

Efeito de diferentes concentrações de biodiesel nas emissões gasosas de um trator agrícola em operação

João Paulo Barreto Cunha¹, Elton Fialho dos Reis², Rodney Ferreira Couto²,
Vandoir Holtz³, Tulio de Almeida Machado⁴, Daniel Max Leonídio²

¹ Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Tecnologia, Departamento de Engenharia, BR 465, km 7, CEP 23890-000, Seropédica-RJ, Brasil. E-mail: bcunha_2@hotmail.com

² Universidade Estadual de Goiás, Campus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas – Henrique Santillo, BR 153, n° 3.105, Fazenda Barreiro do Meio, CEP 75132-903, Anápolis, GO, Brasil. Caixa Postal 459. E-mail: fialhoreis@ueg.br; rodneycouto@agricola.eng.br; daniel_max@hotmail.com

³ Universidade do Estado de Mato Grosso, Campus Nova Xavantina, Rua Professor Doutor Renato Figueiro Varella, s/n, CEP 78690-000, Nova Xavantina-MT, Brasil. Caixa Postal 08. E-mail: vandoirholtz@hotmail.com

⁴ Instituto Federal Goiano, Campus Morrinhos, BR 153, km 633, Zona Rural, CEP 75650-000, Morrinhos-GO, Brasil. Caixa Postal 92. E-mail: machado.tulio@gmail.com

RESUMO

Objetivou-se com o presente trabalho avaliar as emissões gasosas de um trator agrícola com motor de ciclo Diesel utilizando misturas de biodiesel de soja e óleo diesel em conjunto trator/grade pesada realizando a operação de preparo do solo. O experimento foi montado em delineamento de blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas com três repetições, onde as parcelas foram constituídas pelas misturas de biodiesel e óleo diesel (B5, B10, B25, B50, B75 e B100) e as subparcelas as profundidades de atuação da grade pesada (0,11; 0,13; 0,16; 0,18 m). Foram determinadas as emissões de monóxido de carbono, dióxido de carbono, oxigênio, óxidos de nitrogênio e óxidos de enxofre. Os resultados mostram que o uso do biodiesel permitiu reduzir as emissões de monóxido de carbono e de óxidos de enxofre, principais gases poluentes.

Palavras-chave: biocombustível, biodiesel de soja, gases poluentes, preparo de solo

Effect of different concentrations of biodiesel in gas emissions of an agricultural tractor in operation

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the greenhouse gases emissions of an agricultural tractor with diesel engine using mixtures of soybean biodiesel and diesel in the tractor /harrow performing the operation of tillage. The experiment was mounted in randomized block design distributed in split plot with three replications, where the plots were assigned mixtures of biodiesel and diesel (B5, B10, B25, B50, B75 and B100) and subplots depths of operation harrow (0.11, 0.13, 0.16, 0.18 m). The emissions of carbon monoxide, carbon dioxide, oxygen, nitrogen oxides and sulfur oxides were determined in this study. The results show that the use of biodiesel reduced emissions of carbon monoxide and oxides of sulfur, the main greenhouse gases.

Key words: biofuels, soybean biodiesel, greenhouse gases, tillage

Introdução

No momento da compra de um trator agrícola, o produtor se baseia em diferentes parâmetros técnicos como a potência, ergonomia, facilidade nas manobras e manutenção, preço e eficiência energética (Silveira & Sierra, 2010). Atualmente, cresce a necessidade de se escolher equipamentos que apresentem economia no consumo de combustíveis fósseis e reduzidas emissões de gases por motivos econômicos e ecológicos. Os equipamentos agrícolas, como os tratores, estão certamente inseridos nesse contexto.

Num cenário cada vez mais frequente de preços elevados dos combustíveis fósseis e de mudanças climáticas devido à degradação ambiental causada pelas emissões gasosas, o uso da biomassa, na forma dos óleos vegetais e os biocombustíveis, contribuem para a redução desses problemas, diminuindo significativamente a carga poluente emitida, se tornando uma fonte de energia renovável e uma alternativa ao uso do óleo diesel (Godesa et al., 2010; Silva et al., 2012; Dias et al., 2014).

