

## AValiação DE UM GRUPO GERADOR OPERANDO COM BIODIESEL DO ÓLEO BRUTO DE ALGODÃO

Paulo Sergio Dornelles Lencina Filho<sup>1\*</sup>, Renan Felipe Almeida de Araújo<sup>1</sup>, Willian Campanholi<sup>1</sup>, Eva Lúcia Cardoso Silveira<sup>2</sup>, Diego Augusto Fiorese<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Graduando em Engenharia Agrícola e Ambiental, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, Mato Grosso, Brasil.

<sup>2</sup>Doutorado em Química, Instituto de Ciências Naturais, Humanas e Sociais, Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, Mato Grosso.

<sup>3</sup>Doutorado em Agronomia, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, Mato Grosso.  
\*E-mail: dornellesp01@gmail.com

**RESUMO:** A mensuração de parâmetros energéticos é de grande relevância para a avaliação de motores de combustão interna, principalmente quando utilizando combustíveis alternativos. O trabalho teve por objetivo avaliar o consumo horário volumétrico, o consumo energético e a energia específica de um grupo gerador monocilíndrico de 5 kW de potência, interligado a um sistema de variação de cargas. Foram avaliados cinco tipos de combustíveis, sendo: óleo diesel comercial (B8) (testemunha), e blends (B25, B50, B75) e biodiesel puro (B100). Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 5x4, com 3 repetições, totalizando 60 unidades experimentais. Realizaram-se análises de regressão, e comparou-se as médias pelo teste de Scott-Knott (5%). Aplicaram-se cargas de 1 kW, 2 kW, 3 kW e 4 kW ao motor, em que observou-se conforme o aumento de cargas, o consumo de combustível aumentava de forma gradativa. Na máxima carga, o menor consumo horário foi com o B8 (1,64 L h<sup>-1</sup>), em que obteve também a maior energia específica (2,48 kWh L<sup>-1</sup>). No que tange ao consumo energético, o B100 obteve o maior valor (64,44 MJ h<sup>-1</sup>), tendo este a menor eficiência energética entre os tipos de combustíveis avaliados.

**Palavra-chave:** Consumo horário ponderal, energia específica, consumo energético.

### EVALUATION OF A GENERATOR GROUP OPERATING WITH BIODIESEL OF ALGODÃO GROSS OIL.

**ABSTRACT:** The measurement of energy parameters is of great relevance for the evaluation of internal combustion engines, especially when using alternative fuels. The objective of this work was to evaluate the volumetric hourly consumption, the energy consumption and the specific energy of a single-cylinder generator set of 5 kW of power, interconnected to a load variation system. Five types of fuels were evaluated: commercial diesel (B8) (control), and blends (B25, B50, B75) and pure biodiesel (B100). A completely randomized design (DIC) was used, in a 5x4 factorial scheme, with 3 replicates, totaling 60 experimental units. Regression analyzes were performed, and the means were compared by the Scott-Knott test (5%). Charges of 1 kW, 2 kW, 3 kW and 4 kW were applied to the engine, in which it was observed as the loads increased, fuel consumption increased gradually. At the maximum load, the lowest hourly consumption was with B8 (1.64 L h<sup>-1</sup>), where it also obtained the highest specific energy (2.48 kWh L<sup>-1</sup>). In terms of energy consumption, the B100 obtained the highest value (64.44 MJ h<sup>-1</sup>), the latter having the lowest energy efficiency among the types of fuels evaluated.

**Keywords:** Weighted hours, specific energy, energy consumption.

#### 1. INTRODUÇÃO

O Brasil, é um país em que a produção agrícola, possui capacidade de fornecimento de produtos de origem vegetal para produção de combustíveis alternativos para utilização em motores diesel. Nos últimos anos a utilização destas fontes renováveis de energia vem sendo pesquisada com grande intensidade, pelo fato de que o

Brasil utiliza a mistura obrigatória de 10% de biodiesel adicionado ao diesel de petróleo. O biodiesel é um combustível biodegradável derivado de fontes renováveis que pode ser produzido a partir de gorduras animais e espécies vegetais como soja, palma, girassol, babaçu, amendoim, mamona e algodão. No Brasil, a soja é a principal matéria-prima utilizada. A transesterificação é o processo geralmente mais utilizado no Brasil para

