

## DESEMPENHO DE TRATOR AGRÍCOLA EM OPERAÇÃO DE PREPARO DE SOLO UTILIZANDO BIODIESEL DE PALMEIRAS

THYAGO AUGUSTO MEDEIROS LIRA<sup>1</sup>, AFONSO LOPES<sup>2</sup>, MELINA CAIS JEJCIC DE OLIVEIRA<sup>3</sup>, PRISCILA SAWASAKI IAMAGUTI<sup>4</sup>, LEOMAR PAULO DE LIMA<sup>5</sup>, MURILO COELHO THEODORO NEVES<sup>6</sup>, CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Prof. Dr. em Agronomia, Faculdade Facene/João Pessoa - PB, thyagolira@hotmail.com. <sup>2</sup> Prof. Titular, FCAV/UNESP. <sup>3</sup> Profa. Dra. em Agronomia, FCAV/UNESP. <sup>4</sup> Profa. Dra. em Agronomia, FCAV/UNESP. <sup>5</sup> Prof. Dr. em Agronomia, FCAV/UNESP. <sup>6</sup> Prof. Dr. em Agronomia, FCAV/UNESP.

Apresentado no  
LII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2023  
18 a 21 de outubro de 2023 – Ribeirão Preto - SP, Brasil

**RESUMO:** Os estudos de utilização de biodiesel em motores ciclo diesel intensificaram-se principalmente no funcionamento de tratores agrícolas. Tais pesquisas possibilitam o maior conhecimento sobre a utilização de energia renovável, já que essas são fontes de energia com grande potencial de exploração, principalmente no Brasil. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de trator agrícola em operação de preparo de solo utilizando biodiesel de palmeiras como combustível (biodiesel de babaçu, de buriti e de tucumã em proporções de mistura com diesel B S50). O trabalho foi conduzido no Departamento de Engenharia Rural, da UNESP/Jaboticabal. Foram utilizados três tipos de biodiesel: biodiesel etílico de babaçu (*Orbignya martiana*, Mart.), biodiesel etílico de buriti (*Mauritia flexuosa* L.) e o biodiesel etílico de tucumã (*Astrocaryum vulgare*) em proporção de mistura como diesel B S50 (B0, B5, B15, B25, B50, B75 e B100). O ensaio de desempenho foi realizado em condição de campo, utilizando-se um trator de teste - marca Valtra, modelo BM 125i, 4x2 (TDA) e um trator de frenagem - marca Valmet, modelo 118-4, 4x2 (TDA), acoplado ao trator de teste por meio de cabo de aço, estando com motor desligado, na combinação de marcha (4ª L), formando comboio. Ressalta-se que o esforço na barra de tração foi semelhante à escarificação a 30 cm de profundidade, com tal força sendo de aproximadamente 25 kN. Os resultados evidenciaram que o biodiesel originado de palmeiras não comprometeu o funcionamento do motor durante os testes, bem como não apresentou diferença significativa entre os parâmetros potência na barra de tração e velocidade de deslocamento. Porém, o biodiesel de tucumã apresentou maior consumo quando comparado com o biodiesel de babaçu e de buriti. Quando avaliado o consumo específico, o biodiesel de tucumã apresentou aumento de 5,7% e 11,31%, quando comparado com biodiesel de babaçu e de buriti, respectivamente.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Orbignya martiana*, Mart., *Mauritia flexuosa* L., *Astrocaryum vulgare*

## PERFORMANCE OF AN AGRICULTURAL TRACTOR IN A SOIL PREPARATION OPERATION USING BIODIESEL FROM PALM TREES

**ABSTRACT:** Studies on the use of biodiesel in diesel cycle engines have intensified mainly in the operation of agricultural tractors. Such research enables greater knowledge about the use of renewable energy, since these are energy sources with great potential for exploitation, especially in Brazil. This study aimed to evaluate the performance of an agricultural tractor in a soil preparation operation using biodiesel from palm trees as fuel (biodiesel from babassu, buriti and tucumã in mixture proportions with diesel B S50). The work was carried out at the Department of Rural Engineering, at UNESP/Jaboticabal. Three types of biodiesel were used: ethylic biodiesel from babassu (*Orbignya martiana*, Mart.), ethylic biodiesel from buriti

(*Mauritia flexuosa* L.) and ethylic biodiesel from tucumã (*Astrocaryum vulgare*) in a mixture proportion as diesel B S50 (B0, B5, B15, B25, B50, B75 and B100). The performance test was carried out in field conditions, using a test tractor - brand Valtra, model BM 125i, 4x2 (TDA) and a braking tractor - brand Valmet, model 118-4, 4x2 (TDA), coupled to the test tractor by means of a steel cable, with the engine off, in the gear combination (4th L), forming a convoy. It is noteworthy that the effort on the drawbar was similar to scarification at 30 cm depth, with such force being approximately 25 kN. The results showed that the biodiesel originating from palm trees did not compromise the engine's operation during the tests, nor did it present a significant difference between the parameters power in the drawbar and displacement speed. However, biodiesel from tucumã showed higher consumption when compared to biodiesel from babassu and buriti. When evaluating the specific consumption, biodiesel from tucumã presented an increase of 5.7% and 11.31%, when compared with biodiesel from babassu and buriti, respectively.