Uma das principais operações agrícolas realizadas por tratores é o preparo periódico do solo, e a escolha do melhor método é extremamente difícil devido a diversas variações de solo, teores de água, cobertura vegetal e culturas a serem instaladas. Stolf et al. (2008) citam que a utilização de grades é o método mais utilizado para a mobilização do solo atualmente, servindo para a descompactação das camadas superiores e corte do material vegetal.

A potência requerida pelo conjunto mecanizado está diretamente relacionada com a força requerida pelos implementos, pela velocidade de operação e também pela profundidade de operação dentre outros fatores. Paralelo à questão relacionada ao desempenho do trator, com o aumento da profundidade de atuação do implemento ocorre uma maior demanda de potência por parte dos tratores, ocorrendo o aumento na formação e emissão de gases poluentes. Esse fato ocorre devido o motor ciclo Diesel não operar com a mistura ar/combustível que permita a obtenção máxima potência.

No caso das emissões provenientes de motores Diesel, segundo Miragaya (2005), as mesmas estão ligadas diretamente à qualidade da queima obtida, sendo que diversas propriedades do diesel influenciam na combustão; no qual o enxofre, por exemplo, acaba interferindo diretamente na emissão de particulados do motor. De acordo com Aguillar (2014), os gases emitidos provenientes de motores Diesel consistem na mistura de compostos como o CO, CO₂, NO_x; e o uso do biodiesel apresenta outras vantagens ambientais além das reduções na emissão da maioria desses compostos.

Alguns autores já avaliaram o efeito do uso de biocombustíveis nas emissões gasosas em tratores agrícolas. Mazieiro et al. (2006) analisaram os níveis de emissão de poluentes utilizando óleo diesel metropolitano e biodiesel de éster etílico de óleo de girassol (EEOG) como combustíveis. Com o uso de EEOG, as emissões de CO e HC e material particulado foram reduzidas em 32,2%, 31,0% e 41,0%, respectivamente; enquanto que a concentração de NO_x foi elevada em 5,7%. As emissões de HC e CO, reduzidas com o uso de EEOG, podem ter seus valores reduzidos ainda mais com a definição de valores adequados de ponto de injeção e taxa

de dosagem nas diferentes condições de aumento de potência. Os autores descrevem que providência, dessa mesma natureza, pode ser adotada com o objetivo de reduzir as concentrações mais elevadas de NO_x observadas com o uso de EEOG.

Diversos estudos demonstraram a viabilidade do uso de biodiesel em motores bem como a redução dos gases de efeito estufa emitidos. Grande parte desses estudos foram realizados em bancadas e com motores estacionários, porém raros são os ensaios dinâmicos em tratores realizando operações rotineiras. Diante do exposto, objetivou-se com o presente trabalho avaliar as emissões de gases poluentes provenientes de um trator agrícola com motor de ciclo Diesel, utilizando diferentes misturas de biodiesel de soja e óleo diesel automotivo interior (B5) na operação de preparo do solo.

Material e Métodos

O experimento de campo foi conduzido nas dependências do Aeroporto municipal de Anápolis - GO, coordenadas geográficas de 17°43'19"S e 48°09'35"W e altitude de 1017 m, em Latossolo Vermelho Amarelo. Antes da realização do ensaio foi feita a caracterização física do solo, onde foi determinada a resistência à penetração (1,05 MPa), densidade do solo (1,03 Mg m⁻³) e teor de água (17%), conforme Embrapa (1997) e Asabe (2006).

Utilizou-se para a realização do preparo do solo uma grade pesada de dupla ação, marca Tatu Marchesan, modelo ACTR, dotada de 14 discos recortados (26" x 6,0 mm) e 1556 kg de peso, sendo tracionada pela barra de tração de um trator agrícola marca New Holland, modelo TT 4030, com motor de ciclo Diesel, aspiração natural quatro tempos, potência nominal segundo NBR-1585 de 55,1 kW (75 cv), tração dianteira auxiliar, rodados equipados com pneus diagonais Goodyear DynaTorque traseiros (16.9-30) e dianteiros (R1 112-24), apresentando lastros metálicos na parte dianteira e nos rodados traseiros, totalizando 360 kgf.

