

Desempenho de um Motor Diesel Operando no Modo Bi-Combustível Diesel-Álcool

Aluno: Fernando Ferrari Filho
Orientador: Carlos Valois Maciel Braga
Co-Orientador: Sergio Leal Braga

Resumo

A busca por combustíveis mais limpos tem sido alvo de constantes pesquisas e discussões em todo o mundo. Este trabalho tem por finalidade avaliar o desempenho de um motor Diesel operando em modo bi-combustível (diesel e álcool simultaneamente) nas rotações de 1400, 1800 e 2200 RPM, sob diferentes cargas e taxas de substituição do combustível diesel, original, pelo derivado da cana de açúcar. Como premissa, objetiva-se manter inalterado o desempenho do motor.

Inicialmente os testes são realizados no modo diesel, para todas as rotações mencionadas e, posteriormente, no modo bi-combustível. Nesta segunda etapa, a maior taxa de substituição é determinada por alguma irregularidade na operação do motor e, a partir deste ponto, são feitos os testes para valores iguais ou inferiores a esta máxima taxa.

Ressalta-se que os resultados encontrados comprovam, em princípio, a viabilidade da operação do motor atuando no modo bi-combustível. Observou-se que as maiores taxas de substituição de diesel por álcool são obtidas em menores cargas, sendo a maior delas de 71% em 2200 RPM e 25% da carga máxima. Já o rendimento térmico e o consumo específico de combustível apresentam similaridade em altas cargas.

Lista de Símbolos

C - Carbono
cec - Consumo específico de combustível (g/kW.h)
CO - Monóxido de Carbono
CO₂ - Dióxido de Carbono
C₂H₅OH - Etanol
C₁₂H₂₆ - Dodecano (Óleo diesel leve)
H₂O - Vapor d'água
m_{comb} - Massa de combustível
 \dot{m} - Vazão Mássica (kg/h)
N - Velocidade angular (rpm)
O₂ - Oxigênio
P - Potência
P_{ar} - Pressão barométrica (kPa)
P_{sat} - Pressão de saturação do vapor d'água à temperatura ambiente (kPa)
PCI - Poder calorífico (J/kg)
R_{ar} - Constante do ar (kJ/kg.K)
T - Torque (N.m)
T_{amb} - Temperatura ambiente (°C)
TS - Taxa de substituição (%)

Subscritos e Letras Gregas

ar - Relativo à vazão mássica do ar
D - Relativo à vazão mássica do diesel
Dp - Relativo à vazão mássica do diesel puro
e - Relativo à vazão mássica do etanol
 ρ_{ar} - Massa específica do ar (kg/m³)
 ΔP_{ar} - Diferencial de pressão no tambor de ar (Pa)
 $\eta_{t,d}$ - Rendimento térmico no modo diesel (%)
 $\eta_{t,Da}$ - Rendimento térmico no modo diesel-álcool

1 Introdução

1.1 Cenário Mundial

A crescente discussão mundial a respeito do aquecimento global e a intensificação da busca por novas fontes alternativas, e menos poluentes de energia, fez com que um dos focos da questão se voltasse para o etanol e, conseqüentemente, para o Brasil.

Com o preço do petróleo em alta, as pressões pela redução das emissões de carbono geradas pela queima de combustíveis fósseis e a distância que ainda separa os automóveis de alternativas como células de hidrogênio e motores elétricos, fazem do etanol um forte candidato nesse mercado. O etanol é uma fonte renovável, de emissões baixas em comparação com combustíveis fósseis e pode ser misturado à gasolina.

Dentre os poluentes mais importantes que estão associados a motores de combustão interna, são listados os hidrocarbonetos, combustíveis não-queimados (ou parcialmente oxidados), óxido nítrico, monóxido de carbono, aldeídos e material particulado.

Ressalta-se que em decorrência ao elevado preço do Petróleo, em 1975, foi criado o Programa Nacional do Álcool (Proálcool), no intuito de estimular a produção do álcool, tendo como foco as necessidades do mercado interno e externo e da política de combustíveis automotivos, enfrentando o primeiro choque do petróleo ocorrido dois anos antes.

O Proálcool contribuiu para redução do consumo interno de derivados do petróleo de 50,4% em 1979 para 38,4% em 2005.

