

**USO DE DIFERENTES PROPORÇÕES DE ETANOL NO BIODIESEL EM UM MOTOR ESTACIONÁRIO**

Anderson da Silva Umbelino¹, Lainny Jordana Martins Pereira e Sousa², Mateus Prolo Massola³, Elton Fialho dos Reis⁴ & Sueli Martins de Freitas Alves⁵

1 - Engenheiro agrícola, mestrando em Engenharia Agrícola, UEG, Campus Henrique Santillo, Anápolis-GO, anderson-umbelino@hotmail.com

2 - Zootecnista, mestranda em Engenharia Agrícola, UEG, Campus Henrique Santillo, Anápolis-GO, lainnyjordana@gmail.com

3 - Engenheiro agrônomo, mestre em Engenharia Agrícola, UEG, Campus Henrique Santillo, Anápolis-GO, mateusprolo@gmail.com

4 - Engenheiro agrícola, professor, Universidade Estadual de Goiás, Campus Henrique Santillo, Anápolis-GO, fialhoreis@ueg.br

5 - Engenheira agrônomo, professora, Universidade Estadual de Goiás, Campus Henrique Santillo, Anápolis-GO, Brasil, suelifreitas@ueg.br

Palavras-chave:

consumo de combustível
energia renovável
grupo gerador

RESUMO

O motor a diesel é um dos equipamentos mais empregados nas propriedades agrícolas, sendo usado para a geração de energia e de força mecânica. Objetivou-se, neste estudo, avaliar o desempenho de um motogerador alimentado com diferentes concentrações de etanol no biodiesel e com diferentes cargas aplicadas. O delineamento utilizado foi inteiramente ao acaso (DIC) com três repetições, sendo os tratamentos dispostos em parcelas subdivididas em 5 x 5, em que foram distribuídas as concentrações de etanol no biodiesel (0, 10, 20, 30 e 40%) e, nas subparcelas, as cargas (0, 500, 1000, 1500 e 2000 W). Foram determinadas as emissões de monóxido de carbono, o consumo horário e o consumo específico do conjunto motogerador. Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste de F a 5% e as médias foram apresentadas por equações de regressão. O aumento percentual do etanol no biodiesel apresentou maior emissão de CO em todas as cargas demandadas. O aumento do percentual de etanol no biodiesel aumentou o consumo horário até a carga de 1500 W, visto que, aplicando-se uma carga de 2000 W, o consumo específico diminuiu de acordo com a maior porcentagem de etanol no biodiesel, como também o aumento percentual de etanol no biodiesel proporcionou aumento no consumo específico até a carga de 1500 W.

Keywords:

fuel consumption
renewable energy
generator set

THE USE OF DIFFERENT PROPORTIONS OF ETHANOL IN BIODIESEL IN A STATIONARY ENGINE**ABSTRACT**

The diesel engine is one of the most used equipment items in the agricultural properties, being employed to generate energy and for mechanical force. The objective of this study was to evaluate the performance of a motogenerator fed with different concentrations of ethanol in biodiesel and different loads applied. The experimental design was completely randomized (DIC) with three replicates. The treatments were arranged in 5 x 5 subdivided plots in which ethanol concentrations in the biodiesel (0, 10, 20, 30 and 40%) were distributed in the plots, while in the subplots, the loads (0, 500, 1000, 1500 and 2000 W) were used. The emissions of carbon monoxide, hourly consumption and specific consumption of the generator set were determined. The results were submitted to analysis of variance by the F test at 5% and the means were shown by regression equations. The percentage increase of ethanol in biodiesel showed higher CO emission in all loads demanded. The increase in the percentage of ethanol in biodiesel also increased the hourly consumption up to the 1500 W load, given that when applying a load of 2000 W, the specific consumption decreased, according to the higher percentage of ethanol in biodiesel, as well as the percentage increase of ethanol in biodiesel provided an increase in specific consumption up to the 1500 W load.