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, esquema de parcelas subdivididas, onde as parcelas eram constituídas por seis concentrações de biodiesel (B5, B10, B25, B50, B75, B100) e as subparcelas constituídas de quatro profundidades de atuação da grade pesada (0,11; 0,13; 0,16 e 0,18 m), com três repetições.

Foram demarcadas setenta e duas parcelas com 70 m de comprimento e 2,5 m de largura, onde o conjunto mecanizado foi deslocado obtendo as variáveis respostas. Durante os ensaios a rotação do motor foi mantida em 2000 rpm (rotações por minuto), trabalhando com velocidade média operacional de 1,14 m s⁻¹, sendo obtida em função do tempo de deslocamento do conjunto em operação nas parcelas estudadas.

A profundidade de atuação da grade pesada foi determinada após o preparo do solo, retirando o solo mobilizado com o auxílio de uma enxada na região descompactada pelos mecanismos de corte da grade e medidas as profundidades em nove pontos de cada parcela experimental. A partir desses nove pontos, determinou-se a média da profundidade de cada parcela.

Para a determinação dos gases emitidos pelo motor foi utilizado um monitor ambiental de combustão e de emissão

de gases da marca KANE, modelo 940 portátil, acoplado ao sistema de exaustão (escapamento) do trator, que permitiu a aquisição dos dados num intervalo de quinze segundos durante o deslocamento do conjunto mecanizado nas parcelas. A sonda do analisador foi fixada no centro do escapamento para o aumento da precisão na coleta dos gases de escape emitidos pelo trator em operação. O equipamento estima a eficiência da combustão e determina os gases estufa emitidos segundo o disposto na norma britânica BS 845 (BS, 1987).

O equipamento permitiu a aquisição dos dados e análise simultânea de cinco parâmetros (O_2 , CO, CO_2 , NO_x , SO_2) provenientes da utilização das diferentes misturas biodiesel/óleo diesel de acordo com cada tratamento, sendo apresentada as faixas, a precisão e resolução do equipamento para cada parâmetro na Tabela 1.

Tabela 1. Resolução, precisão e faixa dos parâmetros de emissões analisados

	Resolução	Precisão	Faixa
Oxigênio	0.1%	± 0.2%	0-21%
Monóxido de carbono	1 ppm	± 5% <5000 ppm	0-10000 ppm
Dióxido de carbono	0.1%	± 0.3% da leitura	0-99.9%
Óxido nítrico	1 ppm	± 5% >100 ppm	0-5000 ppm
Dióxido de enxofre	1 ppm	± 5% >100 ppm	0-5000 ppm

O óleo Diesel utilizado para a realização do ensaio foi obtido na rede de abastecimento local, sendo classificado pela agência nacional de petróleo (ANP) como diesel automotivo interior ou tipo B, sendo o mesmo indicado para o uso em motores ciclo Diesel e instalações de aquecimento de pequeno porte. Com relação ao biodiesel utilizou-se o éster etílico de soja produzido a partir da transesterificação de óleo de soja e fornecido por uma empresa comercial produtora deste tipo de combustível, localizada no município de Anápolis-GO. Dessa forma, os diferentes percentuais da concentração de biodiesel utilizadas tiveram os valores da mistura biodiesel/diesel expressos em termos de volume.

Para que não houvesse a contaminação de um combustível com o outro, no momento da troca do combustível todos os registros do sistema de alimentação foram fechados, de tal maneira que o motor consumisse todo o combustível presente nas tubulações e no filtro. Posteriormente o registro do tanque auxiliar foi aberto, possibilitando a utilização do próximo combustível. Em seguida, o motor foi mantido em funcionamento durante dez minutos, utilizando-se da nova mistura de combustível, para a adaptação do sistema de alimentação do motor e, conseqüentemente, eliminar o efeito dos ensaios realizados com combustível anterior.

Os dados de emissões gasosas obtidos no experimento foram submetidos à análise de variância aplicando-se teste F a 5% de probabilidade. Quando significativos, por se tratarem de dados quantitativos, foram analisados por meio de estudo de regressão utilizando o programa estatístico STATISTICA 7®.

