

ENSAIO DE TORQUE E CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DE UMA MOTOSSERRA UTILIZANDO TRÊS MISTURAS DE BIOCOMBUSTÍVEL

ROBSON LEAL DA SILVA¹, YURI BRITTO PERISSINOTTO², SÉRGIO RENATO DA SILVA SOARES², MARCELO MENDES VIEIRA²

¹ FAEN - Faculdade de Engenharia, UFGD - Universidade Federal da Grande Dourados, Rodovia MS-270, km 12, CEP: 79.804-970, Dourados-MS, Brasil. e-mail: rlealsilva@hotmail.com

^{2, 3 e 4} ICAT - Engenharia Mecânica, UFR - Universidade Federal de Rondonópolis, Rodovia MT-270, km 06, CEP: 78.735-901, Rondonópolis-MT, Brasil. e-mail: yuribritt@hotmail.com; sergeva2004s@yahoo.com.br; mmendes@ufmt.br

RESUMO: Motores de combustão interna de pequeno porte são utilizados em diversas atividades agrícolas, dentre os quais motosserras e similares. O desempenho destas máquinas térmicas é modificado em função do teor de etanol na mistura combustível, o qual é atualmente 27,5% na gasolina comercializada no Brasil. O objetivo é identificar as melhores condições de desempenho experimentais (torque e consumo de combustível) de uma motosserra ciclo Otto. A metodologia foi baseada em normas técnicas; uma bancada dinamométrica foi construída para as condições operacionais. Cada ensaio foi repetido três vezes e analisado os dois mais coerentes; com quatro rotações distintas, três diferentes cargas e três amostras de misturas combustíveis - (A)73%G/27%E, (B)60%G/40%E, e (C)50%G/50%E. Os resultados são curvas características e as seguintes conclusões: i) Em rotações até 8.200 RPM o combustível (A) apresentou o menor consumo; acima de 8.500 RPM o combustível (B) apresentou maior torque e menor consumo; e o combustível (C) mostrou-se inadequado para quaisquer das condições ensaiadas; ii) Comparando as condições de carga máxima e mínima, o consumo é praticamente duplicado, e o torque é ampliado em cerca de 4 a 5 vezes; iii) Ocorre aumento significativo do consumo acima de 10.000 RPM, nas condições de carga intermediária com combustíveis A e B, e de carga máxima para todos os combustíveis.

Palavras-chaves: Máquinas térmicas, Motor de combustão 2T, Biocombustíveis, Engenharia experimental.

TORQUE AND FUEL CONSUMPTION TESTS FOR A CHAINSAW USING THREE BIOFUEL BLENDS

ABSTRACT: Small-scale internal combustion engines are broadly used in agricultural activities, including chainsaws and similar equipment. The performance of these thermal machines is modified according to the ethanol content in the fuel blend, which is currently 27.5% in commercial gasoline in Brazil. The aim of this study was to identify the best experimental performance conditions (torque and fuel consumption) for an Otto cycle engine chainsaw. The methodology was based on technical standards and a dynamometric workbench was built to match the operating conditions. Each test was repeated three times and the two more coherent ones were analyzed; with four distinct rotations, three different loads and three samples of fuel blends - (A)73%G/27%E, (B)60%G/40%E, and (C)50%G/50%E. The results are characteristic curves and the following conclusions were i) in rotations up to 8,200 RPM the fuel (A) presented the lowest consumption; Above 8.500 RPM the fuel (B) showed higher torque and lower consumption; and the fuel (C) proved inadequate for any of the conditions tested; ii) comparing the maximum and minimum load conditions, the consumption is practically doubled, and the torque is enlarged by about 4 to 5 times; iii) There is a significant increase in consumption above 10,000 RPM, at the intermediate load condition with fuels A and B, and at maximum load for all fuels.

Keywords: Thermal machines, 2-stroke engine, biofuels, experimental engineering.

1 INTRODUÇÃO

O uso de motores de combustão interna de movimento alternativo (MCIA) e de ciclo Otto dois tempos (2T) foi reduzido em aplicações automotivas urbanas devido a legislação restritiva para emissões de poluentes atmosféricos. No entanto, o uso destes em atividades agrícolas ainda é frequente, principalmente em equipamento de pequeno porte (MCIA ciclo Otto, com potência ≤ 10 kW), a exemplo de motosserras, sopradores de ar, podadores, pulverizadores, trituradores cortadores de grama, moto-bombas hidráulicas, moto-geradores, dentre outros (BRUNETTI, 2012). Ainda persistem algumas aplicações de mobilidade não urbana como motores náuticos e quadriciclos para meio rural.

O uso de etanol em automóveis, comum em países como Brasil, EUA e Suécia, é capaz de reduzir as emissões de poluentes e de material particulado (diâmetro < 50 nm) quando comparado à gasolina e óleo diesel, bem como aumentar a concentração de ozônio com implicações diretas a saúde e mudanças climáticas (SALVO et al., 2017). Alguns modelos comerciais de tratores agrícolas apresentam configurações de economia de combustível em comparação com a operação regular; no entanto, as emissões (ex: CO, CO₂, NO_x e Hidrocarbonetos) são maiores para condições de relação potência/torque elevadas na configuração econômica (SCHLOSSER et al., 2017).