**KEYWORDS:** *Orbignya martiana*, Mart., *Mauritia flexuosa* L., *Astrocaryum vulgare*

**INTRODUÇÃO:** Motores de Combustão Interna (MCI) são máquinas térmicas largamente empregadas em diversos setores da economia mundial. Em caso específico, a utilização de motores ciclo diesel vão desde a aplicação no uso para transporte de passageiros e cargas, uso industrial no acionamento motriz de máquinas e no uso agrícola (tratores e colhedoras) (RASHEDUL et al., 2014). Sendo também utilizados na geração de energia distribuída, utilizando motores como elemento motriz de geradores elétricos (grupos geradores), tanto na área rural quanto urbana (BARROS et al., 2018). A sua vasta utilização está interligada à eficiência de combustão, confiabilidade, adaptabilidade e custo-efetividade (KARAGÖZ, 2018).

Ressalta-se que, apesar de o motor ciclo diesel desempenhar papel crucial e indispensável no mundo, o mesmo contribui para a poluição pelas emissões de escape que ocasionam efeitos adversos sobre a saúde humana e ao meio ambiente (BORTOLETO et al., 2017; REIS et al., 2018). Outro dado importante é a expressiva dependência do petróleo para a obtenção de combustíveis fósseis, o que tem ocasionado aumento do consumo ao longo dos anos, gerando o enfraquecimento das reservas mundiais de petróleo (PATEL e KUMAR, 2017; ASOKAN et al., 2018). Esses fatores incentivaram pesquisas sobre combustíveis alternativos, em que se destaca o biodiesel, que pode substituir o óleo diesel total ou parcialmente em proporções de mistura em motores ciclo diesel (KOTEN, 2018; RAJESH KUMAR et al., 2016).

O biodiesel, quando comparado ao diesel convencional, apresenta vantagens na utilização, que são caracterizadas por ser combustível biodegradável, não apresentar enxofre na composição e quando utilizado como combustível em motores ciclo diesel apresenta menor emissão de exaustão geral (toxicidade e opacidade da fumaça). Vantagens também estão relacionadas às características físico-químicas deste tipo de biocombustível, que apresenta maior ponto de fulgor e lubrificação, que por ser oxigenado (contém 10-15% de oxigênio), resulta em combustão mais eficiente (HASAN e RAHMAN, 2017; OUANJI et al., 2016).

O biodiesel é produzido por meio da transesterificação de óleos (ácidos graxos de origem animal e vegetal) e álcoois de cadeia curta com catalisadores apropriados. Para a produção de biodiesel de primeira geração, são utilizados como fonte de matéria-prima óleos vegetais comestíveis, como óleo de soja, de colza, de girassol, de amendoim e etc. Porém, a utilização desses óleos comestíveis para a produção de biodiesel pode ocasionar impacto na produção de alimentos, o que motiva a busca por novas fontes de matérias-primas que não tenham interferência sobre o setor alimentício devido à insegurança alimentar (OLIVEIRA e COELHO, 2017), que segundo a FAO (2018), devido à rápida expansão populacional, à mudança climática e à degradação dos recursos hídricos, há risco de não ser possível alimentar toda a população até

2050. Portanto, há ampla pesquisa sendo realizada para aprimorar possível combustível alternativo para o motor a diesel (ASOKAN et al., 2018).

Para avaliar a viabilidade do biodiesel, torna-se fundamental o conhecimento das características do funcionamento dos motores com o combustível ou mistura dele com diesel, as quais podem ser conhecidas por meio de ensaios de desempenho. OLIVEIRA et al. (2016) avaliaram o desempenho operacional de trator agrícola funcionando com diesel e proporções de biodiesel/diesel, variando a rotação do motor, e verificaram que biodiesel de soja e de murumuru não comprometeram o funcionamento do motor durante os testes, porém houve aumento do consumo específico para todos os tipos de combustível à medida que aumentou a rotação do motor.

Neves (2016) avaliou o desempenho operacional do trator agrícola em operação de preparo de solo operando com vários tipos de biodiesel e proporções de mistura, constatando que as proporções de biodiesel testadas não comprometeram o desempenho do motor durante os testes, bem como os distintos tipos de combustíveis condicionam a diferença no consumo horário volumétrico, consumo horário específico, consumo ponderal, e que diferentes proporções de misturas resultam em consumos distintos, aumentando à medida que se adiciona biodiesel na mistura.

Pressupõe-se que o tipo de combustível utilizado (diesel ou biodiesel), bem como a proporção de mistura tenham interferência sobre o desempenho operacional dos tratores. Diante desse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de trator agrícola em operação de preparo de solo utilizando biodiesel de palmeiras como combustível (biodiesel de babaçu, de buriti e de tucumã em proporções de mistura com diesel B S50).