INTRODUÇÃO

O motor a diesel é o equipamento mais empregado nas propriedades agrícolas, desde para o uso de geração de energia como para o uso de força mecânica (BILSKI, 2013). No entanto, devidos aos elevados custos do petróleo e seus derivados, os combustíveis alternativos passam a ser mais competitivos sob o ponto de vista econômico, devendo-se considerar, sobretudo, que as reservas de petróleo tendem à escassez (SCARPIN *et al.*, 2016).

Com a finalidade de reduzir a emissão de poluentes e de suprir a escassez dos combustíveis derivados do petróleo, a utilização de óleos vegetais se tornou essencial para a substituição dos combustíveis fósseis. O estudo de fontes alternativas de energia ao óleo diesel mineral, como o biodiesel, de origem renovável, é importante para o meio ambiente e diversificação da matriz energética (SILVA *et al.*, 2012). Assim como o álcool é uma alternativa viável para a substituição da gasolina nos motores de ciclo Otto, o biodiesel substitui o óleo diesel nos motores de ciclo diesel, apresentando vantagem de não requerer adaptações mecânicas. Todavia, o uso de outros combustíveis limpos, como o gás natural ou o biogás e o álcool etílico, demanda adaptações mecânicas, já a combustão de biodiesel pode dispensá-la, configurando-se uma alternativa técnica capaz de atender a toda a frota já existente movida a óleo diesel, além de apresentar alto rendimento energético (VOLPATO *et al.*, 2009).

O biodiesel é uma mistura de ésteres alquílicos com elevado potencial como alternativa ao diesel mineral, utilizado parcialmente misturado ao diesel ou puro, pois pode ser aplicado em motores de ignição por compressão sem modificações no motor ciclo a diesel (ALI *et al.*, 2016). Diversas matérias-primas podem ser usadas para a produção de biocombustível, sendo que a possibilidade que mais se usa no Brasil é a de culturas já estabelecidas comercialmente, como a soja, cujas condições edafoclimáticas do Brasil possibilitam sua exploração na maioria das regiões do país (REIS *et al.*, 2013).

Estudos realizados com proporções de biodiesel relatam que ele resulta em maior consumo horário

e consumo específico, em maior concentração de biodiesel no diesel (ANGELO, 2006; BARBOSA *et al.*, 2008). Já misturas de diesel e etanol (DE), também conhecidas como diesol ou e-diesel, são pesquisadas desde 1980, e os resultados demonstraram não ser necessário realizar modificações nos motores a diesel da época (PIDOL *et al.*, 2012). A utilização do etanol em sua forma direta, no motor a diesel, não apresenta resultados satisfatórios devido a seu baixo ponto de autoignição, viscosidade, número de cetano e lubrificidade, que não são compatíveis com as características exigidas pelo ciclo diesel (MOON *et al.*, 2013).

Além do biodiesel, os álcoois inferiores, como o metanol e o etanol misturados com diesel, têm sido amplamente investigados como aditivo ao biodiesel (QI *et al.*, 2010). Algumas características desvantajosas do biodiesel tendem a melhorar com a presença do etanol, e a mesma afirmação é válida para as dificuldades associadas ao álcool (SANTOS, 2016). A volatilidade baixa dos álcoois e o baixo número de cetano são compensados com as propriedades opostas do biodiesel; e o aumento de oxigênio, proveniente do etanol, na mistura melhora a combustão (YANG *et al.*, 2015).

O Brasil se destaca na produção de etanol e no desenvolvimento de tecnologias para esse setor de produção de combustíveis. Da mesma forma, a produção de biodiesel, a qual é utilizada em substituição parcial ou total ao óleo diesel, é crescente (SCARPIN *et al.*, 2016). Com isso, objetivou-se neste estudo avaliar o desempenho de um motogerador alimentado com diferentes concentrações de etanol no biodiesel e diferentes cargas aplicadas.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Universidade Estadual de Goiás, Campus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas, na área externa do Laboratório de Engenharia Agrícola.

O delineamento utilizado foi inteiramente ao acaso (DIC) com três repetições, sendo os tratamentos dispostos em parcelas subdivididas em 5 x 5, em que foram distribuídas de modo aleatório de acordo com as concentrações do combustível

(0, 10, 20, 30 e 40% de etanol no biodiesel) e nas subparcelas as cargas (0, 500, 1000, 1500 e 2000 W).