Motores de combustão interna 2T possuem maior simplicidade construtiva, mecânica e menor relação peso/potência em comparação a MCIA quatro tempos (4T). Isto se deve a realização de um ciclo de potência em uma única rotação do eixo do motor com dois cursos do pistão. Em contrapartida, existem restrições operacionais quanto à lubrificação, nível elevado de emissões, ruídos e vibração. Em MCIA 2T, o cárter é usado para admissão da mistura ar-combustível, enquanto a lubrificação é diretamente no tanque de combustível a partir da mistura de óleo lubrificante e combustível em proporções recomendadas pelo fabricante. O processo de combustão em um motor dessa natureza pode

ser precário, pois a queima do lubrificante com o combustível pode elevar o consumo específico, além disso o processo de admissão e escape ocorrem simultaneamente, o que muitas vezes ocasiona a queima incompleta do combustível na câmara de combustão.

Os combustíveis líquidos mais utilizados no Brasil incluem gasolina, etanol, querosene, óleo diesel, biodiesel, óleos combustíveis derivados de petróleo e glicerina (GARCIA, 2013). O processo de combustão envolve reações químicas que dependem dos fatores envolvidos, quais sejam: combustível, grau de mistura com oxigênio e temperatura a que é submetida a mistura ar+combustível (GARCIA, 2013). O etanol ou bioetanol (álcool etílico de cadeia C₂H₅OH) disponível para consumo comercial no Brasil é obtido pela rota convencional e considerado biocombustível de primeira geração (LORA; VENTURINI, 2012).

Em setembro de 2015, o governo brasileiro autorizou aumento de 25,0% para até 27,5% a concentração volumétrica de AEAC (Álcool Etílico Anidro Combustível) na gasolina comercializada, resultando em um combustível comercial para motores ciclo Otto com 72,5% de gasolina (IZAGUIRRE, 2014). Países como os EUA adotaram medida similar em 2010, ampliando de 10% para até 15% a fração de volume de etanol em toda a gasolina comercial (STROGEN; HORVATH; McKONE, 2012).

A comercialização de misturas de combustíveis gasolina-etanol para MCIA ciclo Otto ocorre desde os anos 70 no Brasil, e misturas de óleo diesel como biodiesel para MCIA ciclo Diesel) é mais recente. Existem resultados de desempenho (curvas características) e emissões amplamente pesquisados na configuração de motores 4T, porém com poucos resultados para motores 2T, principalmente ciclo Otto. O consumo específico é maior para o etanol devido ao menor PCS, e o menor calor latente de vaporização requer ajustar o avanço da ignição; em contrapartida possui maior octanagem, o que permite utilizar taxa de compressão mais elevada e, por consequência, maior potência. Adicionalmente a relação estequiométrica ar-

combustível é menor, visto que o etanol possui oxigênio em sua molécula (LORA; VENTURINI, 2012).

Em motores 2T de pequeno porte, investigações para diferentes misturas combustíveis de gasolina+etanol (LEAL DA SILVA, 2017) indicam, nas condições de rotação mínima e máxima, um menor consumo para 30% de AEAC (Gasohol A30) e maior consumo para 20% de AEAC (Gasohol 20); e, eventual redução no nível de lubrificação implica em menor consumo (Silva, Vieira e Britto Jr., 2015). Para misturas combustíveis com teor de etanol entre 10 e 25% espera-se consumo de 5 a 6% maior, e sem diferenças significativas no desempenho para proporções volumétricas inferiores a 10% (KARMAN, 2003). Quanto ao nível de emissões em motores 2T, relata-se redução quando operando com 20% de etanol em comparação a gasolina pura, bem como melhoria na eficiência térmica (KUMAR et al., 2011).

O objetivo deste trabalho é avaliar em bancada de testes, o torque e o consumo de combustível de uma motosserra com MCIA dois tempos (2T) utilizando diferentes proporções de etanol na gasolina e cargas solicitadas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