**MATERIAL E MÉTODOS:** O trabalho foi conduzido na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP – Universidade Estadual Paulista, Câmpus Jaboticabal – SP, no Departamento de Engenharia Rural, no Laboratório de Biocombustíveis e Ensaio de Máquinas – BIOEM. A área está situada lateralmente à Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, km 5, cuja localização geodésica é definida pelas coordenadas 21° 15' latitude sul e 48° 18' longitude oeste, com altitude média de 570 m. A região apresenta temperatura média anual de 22,2 °C, precipitação média anual de 1.425 mm, umidade relativa média de 71% e pressão atmosférica de 94,3 kPa. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, definido como tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno (UNESP, 2018).

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico típico, com relevo suave ondulado e declividade média de 3%, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (ANDREOLI e CENTURION, 1999). O teor médio de água no dia do ensaio-piloto com escarificador, no perfil de 0 - 15 e 15 - 30 cm de profundidade, foi 11,2 e 13,4%, respectivamente, segundo o método gravimétrico-padrão. A análise granulométrica da camada de 0 - 20 cm para argila, silte, areia fina e areia grossa foi 51; 29; 10 e 10%, respectivamente, sendo o solo de textura argilosa.

Foram utilizados três tipos de biodiesel: biodiesel etílico de babaçu (*Orbignya martiana*, Mart.), biodiesel etílico de buriti (*Mauritia flexuosa* L.) e o biodiesel etílico de tucumã (*Astrocaryum vulgare*) em proporções de mistura com o diesel B S50 (B0, B5, B15, B25, B50, B75 e B100).

O trabalho foi realizado de forma dinâmica em delineamento experimental inteiramente casualizado, esquema fatorial 3 x 7, tendo 21 tratamentos e três repetições, totalizando 63 resultados. A combinação dos 21 tratamentos foi: três tipos de biodiesel e sete proporções de misturas de diesel e biodiesel (B0, B5, B15, B25, B50, B75, B100). Cada parcela experimental possuía 30 m de comprimento e, entre si, na direção longitudinal, foi reservado espaço de 15 m destinado à realização de manobras, tráfego de máquinas e estabilização do conjunto motomecanizado em cada tratamento.

## Avaliação de desempenho

O trator de teste - marca Valtra, modelo BM 125i, 4x2, com tração dianteira auxiliar (TDA), potência máxima no motor de 91,9 kW (125 cv) a 2.300 rpm (ISO1585), equipado com turbo compressor e *intercooler*, massa total de 7.000 kg, distribuídos 40 e 60% nos eixos dianteiro e traseiro, respectivamente, relação massa/potência de 76 kg/kW (56 kg/cv), equipado com pneus 14.9-26 no eixo dianteiro e 23.1-30 no eixo traseiro, estando os referidos pneus calibrados conforme recomendação do fabricante. O trator encontrava-se instrumentado com célula de carga, medidor da rotação da tomada de potência (TDP), medidor da rotação dos rodados, unidade de radar e medidor da temperatura e do fluxo de combustível da entrada e do retorno da bomba injetora. Toda a instrumentação está ligada a um sistema de aquisição de dados, descrita conforme LOPES (2006).

Com a finalidade de oferecer carga à barra de tração do trator, foi utilizado um escarificador da marca Marchesan, modelo AST/MATIC 7, regulado com cinco hastes, com espaçamento entre hastes de 45 cm, ponteira sem asa com 8 cm de largura, equipado com rolo destorroador e discos de corte de palha. A operação foi realizada com a haste do escarificador em duas profundidades de trabalho, 15 e 30 cm, sendo a área manejada no sistema de plantio direto.

Devido à grande variabilidade da resistência do solo para a avaliação do consumo de combustível, e depois de conhecida a força na barra de tração requerida pelo escarificador, esse foi substituído por um segundo trator, denominado trator de frenagem, ensaiado na mesma condição de solo. Esse foi acoplado ao trator de teste por meio de cabo de aço, formando um comboio, e, em virtude da combinação de marcha no trator de frenagem, o esforço na barra de tração foi semelhante à escarificação a 15 e a 30 cm de profundidade. A velocidade de deslocamento média durante o ensaio foi  $5,4 \text{ km h}^{-1} \pm 0,2$  e a patinagem média dos rodados foi  $8,6\% \pm 0,4$ .

O trator de frenagem utilizado foi da marca Valtra, modelo BH140, 4x2 TDA, com potência de 103 kW (140 cv) a 2.400 rpm no motor, massa total de 7.600 kg, distribuídos 40 e 60% nos eixos dianteiro e traseiro, respectivamente.

O consumo de combustível foi medido em cada parcela, obtendo-se o volume e a temperatura do combustível que alimenta a bomba injetora, e o volume e a temperatura do combustível que retorna ao tanque, sendo o combustível consumido dado pela diferença entre as duas medidas. A temperatura do combustível medida foi utilizada para a correção da densidade do combustível.