Utilizou-se um motogerador de ciclo diesel com motor monocilindro, 4 tempos, com potência nominal de 3,73 kW, com injeção direta, marca Branco, modelo BD-2500 CF, com capacidade nominal de 2,2 kW.

Para representar as cargas demandadas, foram conectadas lâmpadas incandescentes associadas em paralelo, correspondentes às cargas de 0, 500, 1000, 1500 e 2000 W, as quais foram controladas por quatro interruptores. O consumo das diferentes misturas avaliadas foi obtido por meio de um medidor volumétrico, como descrito por Reis *et al.* (2013), constituído por uma bureta graduada acoplada ao bico injetor por meio de uma mangueira. No início dos ensaios, o motogerador funcionou por cinco minutos sem carga para a estabilização de sua temperatura, conforme a recomendação do fabricante. Assim, antes de ser iniciado o experimento e em cada sequência de ensaios, seguiu-se esse procedimento, a fim de que a temperatura de funcionamento do motor não influenciasse nos resultados obtidos. Para a troca das concentrações dos combustíveis, o motogerador permaneceu ligado consumindo 50 mL da nova concentração, antes de coletar as variáveis em análise, mas para a eliminação do combustível anterior. Para a execução do experimento, o biodiesel da soja foi fornecido por uma empresa comercial que se encontra no município de Anápolis-GO.

Para melhor compreensão e controle dos processos, foram realizadas as análises das propriedades físico-químicas dos combustíveis,

verificando massa específica, viscosidade cinemática, densidade e índice de acidez, determinados em laboratório, em que foi possível examinar se todas as misturas estariam em conformidade com as especificações da Agência Nacional de Petróleo em vigor (BRASIL, 2014).

A determinação da massa específica foi realizada de acordo com a norma NBR 7148, pelo método do densímetro; a viscosidade de cada mistura foi determinada utilizando-se o viscosímetro da marca Brookfield, com as misturas a 40°C (BRASIL, 2014). Por fim, o índice de acidez foi definido de acordo com a norma NBR 14448, em que a determinação do índice de acidez para produtos de petróleo é feita pelo método de titulação potenciométrica. Assim, foi possível verificar algumas propriedades físicas das concentrações utilizadas no ensaio (cf. Tabela 1).

Dessa forma, todas as concentrações testadas estavam em conformidade com as especificações da Agência Nacional de Petróleo em vigor (BRASIL, 2014).

As cargas demandadas foram simuladas por meio de lâmpadas incandescente conectadas em série, atendendo as cargas desejada de 0, 500, 1000, 1500 e 2000 W, as quais foram controladas por quatro interruptores em série. O consumo das diferentes concentrações avaliadas foi mensurado conforme descrito por Godesa *et al.* (2010), o qual foi realizado por equipamento constituído por uma bureta graduada acoplada ao bico injetor por meio de uma mangueira. O tempo de realização de cada teste foi contabilizado com auxílio de um cronômetro digital, obtendo-se o consumo horário de combustível conforme a equação 1.

Tabela 1. Propriedades físico-químicas das concentrações utilizadas no experimento

Porcentagem de etanol no biodiesel (%)	Propriedades físico-químicas		
	Densidade g cm ⁻³	Viscosidade cP	Índice de acidez mgKOH.g _{combustível} ⁻¹
0	0,886	1,87	0,7644
10	0,880	1,43	0,7662
20	0,866	1,24	0,6387
30	0,865	1,10	0,7666
40	0,853	1,29	0,7666

$$Chv = \frac{3,6C}{t} \quad (1)$$

em que,

Chv = consumo horário volumétrico (L h⁻¹);

C = volume consumido (50 mL);

t = tempo gasto em cada ensaio (s); e

3,6 = fator de conversão de mL s⁻¹ para L h⁻¹

O consumo específico foi determinado de acordo com a equação 2, conforme a adaptação de Klajn (2016).

$$CE = \frac{Chv * Dc}{PEG} \quad (2)$$

em que,

CE = consumo específico (kg kW⁻¹ h⁻¹);

Chv = consumo horário volumétrico (mL h⁻¹);

Dc = densidade do combustível (g cm⁻³); e

PEG = potência elétrica gerada (kW).