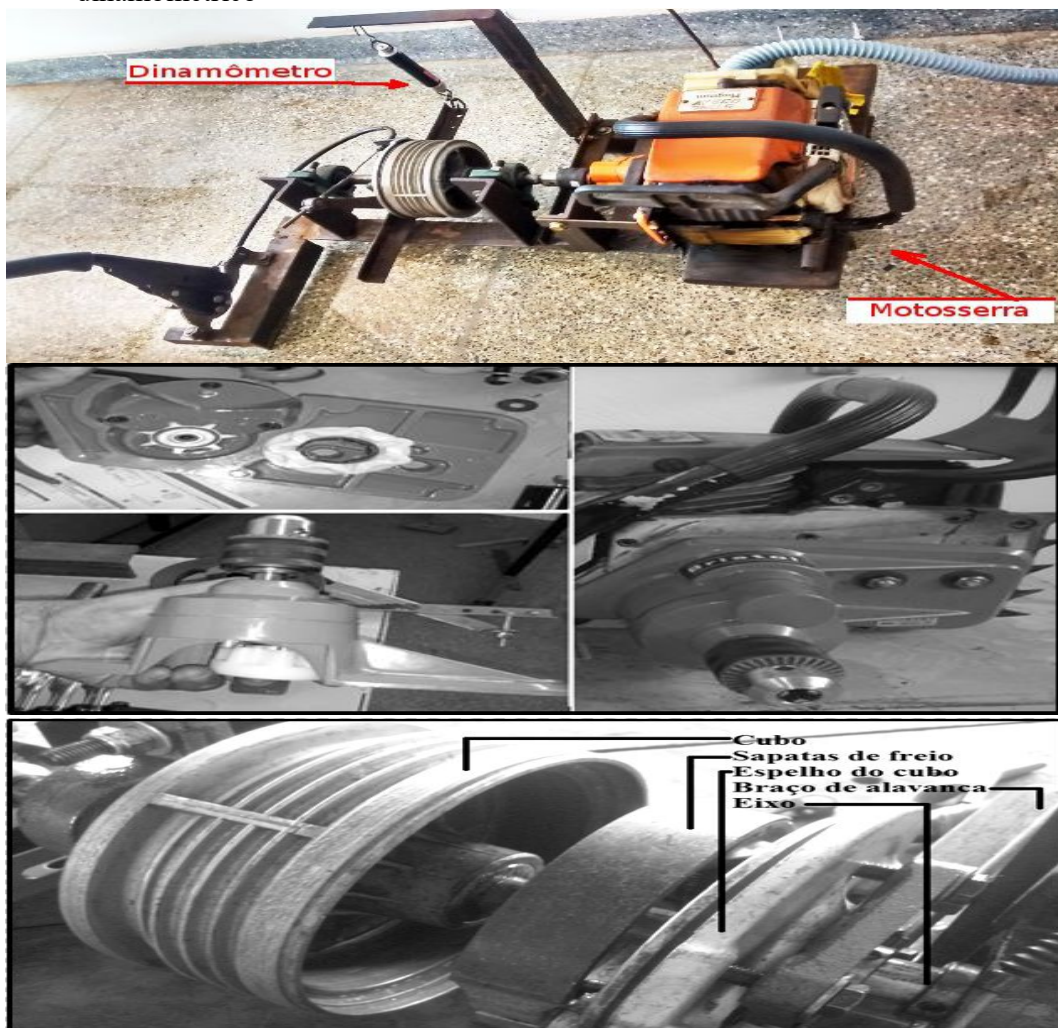
2.1 Descrição do motor e delineamento experimental

Foi ensaiada uma motosserra com motor de combustão interna de movimento alternativo (MCIA), ciclo Otto (ignição por centelha) dois tempos (2T), monocilíndrico, aspiração natural (carburador), capacidade do tanque de 0,68 L

(680 cm³); cilindro com deslocamento e diâmetro, respectivamente 72,2 cm³ e 52 mm, curso do pistão de 34 mm; potência nominal de 3,6 kW a 13500 RPM, com respectivamente 2500 RPM e 13500 RPM em condição de marcha lenta e rotação máxima com sistema de corte acoplado; peso de 6,6 kg e relação peso/potência de ~1,83 kg.kW⁻¹. Trata-se de motosserra STHIL, modelo 038 AV Magnum, com lubrificação óleo/combustível recomendada pelo fabricante na proporção 1:50 (lubrificante STIHL) ou 1:25 (outras marcas). O sistema de combustível opera com carburador de membrana e bombeamento de combustível integrado; utiliza filtro de ar plano, malha em fios de duas partes.

Uma bancada dinamométrica foi projetada para os ensaios com motor 2T da motosserra. Considerando as elevadas rotações alcançadas no eixo de saída (transmissão de potência mecânica), foi inserido um redutor de velocidades na proporção 5:1 visando maior segurança nas condições operacionais do ensaio. Para o freio motor, foi acoplado ao eixo um freio do tipo lona e tambor; dispositivo equivalente ao utilizado em sistemas de frenagem das rodas de motocicletas de 125 cilindradas (deslocamento do cilindro). O torque de frenagem é medido através de um dinamômetro fixado na ponta da haste solidária ao espelho do sistema de freio. Uma alavanca regula a faixa de torque que será exercida na frenagem que o motor deve vencer durante o ensaio. Através da aceleração, é fixada a rotação para aquele torque de frenagem. A Figura 1 apresenta o arranjo experimental utilizado nos ensaios, com a bancada dinamométrica.