O sistema de medição de combustível consiste em dois conjuntos de sensores, um para a alimentação e o outro para o retorno da bomba injetora. Cada conjunto contém um medidor de fluxo da marca Oval Corporation, modelo Flowmate LSN 48, com precisão de 1% sobre a vazão nominal e vazão máxima de  $100 \text{ L h}^{-1}$ , e um sensor de temperatura do tipo resistivo, modelo PT 100 (resistência de 100 ohms a  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ ), com faixa de medida de  $-200 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $800 \text{ }^\circ\text{C}$ . Os valores de fluxo de combustível foram obtidos em  $\text{mL s}^{-1}$ , e a temperatura, em  $^\circ\text{C}$ .

Com base no volume consumido e no tempo de percurso em cada parcela, foi determinado o consumo horário volumétrico, conforme a eq. (1):

$$\text{Chv} = \left( \frac{V_a - V_r}{t} \right) * 3,6 \quad (1)$$

em que, Chv = consumo horário volumétrico ( $\text{L h}^{-1}$ );  $V_a$  = volume do combustível de alimentação (mL);  $V_r$  = volume do combustível de retorno (mL);  $t$  = tempo de percurso na parcela (s), e 3,6 = fator de conversão.

Para o cálculo do consumo horário ponderal, considerou-se a influência da temperatura no momento do teste para corrigir a densidade, conforme eq.(2):

$$Chp = \frac{(Va Dca - Vr Dcr)}{t} \quad 0,0036 \quad (2)$$

em que, Chp = consumo horário ponderal (kg h<sup>-1</sup>); Va = volume do combustível de alimentação (mL); Dca = densidade do combustível de alimentação (kg m<sup>-3</sup>); Vr = volume do combustível de retorno (mL); Dcr = densidade do combustível de retorno (kg m<sup>-3</sup>); t = tempo de percurso na parcela (s), e 0,0036 = fator de conversão.

Consumo específico é o consumo de combustível expresso em unidade de massa por unidade de potência requerida na barra de tração, conforme eq. (3):

$$Ce = \left( \frac{Chp}{PB} \right) * 1000 \quad (3)$$

em que, Ce = consumo específico (g kW h<sup>-1</sup>); Chp = consumo horário ponderal (kg h<sup>-1</sup>); PB = potência na barra de tração (kW), e 1000 = fator de conversão.

Os dados foram tabulados e submetidos à análise da variância e ao teste de comparação de médias de Tukey, a 5% de probabilidade, conforme recomendação de BANZATTO e KRONKA (2006).

Para o consumo específico, foi estudado modelo de ajuste de regressão que melhor explicasse o comportamento dos combustíveis. Para o caso da densidade, ajustou-se um modelo de superfície de resposta que também explicasse essa variável em função da temperatura e do tipo de combustível.

Para selecionar o modelo de equação de maior expoente significativo utilizou-se da análise da variância (teste F).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Na Tabela 1, verifica-se que os fatores tipo de biodiesel e proporção de biodiesel não influenciaram na potência na barra de tração, tampouco na velocidade de deslocamento do trator, cujas médias foram 42,68 kW e 6,06 km h<sup>-1</sup>, respectivamente. Tal comportamento é explicado por ser a referida variável produto da força, que fora mantida invariavelmente próxima a 25 kN.

Tabela 1. Síntese da análise de variância e teste de médias para as variáveis potência média na barra (PB) e velocidade de deslocamento (V).

Fatores	Potência (kW)	Velocidade (km h <sup>-1</sup> )
<b>Tipo de Biodiesel (TB)</b>		
Babaçu	42,81 a	6,07
Tucumã	42,71 a	6,06
Buriti	42,53 a	6,06
<b>Proporção de Biodiesel (Bn)</b>		
B0	42,69 a	6,05 a
B5	42,43 a	6,05 a
B15	42,79 a	6,06 a
B25	42,91 a	6,06 a
B50	42,43 a	6,09 a
B75	42,73 a	6,07 a
B100	42,81 a	6,07 a
<b>TESTE F</b>		
TB	2,463 <sup>NS</sup>	0,987 <sup>NS</sup>
B <sub>n</sub>	1,816 <sup>NS</sup>	1,601 <sup>NS</sup>
TBxB <sub>n</sub>	0,852 <sup>NS</sup>	1,595 <sup>NS</sup>
<b>C.V.(%)</b>	<b>0,97</b>	<b>0,55</b>
<b>Média</b>	<b>42,68</b>	<b>6,06</b>

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. \*\* significativo (P<0,01); \* significativo (P<0,05); NS: não significativo; C.V.: coeficiente de variação.