A medição de gás emitido pelo motor foi realizada utilizando um monitor ambiental da marca Kane, modelo 940, que foi acoplado ao sistema de exaustão do motor gerador. Com o auxílio do equipamento, foi possível realizar a análise de monóxido de carbono (CO), servindo de subsídio na verificação da eficiência de combustão do motor,

como também as influências do combustível, quando com as diferentes concentrações de biodiesel de soja/etanol.

Para verificar a necessidade de transformação dos dados, foram aplicados o teste de Lilliefors (BARBIN, 2003), para averiguar a aderência dos dados à distribuição normal, e o teste de Bartlett, para verificar a homocedasticidade dos erros. Quando necessária a transformação dos dados, utilizou-se a metodologia Box-Cox (BOX; COX, 1964), para encontrar o melhor método de transformação a fim de estabilizar ou reduzir a variabilidade existente entre os tratamentos simulados e de normalizar os resíduos. Os dados resultantes para cada concentração foram submetidos à análise de variância pelo teste de F a 5%, e as médias apresentadas por equações de regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância das variáveis monóxido de carbono (CO), consumo horário (CH) e consumo específico (CE) é apresentada na Tabela 2. Para a análise, a variável CO foi transformada em log(CO).

Perante os resultados da Tabela 2, a análise de variância demonstrou que o consumo horário não foi afetado de forma significativa pela concentração de etanol no combustível, mas a interação da concentração com a carga aplicada

Tabela 2. Resumo da análise de variância das variáveis monóxido de carbono (CO), consumo horário (CH) e consumo específico (CE) verificadas em um motogerador

FV	GL	Quadrado médio		
		CO	CH	CE
Concentração	4	2,782715*	0,014470	0,004109*
Resíduo 1	10	0,038621	0,005313	0,000914
Carga	4	2,330057*	21,183534*	4,447816*
Concentração* Carga	16	0,073712*	0,145420*	0,045028*
Resíduo 2	40	0,031569	0,007122	0,001600
Total	74			
CV1		8,00	5,98	4,13
CV2		7,23	6,93	5,47
Média		2,4571	1,2179	0,7317

Dados transformados por log (x) para a variável CO.

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

CV: coeficiente de variação (%).

apresentou efeito significativo. Já o consumo específico e a emissão de CO, tanto para fatores avaliados de forma independente (concentração ou carga) quanto a interação (concentração*carga), foram significativas, sendo necessária a análise do desdobramento da interação.

No desdobramento da interação para a variável CO, mostrada na Figura 1, observa-se a influência da adição do etanol no biodiesel dentro de cada carga demandada na emissão do CO.

De acordo com a regressão linear da Figura 1A, o aumento percentual do etanol no biodiesel apresentou maior emissão de CO em todas as cargas demandadas, visto que, na maior carga requerida, apresentou maior emissão de CO. Emissões de CO são os produtos de combustão incompleta formada nas zonas ricas em combustível devido à deficiência local de oxigênio (YANG *et al.*, 2015). Ainda na Figura 1A verifica-se que, ao não aplicar carga no motogerador (0 W), a emissão de CO foi maior se comparada às cargas de 500, 1000 e 1500 W, permitindo, dessa maneira, gerar carga de até 1,5 KW e emitindo menor quantidade de CO. O efeito proporcionado pelo etanol em motores a diesel também foi detectado por outros autores na emissão de CO.

Tsang *et al.* (2010), em estudo com aplicação combinada de etanol e um catalisador de oxidação a diesel, encontraram um aumento de carbono. Roso *et al.* (2016) também encontraram o mesmo efeito ao avaliarem as emissões de poluentes em um motor a diesel convertido a etanol para geração térmica de energia elétrica. Os autores ainda relatam que esse resultado se deve à diferença na mistura ar-combustível existente nos dois casos (diesel e etanol), já que o motor não é projetado para operar com etanol.