Figura 1. Bancada dinamométrica (Freio de “Prony”) projetada e construída para os ensaios, e respectivos acessórios – Detalhes do redutor de velocidade angular (furadeira) e freio dinamométrico



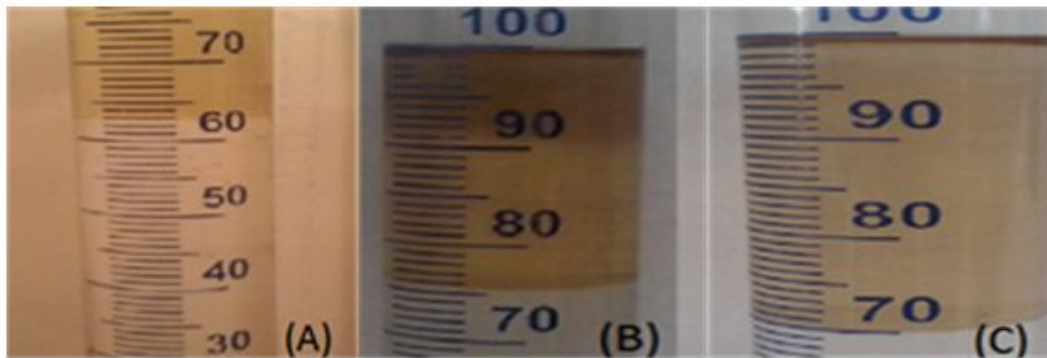
O delineamento do experimento considerou os seguintes para composição dos tratamentos dos ensaios: Quatro rotações do motor (“x”, “y”, “z” e “w”) – entre ~6.000 e 10000 RPM; três cargas (mínima, intermediária e máxima) – posições “1”, “2” e “3” da alavanca do freio de Prony; três misturas combustíveis (A = 73%G/27%E, B = 60%G/40%E, C = 50%G/50%E). Cada ensaio foi repetido três vezes, utilizando resultados em duplicata para o conjunto de dados de menor dispersão quanto ao consumo e torque.

2.2 Preparação das amostras de combustível

O combustível dos tratamentos foi preparado conforme NBR 13992 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008), para determinação do teor de AEAC – Alcool Etilico Anidro Combustível. Neste procedimento, a fração de gasolina pura (ou 100%) fica na camada superior de uma proveta de vidro de 100 mL, e, na camada inferior, fica o AEAC misturado à solução aquosa em cloreto de sódio (NaCl) a 10% p/v, conforme ilustra a Figura 2. As proporções de AEAC foram determinadas utilizando a Equação (1).

$$\tau = [(A - 50) \cdot 2] + 1 \quad (1)$$

Figura 2. Amostras de combustível utilizadas (misturas gasolina e etanol)



Para os demais procedimentos, visto tratar-se de MCIA não veicular (ciclo Otto), considerou-se os requisitos e informações de interesse contidos na NBR 6396 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1976).

2.3 Medições realizadas e instrumentação utilizada

Durante a realização dos ensaios foram registrados as seguintes variáveis: valores máximo e mínimo de torque e rotação; valores médios de temperatura, umidade relativa e pressão atmosférica. Registro manual foi necessário para rotação, volume de combustível, torque, tempo de ensaio e condições ambientes (temperatura, umidade relativa e pressão atmosférica). A temperatura ambiente atendeu aos limites estabelecidos pela NBR 7024 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010), a qual indica uma faixa entre $20^{\circ}\text{C} < T_{\text{ambiente}} < 30^{\circ}\text{C}$ para determinação da medição do consumo.

Para a medição do consumo de combustível, foi considerado o método volumétrico descrito pela NBR 7024 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010); utilizando pipeta e cronômetro ao início e fim de cada ensaio. O tanque de combustível da motosserra foi desativado a alimentação passou a ser feita por uma pipeta de 10 mL e um tanque auxiliar, ambos ligados a uma válvula direcionadora (registro de esfera). Todos os ensaios foram filmados registro do tempo de consumo, tendo fixado o consumo mínimo de 7 mL por ensaio.

Para medição do torque foi utilizado um dinamômetro modelo Crow AT-10 (OSWALDO FILIZOLA, 2017), auxiliado por adaptação de acessório para redução da rotação em 1:5 (furadeira) e possibilitando fixação de

eixo por meio de mandril/castanhas. A medição da velocidade angular foi utilizando-se um tacômetro marca AEMC, modelo CA 1725, posicionado a 50 mm, conforme manual do fabricante (AEMC, 2017). Para o registro da temperatura foi utilizado um medidor de stress térmico marca Instrutherm, modelo TGD-400 (INSTRUTHERM, 2017).