produção do biodiesel, em que consiste na reação de um óleo (ou gordura animal) com um álcool de cadeia curta (metanol ou etanol). O biodiesel deve cumprir uma série de especificações apontadas pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP para que possa substituir total ou parcialmente o óleo diesel de petróleo em motores ciclo diesel. (ANP, 2018). Vários estudos já foram realizados utilizando biodiesel em motores de combustão interna (MCI). Cunha, (2009) utilizou um grupo gerador em que verificou-se que o consumo de biodiesel metílico foi maior que o óleo diesel comercial. Já Barbosa et al., (2008) utilizou misturas de biodiesel/diesel comercial obtendo valores de consumo energético maiores quando utilizou-se diesel. Tais valores foram diminuindo conforme adição de biodiesel ao diesel. O objetivo deste trabalho foi produzir biodiesel metílico utilizando óleo bruto de algodão, caracterizar o combustível e avaliar a energia específica, consumo horário ponderal e o consumo energético de um grupo gerador com motor ciclo diesel monocilíndrico, operando com biodiesel produzido, diesel comercial (B8) e blends B25, B50 e B75.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O biodiesel foi produzido no Laboratório Integrado de Pesquisas Químicas – LIPEQ e os ensaios no motor ocorreram no Laboratório de Máquinas e Mecanização agrícola, ambos da Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT câmpus Sinop. Para síntese do biodiesel, utilizou-se óleo bruto de algodão, cedido pela empresa NutriBio, localizada na cidade de Sinop – MT. O óleo bruto foi neutralizado, adicionando-se 3,4042 g de hidróxido de sódio (NaOH) e 13,6 mL de água destilada em 300 g de óleo bruto, deixando agitar a 60 °C até observação da fase sólida no fundo do béquer, separado posteriormente da parte líquida, que esse foi o óleo neutralizado utilizado na transesterificação. A transesterificação consistiu na reação do óleo bruto neutralizado com metanol, empregando metóxido de sódio como catalisador. O processo foi realizado em duas etapas, em que na primeira etapa adicionou-se 16 % (m/m) de metanol e 0,56 % (m/m) metóxido de sódio, calculados em relação à massa inicial do óleo bruto neutralizado. Aqueceu-se o sistema a aproximadamente 60 °C por 1 hora, sob sistema de refluxo. Após a reação, os produtos obtidos foram colocados num funil de separação de 2 L para separar os ésteres (fase menos densa) do glicerol. Os ésteres foram novamente submetidos à reação com adição de 4,0 % (m/m) de metanol e 0,14 % (m/m) do catalisador. Após outra separação, a fase superior contendo os ésteres metílicos foi lavada com porções de 100 mL de água destilada a 100 °C, cinco vezes e filtrada em resina Amberlite BD10 Dry para remoção de monoglicerídeos, diglicerídeos, triglicerídeos, álcool e catalisador residual. Em seguida aqueceu-se o biodiesel a 105 °C por 1 hora para remoção do álcool e catalisador residual. Para fins de caracterização do biodiesel, realizaram-se algumas análises físico-químicas, sendo elas: Índice de acidez, viscosidade e densidade. O índice de acidez (IA) foi realizado em triplicata empregando procedimentos de titulação ácido-base, segundo o método proposto por

Aricetti e Tubino, (2012). Pesou-se 5 g de biodiesel em balança analítica e adicionou-se 80 mL de etanol 50% (v/v), deixando agitar por 1 minuto. A solução foi titulada com hidróxido de sódio (NaOH), empregando fenolftaleína 1% como indicador da viragem do ponto final. O cálculo do IA foi realizado através da Equação 1.

$$IA = [(A-B) \cdot C \cdot 56,1] / m \quad (1)$$

Em que:

A= volume (mL) de NaOH gasto na titulação da amostra;  
B= volume (mL) de NaOH gasto na titulação do branco;  
C= Concentração (mol L<sup>-1</sup>) da solução de NaOH;  
m= massa da amostra (g).