Machado (2008) afirma que as reduções nas emissões desse gás estão relacionadas principalmente a uma melhor conversão dos produtos da combustão, em função de uma maior pulverização do combustível. Yang *et al.* (2015) também encontraram o mesmo efeito com a adição do etanol na combustão do biodiesel; eles relatam que isso ocorre porque a taxa de oxidação das emissões de CO depende predominantemente da temperatura do gás e teor de oxigênio. Com concentração de oxigênio sendo marginalmente aumentada (proveniente da adição do etanol), a temperatura local do gás se torna decisiva. Devido à menor viscosidade do etanol (como pode ser visto na Tabela 1), os processos de evaporação

de combustível, mistura de ar-combustível e combustão poderiam ser acelerados. Os autores ainda descrevem que, além do reduzido poder calorífico e efeito de extinção, criado pelo alto calor latente de vaporização de etanol, a temperatura média e pico no cilindro cai mais rápido para misturas com maiores concentrações de etanol. Isso explica o aumento de emissão de CO, como também pode ter ocorrido para ocasionar aumento do consumo de combustível na combustão.

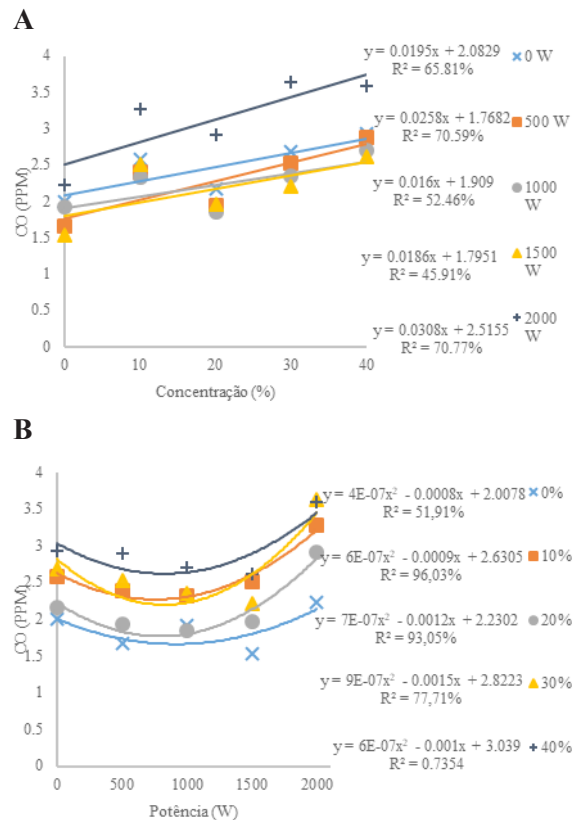


Figura 1. Produção de CO em função da concentração de etanol no biodiesel (A) e da potência produzida por um motogerador (B)

Já no diagnóstico do desdobramento das cargas dentro de cada concentração (Figura 1B) o modelo polinomial de segunda ordem foi o que melhor se ajustou aos dados de CO (Figura 1B). Todas as concentrações apresentaram decréscimo na emissão de CO até a carga de 1000 W, e acréscimo acima da mesma. As concentrações com maior e menor porcentagem de etanol no biodiesel apresentaram máxima e mínima emissão de CO, variando entre as cargas cerca de 27,29% e 31,39%, respectivamente. Porém esse efeito não foi constatado a cada adição de etanol no biodiesel, pois a concentração de B80E20 foi a melhor concentração com adição

de etanol, posto que apresentou menor emissão de CP, proporcionando emissão de CO menor que B90E10 e B70E30.