O interesse por combustíveis renováveis, em substituição do óleo diesel, por exemplo, colocou o etanol e o Brasil no centro da discussão mundial nos últimos anos, gerando grande interesse pela indústria de cana-de-açúcar e biocombustíveis do país.

Nos dias atuais, o Brasil está em expansão dos canaviais com o objetivo de oferecer, em grande escala, o combustível alternativo. As regiões do país ganharam vida nova, oferecendo oportunidade de trabalho a centenas de milhares de pessoas. Para produzir a mesma quantidade de energia, o álcool emprega 152 vezes mais pessoas do que a indústria do petróleo. Para um investimento total de 11 bilhões de dólares, desde a sua criação, o programa obteve para o país, via substituição de importações, uma economia de divisas de 27 bilhões dólares (Biodiesel, 2006).

O Brasil conquistou uma tecnologia, única no mundo, para a utilização em larga escala de um combustível renovável que independe do mercado internacional do petróleo. E a favor, o país possui domínio da tecnologia de produção, disponibilidade de terras para expandir a lavoura da cana, demanda externa aquecida, entrada de grupos empresariais importantes na produção de etanol e o empresariado demonstram disposição firme de realizar investimentos no setor.

Neste propósito, o presente trabalho se propõe estudar a viabilidade de utilizar álcool como combustível em diversas aplicações de motores Diesel (veículos, geradores, etc).

1.2 Objetivos

Analisar e avaliar um motor Diesel, quando a este é imposta uma substituição parcial de óleo diesel por álcool hidratado (AEHC, 93° INPM: 93% em volume de álcool e 7% de água).

Foi utilizado para os testes um motor Diesel de quatro tempos, de fabricação MWM Motores Diesel que é empregado na propulsão de diversos caminhões leves. Trata-se de um modelo com turbocompressor e *intercooler*.

Com este propósito, variou-se a rotação do motor em três escalas, 1400, 1800 e 2200 rpm para analisar tal comportamento.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Óleo Diesel

O óleo diesel é um combustível fóssil, derivado do petróleo, muito utilizado em motores de caminhões, tratores, furgões, locomotivas, automóveis de passeio (no exterior), máquinas de grande porte e embarcações. Formado basicamente por hidrocarbonetos (composto químico formado por átomos de hidrogênio e carbono). Possui também em sua composição, em pequena quantidade, oxigênio, nitrogênio e enxofre. Para sua utilização citada acima, com motores operando em uma rotação superior a 1200 rpm, o mais usado é o óleo diesel leve, dodecano, $C_{12}H_{26}$.

O diesel apresenta-se em forma de líquido amarelado viscoso, límpido, pouco volátil, cheiro forte e marcante e com nível de toxicidade mediano. Este, está na faixa de destilação entre 100 e 390 °C, com um conjunto de propriedades que permitem a sua utilização em máquinas movidas por motores que seguem o ciclo diesel (Reis, 2004).

2.2 Etanol

O etanol é hoje um produto de diversas aplicações no mercado, largamente utilizado como combustível na forma hidratado ou misturado à gasolina.

Este combustível, utilizado nos carros a álcool, é incolor, volátil, inflamável e totalmente solúvel em água. Derivado da cana-de-açúcar, do milho, entre outros, produzido através da fermentação da sacarose. Comercialmente, é conhecido como álcool etílico hidratado combustível, AEHC, onde o teor de etanol presente em uma determinada mistura é expresso em °GL. Esta escala, chamada “graus Gay-Lussac”, diz qual a percentagem de etanol existente na solução. Neste trabalho, o mesmo deve estar entre 92,6° a 93,8° INPM, onde sua fórmula é representada por C_2H_5OH . O álcool anidro, ausente de água, é constituído de 99,3° INPM.

A água presente serve com antidetonante e como fonte de hidrogênio extra no processo de oxidação do CO. Sabendo que o poder calorífico do etanol é menor que o do diesel, tem-se como consequência um maior volume de álcool para suprir uma mesma quantidade de energia equivalente a de diesel (Reis, 2004).

Abaixo, segue a Tabela 1, comparando algumas propriedades físico-químicas dos combustíveis utilizados neste experimento.

