Já para a mistura B20, registrou-se um aumento de 8 g/kWh no consumo em plena carga, além de uma redução de 29 g/kWh em condições de carga mediana. Quanto às emissões poluentes, o uso da mistura B20 acabou elevando a produção de óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos não queimados em patamares de 5 a 23% com relação ao óleo diesel convencional, ocasionando ainda uma redução de cerca de 7% na emissão de material particulado.

Palavras-chave: Biodiesel; Mamona; Motor Diesel; Desempenho; Emissões

1. INTRODUÇÃO

O biodiesel é um combustível alternativo promissor para a substituição parcial do óleo diesel em escala global. Sua aplicação como combustível complementar do diesel mineral em motores de ignição por compressão pode reduzir a poluição atmosférica, fortalecer a economia agrícola e reduzir a demanda pelo refino de óleo diesel, (Agarwal, 2007). Deste modo, o estudo dos impactos operacionais da adição de biodiesel ao óleo diesel mineral utilizado em motores de ignição por compressão constitui uma importante linha de pesquisa na área de motores de combustão interna.

1.1 O Biodiesel como Substituto Parcial para o Óleo Diesel

Os resultados obtidos com a introdução de biodiesel no óleo diesel destacam a importância das modificações introduzidas nas propriedades do combustível, devendo-se ressaltar os efeitos da alteração de composição, da redução de conteúdo energético e do acréscimo de viscosidade. A combinação entre a redução da relação C/H do combustível, a introdução de oxigênio em sua composição e o aumento de sua viscosidade faz com que a adição de biodiesel ao óleo diesel provoque um empobrecimento na combustão. Essas modificações no processo de combustão costumam ter os seguintes efeitos na distribuição, dada a exergia do combustível no interior do cilindro (Bueno et al., 2009):

- Aumento da irreversibilidade devido à redução da temperatura dos gases do cilindro;
- Redução das frações da exergia do combustível rejeitadas sob a forma de calor e de exergia de gases de escape.

Com a adição de biodiesel em frações inferiores aos 20% em volume, a combinação desses efeitos costuma aumentar a parcela da exergia do combustível transferida como trabalho indicado e, portanto, a eficiência térmica do motor. Desse modo, têm sido reportados dados onde a eficiência térmica do motor é elevada com a adição de biodiesel

em baixas concentrações (Bueno et al., 2009; Rakopoulos et al., 2007) ou se mantém praticamente inalterada (Rakopoulos et al., 2007). O consumo específico do motor é dado pela razão entre o poder calorífico do combustível e a eficiência térmica do motor, estabelecendo-se para o seu comportamento um compromisso entre o aumento da eficiência térmica e a redução do poder calorífico do combustível com a adição de biodiesel. O melhor compromisso entre esses fatores tem sido alcançado com a adoção das misturas B05 (Valente et al., 2010) B10 (Bueno et al., 2009) e B20 (Agarwal e Das, 2001), com as quais se obtiveram reduções médias da ordem de 2% no consumo específico de combustível com relação ao óleo diesel.

O uso do biodiesel também modifica os níveis de emissão dos principais poluentes relacionados aos motores diesel: os óxidos de nitrogênio e o material particulado. A utilização de um combustível mais viscoso eleva a velocidade e distância de penetração do jato de combustível (Chang e Farrell, 1997). Desta forma, a adição de biodiesel amplifica a parcela da mistura exposta a altas temperaturas na periferia deste jato durante a combustão difusiva, levando a um leve favorecimento à formação de óxidos de nitrogênio com a operação do motor em cargas elevadas (Choi e Reitz, 1999). Para condições de baixa carga, a combustão pré-misturada passa a ter uma participação importante no desenvolvimento de altas temperaturas no jato de combustível, fazendo com que a menor temperatura de chama das misturas contendo biodiesel provoque uma redução nas emissões de óxidos de nitrogênio (Choi e Reitz, 1999). A extensão dessas tendências é dependente da tecnologia de formação de mistura aplicada em cada motor, que governa a distribuição entre os mecanismos de queima pré-misturada e difusiva em cada regime de operação. A influência da configuração do motor sobre a formação deste poluente foi evidenciada pela Agencia de Proteção Ambiental Estadunidense (EPA, 2002), que efetuou um estudo detalhado dos efeitos da utilização do biodiesel sobre as emissões de exaustão. Para a aplicação da mistura B20, por exemplo, registram-se alterações de -6% a +8% na emissão de óxidos de nitrogênio de acordo com o modelo de motor utilizado (EPA, 2002).