Resultados e Discussão

De acordo com a análise de variância dos dados de emissões não houve efeito significativo das variáveis estudadas e sua interação nas emissões de dióxido de carbono (CO_2), oxigênio

(O_2) e de óxidos de nitrogênio (NO_x), presentes Tabela 2. Com relação às emissões de monóxido de carbono (CO), as mesmas mostraram-se significativas para a interação dos fatores estudados. Quando analisado o efeito dos fatores na emissão de dióxido de enxofre, os mesmos sofreram efeito significativo do tipo de mistura diesel/biodiesel utilizado.

Poucos trabalhos determinaram as emissões de um trator agrícola em operação e sua contribuição na poluição atmosférica. No presente estudo as emissões foram determinadas em condições reais de campo, o que implica, segundo Müllerová et al. (2011), que emissões são diretamente dependentes das diferentes características inerentes ao tipo de trator utilizado e seu motor, operação que o conjunto realiza, ano de fabricação do trator, etc.

Com base nos dados obtidos foi possível obter a superfície de resposta para a emissão de monóxido de carbono (CO), conforme a Figura 1. De acordo com os dados observa-se que houve redução nas emissões com o aumento da concentração de biodiesel na mistura. Segundo Acevedo & Mantilla (2011) motores de combustão interna emitem maior quantidade de

Tabela 2. Resumo da análise de variância das variáveis expresso pelo quadrado médio: emissão de oxigênio (O_2), dióxido de carbono (CO_2), óxidos de nitrogênio (NO_x), monóxido de carbono (CO) e dióxido de enxofre (SO_2)

FV	GL	QM				
		O_2	CO_2	NO_x	CO	SO_2
Bloco	2	0,18	0,222	1895084	54874,8	3505,1
Combustível	5	1,78	1,122	4486343	175463,9	187413,9*
Erro 1	10	1,98	1,488	1992747	60382,3	20452,6
Profundidade	3	1,125	0,259	2260823	10721,2	1393,6
Prof*Comb	15	1,336	0,803	1751330	28615,4 *	2784,8
Erro 2	36	1,162	0,518	1624105	13382,9	3435,4
	CV1=	10,54	21,32	162,49	72,38	73,29
	CV2=	8,08	12,58	146,69	34,08	30,04
	Média	13,34	5,72	868,78	339,48	195,13

* Significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade.

$$CO_{(ppm)} = - 2,47Bx - 6,94P + 549,24$$

$$R^2 = 0,42 ; p = 0,0675$$

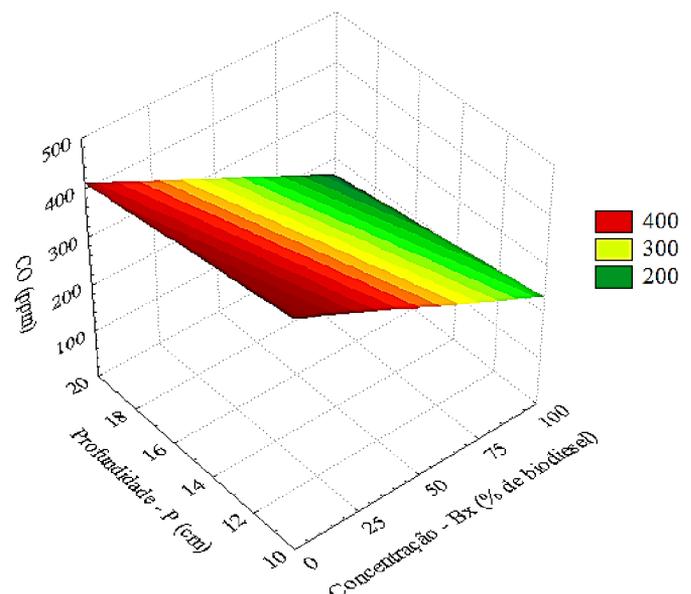


Figura 1. Superfície de resposta representando o efeito das diferentes concentrações de biodiesel misturado ao diesel e da profundidade de trabalho na emissão de monóxido de carbono (CO)

monóxido de carbono usando diesel fóssil em comparação ao biodiesel.