As medidas de viscosidade foram realizadas empregando-se tubos viscosimétricos do tipo Cannon-Fenske imersos em banho termostático da marca Quimis, segundo os procedimentos da norma ASTM D445, e foi calculada através do produto entre o tempo de fluxo medido e a constante de calibração do tubo viscosimétrico. A medida da densidade foi realizada através de um densímetro, colocando 200 mL de biodiesel em uma proveta de 250 mL, e realizando a medição com o densímetro Incoterm 5598, calibrado a 20 °C, e erro do instrumento de 0,003 g/mL. Para os ensaios do motor utilizou-se a bancada instrumentada realizada por Fonseca (2015) em que consiste em um motor gerador acoplado a um sistema de cargas variáveis baseado em um circuito elétrico interligado a hastes metálicas imersas em uma solução salina de cloreto de sódio (NaCl), em que permitiu a condução de cargas para o motor-gerador. Utilizou-se um tambor de polietileno com capacidade de 200 L para o reservatório da solução eletrolítica, adicionando 100 L de água e 200 g de NaCl pré diluídos em 1,7 L de água fervente, para promover maior homogeneidade da solução. O controle das hastes metálicas consistiu de um cabo de aço interligado ao um motor elétrico de 12 V, acionado por uma fonte variável, permitindo a imersão das hastes na solução salina. O consumo de combustível foi realizado por um tanque auxiliar de 3 L de capacidade, posicionado acima de uma balança digital de precisão, onde obteve-se valores ponderais de consumo. Para obter a potência de saída do gerador utilizou-se um multímetro e um alicate amperímetro. Realizou-se os ensaios em esquema fatorial 5x4, onde avaliou-se 5 combustíveis distintos (B8, B25, B50, B75, B100) e 4 cargas no motor-gerador (1 kW, 2 kW, 3 kW, 4 kW), os dados foram submetidos a análise de regressão e teste de comparação de médias. Conduziu-se os ensaios variando-se as cargas e os combustíveis no motor, com três repetições, totalizando 60 unidades experimentais. As variáveis respostas analisadas foram: Consumo horário volumétrico (Chv), energia específica (Ene) e consumo energético (Ce). O cálculo da potência foi realizado empregando a Equação 2.

$$P = (U \cdot i) / 1000 \quad (2)$$

Em que,

P = Potência efetiva gerada (kW);  
U = Tensão de saída (V);  
i = intensidade da corrente elétrica (A)

O consumo horário volumétrico foi calculado pela Equação 3.

$$Ch_v = Ch_p / \rho \quad (3)$$

Em que,

$Ch_v$  = Consumo horário volumétrico ( $L h^{-1}$ );

$\rho$  = massa específica do combustível ( $kg L^{-1}$ );

$Ch_p$  = Consumo horário ponderal ( $kg h^{-1}$ ) medido pela balança.

A energia específica representa a quantidade de energia produzida em uma hora de operação por litro de combustível consumido. Esse parâmetro é também usual em motores de combustão interna, em que foi calculada pela Equação 4.

$$Ene = P / Ch_v \quad (4)$$

Em que,

$Ene$  = Energia específica ( $kWh L^{-1}$ );

$P$  = Potência efetiva gerada ( $kW$ );

$Ch_v$  = Consumo horário volumétrico ( $L h^{-1}$ )

Calculou-se o consumo energético através do produto entre o consumo horário ponderal e o poder calorífico inferior (PCI) do combustível. Os valores de PCI para diesel comercial e biodiesel de óleo de algodão foram estimados segundo a ANP, e o valor de suas misturas realizou-se a proporção das porcentagens de cada combustível, levando em conta que o diesel comercial (B8) já possui a adição de 8 % de biodiesel.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tabela 1. Caracterização do biodiesel.

	Biodiesel	CV (%)
IA ( $mg KOH g^{-1}$ )	$0,37 \pm 0,025$	6,75
Densidade ( $kg m^{-3}$ )	880*	-
Viscosidade ( $mm^2 s^{-1}$ )	$5,07 \pm 0,0047$	0,093

\*Erro do densímetro:  $0,003 g mL^{-1}$

O índice de acidez, apresentado na Tabela 1 é parâmetro primordial para se avaliar no biodiesel, e sua alteração pode estar relacionada a presença de água. Um combustível com alta acidez pode ocasionar corrosão em peças metálicas no motor, além de propiciar a oxidação com mais rapidez (LÔBO; FERREIRA; CRUZ, 2009). O biodiesel de óleo de algodão apresentou índice de acidez de acordo com o limite estabelecido pela ANP, que regula valores até  $0,5 mg KOH g^{-1}$ . A viscosidade é realizada a princípio com o objetivo de monitoramento da reação de transesterificação é uma medida importante, agindo no mecanismo de pulverização e atomização do combustível, refletindo no processo da combustão (KNOTHE et. al., 2006). O biodiesel apresenta maior viscosidade do que o óleo diesel garantindo uma alta lubrificação ao motor, reduzindo o atrito entre as peças móveis, diminuindo o desgaste entre elas. A ANP pela resolução n° 45/2014 especifica valores de viscosidade entre 3 e  $6 mm^2 s^{-1}$ . O Biodiesel apresentou um valor de viscosidade de 5,07, encontrando-se conforme os limites estabelecidos. A