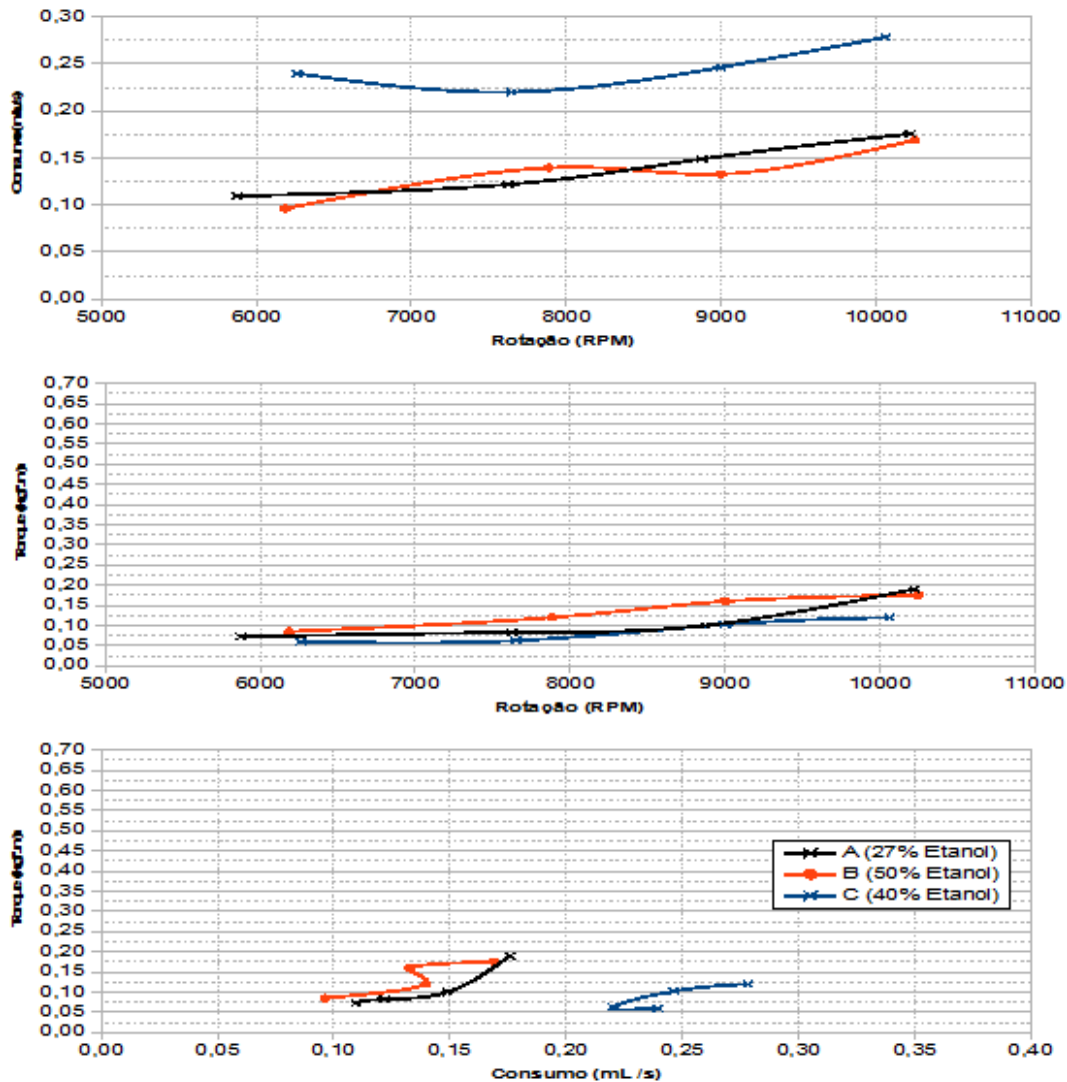
2.4 Procedimento para realização dos ensaios

Após o tempo mínimo de 30 minutos de funcionamento, considerou-se alcançada a condição de estabilização (regime permanente), iniciando o ensaio em seguida. Foi dado o intervalo mínimo de 2 minutos entre repetições, com o motor operando em marcha lenta. A sequência das repetições ocorreu sempre aumento a rotação, e, posteriormente, aumentando a carga.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3 (A, B e C), estão apresentados os resultados referentes a menor solicitação de carga. A mistura combustível A (27% etanol e 73% gasolina) apresenta o melhor desempenho, com maior torque e menor consumo de combustível. Menor torque e maior consumo de combustível é verificado para a mistura C (40% etanol e 60% gasolina). A mistura B (50% etanol e 50% gasolina) tem menor consumo, porém com cerca de 1/3 do torque proporcionado pela mistura A.