Segundo Ramesh et al. (2014a), com o aumento da concentração de biodiesel na mistura, as emissões de monóxido de carbono reduzem devido a uma queima mais completa do combustível. Tal fato é explicado pela maior quantidade de moléculas de oxigênio presentes no biodiesel em comparação ao combustível fóssil (Sahoo et al., 2009).

Por outro lado, quando analisado o efeito da profundidade de atuação da grade e o requerimento de potência por parte do conjunto mecanizado, observa-se uma pequena redução na emissão de monóxido de carbono (CO). Segundo Qui et al. (2010) as emissões desse gás pouco modificam para pequenas e médias solicitações de potência por parte do motor, havendo reduções bastante significativas com o aumento de cargas com a utilização de biodiesel na forma pura, ou em misturas. Por se tratar de um produto da combustão incompleta do combustível, a combinação de maiores demandas de potência por parte do motor e o aumento da temperatura na combustão permite um processo mais completo e conseqüente redução da emissão (Kivevele et al., 2011).

A Figura 2 apresenta as emissões de dióxido de carbono (CO_2) e oxigênio (O_2). Com base nos dados obtidos é possível afirmar que mesmo não significativo às emissões de oxigênio tiveram tendência de aumento com uma maior concentração de biodiesel na mistura, enquanto para as emissões de dióxido de carbono o efeito é inverso.

A tendência de aumento para as emissões de oxigênio, quando utilizadas maiores concentrações de biodiesel, podem ser explicadas pelo fato do biodiesel possuir maior quantidade de cadeias oxigenadas em comparação ao combustível de origem fóssil (Correa et al., 2008). Esse comportamento confere ao biodiesel uma maior eficiência no processo de combustão, principalmente por possuir maiores quantidades de moléculas de oxigênio livres devido a adição de álcool no seu processo de produção.

Segundo Sahoo et al. (2007), concentrações acima de 20% de biodiesel na mistura podem reduzir até 40% das emissões de CO_2 em comparação a utilização do diesel na forma pura. Os mesmos autores citam que as emissões desse gás acabam sendo funcionais, visto que, é um gás retirado pelas plantas e por meio da fotossíntese são utilizados para a produção vegetal e conseqüente produção de biodiesel.

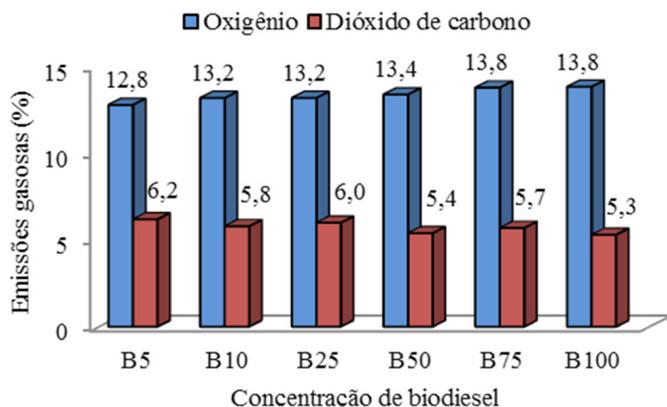


Figura 2. Emissões gasosas de oxigênio (%) e dióxido de carbono (%) para as diferentes concentrações de biodiesel na mistura

As emissões de dióxido de carbono (CO_2) diminuíram em 14,5% quando comparada a utilização do diesel e o biodiesel de soja na forma pura, sendo tal resultado semelhante aos obtidos por Ramesh et al. (2014b) avaliando um trator agrícola em operação de preparo utilizando diferentes misturas de biodiesel.

De uma maneira geral, as emissões obtidas no presente estudo tenderam a valores semelhantes às obtidas por Rashid et al. (2013) que avaliando diferentes operações mecanizadas encontraram valores para emissões desse gás entre 3 e 9%. Os mesmos autores citam que as emissões de CO_2 estão diretamente relacionadas com o tipo de trator e operação que esta sendo realizada.

No que diz respeito às emissões de óxidos de nitrogênio (NOx), os resultados são apresentados na Figura 3. Houve um aumento de 49,8 % nas emissões quando utilizado o biodiesel na forma pura, corroborando com diversos autores, como Hunt et al. (2013) que avaliando as emissões de NOx e a performance de um trator compacto utilizando biodiesel, verificaram emissões 15% superiores quando utilizando biodiesel na forma pura.