Tabela 1: Comparação das propriedades físico-químicas dos combustíveis

Propriedades	Etanol	Óleo Diesel
Fórmula química principal	C_2H_5OH	$C_{12}H_{26}$
Massa molecular [g/mol]	46	170
Massa específica [kg/m ³], 20 °C e 1 atm	790	830
Razão ar/combustível estequiométrica [kg/kg]	9,07 / 1	15,14 / 1
Poder calorífico superior [kJ/kg]	29.726	45.590
Poder calorífico inferior [kJ/kg]	26.865	42.450
Limite de inflamabilidade no ar [% por volume]	4,3-19	0,5-0,7
Número de octana	108	-
Número de cetano	-	44-50
Calor de combustão de 0,028m ³ de mistura estequiométrica a 1 atm e 15,6 °C [kcal/kg]	52,61	49,17
Viscosidade a 300 K [cSt]	1,78	3,71

2.3 Motor Diesel

O motor é um equipamento que transforma alguma forma de energia (térmica, hidráulica, elétrica, nuclear) em energia mecânica. Dependendo do tipo de energia transformada, este é classificado como motor de combustão, hidráulico, elétrico ou atômico. Os motores do ciclo diesel aproveitam a energia da queima do combustível dentro de uma série de câmaras e por isso são classificados como motores de combustão interna.

O motor Diesel ou motor de ignição por compressão é um motor de combustão interna em que a inflamação do combustível se faz pelo aumento da temperatura provocado pela compressão da mistura inflamável. A taxa de compressão é alta, variando entre 14:1 a 25:1 (Reis, 2004). Na câmara de combustão, o ar está comprimido, e o óleo é injetado no momento de máxima compressão, e assim com a alta a temperatura o óleo é inflamado, sem a necessidade de velas de ignição.

O ciclo real de um motor Diesel inicia-se com o êmbolo no Ponto Morto Superior (PMS). A válvula de admissão está aberta e o êmbolo ao descer aspira o ar para dentro do cilindro. Quando o êmbolo atinge o Ponto Morto Inferior (PMI) a compressão se inicia. A temperatura do ar de dentro do cilindro aumenta substancialmente, o que é fundamental para a ignição no motor Diesel.

Pouco antes do PMS o combustível começa a ser injetado em finas gotículas com o propósito de se vaporizar facilmente e, em mistura com o ar quente, acaba por se auto-inflamar. O combustível começa a ser injetado um pouco antes do PMS devido ao fato de demorar a vaporizar e a misturar com o ar (atraso físico) e de demorar um determinado tempo até se auto-inflamar (atraso químico). Estes atrasos são designados globalmente por atraso à inflamação.

A diferença entre o ângulo de cambota, ou virabrequim, do PMS e do início de injeção chama-se avanço à injeção. A expansão começa ainda durante a fase de combustão. Durante o tempo de expansão, as válvulas de escapes são abertas. O ciclo termina com a fase de escape, onde os gases de combustão são expulsos do cilindro.

3 Aparato Experimental

3.1 Bancada Dinamométrica

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Engenharia Veicular da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (LEV / PUC - Rio). A bancada dinamométrica, composta por um motor Diesel e um dinamômetro, onde o acoplamento entre os dois é feito pelo eixo cardã (vide Figura 1).