Os resultados observados para os fatores potência na barra de tração e velocidade de deslocamento do trator teste corroboram Iamaguti et al., (2016), que obteve valores médios na potência na barra de tração de 44,58 kW e velocidade de deslocamento do trator 6,47 km h<sup>-1</sup>, utilizando biodiesel de buriti em proporções de mistura com diesel B S1800 e B S50. Esses resultados observados mostram que o uso de biodiesel como fonte de combustível em motores ciclo diesel, em caso específico o trator agrícola, seja em proporções de mistura com o diesel, seja na substituição total do diesel, não afeta a potência disponível na barra de tração e a velocidade de deslocamento, pois a forma de compensação do menor poder calorífico do biodiesel é o aumento no consumo de combustível para que a potência na barra de tração não seja comprometida (CAMARA, 2009). Dados importantes, pois segundo Ouanji et al. (2016), o biodiesel é originado de diferentes fontes de matéria-prima e possui diferentes propriedades físicas e químicas, o que poderia interferir nas variáveis analisadas.

Na Tabela 2, encontram-se a síntese da análise de variância e o teste de médias para as variáveis consumo horário volumétrico, consumo horário ponderal e consumo específico.

Tabela 2. Síntese da análise de variância e teste de médias para as variáveis consumo horário volumétrico (Chv), consumo horário ponderal (Chp) e consumo específico (Cesp).

<b>Fatores</b>	<b>Chv L h<sup>-1</sup></b>	<b>Chp Kg h<sup>-1</sup></b>	<b>Cesp g kW h<sup>-1</sup></b>
<b>Tipo de Biodiesel (TB)</b>			
Babaçu	13,83 a	11,91 a	278,34 b
Tucumã	15,17 b	12,91 b	294,22 c
Buriti	13,76 a	11,80 a	264,32 a
<b>Proporção de Biodiesel (Bn)</b>			
B0	14,15 a	11,86 a	274,21ab
B5	13,84 a	11,68 a	262,69 a
B15	14,04 a	11,91 a	273,24 a
B25	14,15 a	12,06 ab	273,82 a
B50	14,31 a	12,28 abc	278,63 abc
B75	14,65 a	12,78 bc	293,17 bc
B100	14,63 a	12,90 c	296,97 c
<b>TESTE F</b>			
TB	36,961**	32,681**	27,037**
B <sub>n</sub>	2,247 <sup>NS</sup>	8,128**	7,535**
TBxB <sub>n</sub>	1,205 <sup>NS</sup>	1,161 <sup>NS</sup>	1,581 <sup>NS</sup>
<b>C.V.(%)</b>	<b>4,18</b>	<b>4,03</b>	<b>4,72</b>
<b>Média</b>	<b>14,25</b>	<b>12,21</b>	<b>278,96</b>

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. \*\* significativo (P<0,01); \*: significativo (P<0,05); NS: não significativo; C.V.: coeficiente de variação.

Segundo Neves (2016), o consumo horário volumétrico (CHV) é caracterizado como sendo a razão da diferença entre o volume admitido pelo sistema de alimentação do motor e o montante que retorna ao tanque de armazenamento. Para essa variável, quando analisado o fator tipo de biodiesel, é observado na Tabela 3 que o biodiesel de tucumã apresentou diferença significativa entre o biodiesel de babaçu e de buriti, tendo aumento no consumo horário volumétrico de 9,68% e 10,25%, quando comparado com o biodiesel de babaçu e buriti, respectivamente. Porém, para o fator proporções de mistura, observa-se que não houve diferença significativa. Os dados obtidos diferem dos apresentados por Santos (2014), que ao estudar o desempenho do trator agrícola em operação de preparo do solo, funcionando com diesel B S1800, B S50 e proporções de mistura com biodiesel metílico de babaçu (B0, B5, B15, B25, B50, B75 e B100), verificou que o consumo horário volumétrico aumentou 7,4%, para o diesel B S50, quando comparado B0 com B100, porém não houve diferença significativa para o diesel B S1800.

Os resultados podem estar interligados com o número de cetano, que é relacionado com a velocidade de ignição do combustível/biocombustível, que corresponde ao período entre o início da injeção de combustível e o início da combustão (ANP, 2018). Ruschel et al., (2014) afirmam que cada combustível/biocombustível apresenta valor distinto para o número de cetano. Ao avaliarem amostras das blends de biodiesel/diesel, observaram variação do número de cetano de 20, 45 e 57.

Nos resultados demonstrados para consumo horário ponderal (CHP) (Tabela 2), verifica-se diferença significativa para a variável tipo de biodiesel. Ressalta-se que o maior CHP foi para o biodiesel de tucumã que, quando comparado com biodiesel de babaçu e de buriti, o aumento no consumo foi de 8,40% e 8,56%, respectivamente. Analisando o fator proporção de biodiesel, nota-se que o consumo ponderal foi semelhante entre as proporções B0, B5, B15, B25 e B50, não apresentando diferença estatística significativa, porém as proporções B75 e B100 apresentaram maior consumo e diferença significativa entre as proporções B0, B5, B15 e B25. Os resultados observados para CHP podem ser explicados devido a essa variável levar em consideração a densidade do combustível, que por sua vez está diretamente ligada a sua estrutura molecular.