Krahl et al. (2006) afirmam que as emissões de óxido de nitrogênio são aumentadas com a utilização de ésteres, caso a administração da entrada de combustível do motor não seja alterada, como por exemplo o avanço da injeção, pois o aumento da pressão produzida pela bomba injetora propaga o combustível mais rapidamente para os bicos injetores, aumentando assim as emissões de NOx. De acordo com o mesmo autor, as emissões desse tipo de gás constitui-se do principal problema na utilização do biodiesel em motores diesel, junto a emissão de material particulado.

Além disso, o elevado teor de oxigênio causa aumento da temperatura adiabática do ar admitido dentro do cilindro provocando excessos na oxidação de hidrocarbonetos presentes na composição química dos combustíveis, fato que também pode explicar o aumento médio das emissões de NOx (Di et al., 2009).

De acordo com Mazieiro et al. (2006) o aumento efetivo nas emissões de óxidos de nitrogênio deve-se aos pontos de cargas efetivas, no caso o aumento da profundidade de trabalho da grade aradora, em que os menores atrasos químicos

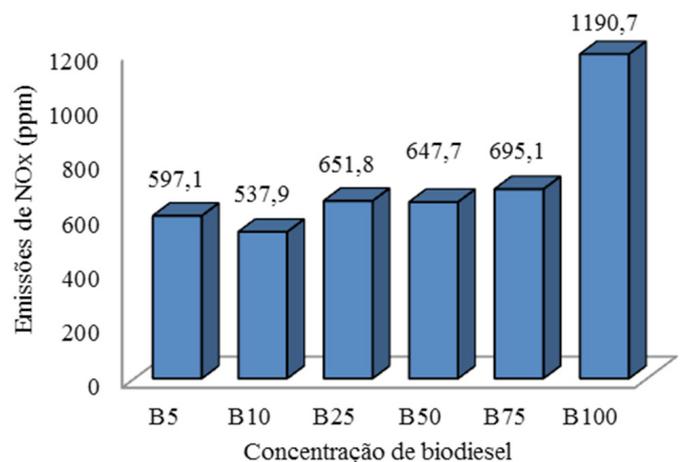


Figura 3. Emissões gasosas de óxidos de nitrogênio (NOx) nas diferentes concentrações de biodiesel na mistura

da combustão do biodiesel facilitam a liberação de calor. Dessa maneira, a câmara de combustão atinge valores maiores de temperatura, o que potencializa a formação e emissão de óxidos de nitrogênio.

Com relação as emissões de dióxido de enxofre, as mesmas sofreram redução nos valores com o aumento da concentração de biodiesel na mistura. Conseguiu-se uma redução de 91,4 % nas emissões desse gás quando utilizado biodiesel na forma pura em comparação ao uso do Diesel (Figura 4).

Tais resultados já eram esperados visto que essa é uma das grandes vantagens da utilização de biodiesel como combustível, pois o mesmo não apresenta compostos de enxofre em sua composição. De acordo com Baik & Han (2005), o uso de biodiesel pode não somente eliminar as emissões de enxofre, mas permitir sua utilização como aditivo em substituição aos componentes sulfurosos usados atualmente, pois o biodiesel promove o aumento da lubrificidade do óleo Diesel.

Ainda com base nos resultados obtidos no presente estudo, os mesmos são semelhantes aos obtidos por Reis et al. (2013) que avaliando alguns parâmetros de desempenho e de emissões gasosas em um grupo gerador a diesel, submetido a diferentes combinações de concentrações de biodiesel verificaram que as emissões desse gás decresceram até se tornarem nulas em concentrações acima de 80% de biodiesel de soja.