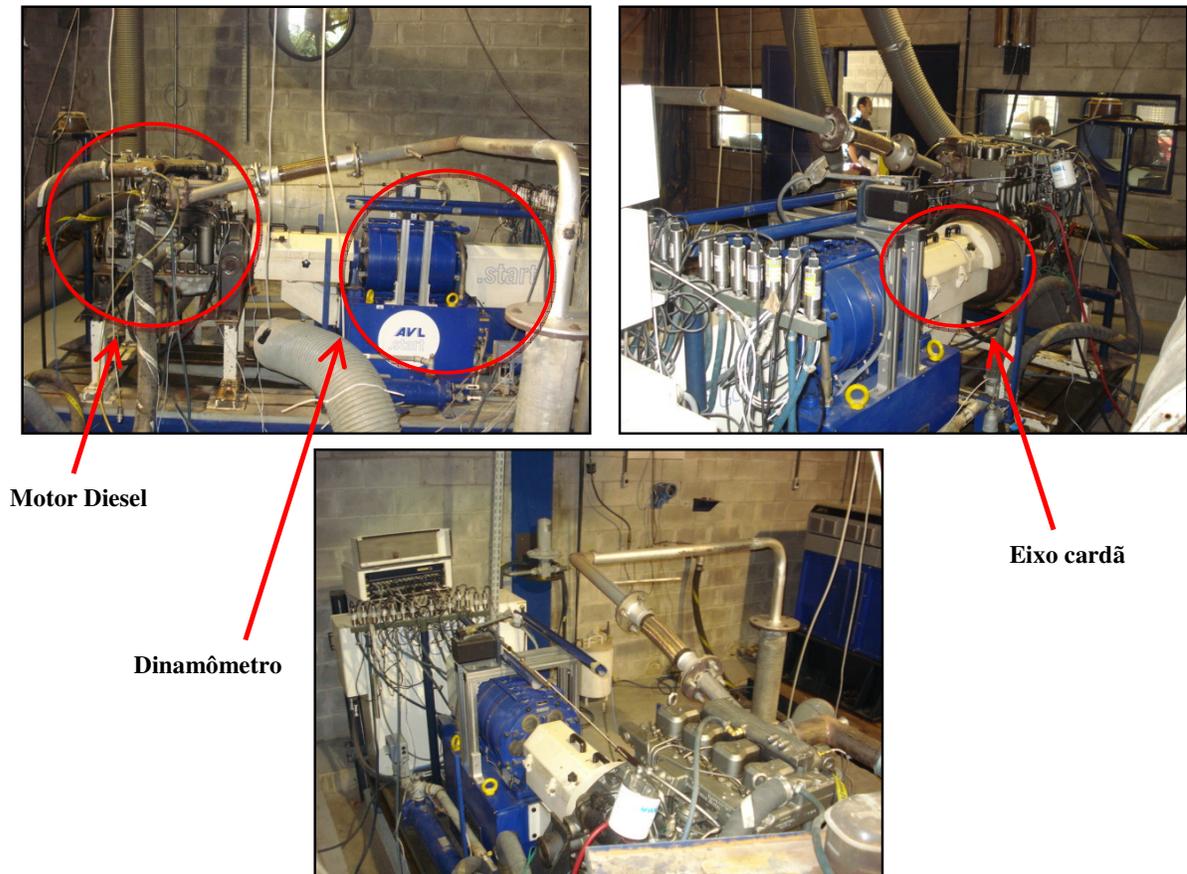


Fig. 1: Bancada dinamométrica

3.2 Motor Diesel Utilizado

O motor Diesel de quatro tempos utilizado é da marca MWM, modelo 4.10 TCA. É um modelo com turbocompressor e *intercooler*. O mesmo é empregado em caminhões leves. Segue abaixo sua ilustração e ficha técnica, respectivamente.



Fig. 2: Motor Diesel
MWM

Tabela 2: Ficha técnica do motor

FICHA TÉCNICA	
Fabricante / Modelo	MWM Motores Diesel / 4.10 TCA
Aspiração	Turbo Aftercooler
Ciclo de Funcionamento	4 tempos
Número de cilindros e disposição	4 em linha
Cilindrada Total	4.3 litros
Diâmetro x Curso	103 x 129
Sistema de Injeção	Mecânico
Taxa de Compressão	17:01
Potência Máxima	107 kW (145 cv)
Rotação de Potência Máxima	2600 rpm
Torque Máximo	500 Nm
Rotação de Torque Máximo	1600 rpm
Peso Seco	380 kg

3.3 Dinamômetro

O dinamômetro empregado ao experimento é da marca AVL, modelo ALPHA 240. Este, possui uma capacidade de potência efetiva de até 240 kW (326 cv), um torque máximo efetivo de 600 Nm e 8000 rpm.



Fig. 3: Dinamômetro

3.4 Computador e Software de Controle Star

O software instalado no computador da bancada do dinamômetro, Star da AVL, apresenta interface *Windows*. A seguir, suas principais funções são listadas.

- Controlar o torque e rotação do motor;
- Controle da bomba de injeção do óleo diesel, através do atuador eletrônico;
- Monitorar o consumo de álcool e do óleo diesel;
- Monitorar e armazenar os sinais de todos os sensores instalados (transdutores de pressão, termopares e sensor de umidade relativa), através de uma placa de aquisição de dados de 32 canais de entrada analógica;
- Monitorar e armazenar as medições das emissões do material particulado dos gases de escape, através do *Smoke Meter*, além dos gases do cárter do motor por meio do Blow-by.