Na Figura 2A, a adição de etanol no biodiesel acarretou pequeno acréscimo no consumo horário volumétrico dentro de cada carga aplicada, com exceção da maior carga requerida (2000 W). De acordo com a análise de regressão com modelo linear, a equação expressa para as concentrações dentro dessa carga de 97,47% da variação do consumo horário volumétrico é explicada pelas concentrações, sendo que apresentou decréscimo no consumo, de acordo com o aumento da porcentagem de etanol no biodiesel. Com isso, a produção de potência de até 1500 W à adição do etanol no biodiesel teve efeito negativo em relação ao consumo de litros por hora, enquanto que, para produção de potência de 2000 W, a adição do etanol torna-se favorável, devido à redução de consumo. Resultados semelhantes foram encontrados por Santos (2016), que trabalhou com misturas de biodiesel de babaçu e etanol, e verificou que quanto maior a concentração de etanol maior é o consumo das misturas, que pode ser explicado pelo menor poder calorífico do etanol em relação ao biodiesel.

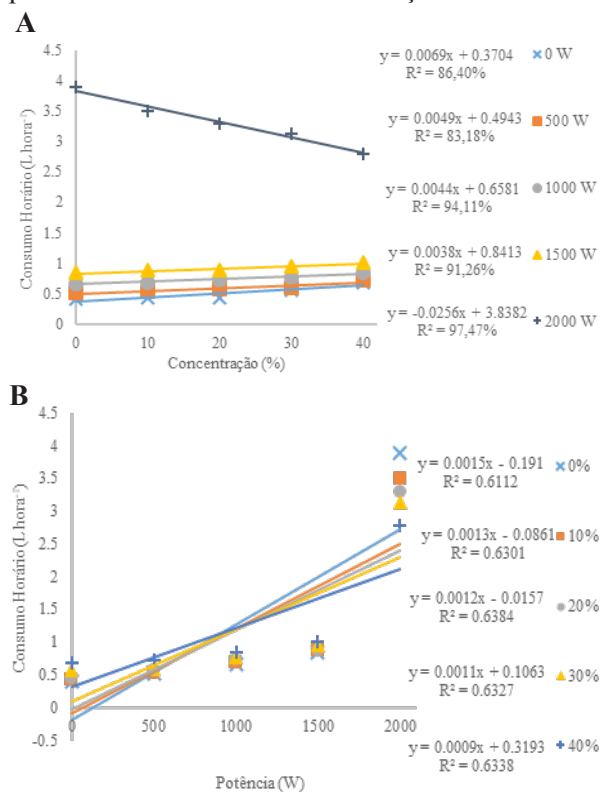


Figura 2. Consumo horário de combustível em função da concentração de etanol no biodiesel (A) e da potência (B) produzida por um motor gerador

O gráfico das cargas aplicadas dentro de cada nível da concentração, apresentado na Figura 2B, mostra que quanto maior a carga aplicada maior foi o consumo horário em todas as concentrações analisadas. O consumo horário aumentou proporcionalmente com a adição de etanol no biodiesel até cerca de 1000 W; sendo assim, a maior porcentagem de etanol no biodiesel apresentou maior consumo em relação às demais até essa carga. Desse modo, ainda que nas cargas menores que 1000 W a adição do etanol resultou em maior consumo horário, nas cargas seguintes, o consumo reduziu de acordo com maiores porcentagens de etanol no biodiesel, consumindo cerca de 28,43% a menos que o biodiesel para produzir a mesma quantidade de potência para B60E40 e B100E0, respectivamente.

A adição do etanol no biodiesel acarretou variação significativa dentro de cada carga requerida, de acordo com o desdobramento da interação para a variável de consumo específico. O consumo específico é a mensuração da eficiência de um motor conforme o combustível que lhe é fornecido para a produção de trabalho, de modo que quanto maior é o seu valor, mais quantidade de combustível é requerida para produzir a mesma quantidade de potência (KANNAN *et al.*, 2013).