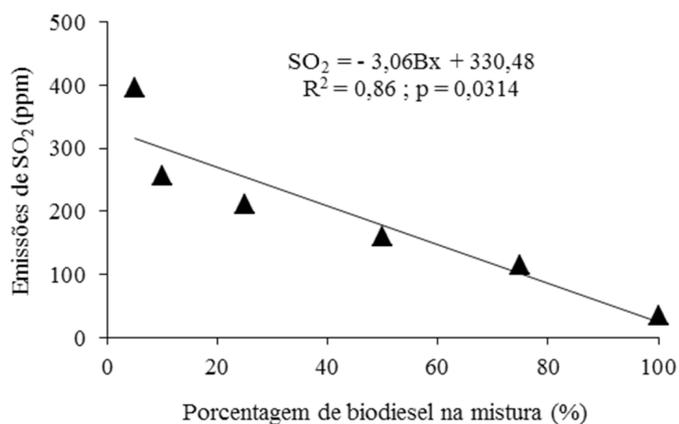


Figura 4. Emissões de dióxido de enxofre (SO₂) em função das concentrações de biodiesel no diesel

Conclusões

As emissões de dióxido de carbono tenderam a reduzir com o aumento da concentração de biodiesel na mistura, enquanto o efeito contrário foi verificado para o oxigênio.

Os valores encontrados para as emissões de NOx se apresentaram em média 49,8% superiores quando utilizado o éster etílico de soja puro em relação ao diesel comum, constatando ser a grande limitação ambiental do uso do biodiesel.

Houve redução nas emissões de monóxido de carbono com o aumento da concentração de biodiesel na mistura por proporcionar um processo de combustão mais completo.

As emissões de SO₂ reduziram com o aumento da concentração de biodiesel adicionado ao diesel, sendo quase anuladas com o uso de biodiesel na forma pura (B100).

Literatura Citada

- Acevedo, H.; Mantilla, J. Performance and emissions of a heavy duty diesel engine fuelled with palm oil biodiesel and premium diesel. *Dyna*, v.78, n.170, p.152-158, 2011. <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49621159017>>. 10 Ago. 2015.
- Aguillar, M. J. Wastes to reduce emissions from automotive diesel engines. *Journal of Waste Management*, New York, v. 2014, 5p., 2014. <<http://dx.doi.org/10.1155/2014/807947>>.
- American Society of Agricultural and Biological Engineers - Asabe. ASAE standard S313.3: Soil cone penetrometer. St Joseph: Asabe, 2006. p.902-904.
- Baik, D. S.; Han, Y. C. The effect of biodiesel and ultra low sulfur diesel fuels on emissions in 11,000 CC heavy-duty diesel engine. *Journal of Mechanical Science and Technology*, v.19, n.3, p.870-876, 2005. <<http://dx.doi.org/10.1007/2FBF02916135>>.
- British Standards - BS. BS 845: Methods for assessing thermal performance of boilers for steam, hot water and high temperature heat transfer fluids. Concise procedure. London: British Standards Institution, 1987. 44p.
- Correa, I. M.; Maziero, J. V. G.; Ungaro, M. R.; Bernardi, J. A.; Storino, M. Desempenho de Motor Diesel com Misturas de Biodiesel de Óleo de Girassol. *Revista Ciências e Agrotecnologia*, v.32, n.3, p.923-928, 2008. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542008000300033>>.
- Di, Y.; Cheung, C. S.; Huang, Z. Experimental Investigation on Regulated and Unregulated emissions of a diesel engine fueled with ultra-low sulfur diesel fuel blended with biodiesel from waste cooking oil. *Science of the Total Environment*, v.407, n.2, p.835-846, 2009. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.09.023>>.
- Dias, C. S.; Louzeiro, H. C.; Silva, F. C.; Maciel, A. P. Obtenção e uso de microemulsões combustíveis de óleo de babaçu (*Orbignya phalerata*) em motor do ciclo diesel. *Revista Química Industrial*, n.742, p.11-15, 2014. <<http://www.abq.org.br/rqi/2014/742/RQI-742-pagina11-obtencao-e-uso-de-microemulsoes-combustiveis-de-oleo-de-Babacu-em-motor-do-ciclo-diesel.pdf>>. 10 Ago. 2015.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de Métodos de Análise de Solo. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212p.
- Godesa, T.; Jejcic, V.; Poje, T. Characteristics of a tractor engine using mineral and biodiesel fuels blended with rapeseed oil. *Scientia Agricola*, v.67, n.5, p.510-516, 2010. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162010000500003>>.
- Hunt, C. L.; Johnson, D. M.; Edgar, D. W. NOx Emissions and Performance of a Compact Diesel Tractor Fueled with Emulsified and Non-Emulsified Biodiesel. *Journal of Agricultural Systems, Technology, and Management*, v.24, p.12-22, 2013. <<http://jastm.org/index.php/jastm/article/view/14/30>>. 10 Ago. 2015.
- Kivevele, T.; Krisfof, L.; Bereczky, A.; Mbarawa, M. M. Engine performance, exhaust emissions and combustion characteristics of a CI engine fuelled with croton megalocarpus methyl ester with antioxidant. *Fuel*, v.90, n.8, p.2782-2789, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2011.03.048>>.

