

ENSAIO DE MOTORES ESTACIONÁRIOS DO CICLO DIESEL UTILIZANDO ÓLEO DIESEL E BIODIESEL(B100)

EDNILDO ANDRADE TORRES¹
DANILO CARDOSO SANTOS²
DANIEL VIDIGAL D. SOUZA³
LEONARDO BARBOSA PEIXOTO³
TIAGO FRANÇA³

Universidade Federal da Bahia/Escola Politécnica/DEQ/DEM/Laboratório de Energia e Gás, Rua Aristides Novis, 2 Federação – Salvador – Bahia
71 – 3203-9808 ednildo@ufba.br – Professor Doutor¹; Aluno do Mestrado² PPEQ, Aluno de Engenharia Mecânica³.

Resumo

Este trabalho objetivou testar um motor estacionário do ciclo diesel, tendo como combustíveis o diesel fóssil e o biodiesel. Foram elaboradas as curvas características de potência, torque e emissões versus rotação do motor. O levantamento destas curvas foi realizado no laboratório de Energia e Gás da Escola Politécnica da UFBA, o qual dispõe de dois dinamômetros estacionários e um de chassi e a instrumentação necessária para a análise dos gases de exaustão. O motor testado foi da marca AGRALE, modelo M-85 tipo estacionário, monocilindro, com potência NF (NBRISO 1585) Cv/kW/rpm 10/7,4/2500. Os ensaios foram realizados em um dinamômetro hidráulico marca Schenck, modelo D-210. O consumo de combustível foi medido numa balança marca Filizola modelo BP-6, e demais equipamentos auxiliares tais como: reservatório de água, tubulações, válvulas controladoras de vazão volumétrica, sensores e medidores de rotação, torque, massa, acoplados a um sistema de aquisição de dados on line. As emissões dos gases (CO, CO₂, e NO_x), foi medido pelo analisador marca Tempest, modelo 100. O motor operou com óleo diesel e biodiesel de óleos e gorduras residuais (OGR). Nos testes, não foi detectado diferenças significativas quanto a utilização dos combustíveis derivado de petróleo e dos obtidos a partir de OGR. Nesta fase já pode mostrar a possibilidade imediata da substituição do óleo diesel pelo biodiesel como combustível nos motores estacionários de baixa potência.

Abstract

This work objectified to test an engine stationary of the cycle diesel, having as combustible diesel fossil and biodiesel. The characteristic curves of power, torque and emissions versus rotation of the engine was elaborated. The survey of these curves was carried through in the Laboratório de Energia e Gás da Escola Politécnica da UFBA, which makes use of two stationary dynamometers and the one of chassis and necessary instrumentation for you analyze of the exhaustion gases. The tested engine was of the mark AGRALE, M-85 model stationary type, monocylinder, with power NF (NBRISO 1585) Cv/kW/rpm 10/7,4/2500. The assays had been carried through in a hydraulic dynamometer mark Schenck, D-210 model. The fuel consumption was measured in a scale marks Filizola model BP-6, and too much ground handling equipment such as: water reservoir, tubings, valves controllers of volumetric outflow, sensors and measurers of rotation, torque, mass, connected to a system of acquisition of data on line. The emissions of the gases (CO, CO₂, and NO_x), were measured by the analytical Tempest mark, model 100. The engine operated with oil diesel and biodiesel of oils and residual fats (OGR). In the tests, the use of the fuel derived from oil and the gotten ones from OGR was not detected significant differences how much. In this phase already it can show to the immediate possibility of the substitution of the oil diesel for biodiesel as combustible in the stationary engines of low power.

1- Introdução

Em 23 de fevereiro de 1893 Rudolf C. Karl Diesel patenteou a sua nova intenção o motor a combustão interna por compressão com a intenção de que este funcionasse com uma diversa variedade de óleos vegetais. Em 1898 foi oficialmente apresentado o motor com uma potencia de 10 cv e eficiência de 26,2%, que ele a chama de “minha pretinha” operando com óleo vegetal. Posteriormente com o desenvolvimento da indústria do petróleo foi desenvolvida uma nova fração da destilação do petróleo a qual se chamou de óleo diesel.