densidade relaciona-se do jeito que a matéria é organizada em um corpo, ou seja, a quantidade de massa por unidade de volume do combustível injetado no motor. A bomba injetora alimenta o motor, logo a variação no valor da densidade altera massa de combustível injetado. Assim valores de densidade acima do intervalo permitido altera a relação ar/combustível, aumentando emissão de poluentes (CO, hidrocarbonetos e materiais particulados). Já valores de densidade abaixo do intervalo favorecem uma mistura de ar e combustível mais pobre, propiciando perda de potência do motor e aumento do consumo de combustível (ZUNIGA et. al., 2011). O biodiesel de óleo de algodão apresentou densidade de  $880 kg m^{-3}$ , estando de acordo com a Resolução n° 45 da ANP/2014 que descreve a faixa de  $850 - 900 kg m^{-3}$ . O consumo horário volumétrico, indica o volume de combustível consumido em uma hora. Pela Figura 1 observa-se o aumento do consumo horário volumétrico conforme a carga demandada aumenta. As blendas B8, B25 e B50 não apresentaram diferença significativa para os consumos na menor carga (1 kW), e o maior consumo foi com o biodiesel puro (B100) em que diferiu-se de todas as misturas na maior carga (4 kW). Isso pode estar atrelado ao seu poder calorífico (PCI), que segundo a ANP é de  $40,12 MJ kg^{-1}$  para biodiesel, valor menor do que o diesel de petróleo (B8), que segundo a mesma fonte possui o valor de  $42,25 MJ kg^{-1}$ . Fonseca, (2015) e Sampaio, (2017) utilizaram o mesmo motor empregado neste trabalho, com combustíveis e comburentes diferentes, obtendo como resultado que o consumo aumentava conforme o aumento da carga.

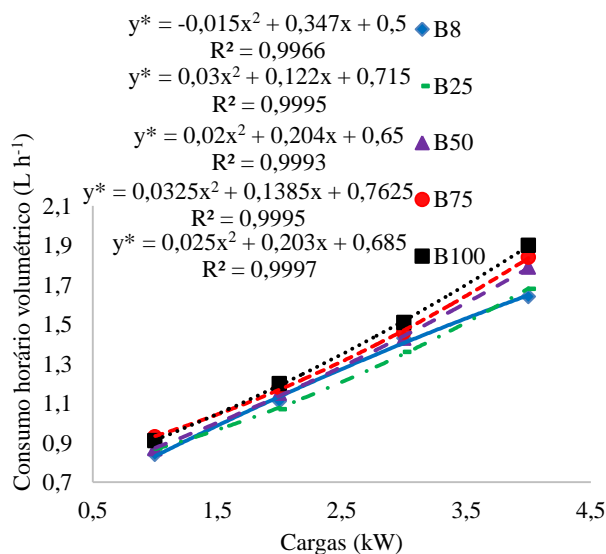


Figura 1. Consumo horário volumétrico em função das cargas aplicadas ao motor para os combustíveis B8 (diesel comercial), B100 (biodiesel puro), e suas blendas (B25, B50, B75).

Teste "F" \* significativo ao nível de 0,05 de probabilidade.

Energia específica é a quantidade de energia elétrica gerada ( $kWh$ ) por litro de combustível gasto no motor gerador. A Figura 2 apresenta as curvas da energia específica, em função das cargas aplicadas ao motor-gerador. O B8 mostrou-se com maior energia específica, em que não houve diferença significativa com o B25 em todas as cargas aplicadas do motor. Em cargas

relativamente baixas (1kW) não houve diferença para o B8, B100 e suas blendas, consequentemente

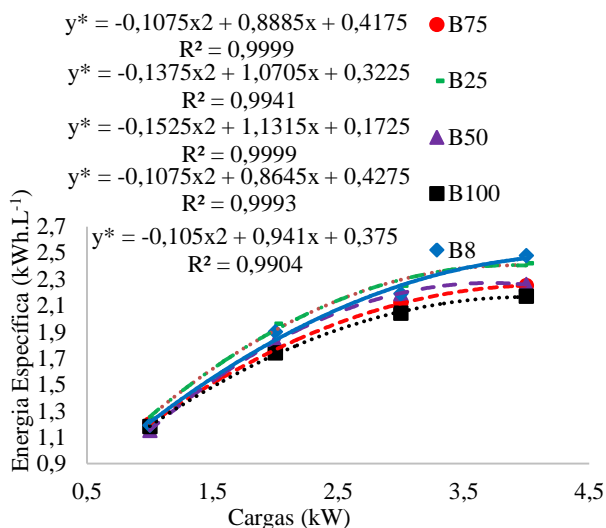


Figura 2. Energia específica em função das cargas aplicadas ao motor para os combustíveis B8 (diesel comercial), B100 (biodiesel puro), e suas blendas (B25, B50, B75).