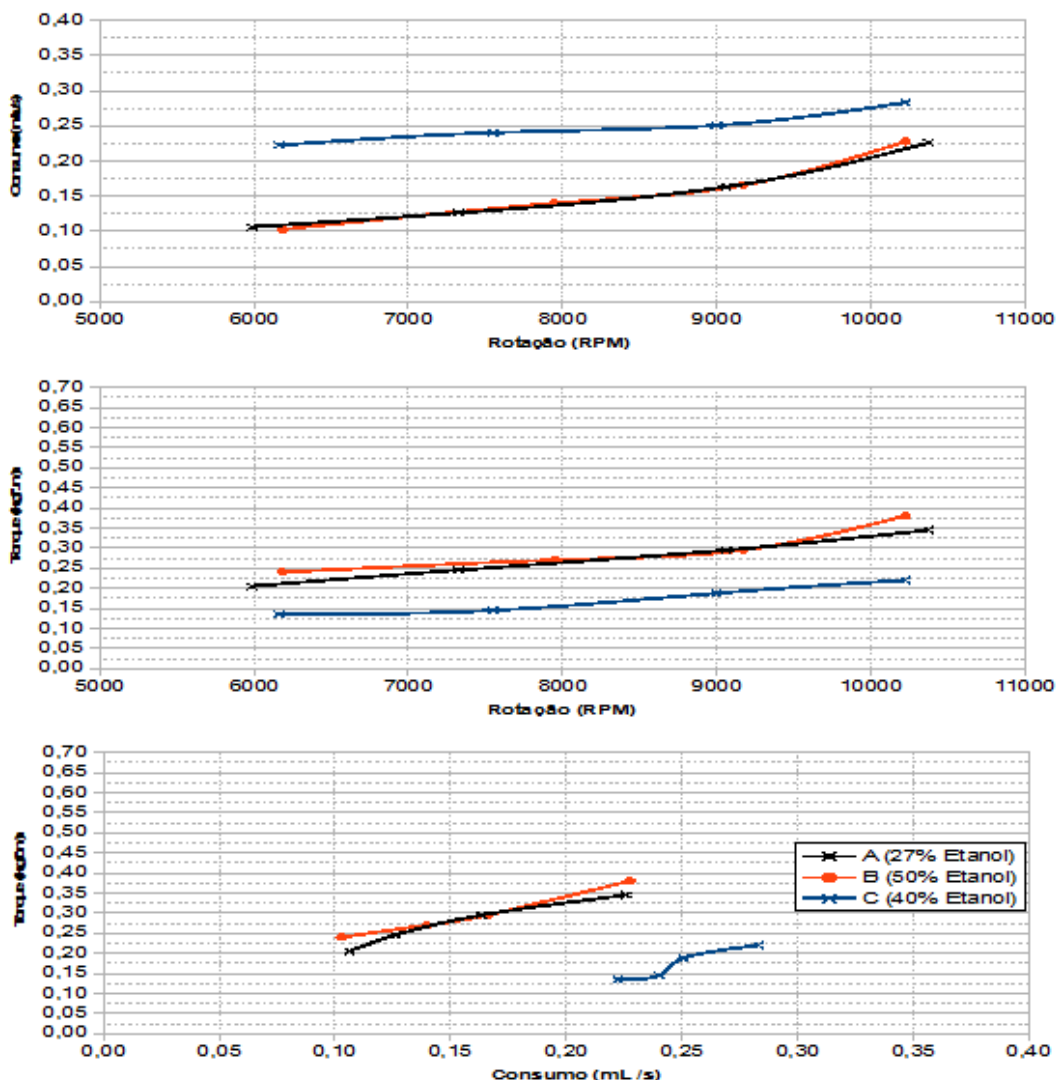
Figura 3. Torque (kgf.m), consumo (mL.s⁻¹) e velocidade angular (RPM) – Solicitação de carga mínima



Na condição de carga intermediária, corresponde aos resultados apresentados na Figura 4 (A, B e C), o pior desempenho é verificado para a mistura de combustível C, ou seja, menor torque e maior consumo de

combustível. As demais misturas (A e B) apresentaram níveis de torque e consumo equivalentes, com o torque ligeiramente superior para a mistura B.