- Krahl, J. Influência do biodiesel e de diferentes combustíveis diesel sobre as emissões de exaustão e seus efeitos sobre a saúde. In: Knothe, G.; Van Gerpen, J.; Krahl, J. (Orgs.). Manual de biodiesel. São Paulo: E. Blücher, 2006. p.193-201.
- Mazieiro, J. V. G.; Correa, 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.
- Miragaya, J. C. G. Biodiesel: tendências no mundo e no Brasil. Informe Agropecuário, v.26, n.229, p.7-13, 2005. <<http://www.informeagropecuario.com.br/produtos.php?produto=99>>. 10 Ago. 2015.
- Müllerová, D.; Landis, M.; Schiess, I.; Jablonicky, J.; Prístavka, M. Operating parameters and emission evaluation of tractors running on diesel oil and biofuel. Research in Agricultural Engineering, v.57, p.S35-S42, 2011. <<http://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/52465.pdf>>. 10 Ago. 2015.
- Qui, D. H.; Chen, H.; Ceng, L. M.; Bian, Z. H. Experimental studies on the combustion characteristics and performance of a direct injection engine fueled with biodiesel/diesel blends. Energy Conversion and Management, Amsterdam, v.51, n.12, p.2585-2992, 2010. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2010.06.042>>.
- Ramesh, B.; Palled, V.; Veerangouda, M.; Sushilendra, Nidoni, U.; Anantachar, M. Dynamic performance of agricultural tractor fuelled with karanja biodiesel blends for tillage operation. International Journal of Engineering Sciences & Research Technology, Indore, v.3, n.3, p.1565-1574, 2014a. <<http://www.ijesrt.com/issues%20pdf%20file/Archives-2014/March-2014/83.pdf>>. 10 Ago. 2015.
- Ramesh, B.; Palled, V.; Veerangouda, M.; Sushilendra, Nidoni, U.; Shirwal, S. Feasibility Testing of Biodiesel Blends in Agricultural Tractor for Conservation of Fuel and Reduction of Environmental Pollution. International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology, v.1, n.3, p.537-543, 2014b. <http://www.ijiset.com/v1s3/IJISSET_V1_I3_93.pdf>. 10 Ago. 2015.
- Rashid, G.; Hekmat, R.; Nejat, L. A.; Payan, J.; Farzad, J. Analysis and comparison exhaust gas emissions from agricultural tractors. International Journal of Agriculture and Crop Sciences, v.5, n.7, p.688-694, 2013. <<http://ijagcs.com/wp-content/uploads/2013/04/688-694.pdf>>. 10 Ago. 2015.
- Reis, E. F.; 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. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000500015>>.
- 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. Fuel, v.88, n.9, p.1698-1707, 2009. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2009.02.015>>.
- Sahoo, P. K.; Das, L. M.; Babu, M. K. G.; Naik, S. N. Biodiesel development from high acid value polanga seed oil and performance evaluation in a CI engine. Fuel, v.86, n.3, p.448-454, 2007. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2006.07.025>>.
- 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, v.16, n.3, p.320-326, 2012. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000300014>>.
- Silveira, G. M. da; Sierra, J. G. Eficiência energética de tratores agrícolas fabricados no Brasil. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, n.4, p.418-424, 2010. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000400011>>.
- Stolf, R.; Silva, J. R.; Gomez, J. A. M. Grades agrícolas: evolução histórica de seus mancais. Revista Alcoolbrás, v.115, p.65-69, 2008. <http://www.revistaalcoholbras.com.br/dicoes/ed_115/artigo.html>. 10 Ago. 2015.