Com a primeira crise da indústria do petróleo na década de 1970 o Brasil desenvolveu dois programas alternativos para os veículos automotores. O primeiro foi o Pró-álcool, combustível alternativo e renovável para os motores do ciclo Otto. O segundo foi Pró-óleo vegetal para substituir o tradicional óleo diesel. O primeiro programa cresceu, tiveram altos e baixos, e no momento encontra-se em fase expansão. O segundo não teve o mesmo interesse e apesar de vários estudos o programa não foi adiante.

O Programa do Governo Federal criou Programa Brasileiro de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), através do Ministério de Ciência e Tecnologia – MCT e regulamentado pela Portaria MCT nº 702 de 30 de outubro de 2002. O Marco Regulatório lançado em 06 de dezembro de 2004 é um conjunto de atos legais que norteiam as ações dos programas estaduais e este estabeleceu os percentuais de mistura do biodiesel ao diesel de petróleo, a rampa de mistura, a forma de utilização e o regime tributário.

Os óleos vegetais são produzidos a partir de numerosas sementes de oleaginosas, como: mamona, amendoim, soja, girassol, algodão, colza, dendê dentre outras. Todas elas têm um alto conteúdo energético, mais a maioria exige algum processo para assegurar o uso seguro e um melhor desempenho nas máquinas de combustão interna. A queima direta pode apresentar alguns inconvenientes como: alta viscosidade queima incompleta, formação de depósito no motor, bem como um cheiro desagradável devido à formação de acroleína.[Schuchardt, U. e Lopes, O.,1984].

Os processos mais utilizados para o tratamento dos óleos vegetais são: degradação térmica e transesterificação. Degradação térmica ou craqueamento catalítico é a transformação de óleo vegetal em um mistura de hidrocarboneto através da degradação térmica entre 400 e 500°C dos triglicerídeos que constituem o óleo. A primeira experiência utilizando degradação data de 1920, realizada por Kobayaschi e Mailhe. Este método é o que torna o óleo mais semelhante ao diesel, de forma que não haveria necessidade nenhuma de modificar ou adaptar os motores, como também gerar novos problemas de corrosão ou poluição. [Oliveira, H. P., 1986]. Transesterificação - os óleos vegetais são constituídos, principalmente, por triglicerídeos, os quais decorrem da união de uma molécula de glicerina com três moléculas de ácidos graxos. A reação dos óleos vegetais com monoálcoois, em presença de catalisadores, à temperatura adequada, produz ésteres de ácidos graxos que se compõem devido à substituição da glicerina pelo álcool. A esse processo dar-se o nome de transesterificação.[MCI/STI, 1985]. Neste processo tem-se como subproduto à glicerina.

Biodiesel é um combustível biodegradável derivado de fontes renováveis como óleos vegetais e gorduras animais que, estimulados por um catalisador, reagem quimicamente com o álcool etílico ou o metanol.

Este trabalho visou o estudo de um motor monocilindro marca Agrale modelo M85 com 10 cv, utilizando óleo diesel e biodiesel operando em um dinamômetro estacionário marca Schenck modelo D210, para o levantamento das curvas de potencia e torque versus rotação, consumo específico versus potência e as emissões reguladas.

2 - Revisão da literatura

Segundo LAFORGIA et al (1994) a reação de transesterificação proporciona uma melhora significativa das seguintes propriedades físico-químicas: redução da viscosidade, um pequeno acréscimo no número de cetano e poder calorífico próximo ao do óleo Diesel convencional, com isso consegue-se uma boa qualidade da combustão nos motores Diesel. É muito importante estudar o desempenho do motor com cada combustível, para que possamos obter não apenas uma comparação entre o combustível convencional e o Biocombustível, mas também identificar problemas nos Biocombustíveis e obter soluções para que este seja um dia um combustível satisfatório.

Parâmetros importantes para avaliar o desempenho de um motor são:

- Consumo específico: é a relação entre potência e fluxo mássico de combustível. Para fazer a medição do consumo específico pode-se usar o método gravimétrico, que consiste em usar uma balança para medir o fluxo de combustível e um dinamômetro para medir a potência de saída do eixo.