Na Figura 3A observa-se que a elevação percentual de etanol no biodiesel aumentou o consumo específico até a carga de 1500 W, visto que, aplicando-se uma carga de 2000 W, o consumo específico diminuiu de acordo com maior porcentagem de etanol no biodiesel. No entanto, na carga aplicada de 2000 W, o consumo específico foi maior em relação às demais cargas em todas as concentrações, apresentando variação de até 30,97 kg kw⁻¹ h⁻¹. Portanto, de maneira geral, para uma carga demandada de até 1500 W, a adição de etanol se mostrou inadequada para produzir a mesma quantidade de potência, enquanto que, para a carga de 2000 W, esse efeito se mostrou inverso, sendo satisfatório o uso do etanol, em razão da redução do consumo específico para geração dessa carga. A mistura B60E40 apresentou menor densidade, ressaltando que o consumo específico foi mais influenciado pelo consumo horário do que a densidade da amostra, já que o consumo específico leva em consideração ambos parâmetros. Klajn

(2016) obteve o mesmo efeito avaliando diferentes proporções da mistura diesel-biodiesel-etanol, dado que maior percentual de etanol na mistura resultou aumento do consumo específico para produção das mesmas cargas.

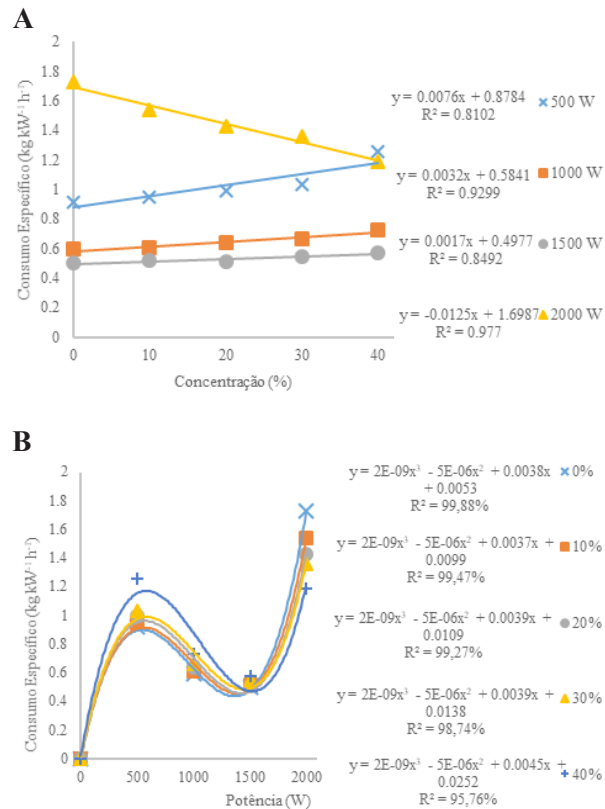


Figura 3. Consumo específico de combustível em função da concentração de etanol no biodiesel (A) e da potência (B) produzida por um motogerador

Por sua vez, na Figura 3B, verifica-se que, de maneira geral, o menor consumo específico para todas as misturas com geração de energia foi obtido na carga de 1500 W. Contudo, é possível perceber que, até atingir a intersecção das curvas representadas pela regressão cúbica, o maior percentual de etanol (B60E40) no biodiesel obteve maior consumo específico para produzir as mesmas quantidades de potência. Porém, na maior carga aplicada, essa obteve consumo específico menor em relação às outras concentrações.

CONCLUSÕES

- O uso do etanol no biodiesel proporcionou aumento na emissão de monóxido de carbono

(CO) de acordo com a adição do etanol na concentração.

- Consumo horário do motogerador aumentou com adição do etanol no biodiesel para produção de até 1500 W.
- Para produção de potência de 2000 W, a adição do etanol no biodiesel torna-se favorável, devido à redução de consumo horário do motogerador.
- O consumo específico do motogerador aumentou conforme a maior quantidade de etanol no biodiesel.
- A adição de etanol no biodiesel resultou em menor densidade da mistura, e o consumo específico foi mais influenciado pelo consumo horário do que pela densidade da amostra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALI, O.M.; MAMAT, R.; ABDULLAH, N.R.; ABDULLAH, A.A. Analysis of blended fuel properties and engine performance with palm biodiesel–diesel blended fuel. **Renewable Energy**, v.86, p.59-67, 2016.

ANGELO, J. **Análise da influência de diferentes misturas de biodiesel no desempenho e emissões de poluentes de um motor diesel agrícola**. 2006. 159f. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

BARBIN, D. **Planejamento e análise de experimentos agrônômicos**. Arapongas: Editora Midas, 2003. 204p.