A utilização do biodiesel pode contribuir para o abatimento da emissão de material particulado nos grandes centros urbanos. Por apresentar oxigênio em sua composição, o biodiesel introduz um oxidante nas regiões de mistura rica do jato de combustível, fornecendo um caminho alternativo para os percussores de fuligem. Obtém-se, deste modo, uma redução na fração não-solúvel do material particulado que possui forte correlação com a concentração de oxigênio presente no combustível (Rakopoulos et al., 2006). A restrição obtida na emissão de material particulado também depende da configuração do motor empregado, tendo sido observadas reduções médias de 10,1% a 25% mediante a utilização da mistura B20 (EPA, 2002; Rakopoulos et al., 2006).

1.2 Misturas Parciais Diesel-Biodiesel de Mamona

O biodiesel do óleo de mamona não pode ser adicionado em médias ou altas concentrações ao óleo diesel mineral, o que o torna um substituto limitado para restrição das emissões de gases de efeito estufa decorrentes da utilização dos motores diesel. Isto se deve às suas propriedades físico-químicas singulares, como uma viscosidade de 13,64 cSt, a qual reduz o percentual de adição de biodiesel a 40% em volume para que se satisfaça o limite de viscosidade de 5,5 cSt estabelecido pela ANP para combustíveis diesel (Valente et al., 2011). Contudo, fatores sócio-econômicos tais como a possibilidade de plantio em regiões com baixa produtividade de alimentos, além da viabilidade do cultivo da mamona em propriedades de pequena e média extensão, tornam conveniente o estudo do desempenho operacional deste biocombustível, mesmo sob a limitação no seu teor de adição ao diesel convencional. Deste modo, estudaram-se as características de eficiência, consumo, desempenho e emissões poluentes de um motor diesel de injeção direta turboalimentado operando com óleo diesel e as misturas B10 e B20, tendo-se considerado três regimes de operação distintos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A análise dos parâmetros operacionais relevantes ao estudo do combustível foi realizada em bancada dinâmométrica, controlando-se o regime de operação do motor e medindo-se variáveis como o torque de frenagem, a rotação, a emissão de gases poluentes, a densidade de fumaça nos gases de escape (k) e o consumo de combustível. Os principais componentes da bancada são um motor diesel rápido e um dinamômetro de corrente alternada, mostrados na **Figura 1**. Para a medição e registro das condições de operação do motor, utilizam-se uma balança gravimétrica de combustível; um tanque de amortecimento com sensor de fluxo de ar; um opacímetro de fluxo parcial ALFATEST; um analisador de cinco gases NAPRO PC Multigas, uma placa de aquisição de dados equipada com módulos de saída e um microcomputador de controle. Com esse aparato experimental foram realizados experimentos em um motor diesel MWM 229 T6 cujas especificações são dadas na **Tabela 1**. Consideraram-se nos testes o óleo diesel e misturas entre este combustível base e 10 ou 20% de biodiesel em volume, designados respectivamente como óleo diesel, mistura B10 e mistura B20. O combustível de base utilizado aqui é o óleo diesel S50 livre da adição de biodiesel, fornecido pela empresa Petrobras. O éster etílico do óleo de mamona utilizado neste trabalho foi produzido em um reator com capacidade para 20 litros, o qual conta com controles automáticos de dosagem de catalisadores, agitação e temperatura. O processo produtivo adotado aqui se baseia em uma catálise básica com hidróxido de potássio com duração de uma hora, seguida por um passo posterior no qual se efetua a adição de ácido sulfúrico ao leito de reação (Guzatto et al., 2012). Este catalisador ácido produz a substância ativada CH_3CH_2+ a partir do etóxido formado na etapa básica da reação, acelerando a taxa de conversão de saponáceos, monoglicerídeos, diglicerídeos e triglicerídeos em ésteres. Empregaram-se 3 litros de etanol, 32 g de KOH e 16 ml de H_2SO_4 para cada litro de biodiesel produzido, tendo-se

