

ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO DO BIODIESEL EM MOTORES DIESEL ATRAVÉS DE TÉCNICAS NÃO-INVASIVAS DE MONITORAMENTO

**RAFAELA BASTOS CAMPOS^{1*}, ANDERSON FLÁVIO BASSI²,
LEANDRO FERREIRA MONTEIRO³, JOSÉ ANTÔNIO DA SILVA⁴, JORGE NEI BRITO⁵**

¹ Graduando Engenharia Mecânica, UFSJ, São João del Rei-MG. Fone:(32)3371-9740, rafaellcampos@live.com

² Mestre Engenharia Mecânica, UFSJ, São João del Rei-MG. Fone:(32)3371-2617,
anderson.bassi@yahoo.com.br

³ Mestre Engenharia Mecânica, UFSJ, São João del Rei-MG. Fone: (32) 3371-2617,
leandromonteiro@ufsj.edu.br

⁴ Dr. Professor Engenharia Mecânica, UFSJ, São João del Rei-MG. Fone: (32) 3371-2617, jant@ufsj.edu.br

⁵ Dr. Professor Engenharia Mecânica, UFSJ, São João del Rei-MG. Fone: (32) 3379-2601, britone@ufsj.edu.br

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia - CONTECC' 2015
15 a 18 de setembro de 2015 - Fortaleza-CE, Brasil

RESUMO: Neste trabalho será apresentado a análise comparativa entre os combustíveis Diesel e Biodiesel e o comportamento vibracional e térmico do Motor de Ignição por Compressão (MIC). Os testes foram realizados em uma bancada dinamométrica onde foi possível analisar o torque, a potência e o consumo específico de combustível. Os sinais de vibração foram coletados através de um sistema de monitoramento *on line* de dezesseis canais. Através da câmara termográfica foi possível conhecer a distribuição de temperaturas no bloco do motor. Analisando-se a energia liberada na combustão e a energia dissipada (trocas térmicas e vibracional) o Biodiesel apresenta valores absolutos inferiores ao Diesel. Com relação a energia útil no eixo motor (torque e potência) concluiu-se que o desempenho do Biodiesel é equivalente ao Diesel.

PALAVRAS-CHAVE: Motor de ignição por compressão, Diesel, Biodiesel, Energia renovável.

COMPARATIVE ANALYSIS OF BIODIESEL PERFORMANCE IN DIESEL ENGINE THROUGH NON-INVASIVE MONITORING TECHNIQUES

ABSTRACT: This work will present a comparative analysis of Diesel and Biodiesel fuels and the vibrational and thermal behavior of the Compression Ignition Engine (C.I.E.). The tests were conducted on a dynamometer bench by which it was possible to analyze torque, power and specific fuel consumption. The vibration signals were collected by means of an on line monitoring system with sixteen channels. Through the thermal imager it was possible to know the temperature distribution on the engine block. Analyzing the energy released in combustion and the dissipated energy (thermal and vibrational exchanges), the Biodiesel showed absolute values lower than the Diesel. With respect to useful energy in the motor axis (torque and horsepower) it was concluded that biodiesel performance is equivalent to diesel.

KEYWORDS: Compression Ignition Engine, Diesel, Biodiesel, Renewable energy.

INTRODUÇÃO

O Brasil vem sendo apontado como futuro líder na produção mundial de biodiesel pelas boas condições de clima e solo, e também pela grande extensão territorial (Vianna, 2006). O uso de biodiesel em motores a combustão vem aumentando gradativamente no Brasil. Desde 1º de janeiro de 2010 a ANP tornou obrigatória a adição de 5% em volume de biodiesel ao óleo diesel comercializado no Brasil. Espera-se que o avanço das pesquisas sobre o biodiesel permita o aumento dessa proporção de mistura (Bassi, 2012). Além da questão ambiental ligado ao uso do biodiesel, o desempenho dos motores é de suma importância para defini-lo como um combustível aceito sob o aspecto técnico.