- Potência Máxima para cada rotação: é a máxima potencia que o motor pode operar naquela rotação.

- Emissões gasosas: são muito importantes para avaliar o combustível do ponto de vista ambiental, e com elas é possível também obter parâmetros para saber se a combustão está ocorrendo de maneira satisfatória.

RABELO (2001), utilizou um motor monolindro , 4 tempos, injeção direta, com potência de catalogo 5 kW. Segundo a norma DIN 70020, serviço automotivo, para efetuar testes, os resultados encontrados foram os seguintes:

O maior valor da potência corrigida foi para o B50, que foi de 4.37 e o maior valor para o Diesel foi de 4.04 CV, ou seja, um aumento de 7.6%, enquanto o B20 e o B100 proporcionaram um aumento de 2.7% e 3.2%. Para rotações inferiores a 2400 rpm o consumo específico do Biodiesel foi ligeiramente maior do que o Diesel. Na rotação de 1900 rpm não ocorreu diferença no consumo para Diesel, B20, B50. Para rotações inferiores o consumo do B20 e B50 foi um pouco mais elevado que para o Diesel.

Merve et al (2004) em suas citações afirma que a o rendimento de um motor para biodiesel de algodão, óleo de girassol testados em motor monocilíndrico, e igual ou superior ap Diesel convencional. O mesmo foi encontrado para a temperatura de exaustão, foi igual ou superior.

LAFORGIA et al (1994) também realizou testes e encontrou um aumento do consumo específico médio de 10% para o Biodiesel de óleo de girassol. O torque para as faixas de rotação de 1500 a 3000 rpm praticamente não sofre alterações com o motor operando a 25%, 50% e 75% da carga máxima.

Segundo USTA et al (2002) o consumo específico sofre um ligeiro aumento para a mistura de 17,5% Biodiesel. E foi constatado também que a temperatura dos gases de exaustão é maior para a mistura de Biodiesel operando com a carga máxima.

Segundo KALLIGEROS et al (2002) que misturou ao Diesel convencional Biodiesel de óleo de girassol e Biodiesel de óleo de oliva nas proporções de 10%, 20% e 50%, em todos esses casos a emissão de NOx teve aumento na presença de Biodiesel. O artigo atribui esse aumento devido ao Biodiesel ter um número de cetano maior do que o Diesel convencional, já que a emissão do NOx é usualmente relacionada com o número de cetano.

E segundo USTA et al (2002) as emissões de Diesel e Biodiesel não tiveram mudanças significativas.

Segundo KALLIGEROS et al (2002), uma das vantagens mais significativas do Biodiesel é o fato de que este reduz a emissão de particulados, visto que, este é um sério problema para regiões com praias e zonas portuárias.

Segundo USTA et al (2004) houve aumento na taxa de emissão do CO₂ para a mistura de Biodiesel operando com sua carga máxima. Para cargas inferiores não houve mudanças significativas.

Masjuki and Kalam, (2002) faz uma avaliação do biodiesel de óleo de dendê, na Malásia e apresenta os resultados experimentais de um motor diesel de 39 kW de potência, e discuti as emissões performance, e desgastes. Foram realizados testes com óleo diesel e misturas diesel+biodiesel B7,5 e B15. Em todos os testes a maquina teve um desempenho melhor quando operando com as misturas. Para a potência teve um aumento entre 10 e 15%. No NOx a concentração foi maior para a operação do motor com diesel convencional da ordem de 100ppm.

López et al. (2003) estudou o comportamento das emissões de um motor diesel operando com residuo de óleo de oliva, comparado com o diesel convencional, por exemplo, para o monóxido de carbono os testes com biodiesel revelaram uma diminuição de 58,9%, o mesmo para o NOx com decréscimo de 37,5%, e uma queda de 8,5% do consumo específico. O motor testado era um Perkins AD 3-152 de 34kW.