Teste “F” \* significativo ao nível de 0,05 de probabilidade.

O consumo energético cresce à medida que as cargas do motor são aumentadas, como apresenta a Figura 3. Quando adiciona-se biodiesel ao diesel, a quantidade de combustível consumida diminui, isso está atrelado ao fato de o biodiesel possuir menor PCI do que o diesel de petróleo. Não houve diferença significativa entre B8, B100 e suas blendas, somente na carga de 4 kW o motor apresentou maior consumo energético para o B100 (64,44 MJ h<sup>-1</sup>), em que o mesmo não se diferiu das blendas B75 e B50, e menor consumo energético para B8 (58,56 MJ h<sup>-1</sup>), que não se diferiu do B25. Barbosa et al., (2008), utilizou biodiesel referente a transesterificação do óleo de soja, apresentando em seu trabalho que o consumo energético encontrado para o B100 foi maior quando comparado ao B8.

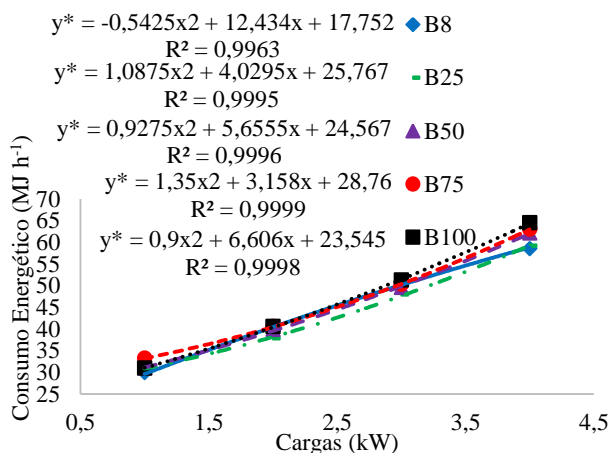


Figura 3. Consumo energético em função das cargas aplicadas ao motor para os combustíveis B8 (diesel comercial), B100 (biodiesel puro), e suas blendas (B25, B50, B75).

Teste “F” \* significativo ao nível de 0,05 de probabilidade.

#### 4. CONCLUSÕES

Os ensaios realizados no motor-gerador, mostrou que a maior energia específica foi encontrada na cargas mais altas (4kW). O combustível em que obteve-se o menor consumo foi com o diesel comercial (B8), e o maior consumo energético foi obtido com biodiesel puro (B100), sendo este mais eficiente energeticamente.

#### 5. AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT *Campus Sinop*, pela infraestrutura concedida e à Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de Mato Grosso - FAPEMAT pelo apoio financeiro através do processo 227863/2015.

#### 6. REFERÊNCIAS

ANP. AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Biodiesel Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/producao-de-biocombustiveis/biodiesel#portal-siteactions>>. Acesso em: 12 mai. 2018.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, Resolução nº 45, 25 de agosto de 2014.

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.

CUNHA, R. B. C. *Avaliação técnico- ambiental do uso de biodiesel de palma, soja e óleo de frango em grupo-gerador acionado por motor de ciclo diesel*. 137 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de tecnologia) – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, Curitiba, 2009.

FONSECA, R. C. **PROJETO, CONSTRUÇÃO E VALIDAÇÃO DE UMA BANCADA INSTRUMENTADA PARA AVALIAÇÃO DE COMBUSTÍVEIS DIESEL**. 39f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Mato Grosso. Sinop, 15 jun 2015.

KNOTHE, G.; KRAHL, J.; GERPEN, J.V.; RAMOS, L.P. **Manual de biodiesel**. São Paulo: Editora Edgar Blücher, 2006.

LÔBO, I. P.; FERREIRA, S. L. C.; CRUZ, R. S. BIODIESEL: PARÂMETROS DE QUALIDADE E MÉTODOS ANALÍTICOS. *Química Nova*, Vol. 32, No. 6, 1596-1608, 2009.

SAMPAIO, G. **AVALIAÇÃO DO USO DE OZÔNIO E ADITIVO NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM GRUPO GERADOR A DIESEL**. 44f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Mato Grosso. Sinop, 2017.

ZUNIGA, A. D. G.; PAULA, M. M.; COIMBRA, J. S. dos R.; MARTINS, E. C. A.; SILVA, D. da; TELIS-ROMERO, J. REVISÃO: PROPRIEDADES FÍSICO QUÍMICAS DO BIODIESEL. *Revista Ecotoxicol e Meio Ambiente*, Curitiba, v. 21, p. 55-72, 2011.