Segundo Zuñica et al., (2011) e Oliveira et al., (2012), a densidade constitui indicativo de como a matéria está organizada num corpo, ou seja, pode ser representada pela quantidade de massa por unidade de volume do combustível injetado no motor. Os materiais com estrutura molecular mais compacta apresentam maiores densidades. A densidade do biodiesel, ligeiramente superior à do óleo diesel convencional, exerce efeito direto sobre o desempenho do motor. Dessa forma, quanto maior a concentração de biodiesel na mistura, maior será a concentração de alquísteres com cadeia carbonônica mais longa, sendo maior a densidade, reduzindo a eficiência do combustível.

O consumo específico de combustível é a relação entre a massa de combustível utilizada por unidade de potência durante o regime de trabalho (TELLI, 2018). Porém conforme Ouanji et al. (2017), o biodiesel possui diferentes propriedades físicas e químicas. Dentre essas propriedades está o poder calorífico, que é a quantidade de energia interna contida no combustível, ou seja, quanto mais alto o poder calorífico, maior será a energia contida (Oliveira et al., 2018).

Observando os resultados para consumo específico de combustível (CESP) (Tabela 2), verifica-se que, para o fator tipo de biodiesel, houve diferença entre os três tipos de biodiesel utilizados no trabalho, sendo expresso maior consumo para o biodiesel de tucumã, seguido do biodiesel de babaçu e de buriti. Comparando os valores apresentados, o biodiesel de tucumã apresentou aumento de 5,7% e 11,31%, quando comparado com o biodiesel de babaçu e de buriti, respectivamente.

Para o fator proporção de biodiesel/diesel (Tabela 2), verifica-se que houve aumento no consumo de combustível à medida que foram acrescidas maiores proporções de biodiesel, porém as proporções B0, B5, B15, B25 e B50 não apresentaram diferenças estatísticas. Já a proporção B100 apresentou diferença significativa entre as proporções B0, B5, B15 e B25. Os resultados apresentados corroboram Imaguti (2017), que ao avaliar o desempenho operacional do trator agrícola utilizando seis proporções de mistura de biodiesel de soja e de murumuru, combinados com sete rotações do motor, verificou que o consumo específico aumentou quando foram utilizadas as proporções 90% biodiesel de soja + 10% biodiesel de murumuru, e 90% biodiesel de murumuru + 10% biodiesel de soja.

Dados apresentados têm revelado que o poder calorífico do biodiesel é de cerca de 37,27 MJ/L, que é 9% inferior ao óleo diesel derivado de petróleo (APROBIO, 2018). Dessa forma, estes resultados podem ter sido influenciados pelo poder calorífico de cada biodiesel. Em estudo de Andrade et al. (2012), avaliando o comportamento cinético do biodiesel de buriti e das suas

misturas com óleo diesel, observaram que a adição de biodiesel de buriti no óleo diesel diminui o poder calorífico do combustível e da combustão.

O consumo específico médio em função do tipo de biodiesel e a proporção de mistura foram ajustados, resultando em modelos lineares, conforme ilustrado na Figura 1.

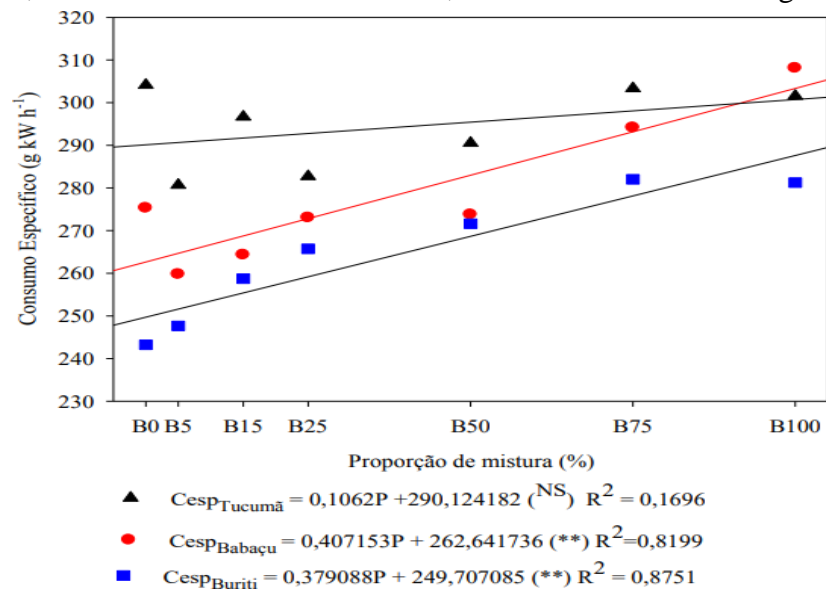


Figura 1. Modelo de regressão para consumo específico (Cesp) em função do tipo de biodiesel (babaçu, tucumã e buriti) e das proporções de mistura de biodiesel com diesel B S50.