Silva et al. 2003 testou biodisel de girassol metílico em um motor de seis cilindros com 180 kW, com mistura B0, B5, B30. Para a potência o os testes com B0 ficou inferior ao B5 e superior ao B30, o consumo específico par o B0 foi o maior, e a concentração de CO teve variações para todos os testes, sendo que o maior foi para o motor operando com B5, cerca de 150ppm acima do B0, para o NOx os valores firam muito próximos, não justificando uma maior atenção.

Puhan et al. (2005) testou um biodiesel proveniente de uma oleaginosa nativa da Índia (Mahua oil), em um motor monocilindro com 3,7 kW. O consumo específico com B100 foi maior que o B0, entre 10 a 20%. Para o NOx o percentual foi sempre menor para o B100 em cerca de 4%, e para o monóxido de carbono a redução foi de até 30%.

Pinto et. al. (2005) fizeram uma vasta revisão sobre o processo operacional, números de artigos, patentes, rotas e catalisadores, no mundo, e traçaram uma perspectiva para o biodiesel no Brasil.

Em estudo anterior, Torres (2000), levantou os parâmetros de desempenho de um motor semelhante a atual, marca Agrale modelo M80, com 7,0 cv, utilizando óleo de dendê "in natura" resultando numa potência de 5,0% inferior ao mesmo motor quando operando com o óleo diesel.

Observa-se em todos os artigos pesquisados, que os pesquisadores têm uma preocupação em testar o biodiesel em motores de combustão interna por compressão, porém, não há uniformidade nos resultados apresentados pelos diversos pesquisadores. As diferenças podem ser justificadas pela diversidade de máquinas, variando a potência, número de cilindros, injeção do combustível, tipo de câmaras, tipo o biocombustível, etc. Fica uma evidência a necessidade de novos estudos, especialmente, quando se tem uma diversidade de matérias-primas e rotas de processamento do biodiesel.

3 - Metodologia

Os ensaios foram realizados de acordo com a norma NBR ISO-1585 no motor monocilindro marca Agrale modelo M85 operando com óleo diesel e biodiesel (B100), preservadas as características originais do motor. Os principais parâmetros avaliados foram:

Curva de torque e potência máxima - O motor inicialmente foi posicionado com rotação máxima e em seguida iniciou-se o processo de aplicação gradativa do torque pelo dinamômetro de forma que a rotação do motor diminuísse lenta e gradativamente assegurando que o motor atingisse determinada rotação em condições estabilizadas. As rotações escolhidas para levantamento da curva foram: 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000 e 2100 rpm. A potência é calculada pela equação (1)

$$\dot{W} = \tau_f \cdot n \cdot \left(\frac{2\pi}{60} \right) \quad (1)$$

Onde: \dot{W} = Potência ao Freio [kW]; τ_f = Torque [N.m]; n = Número de rotação por minuto

Consumo específico – é razão do fluxo mássico de combustível por unidade de potência fornecida pelo motor. O consumo de combustível foi medido com auxílio de uma balança semi-analítica (método gravimétrico). O motor foi estabilizado na rotação de 1800rpm, durante 20 minutos para cada potência estabelecida (1, 2, 3, 4 e 5 kW), portanto, o consumo específico é dado pela equação (2).

$$C_e = \left(\frac{\dot{m}}{\dot{W}} \right) \quad (2)$$

Onde: C_e – Consumo específico [g/kWh] ; \dot{m} - vazão mássica de combustível [g/h]

Emissões gasosas – foram avaliadas a partir de um analisador contínuo de gases marca Tempest, modelo 100. As concentrações medidas foram: dióxido de carbono, óxidos nitrosos e monóxido de carbono, dióxido de enxofre e oxigênio.

A seguir são apresentadas as fotografias do motor acoplado ao dinamômetro, como também uma vista parcial da Planta Piloto de Biodiesel da Escola Politécnica.