Segundo Silva (2006), em reuniões técnicas sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira é frequente a manifestação de desconfiança dos efeitos do seu uso nos diversos sistemas de cada motor. Neste sentido, este trabalho tem como objetivo a análise comparativa do desempenho de um Motor de Ignição por Compressão (MIC), alimentado com diesel e biodiesel, através da análise de vibração, trocas térmicas e teste em bancada dinamométrica.

MATERIAL E MÉTODOS

Muito se tem relatado sobre as variações nos processos de injeção e combustão do biodiesel frente ao óleo diesel devido à maior viscosidade do primeiro. Alterações nas características do jato de combustível que entra no cilindro, provocadas pela diferença de viscosidade, interferem na liberação de energia, no desenvolvimento de torque e potência e também nas emissões do motor.

Em base massa, a redução energética do biodiesel frente ao óleo diesel é de 12,5%. Como o biodiesel é mais denso e os motores injetam o mesmo volume de combustível durante a operação, é notada uma redução de potência de aproximadamente 8,4% quando se substitui o óleo diesel pelo biodiesel. Em alguns casos a redução de potência é ainda menor que esse valor devido à maior viscosidade do biodiesel que reduz as perdas por vazamento no sistema de injeção, aumentando a quantidade de combustível que entra no cilindro (Knothe *et al.*, 2005).

Considera-se como energia útil convertida pelo MIC aquela responsável pelo acionamento do seu eixo principal. As perdas energéticas em um motor de combustão interna ocorrem pelo calor rejeitado nos gases de exaustão, combustão incompleta, atrito entre partes móveis, calor rejeitado pelo fluido de arrefecimento, calor rejeitado pelo fluido lubrificante e calor rejeitado ao ambiente pelas superfícies externas do motor. Aproximadamente, apenas 35% da energia química que entra no ciclo de um motor de combustão interna são convertidos em energia útil no eixo de manivelas. (Pulkrabek, 1997).

Dentro deste contexto, optou-se nesse trabalho por investigar a eficiência térmica (capacidade de gerar energia útil através da energia oriunda do combustível) do biodiesel frente ao diesel, bem como investigar as perdas energéticas através da transferência de calor pelo bloco do motor e a energia vibracional gerada no processo de combustão destes combustíveis.

A pesquisa foi conduzida no laboratório do Departamento de Ciências Térmicas e dos Fluidos - DCTEF da Universidade Federal de São João del-Rei - UFSJ. Utilizou-se uma bancada dinamométrica de freio hidráulico modelo TD200 da marca Tecquipment - TQ, equipada com placa de aquisição de dados e instrumentação que permite, com o uso dos softwares VDAS e ECA100, análise de torque, potência, pressão interna do cilindro, consumo de ar e combustível, temperatura dos gases de exaustão, pressão e temperatura atmosféricas e rotação do motor. Foi instalado na bancada o motor da marca Petter modelo AA1, mono cilindro, naturalmente aspirado e refrigerado a ar.

Para a análise das trocas térmicas no cilindro foi utilizada a análise termográfica. Essa técnica preditiva permite avaliações qualitativas e quantitativas de caráter bidimensional dos níveis de temperatura em uma superfície, além ser uma técnica não invasiva. Para geração dos termogramas utilizou-se o termovisor da marca FILR, modelo T200. Os valores da perda energética pelo bloco do motor foram calculados a partir de dados obtidos dos termogramas e estão detalhados no trabalho de Bassi (2012). Estes valores são indicativos da perda parcial de energia térmica pelo bloco do motor e foram calculados a partir da análise de uma das superfícies do bloco.