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

BOX, G.E.P.; COX, D.R. An analysis of transformations. **Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Statistical Methodological)**,

New York. v.26, n.2, p.211-252, 1964.

BRASIL. Agência Nacional de Petróleo. **Resolução no 45, de 25 de agosto de 2014.** Disponível em: <<http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll?f=templates&fn=default.htm&vid=anp:10.1048/enu>>. Acesso em: 10 Set. 2017.

KANNAN, G.R. Effect of injection pressures and timings on the performance emission and combustion characteristics of a direct injection diesel engine using biodiesel-diesel-ethanol blend. **SAE Technical Papers.** 2013.

KLAJN, F.F. **Avaliação comparativa de diferentes proporções da mistura diesel-biodiesel-etanol e diesel-biodiesel frente ao diesel tipo “a”: análises físico-químicas e de desempenho de um conjunto motor-gerador.** Paraná: Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2016. 96p. Dissertação Mestrado.

MACHADO, P.R.M. **Ésteres combustíveis em motor de ciclo diesel sob condições de pré-aquecimento e variação no avanço de injeção.** 163f. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

MOON, Z.; TSUJIMURA, T.; OGUMA, M.; HUANG, Z.; SAITOU, T. Mixture condition, combustion and sooting characteristics of ethanol-diesel blends in diffusion flames under various injection and ambient conditions. **Fuel.** v.113, p.128-139. 2013.

YANG, W.M.; AN, H.; LI, J. Effects of ethanol addition on biodiesel combustion: A modeling study. **Applied Energy,** v.143, p.176-188, 2015.

PIDOL, I.; LAURIESTARCK, B.; JEULAND, N. Ethanol-biodiesel-diesel fuel blends: performances and emissions in conventional diesel and advanced low temperature combustions. **Fuel.** v.93, p.329-338. 2012.

QI, D.H.; CHEN, H.; GENG, L.M.; BIAN, Y.Z.H.; REN, X.C.H. Performance and combustion

characteristics of biodiesel–diesel–methanol blend fuelled engine. **Applied Energy,** v.87, p.1679-1686, 2010.

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,** Campina Grande, v.17, n.5, p.565-571, 2013.

ROSO, V.R.; NORA, M.D.; MARTINS, M.E.S.; MACHADO, P.R.M. Consumo de combustível e emissões de poluentes em um motor Diesel convertido a etanol para geração térmica de energia elétrica. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas,** Londrina, v.37, n.1, p.131-142, 2016.

SANTOS, K.G. **Estabilidade de biodiesel de babaçu e viabilidade técnica de misturas de biodiesel de babaçu e etanol.** 2016. 63p. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Paraná, 2016.

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

SCARPIN, L.M.; ROCHA, R.P.; RAMOS, R.A.V. Avaliação de desempenho de um motor operando com misturas biodiesel-etanol. **Jornadas Iberoamericanas de Motores Térmicos y Lubricación.** 1a ed. La Plata : Universidad Nacional de La Plata, 2016.

TSANG, K.S., ZHANG, Z.H., CHEUNG, C.S., CHAN, T.L. Reducing emissions of a diesel engine using fumigation ethanol and a diesel oxidation catalyst. **Energy & Fuels,** v.24, p.6156-6165, 2010.

USTA, N. Use of tobacco seed oil methy ester in

a turbocharged indirect injection diesel engine. **Biomass and Bioenergy**, Amsterdam, v.28, [s.n], p.77-86, 2005.

VITÓRIA, E.L.; OLIVEIRA, P.S.; FERNANDES, H.C. LONGUI, F.C.; LEITE, D.M. Desempenho comparativo de um motor ciclo diesel alimentado com misturas de óleo diesel e biodiesel de pinhão-

manso. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.8, n.14, p.1865-1877, 2012.

VOLPATO, C.E.S.; CONDE, A.P.; BARBOSA, J.A.; SALVADOR, N. Desempenho de motor diesel quatro tempos alimentado com biodiesel de óleo de soja (b 100), **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v.33, n.4, p.1125-1130, 2009.