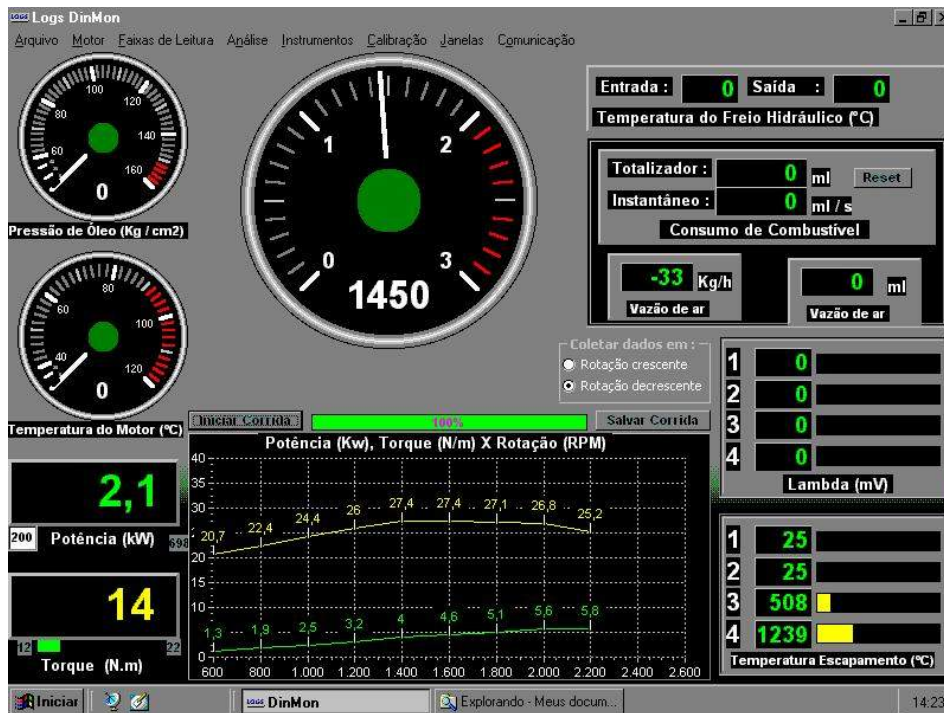


Foto 01 Painel de visualização do aplicativo computacional



Foto 02 Vista parcial do Motor acoplado ao Dinamômetro



Foto 03 Vista parcial da Planta Piloto de Biodiesel

4 - Resultados

Os resultados estão representados nos gráficos abaixo:

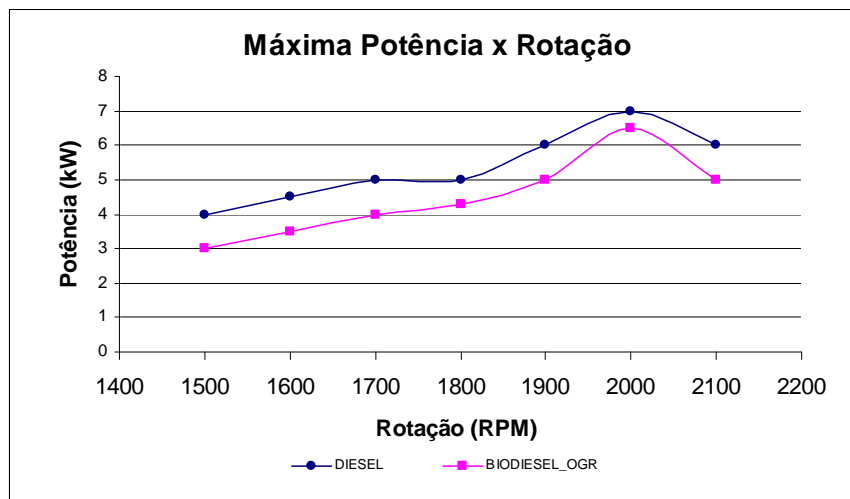


Figura 01 – Máxima Potência versus Rotação

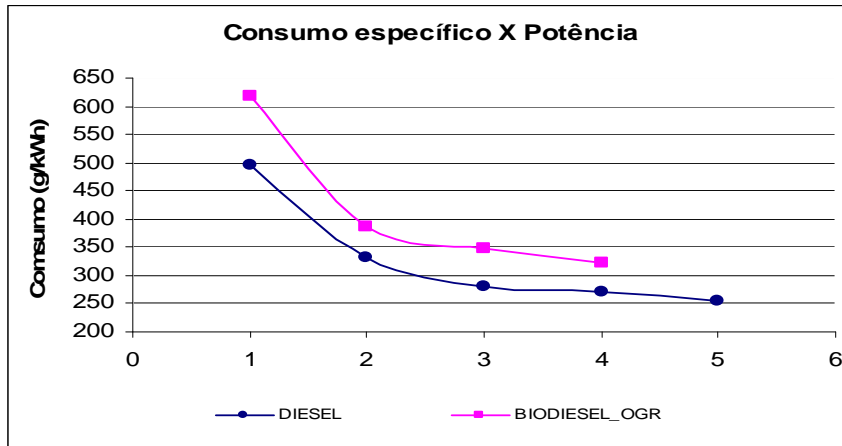


Figura 02 – Consumo específico versus potência

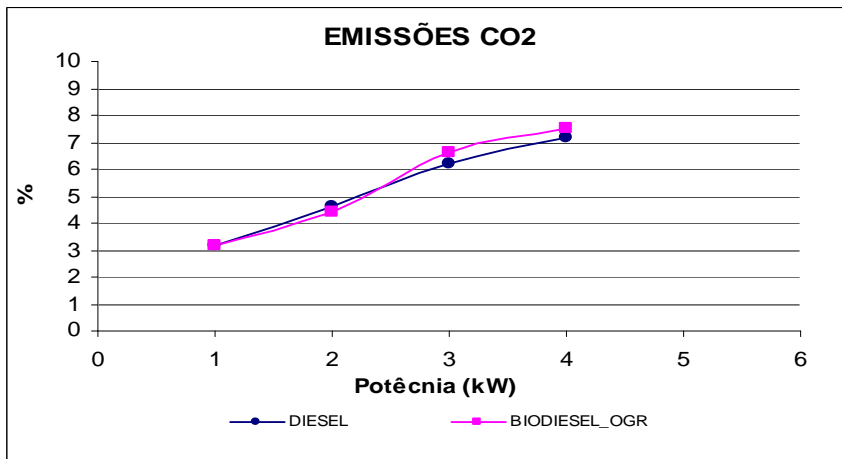


Figura 03 – Emissões de CO2 versus potência

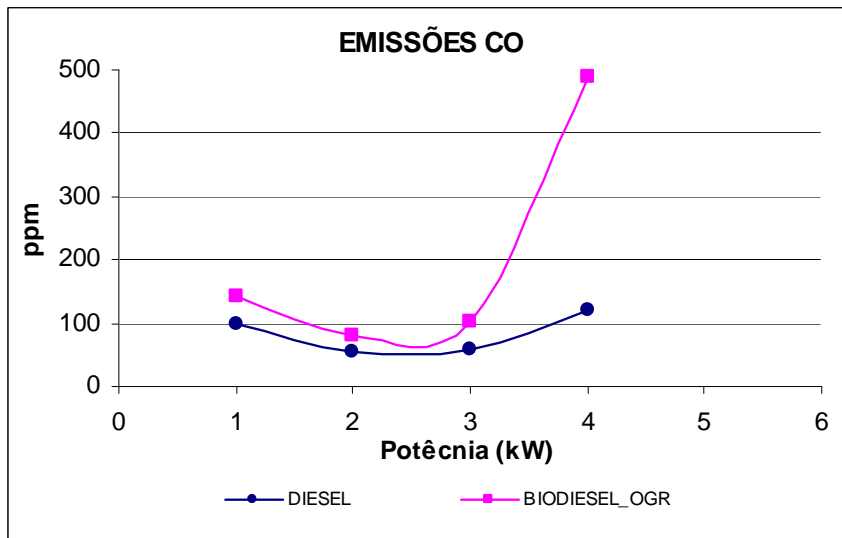


Figura 04 – Emissões de CO versus potência

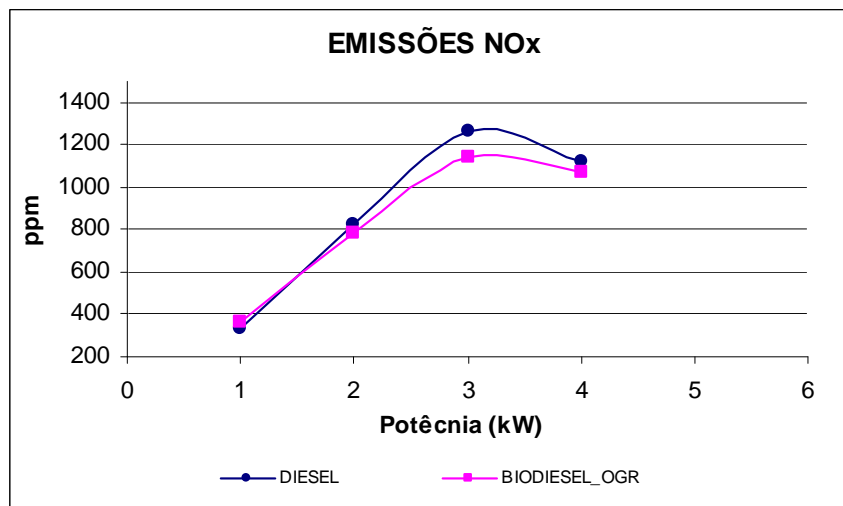


Figura 05 – Emissões de NOx versus potência

5 - Análise dos Resultados

De acordo com os dados coletos e analisados, pode-se observar que o desempenho do motor operando com os dois combustíveis são próximos. O biodiesel testado mostrou uma breve desvantagem com relação ao consumo específico diante do diesel. Este fato pode ser explicado, devido ao poder calorífico do biodiesel ser inferior ao do diesel fóssil.

Com relação às emissões, a concentração de dióxido de carbono foi aproximadamente a mesma. Para a concentração do monóxido de carbono para potências de até 3 kW, a variação foi semelhante para os dois combustíveis, entretanto, para 4kW, o valor da concentração do gás aumentou significativamente, o que pode ser atribuído à má qualidade de combustão.

De acordo com Puhan et al (2005) que operou um motor de porte semelhante ao atual, o consumo específico de biodiesel foi de 400 g/kWh, portanto, semelhante ao que foi calculado nestes testes. Para Torres (2000), operando um motor semelhante, mas com óleo de dendê in natura o consumo específico foi da ordem de 350g/kWh.

Estes resultados são preliminares e novos testes estão sendo realizados para outras condições operacionais, assim como também para uma máquina de potência maior, bem como, novos estudos e ajustes estão sendo realizados para melhoria do processo de obtenção do biodiesel na Planta Piloto da UFBA.