obtido avanços de reação superiores a 99 %. Na **Tabela 2** são apresentadas as principais propriedades das misturas combustíveis em estudo. Note-se a redução do poder calorífico do combustível com a adição de biodiesel, além dos acréscimos de densidade e viscosidade.

Tabela 1: Especificações do motor MWM 229 T6

Configuração	4 tempos de injeção direta
Volume deslocado (dm ³)	5,88
Número de Cilindros	6
Válvulas por Cilindro (Admissão/Escape)	1/1
Abertura/Fechamento das Válvulas de Escape e Admissão (graus antes do PMI)	44°30'
Diâmetro do Pistão (m) x Curso (m)	0,102 x 0,120
Relação de Compressão	15,9:1
Potência Máxima (kW)	65,0 a 1800rpm

Tabela 2: Propriedades das misturas combustíveis em estudo

Combustível	PCI (MJ/kg)	Densidade (kg/m ³)	Viscosidade (cSt)
Diesel	42,49	828,00	2,95
B10	42,02	834,00	3,24
B20	41,56	839,33	3,94
B100	38,17	888,00	14,38



Figura 1: Bancada dinâmométrica em operação com o motor MWM 229.

Ao longo dos experimentos que compõem o presente trabalho, observou-se que pequenas alterações em variáveis operacionais como a temperatura do combustível, a temperatura da água de arrefecimento, a umidade e a temperatura do ar de admissão se mostraram capazes de alterar dados de desempenho e as emissões de NO em uma escala similar à experimentada com a adição de 3% de biodiesel ao combustível, por exemplo. Deste modo, realizou-se uma série de melhorias na estrutura do laboratório para se agregar confiabilidade aos resultados reportados no presente trabalho. A água de arrefecimento do motor em teste foi acondicionada em um trocador de calor do tipo casco tubo posicionado logo em frente ao motor. A temperatura de entrada da água no motor foi controlada variando-se o fluxo de água fria fornecida a este trocador, empregando-se uma bomba acoplada a um inversor de frequência. A temperatura do combustível foi controlada em um trocador de calor casco-tubo que recebe uma corrente de água fria. Os trocadores de

calor empregados com o combustível e com a água de arrefecimento aparecem na parte esquerda da **Figura 1**. Uma unidade do tipo “fan coil” foi empregada no resfriamento e na desumidificação do ar de admissão, o qual passou em seguida por uma tubulação com uma resistência elétrica de aquecimento para a correção de temperatura e um injetor de água para a correção da umidade. Os principais componentes do sistema de condicionamento de ar são apresentados na **Figura 2**. A **Figura 3** traz a estação de controle e a tela de comando da bancada dinamométrica durante um dos ensaios. Dados para as emissões brutas, consumo específico e eficiência térmica foram obtidos em rotação de potência máxima e três condições distintas de carga. Os dados de emissões, torque, rotação e fluxo de combustível foram adquiridos após 10 minutos de operação do motor em regime permanente e se baseiam na média de quatro repetições para cada experimento. A precisão nas medições e as incertezas nas variáveis calculadas são fornecidas na Tabela 3. O consumo específico de combustível (*sfc*) é obtido a partir de medições de potência de frenagem bruta (P_b) e fluxo mássico de combustível (dm_f):

$$sfc = \frac{dm_f}{P_b} \quad (1)$$

A eficiência térmica de frenagem (η) constitui um parâmetro mais adequado para a comparação entre diferentes combustíveis, levando em conta as diferenças nos poderes caloríficos de cada um destes combustíveis:

$$\eta = \frac{P_b}{dm_f PCI} \quad (2)$$

Sendo PCI o poder calorífico inferior do combustível em estudo.