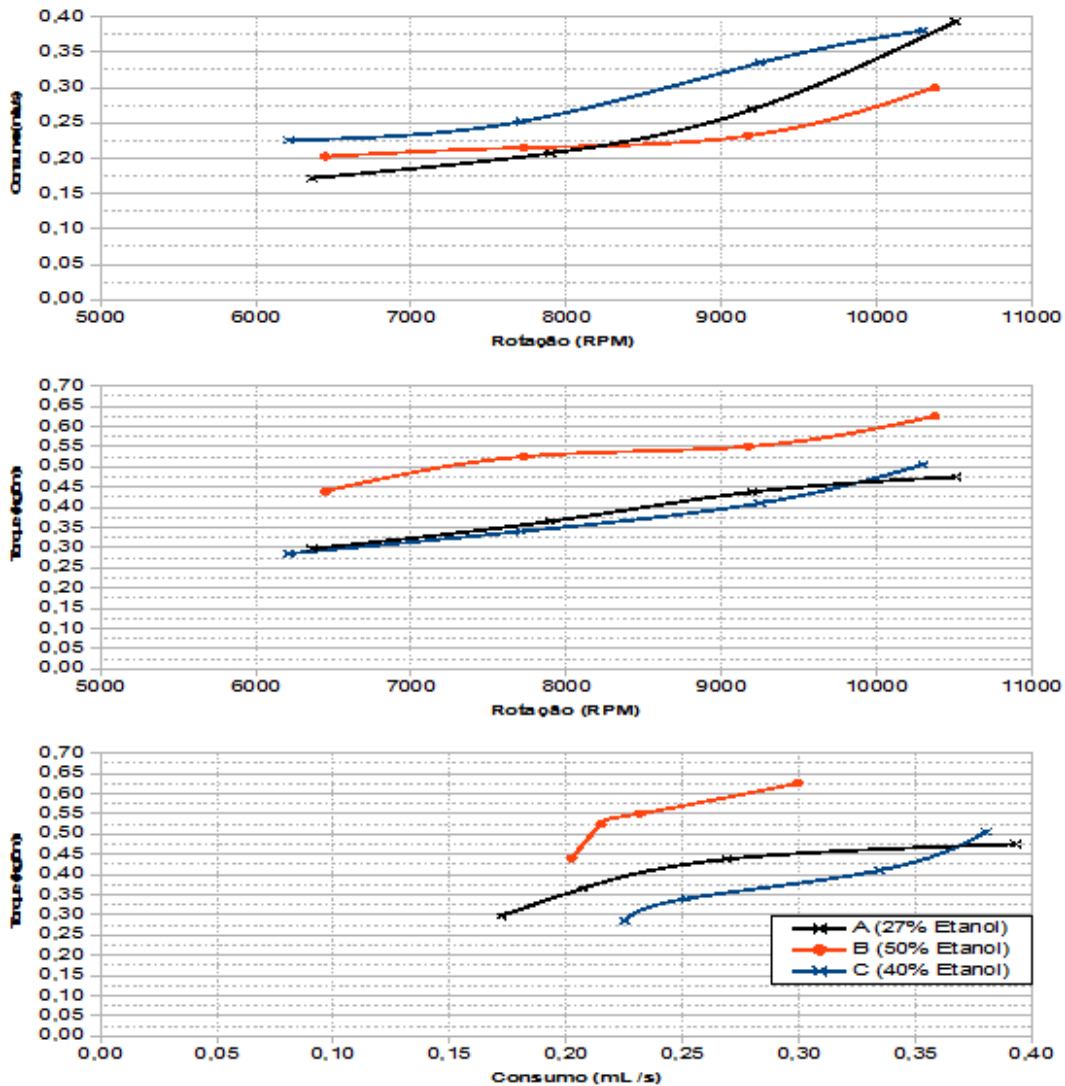
Figura 4. Torque (kgf.m), consumo (mL.s⁻¹) e velocidade angular (RPM) – Solicitação de carga intermediária



Na Figura 5 (A, B e C) tem-se os resultados de consumo de combustível e torque obtidos para máxima carga aplicada no motor. O melhor desempenho de torque ocorre para a mistura combustível B, a qual o consumo de

combustível é menor acima de 8500 RPM. As misturas A e C apresentaram níveis de torque equivalentes, com o consumo superior para a mistura C.

Figura 5. Torque (kgf.m), consumo (mL.s⁻¹) e velocidade angular (RPM) – Solicitação de carga máxima



Referente ao consumo de combustível e torque obtidos, nas faixas de rotações ensaiadas (~6000-10000 RPM), é pertinente observar que a curva característica do consumo de combustível é praticamente duplicada, quando comparada a condição de carga máxima e mínima utilizando a mistura de combustível A. O consumo é crescente com aumento da rotação do motor, exceto por pequena inversão em dois pontos na solicitação de carga mínima. A curva característica de torque é ampliada em cerca de 2-3 vezes (carga média em relação à mínima) e 1-2 vezes (carga máxima em relação à média), ou seja, 4-5 comparada a condição de carga máxima e mínima.

Consumo de combustível em equipamento similar (motosserra MS170, 1,3 kW@8500 RPM), foi mínimo em 0,033 g.s⁻¹ (A25/L1:50 com 3700 RPM; e A20/L1:50 com 2870 RPM); e máximo em 208.10⁻³ kg.s⁻¹ e 217.10⁻³ kg.s⁻¹, respectivamente em 12600 RPM e 14700 RPM (Silva et al. 2015). Soprador de ar (0,8 kW) apresentou consumo mínimo para A20 e máximo para A30, respectivamente em rotação mínima e máxima; 17,7.10⁻³ kg.s⁻¹ e 62,1.10⁻³ kg.s⁻¹ (LEAL DA SILVA, 2017).

Em trabalhos futuros, sugere-se medir o consumo de ar no sistema carburador, possibilitando conclusões adicionais ao analisar

a relação ar/combustível ($\lambda \geq 1$ ou $\lambda \leq 1$) quanto às misturas combustíveis utilizadas.