6 - Conclusões

Os testes realizados com o motor de combustão por compressão, de baixa potência, revelaram a viabilidade da operação com um combustível substitutivo, entretanto, novos ensaios são necessários para estudar o comportamento deste combustível, assim como também verificar o desgaste dos materiais e dispositivos em longos períodos operacionais.

Fica compreendido que o uso do biocombustível passa ser uma alternativa viável do ponto de vista técnico, porém, a grande questão é a viabilização financeira, especialmente quando for proveniente de uma planta tendo matéria-prima a mamona.

Particularmente, a Planta Piloto de Biodiesel, da Universidade Federal da Bahia/ Escola Politécnica, tem capacidade de processamento de 5.000.000 litros por ano, neste sentido, pode-se avançar na realização de testes com motores, especialmente com potência superiores.

Palavras Chave: Biodiesel, Energia, Motores

Agradecimentos

Os autores agradecem a FINEP, CNPq, FAPESB, ANEEL, Nordeste Generation, e FEP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] SCHUCHARDT, U.; LOPES, O.C; UNIVERSIDADE ESTADUAL CAMPINAS, INST QUIM, CAIXA POSTAL 6154, CAMPINAS.; **Tetramethylguanidine catalyzed trans-esterification of fats and oils - a new method for rapid-determination of their composition**; JOURNAL OF THE AMERICAN OIL CHEMISTS SOCIETY 65 (12): 1940-1941 DEC; 1988

[2] OLIVEIRA, H. P.; CEPED; **Micro Usina para Extração de Óleo de Dendê**; Informe Técnico Número 17, Camaçari ; 1986.