Souza (2016) revela que, além da diferença na composição do biodiesel a partir de óleos vegetais, estudos indicam que a forma e o local de cultivo, considerando características como latitude, temperatura, data da semeadura e regime de irrigação, podem influenciar no teor de ácidos graxos dos óleos vegetais. Assim, óleos de uma mesma cultura, quando cultivados em condições distintas, podem apresentar diferenças em propriedades que têm influência direta sob o biodiesel.

Outro fator de possível influência sob as características físico-químicas do biodiesel são os processamentos a que os óleos vegetais são submetidos. Processos como degomagem, refino, deceragem e desodorização não afetam muito as características relacionadas à composição dos óleos, como viscosidade e densidade, porém influenciam na oxidação térmica e, conseqüentemente, no desempenho do óleo como combustível. Os óleos crus, sem processamento, apresentaram maior tendência à carbonização e pior desempenho em motor de injeção direta, em comparação aos óleos submetidos a processamento (RYAN III et al., 1984).

**CONCLUSÕES:** O biodiesel de babaçu, de buriti e de tucumã não comprometeram o funcionamento do motor (combustão e eficiência) durante os testes. Em relação ao consumo horário volumétrico, o biodiesel de tucumã apresentou maior consumo, tendo aumento no consumo de 9,68% e 10,25%, quando comparado com o biodiesel de babaçu e de buriti, respectivamente.

O biodiesel de tucumã apresentou maior consumo ponderal, comparado com biodiesel de babaçu e de buriti, apresentando aumento de 8,40% e 8,56%, respectivamente.

O maior valor apresentado para o consumo específico foi para o biodiesel de tucumã, seguido do biodiesel de babaçu e de buriti.

**REFERÊNCIAS:** AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Agricultural tractor test code SAE J708. In: ASAE standards 1997: standards engineering practices data. 44. ed. St. Joseph: ASAE, 1997. p.407– 411.

ANDREOLI, L.;CENTURION, J.F. Levantamento detalhado dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27, Brasília, 1999. **Anais...**, Brasília, Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 1999. 32p. (T025-3 CD-ROM)

ANDRADE, R.D.A; POZZEBOM, E.; FARIA, E.A, D. FILHO F; SUAREZ PAZ, PRADO, A.G.S. Thermal behavior of diesel/biodiesel blends of biodiesel obtained from buriti oil. **Acta Scientiarum-Technol** 34:243-248, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS – ANP. **Resolução ANP nº 50/2013**. 2013. Disponível em: <[http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/resolucoes\\_anp/2011/dezembro/ranp%206%20%202011.xml](http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2011/dezembro/ranp%206%20%202011.xml)> Acesso em: 12 mai. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS – ANP. **Óleo diesel**. 2018. Disponível em: < <http://www.anp.gov.br/petroleo-derivados/155-combustiveis/1857-oleo-diesel> >. Acesso em: 10 mai. 2023.

ASOKAN, M.A; SENTHUR PRABU, S; KAMESH, S.; KHAN W. Performance, combustion and emission characteristics of diesel engine fuelled with papaya and watermelon seed oil biodiesel/diesel blends. **Energy** 145:238-245, 2018.

ASSOCIAÇÃO DOS PRODUTORES DE BIODIESEL DO BRASIL – APROBIO. **Biodiesel e suas propriedades**. 2018. 2018. Disponível em: < <http://aprobio.com.br/2017/01/12/biodiesel-e-suas-propriedades/>> Acesso em: 12 mai. 2023.

BANZATTO, D.A; KRONKA, S.N. **Experimentação agrícola**. 4ª ed. Jaboticabal: FUNEP, 2006. 237 p. 2006.

BARROS, R.W.DAS, GUERRERO, JRH; DUTRA, J.C.C. Experimental Evaluation of the use of Cottonseed Biodiesel and Mixtures With Commercial Diesel Engine Generator. **IEEE Latin America Transactions** 16(2):489-496, 2018.

BORTOLETO, G.G; SILVA, C.P.D; ALVES, L.A, YOSHINAGA, F. Produção de biodiesel a partir de resíduos gordurosos de frango. **Bioenergia em Revista: Diálogos**, p. 77, 2018.

CAMARA, F.T. **Biodiesel de dendê em trator agrícola: desempenho em função do tempo de armazenamento e da proporção de mistura na operação de preparo do solo**. 92 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, Jaboticabal, 2009.

HASAN, MM; RAHMAN, M.M. Performance and emission characteristics of biodiesel–diesel blend and environmental and economic impacts of biodiesel production: a review. **Renew Sustain Energy Ver** 74:938–948, 2017.

IAMAGUTI, P.S; LOPES, A; OLIVEIRA, M.C.JDE, NEVES, M.C.T; LIRA, T.A.M.; MORETI,T.C.F; LIMA, L.P.DE; KOIKE, G.H.A. Operational performance of tractor running with diesel and biodiesel from buriti oil (*Mauritia flexuosa*) **AJCS** 10(3):336-341, 2016.