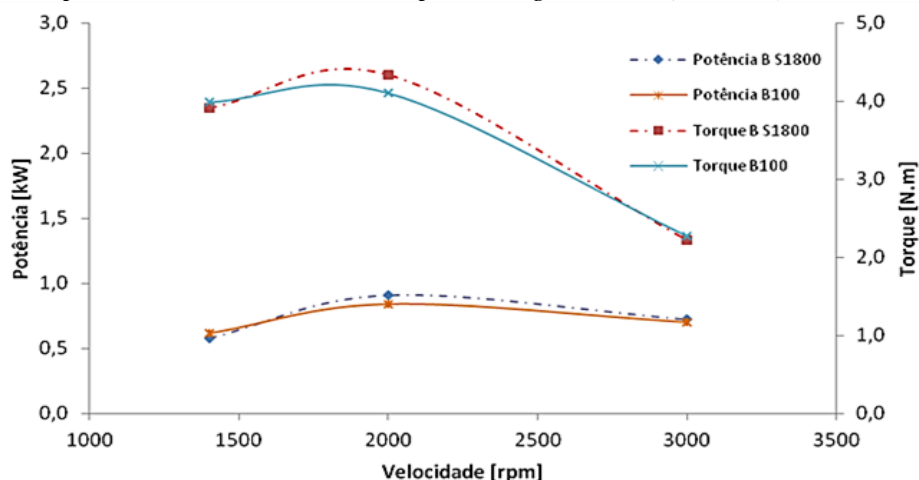
Os sinais de vibração foram coletados com o coletor de dados *IMx-SKF* e três acelerômetros piezoelétricos SKF CMSS2200 fixados nas posições: vertical, horizontal e axial. Estão disponíveis no *IMx-SKF* a Análise Temporal do Sinal, espectros de vibração (*FFT*) e Análise de Envelope.

Os testes foram realizados com 1400, 2000 e 3000 revoluções por minuto a plena carga. Em se tratando dos ensaios realizados nesse trabalho, a expressão “plena carga” significa posição de débito máximo na bomba injetora para uma condição de plena aceleração. Os combustíveis utilizados foram o éster etílico de soja (B100), fornecido pela Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo - USP, e a mistura de 5% em volume de biodiesel em diesel fóssil (B S1800), conforme resolução ANP N°42 de 2009, adquirido na rede de postos de combustíveis. Os ensaios foram conduzidos de forma semelhante, com mesma sequência de velocidades. Cada ensaio foi repetido três vezes para confirmação dos resultados e entre mudanças de faixa de rotação respeitou-se um intervalo de 20 minutos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 são apresentadas as curvas de potência e torque desenvolvidos pelo motor. Foram utilizados os valores médios das réplicas dos ensaios em cada regime de operação.

Figura 1: Desempenho do Motor Petter AA1 a plena carga - Diesel (B S1800) e Biodiesel (B100)



As curvas de potência e torque apresentadas nessa figura foram geradas a partir dos dados coletados nos ensaios com rotação constante. Portanto, são curvas de tendência referenciadas nos pontos de 1400, 2000 e 3000 revoluções por minuto.

As reduções de potência e torque quando do uso o B100 em relação ao B S1800 eram esperadas, principalmente pelo menor poder calorífico do biodiesel. De acordo com o trabalho de Knothe *et al.* (2005) a maior viscosidade do biodiesel provoca uma atomização pobre durante o processo de injeção do combustível o que provoca redução na potência. Quando analisado o consumo específico do motor, notou-se que o motor Petter AA1 foi mais eficiente na conversão de energia quando alimentado com o biodiesel nas três rotações ensaiadas.

Nas Tabela 1 e 2 são apresentados os valores absolutos da perda parcial de calor no cilindro e percentuais em relação à energia fornecida para o biodiesel e diesel, respectivamente. Verifica-se que essa perda diminui com o aumento do rotação. Pode-se dizer que a queda de eficiência quando a rotação aumenta, indica elevação de deficiência no processo de combustão fazendo que, proporcionalmente, menos energia seja liberada.

Tabela 1: Perda energética no cilindro, potência e energia fornecida ao motor utilizando B100 – valores absolutos e percentuais.