[3] MCI/STI, **Obtenção de combustível de óleo vegetal** ; 1985

[4] LAFORGIA, D.; ARDITO V.; INSTITO DI MAMACCHINE ED ENERGÉTICA, POLYTECHINE OF BARI, ITALY. **Biodiesel fueled IDI Engines: Performances, Emissions and heat release investigation.** ;1994.6f. Artigo.

[5] RABELO, I. DARWICHE; Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná; **Estudo do desempenho de combustíveis convencionais associados a Biodiesel obtido pela transesterificação de óleo usado em fritura.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia), Curitiba 2001.

[6] MERVE ÇETINKAYA¹; YAHYA ULUSOY²; YUCEL TEKIN² ; FILIZ KARAOSMANOGLU²; ¹ DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING, ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY, 34469 MASLAK, ISTANBUL, TURKEY.² VOCATIONAL SCHOOL OF TECHNICAL SCIENCES, AGRICULTURAL EQUIPMENTS AND MACHINERY PROGRAM, ULUDAG UNIVERSITY, 16059 GORUKLE, BURSA, TURKEY; **Engine and winter road test performances of used cooking oil originated biodiesel**; junho de 2004.

[7] KALLIGEROS, S.; ZANNIKOS, F.; STOURNAS, S.; LOIS, E.; ANASTOPOULOS, G.; TEAS, Ch.; SAKELLAROPOULOS, F.; SCHOOL OF CHEMICAL ENGINEERING, NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS, IROON POLYTECHNIU 9, ATHES 1757, GREECE; **An investigation of using Biodiesel /Marine Diesel blends on the performance of a stationary diesel engine**; junho de 2002.

[8] USTA, N.¹; OZTURK, E.²; CAN, O.²; CONKUR, E. S.¹; NAS, S.³; ÇON, A.³; TOPCU, M.¹; CAN, A. Ç.¹; ¹A MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT, PAMUKKALE UNIVERSITY, DENIZLI 20020, TURKEY.; ² AUTOMOTIVE DEPARTMENT, PAMUKKALE UNIVERSITY, DENIZLI 20020, TURKEY.; ³ FOOD ENGINEERING DEPARTMENT, PAMUKKALE UNIVERSITY, DENIZLI 20020, TURKEY; **Combustion of Biodiesel fuel produced from hazelnut soapstock/Waste sunflower oil mixture in a Diesel engine.** 2004.15f. Artigo-. Aceito em maio de 2005.

[9] MASJUKI, H.H.; KALAM, M.A.; DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING, UNIVERSITY OF MALAYA, KAULA LUMPUR 5060; **Biodiesel from palmoil – na analysis of its properties and potential**; (2002)

[10] SILVA, F. N.; DA PRATA, A. S.; TEIXEIRA, J. R.; ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT 44 (2003) 2857–2878; **Technical feasibility assessment of oleic sunflower methyl Ester utilisation in Diesel bus engines**; 2003

[11] PUHAN, S. N.; VEDARAMANA, BOPANA, V.B.; RAMA, G.; SANKARNARAYANANB, K. JEYCHANDRANB; BIOMASS AND BIOENERGY 28 (2005) 87–93; **Mahua oil (Madhuca Indica seed oil) methyl ester as biodiesel-preparation and emission characteristics**; 2004

[12] PINTO, A. C. ; LOPES, W. A. ; GUARIEIRO, L. L. N. ; REZENDE, M. J. C. ; RIBEIRO, N. M. ; TORRES, E. A. ; PEREIRA, P. A. DE P. ; ANDRADE, J. B. DE . **Biodiesel: An Overview**; Journal of the Brazilian Chemical Society, v. 16, n. 6B, p. 1313-1330, 2005l.

[13] TORRES, E.A.; UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA- DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA, LABORATÓRIO DE ENERGIA E GÁS; **Avaliação De Um Motor Do Ciclo Diesel Operando Com Óleo De Dendê Para Suprimento Energético Em Comunidades Rurais**; AGRENER 2000, UNICAMP, Campinas São Paulo, 2000