Figura 2: Componentes do sistema de condicionamento de ar e nova placa de interface.



Figura 2: Estação de controle e interface com o usuário.

Tabela 3: Precisão da medição e incertezas nas variáveis calculadas.

Medição	Precisão da Medida da Escala Completa
Potência de frenagem	$\pm 0,32$ kW
Consumo de combustível (fluxo de combustível)	± 192 g/h
Consumo de ar (vazão volumétrica)	± 6 m ³ /h
Variável calculada	Incerteza da Variável Calculada
PCI	$\pm 0,21\%$
Eficiência térmica de frenagem	$\pm 0,29\%$ (Plena Carga)
Consumo específico de combustível	$\pm 2,78$ g/kWh (Plena Carga)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de desempenho do motor obtidos em dinamômetro são apresentados na Tabela 4. Nota-se que a adição de biodiesel resultou em perdas na potência máxima de frenagem de 3,7 % para a mistura B10 e de 11,1 % para a mistura B20 com relação ao óleo diesel. Estas perdas não podem ser justificadas exclusivamente pela redução no conteúdo energético do combustível, que foi de apenas 1,1% para a mistura B10 e 2,18% para a mistura B20 com relação ao combustível base. De fato, a adição de biodiesel reduz a taxa com a que a bomba injetora entrega combustível ao motor em 12,26% para a mistura B10 e em 8,5% para a mistura B20. Pode-se atribuir este comportamento à viscosidade do biodiesel de mamona, a qual altera o escoamento nos elementos injetores e o equilíbrio do governador mecânico da bomba injetora. Para o caso da mistura B20, as alterações no sistema de injeção também acabaram reduzindo em 83 rpm a rotação na qual o motor atingiu potência máxima. Devido ao empobrecimento de mistura obtido com o biodiesel, além da menor exergia aprisionada nos gases de escape, as misturas parciais diesel-biodiesel proporcionaram eficiências térmicas superiores às observadas com o óleo diesel convencional. Este ganho de eficiência se mostrou capaz de contrapor os efeitos do menor conteúdo energético do biodiesel, de forma que valores mínimos de consumo específico foram obtidos com a mistura B10 nos regimes de plena carga e baixa carga, enquanto a mistura B20 obteve o melhor desempenho em carga mediana. Tais resultados estão em concordância com resultados obtidos em um trabalho anterior utilizando o biodiesel obtido a partir do óleo de soja em um motor diesel rápido turbo-alimentado (Bueno et al., 2009). Nota-se, portanto, que apesar das propriedades dissimilares com relação aos biodieseis de origem convencional e utilização mais difundida, o biodiesel de mamona apresenta um impacto operacional muito semelhante ao observado para estes biocombustíveis quando adicionado ao óleo diesel em baixas concentrações.

O uso da mistura B10 não alterou de forma significativa às emissões poluentes, exceto por uma modesta redução nas emissões de material particulado. Quanto às emissões poluentes, o uso da mistura B20 acabou elevando a produção de óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos não queimados em patamares de 5 a 23% com relação ao óleo diesel convencional, ocasionando ainda uma redução de cerca de 7% na emissão de material particulado. De acordo com dados obtidos em simulações multidimensionais, verifica-se que a adição de biodiesel elevou a distância de penetração do jato de combustível. Isto acaba favorecendo a formação de óxidos de nitrogênio na periferia do jato, bem como aumentando a quantidade de hidrocarbonetos não queimados aprisionados em regiões com relação combustível-ar abaixo dos limites de flamabilidade no instante da ignição (Rocha, 2011).

Tabela 4: Resultados de desempenho e consumo do motor.