IAMAGUTI, P. S. **Desempenho operacional do trator agrícola com proporções de biodiesel**. 2017. 83 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, Jaboticabal, 2017.

LOPES, A. **Biodiesel em trator agrícola: desempenho e opacidade**. 158 f. Tese (Livre Docência em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2006.

KARAGÖZ, Y. Effect of hydrogen addition at different levels on emissions and performance of a diesel engine. **Journal of Thermal Engineering, Research Article** 4(2) Special Issue 7:1780-1790, 2018.

KOTEN, H. Hydrogen effects on the diesel engine performance and emissions. **Hydrogen effects on the diesel engine performance and emissions, International Journal of Hydrogen Energy** (2018).

NEVES, M.C.T. **Mistura de biodiesel de soja e de murumuru em trator agrícola**. 2016. 83 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

OLIVEIRA, D. S, et al. Obtenção do biodiesel de Moringa Oleifera Lam e do ecodiesel na proporção B5, B10, B20 E B30. **Química: ciência, tecnologia e sociedade**, v.1, n.2, p.49-60, 2012.

OLIVEIRA, M.C.J; LOPES, A.; DE LIMA, L.P.; NEVES, M.C.T.; IAMAGUTI, P.S.; LIRA, T.A.M; MORETI, T.C.F.; KOIKE, G.H.A.; SANTOS, A.P.; SILVA, R.A. Effect of type of fuel and speed of engine on the performance of agricultural tractor. **Afr J Agric Res**, v.11, n.40, p.4048–4054, 2016.

OLIVEIRA, F.C.DE; COELHO, S.T. History, evolution, and environmental impact of biodiesel in Brazil: A review, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.75, p.168–179, 2017.

OLIVEIRA, L.R.A.DE; PEDROZA, M.M.; PAZ R.R.DES; SILVA, E.M. DA, PAZ E.DA C.S; SANTOS M.L.Q.DOS Estudo dos produtos da pirólise e potencial energético da fibra de coco da baía. In: **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS 2018**. 2018.

OUANJI, F. KACIMI. M; ZIYAD, M.; PULEO. F; LIOTTA, L. F. Production of biodiesel at small-scale (10 L) for local power generation. **Int J Hydrogen Energy**, 2016.

PATEL, H. K; KUMAR, S. Experimental analysis on performance of diesel engine using mixture of diesel and bio-diesel as a working fuel with aluminum oxide nanoparticle additive. **Thermal Science and Engineering Progress** 4:252-258, 2017.

RASHEDUL, H. K; MASJUKI, H. H; KALA; M.A, ASHRAFUL, A. M; ASHRAFUR RAHMAN, S. M; SHAHIR, S. A. The effect of additives on properties, performance and emission of biodiesel fuelled compression ignition engine. **Energy Conversion and Management**, v.88, p.348–364, 2014.

RAJESH KUMAR B, SARAVANAN S, RANA D, ANISH V, NAGENDRAN A. Effect of a sustainable biofuel e n-octanol e on the combustion, performance and emissions of a DI diesel engine under naturally aspirated and exhaust gas recirculation (EGR) modes. **Energy Convers. Manag** 118:275-286, 2016.

Reis H, Reis C, Sharip A, Reis W, Zhao Y (2018) Sinclair, R.; Beeson, L. Diesel exhaust exposure, its multi-system effects, and the effect of new technology diesel exhaust. **Environment International**, v.114, p.252-265.

RYAN III, T.W; DODGE, L.G; CALLAHAN, T.J. The effects of vegetable oil properties on injection and combustion in two different diesel engines. **Journal of the American Oil Chemists' Society (JAOCS)**, v.61, n.10, p.1610-1619, 1984.

RUSCHEL, C.F.C; HUANG, C.T; SAMIOS, D; FERRÃO, M. F; YAMAMOTO, C.I; PLOCHARSKI, R.C.B. Determinação do número de cetano de blendas de biodiesel/Diesel utilizando espectroscopia no infravermelho medio e regressao multivariada. **Orbital: The Electronic Journal of Chemistry**, v.6, n.1, p.39-46, 2014.

SANTOS, A. P. **Desempenho de trator agrícola em operação de preparo do solo utilizando diesel e proporções de biodiesel de babaçu**. 84 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, 2014.

SOUZA, N. M. **Variabilidade qualitativa de grãos de soja**. 75 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

TELLI, G. D. **Análise do desempenho de um motor a combustão de ignição por compressão monocilíndrico no funcionamento bicomustível diesel-etanol**. 126 f. Dissertação (mestrado profissional em ENGENHARIA MECÂNICA), Universidade de Caxias Do Sul, Caxias Do Sul, 2018.

ZUÑIGA, A.D.G, et al. Revisão: propriedades físico-químicas do biodiesel. **Pesticidas**, v.21, p.55-72, 2011.