4 CONCLUSÕES

- a) A bancada dinamométrica é adequada para ensaios de torque e consumo de MCI de pequeno porte (< 10 kW);
- b) Mistura combustível “A” (27% etanol) apresentou o menor consumo, porém não apresentou o melhor/maior torque; para rotações inferiores a 8200 RPM;
- c) Para rotações mais elevadas (> 8500 RPM), a mistura combustível “B” (50% de etanol) e apresentou menor consumo e maior torque;
- d) Em toda a faixa de operação, ou seja, quaisquer rotações, a mistura combustível “C” (40% etanol) apresentou as piores condições de consumo (elevado) e torque (reduzido);
- e) Curva característica do consumo de combustível é praticamente duplicada, quando comparada a condição de carga máxima e mínima, para as amostras combustíveis e alcançando ~2,23 no combustível A (~0,393 / 0,176 mL/s@~10350 RPM);
- f) Curva característica de torque é ampliada em cerca de 2-3 vezes (carga média em relação à mínima) e 1 a 2 vezes (carga máxima em

relação à média), ou seja, valor multiplicado por 4 a 5 comparada a condição de carga máxima e mínima;

- g) Ocorre aumento significativo do consumo de combustível acima de 10.000 RPM, nas condições de carga intermediária (misturas combustíveis A e B) e máxima (todas as misturas), indicando possível restrição de desempenho para determinadas quantidades de biocombustível no equipamento;

5 AGRADECIMENTOS

À FUNDECT-MS, via Chamada/Edital 10/2011 Universal (Termo de outorga: 0262/12; No. SIAFEM: 021.031), projeto de pesquisa intitulado “*Motores de combustão interna 2 tempos: eficiência e curvas características operando com diferentes misturas combustíveis*”. Ao CNPq (Edital 14/2013 – Universal) via projeto de pesquisa “*Motores de combustão 2T (Ciclo Otto): Características de operação com (bio)combustíveis não convencionais*”. Às bolsas PIBIC/PIBITI, via CNPq e UFGD/PROPP, em resultados preliminares analisados por alunos de graduação em Engenharia de Energia.

6 REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6396**: Motores alternativos de combustão interna, não veiculares. Rio de Janeiro: ABNT, 1976. 29p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7024**: Veículos rodoviários automotores leves – Medição do consumo de combustível – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2010. 19p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13992**: Gasolina automotiva – Determinação do teor de álcool etílico anidro combustível (AEAC). Rio de Janeiro: ABNT, 2008. 3p.
- AEMC. **AEMC CA1725 Contact/Non-Contact Tachometer**. Melrose: AEMC, 2017. Disponível em: <https://www.shopaemc.com/product/aemc-ca1725-tachometer>. Acesso em: 01 jul. 2017.
- BRUNETTI, F. **Motores de combustão interna**. São Paulo: Blucher, 2012. 2 v.
- GARCIA, C. **Combustíveis e combustão industrial**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2013.

INSTRUTHERM. Medidor de stress térmico – TGD 4000. São Paulo: Instrutherm, 2017. Disponível em: <https://www.instrutherm.net.br/medidor-de-stress-termico-mod-tgd-400.html>. Acesso em: 01 jul. 2017.

IZAGUIRRE, M. Dilma sanciona lei que permite mais etanol na mistura com gasolina. **Valor Econômico**, São Paulo, 25 set. 2014. Disponível em: <http://www.valor.com.br/empresas/3709986/dilma-sanciona-lei-que-permite-mais-etanol-na-mistura-com-gasolina>. Acesso em: 15 jan. 2015.

KARMAN, D. **Ethanol fuelled motor vehicle emissions**: a literature review. Ottawa: Air Health Effects Division - Health Canada, 2003.

KUMAR, S. N.; KRISHNA, M. V. S. M.; MURTHY, P. V. K; REDDY, D. N.; KISHOR, K. Performance of copper coated two stroke spark ignition engine with Gasohol with catalytic converter with different catalysts, **International Journal of Applied Engineering Research**, Delhi, v. 2, n. 1, p. 205-218, 2011.

LEAL DA SILVA, R. Fuel consumption in an air blower for agricultural use under different operating conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 21, n. 8, p. 579-584, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n8p579-584>

LORA, E. E. S.; VENTURINI, O. J. (coord.). **Biocombustíveis**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2012.

OSWALDO FILIZOLA. Dinamômetro de uso industrial - Crown AT. São Paulo: Osvaldo Filizola, 2017. Disponível em: <http://www.oswaldofilizola.com.br/crownat.html>. Acesso em: 01 jul. 2017.

SALVO, A.; BRITO, J.; ARTAXO, P.; GEIGER, F. M. Reduced ultrafine particle levels in São Paulo's atmosphere during shifts from gasoline to ethanol use. **Nature Communications**, New York, v. 8, n.77, p. 1-14, 2017. DOI: [10.1038/s41467-017-00041-5](https://doi.org/10.1038/s41467-017-00041-5)

SCHLOSSER, J. F.; FARIAS, M. S.; ESTRADA, J. S.; SANTOS, G. O.; GIL, E. Performance and emission of pollutants of an agricultural engine with two power take-off settings. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 37, n. 2, p. 277-285, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v37n2p277-285/2017>

STROGEN, B.; HORVATH, A.; McKONE, T.E. Fuel miles and the blend wall: costs and emissions from ethanol distribution in the United States. **Environmental Science & Technology**, Washington, v. 46, n. 10, p. 5285-93, 2012. DOI: [10.1021/es204547s](https://doi.org/10.1021/es204547s)