	Regime de plena carga			Regime de carga mediana			Regime de baixa carga		
	Mistura Combustível			Mistura Combustível			Mistura Combustível		
	Diesel	B10	B20	Diesel	B10	B20	Diesel	B10	B20
Torque (N.m)	378	369	353	217	219	226	38	41	43
Rotação (rpm)	1730	1707	1647	1815	1832	1838	1868	1868	1873
Consumo (g/h)	19866	17429	18164	11986	12155	11739	3989	4172	4480
P_b (kW)	68.48	65.96	60.88	41.24	41.99	43.43	7.43	8.02	8.43
sfc (g/kWh)	290.09	264.23	298.34	290.60	289.46	270.30	536.62	520.18	531.18
η (-)	0.2919	0.3242	0.2923	0.2914	0.2959	0.3204	0.1578	0.1647	0.1629

Tabela 5: Resultados de emissões poluentes brutas.

	Regime de plena carga			Regime de carga mediana			Regime de baixa carga		
	Mistura Combustível			Mistura Combustível			Mistura Combustível		
	Diesel	B10	B20	Diesel	B10	B20	Diesel	B10	B20
NO _x (ppm)	1304	1335	1359	1278	1189	1421	172	173	211
HC (ppm)	16	15	21	26	24	26	22	19	28
CO (ppm)	4500	4500	5200	3000	3000	3000	700	700	700
Opacidade (Δ em k)	x	-7%	-6.80%	x	-7%	-11.10%	x	-3%	-2.10%

4. CONCLUSÕES

O desempenho das misturas B10 e B20 entre o óleo diesel convencional e o éster etílico do óleo de mamona foi avaliado a partir de ensaios em bancada conduzidos em três regimes distintos. As seguintes tendências foram observadas para as misturas parciais entre diesel e biodiesel, com relação à operação do motor com o óleo diesel convencional:

- Leve decréscimo no fluxo de combustível entregue ao motor em carga máxima com relação ao óleo diesel;
- Reduções de 3,7 % (mistura B10) e 11,1 % (mistura B20) na potência de frenagem máxima e pequenos decréscimos na rotação do regime de potência máxima;
- Variações de eficiência térmica em carga máxima de +3,23% para a mistura B10 e +0,04% para a mistura B20; +0,45% para a mistura B10 e +2,90% para a mistura B20 em carga mediana; +0,69% para a mistura B10 e +0,51% para a mistura B20 em baixa carga;
- Abatimentos de consumo específico de 25,46 g/kWh no regime de plena carga e 16,44 g/kWh em baixa carga com a mistura B10, além de 20,3 g/kWh para a mistura B20 em carga mediana;
- O uso da mistura B10 não alterou de forma significativa às emissões poluentes, exceto por uma modesta redução nas emissões de material particulado;
- O uso da mistura B20 acabou elevando a produção de óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos não queimados em patamares de 5 a 23% com relação ao óleo diesel convencional, ocasionando ainda uma redução de cerca de 7% na emissão de material particulado.

Nota-se, portanto, que apesar de suas propriedades singulares o biodiesel obtido a partir do óleo de mamona pode apresentar um desempenho operacional satisfatório quando adicionado ao óleo diesel convencional em baixas proporções.

5. AGRADECIMENTOS

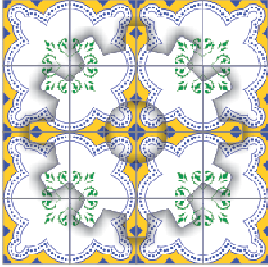
Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Projeto 479351/2009-0) pelo financiamento parcial dessa pesquisa e pela concessão de bolsas.