	1400rpm		2000rpm		3000rpm	
	[W]	[%]	[W]	[%]	[W]	[%]
Energia Fornecida	4232,03	100,00	5807,64	100,00	8269,23	100,00
Potência	613,97	14,51	839,31	14,45	699,10	8,45
Perda Energética	324,57	7,67	312,21	5,37	303,06	3,66

Tabela 2: Perda energética no cilindro, potência e energia fornecida ao motor utilizando B S1800 - valores absolutos e percentuais.

	1400rpm		2000rpm		3000rpm	
	[W]	[%]	[W]	[%]	[W]	[%]
Energia Fornecida	5533,92	100,00	8231,07	100,00	11940,00	100,00
Potência	577,69	10,44	910,08	11,06	722,69	6,05
Perda Energética	311,69	5,63	329,11	4,00	312,46	2,61

A análise comparativa da perda energética no cilindro usando os dois combustíveis, baseada somente nos valores absolutos, é influenciada pelas diferenças inerentes ao uso desses combustíveis como, por exemplo, viscosidade, densidade e poder calorífico e também pelas condições variáveis do ambiente como a temperatura do ar. Torna-se mais interessante a comparação percentual da energia dissipada no cilindro do motor em relação à energia total que entra no ciclo através do combustível. Quando se compara os percentuais de perda energética é possível observar uma tendência clara de maior perda com o uso do biodiesel, apesar de os valores absolutos de calor rejeitado pelo diesel serem maiores.

A quantificação da energia de vibração foi coletada e comparada na seguinte ordem: tendência horizontal, vibrações provenientes do bloco do motor; tendência axial, vibrações do eixo do motor; e tendência vertical, a mais relevante, pois são as vibrações provenientes da câmara de combustão. Os resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Tendência global de vibração nas direções horizontal, axial e vertical para diesel e biodiesel.

Tendência de Vibração [mm/s]	1400rpm		2000rpm		3000rpm	
	Diesel	Biodiesel	Diesel	Biodiesel	Diesel	Biodiesel
Horizontal	16,3	16,3	17,9	17,5	17,7	16,1
Axial	14,3	11,3	15,7	10,7	21,4	18,8
Vertical	16,0	16,0	13,8	12,2	38,7	38,0

Nota-se uma tendência do combustível diesel em apresentar uma maior energia vibracional, o que pode ser explicado pelo seu maior poder calorífico.

CONCLUSÕES

Observa-se nos resultados apresentados uma tendência maior do combustível diesel em dissipar energia (em valores absolutos), tanto por vibração como por calor. Essa tendência é justificada pelo seu maior poder calorífico. Segundo Barbosa *et al.* (2008), o diesel apresenta PCI igual a 41737,0 kJ/kg contra 32063,8 kJ/kg para biodiesel de soja. Como relatado, o biodiesel dissipa mais energia térmica que o diesel se levado em consideração à quantidade de energia liberada em sua combustão.

Entretanto, apesar de seu menor poder calorífico, o biodiesel apresentou desempenho, em termos de potência e torque, equiparados ao do diesel. É possível concluir então que, apesar das diferenças físico-químicas entre os combustíveis, o biodiesel apresentou bom desempenho e sem apresentar nível vibracional ou térmico que pudesse gerar restrições.

REFERÊNCIAS

- 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, out. 2008.
- Bassi, A. F. *Análise da Perda Energética no Cilindro em Motor Diesel Através da Termografia*. São João del Rei: UFSJ, 2012. 104 f. Dissertação (Mestrado em Eficiência Energética).
- Knothe, G.; Van, G.; Jon H.; Krahl, J. *The Biodiesel Handbook*. Champaign, Illinois : AOCS Press, 2005.
- Pulkrabek, W. W. *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*. 1. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1997.
- Silva, M. V. I. *Efeitos do Uso do Biodiesel Sobre Propriedades do Óleo Lubrificante Usado em Um Motor de Ignição por Compressão*. São Carlos: USP, 2006. 107 f. Dissertação (Mestrado).
- Vianna, F. C. *Análise de Ecoeficiência: Avaliação do Desempenho Econômico-Ambiental do Biodiesel e Petrodiesel*. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 2006. 205 f. Dissertação (Mestrado).