6. REFERÊNCIAS

- Agarwal, A., K., 2007, "Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines", *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol. 33 pp. 233–271.
- Agarwal, A.K. and Das, L.M., 2001, "Biodiesel development and characterization for use as a fuel in compression ignition engines", *Transactions of the ASME*, Vol. 123 pp. 440-447.
- Bueno, A., Velásquez, J., Milanez, L. F., 2009, "Effect of soybean oil ethyl ester / diesel fuel blend on engine efficiency", *International Journal of Vehicle Design*, Vol. 50 pp. 229-257.
- Chang, C., Farrell, P., 1997, "A study on the effects of fuel viscosity and nozzle geometry on high injection pressure diesel spray characteristics", *SAE Paper 970353*.
- Choi, C. Y., Reitz, R. D., 1999, "A numerical analysis of the emissions characteristics of biodiesel blended fuels", *J. of Engineering for Gas Turbines and Power*, Vol. 121 pp. 31-40.
- Choi, C. Y., Reitz, R. D., 1999, "An Experimental Study on the Effects of Oxygenate Fuel Blends and Multiple Injection Strategies on DI Diesel Engine Emissions", *Fuel*, Vol. 78 pp. 1303-1327.
- Guzatto, R.; Defferrari, D.; Reiznautt, Q. B.; Cadore, I. R.; Samios, D., 2012, "Transesterification double step process modification for ethyl ester biodiesel production from vegetable and waste oils", *Fuel*, Vol. 92, pp. 197-203.
- Rakopoulos, C.D., Rakopoulos, D.C., Hountalas, D.T., Giakoumis, E.G. and Andritsakis, E.C., 2007, Performance and emissions of bus engine using blends of diesel fuel with bio-diesel of sunflower or cottonseed oils derived from Greek feedstock, *Fuel*, Vol. 87 pp. 147-157.
- Rakopoulos C.D., Antonopoulos K.A., Rakopoulos D.C., 2006, Multi-zone modeling of diesel engine fuel spray development with vegetable oil, bio-diesel or diesel fuels, *Energy Conversion and Management*, Vol. 47 pp. 1550-1573.
- Rocha, D. S., 2011, Análise Numérica do Desempenho de um Motor Diesel Turboalimentado Operando com Mistura Óleo Diesel-Biodiesel de Mamona. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Ceará
- United states Environmental Protection Agency (EPA), 2002, A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions, Draft Technical Report EPA420-P-02-001.
- Valente, O. S., Silva, M. J., Pasa, V. M. D., Belchior, C. R. P., Sodr , J. R., Fuel consumption and emissions from a diesel power generator fuelled with castor oil and soybean biodiesel, *Fuel*, Vol. 89 pp. 3637–3642.
- Valente, O. S., Pasa, V. M. D., Belchior, C. R. P., Sodré, J. R., 2011, Physical–chemical properties of waste cooking oil biodiesel and castor oil biodiesel blends, *Fuel*, Vol. 90 pp. 1700–1702.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores sˆo os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.



EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE ENGINE PERFORMANCE OF CASTOR OIL BIODIESEL AND DIESEL FUEL BLENDS

André Valente Bueno, bueno@ufc.br¹

Fabiano da Silva Matoso, fsmatoso@yahoo.com.br¹

Antônio José de Carvalho Júnior, antjosejr@gmail.com¹

Marcos Aurélio Moreira Vidal, marc0s_c7s@hotmail.com¹

¹Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici - Bloco 714 - CEP 60455-760 - Fortaleza - CE

Abstract. *The operational effects of the operation of a turbocharged direct injection diesel engine with fuel blends composed of standard diesel fuel and castor oil biodiesel were experimentally studied in order to establish the levels of biodiesel addition which are capable to improve the engine efficiency, fuel consumption, and emissions of a direct injection diesel engine. Interesting results were obtained with the B10 blend (10% biodiesel and 90% diesel by volume), registering a decrease of 26 g / kWh in the specific consumption under full load conditions. The use of B10 blend did not change significantly the pollutants emitted, except for a modest reduction in emissions of particulate matter. As for the B20 fuel blend, there was an increase of 8 g / kWh on full load consumption as well as a reduction of 29 g / kWh median load condition. Regarding emissions, the use of B20 blend increased the production of nitrogen oxides and unburned hydrocarbons at levels of 5 to 23% compared to conventional diesel fuel, causing a further reduction of about 7% in the emission of particulate matter.*

Keywords: *Biodiesel; Castor Oil; Diesel Engine; Performance; Emissions*

RESPONSIBILITY NOTICE

The author(s) is (are) the only responsible for the printed material included in this paper.