Fig. 4: Sala de testes

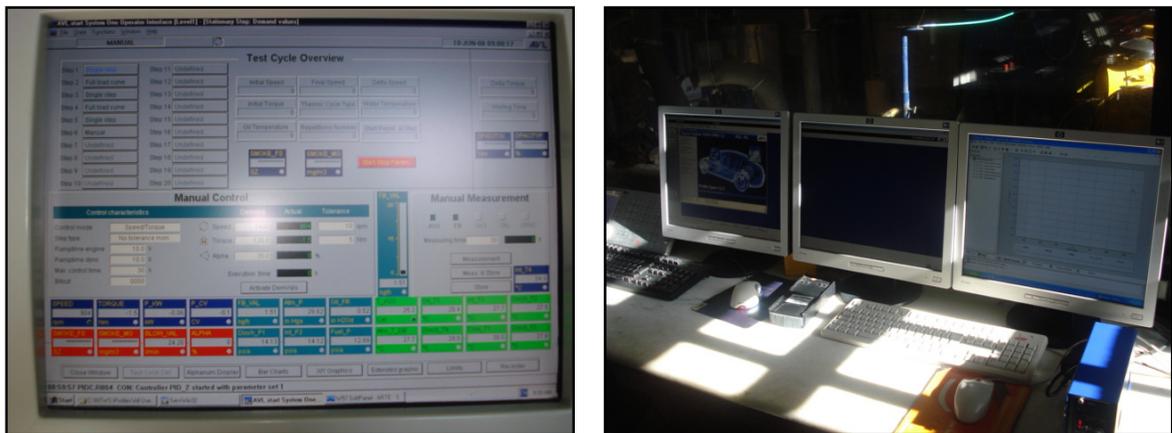


Fig. 5: Software de monitoramento de toda operação

3.5 SMOKE METER

Com o intuito de medir a emissão de material particulado, utilizou-se o *Smoke Meter* da marca AVL, modelo 415s.

Este equipamento, após recolher em um filtro a mostra dos particulados contidos nos gases de escapamento, é capaz de determinar pela reflexão de um feixe de luz, neste filtro “sujo”, a massa dos poluentes particulados emitidos por unidade de volume dos gases de escape.

4 Metodologia

Para se obter os dados característicos do motor a serem avaliados, os ensaios foram realizados em uma bancada dinamométrica. Abaixo segue a relação dos mesmos, coletados.

- Potência (kW);
- Torque (Nm);
- Consumo específico de combustível (kg/h);
- Rendimento térmico (%);
- Taxa de substituição de diesel por álcool hidratado (%);
- Rotação do motor (rpm);
- Posição do atuador da bomba injetora (%);
- Temperatura de admissão do ar (°C);
- Temperatura de descarga do ar do compressor (°C);
- Temperatura de entrada do ar no *intercooler* (°C);
- Temperatura de saída do ar do *intercooler* (°C);
- Temperatura do ar no coletor de admissão (°C);
- Temperatura de entrada do diesel (°C);
- Temperatura de retorno do diesel (°C);
- Temperatura da entrada de água no motor (°C);
- Temperatura de retorno da água do motor (°C);
- Temperatura do cárter do motor (°C);
- Temperatura dos gases de escape (°C);
- Umidade relativa (%);
- Pressão barométrica (bar);
- Pressão do ar na descarga do compressor (psia);
- Pressão do ar na entrada do *intercooler* (psia);
- Pressão do ar na saída do *intercooler* (psia);
- Pressão diferencial no bocal do tambor de ar (in H₂O);
- Vazão de álcool (kg/h);
- Pressão do álcool a montante da injeção (psig).

Ressalta-se que para a medição de temperatura e pressão nos pontos específicos a serem monitorados, utilizou-se termopares e transdutores de pressão, respectivamente.

Para o procedimento inicial dos testes, o motor foi testado no modo diesel (original). A realização desta primeira etapa foi realizada a três rotações fixas, ou seja, 1400, 1800 e 2200 rpm. Assim, para cada rotação, foram especificados diferentes percentuais da carga máxima, 10%, 25%, 50%, 75%, com objetivo de determinar as curvas características do motor em termos de desempenho e emissão de material particulado.

Analogamente à metodologia da primeira etapa, o motor foi testado no modo diesel-álcool, com o objetivo de se obter as máximas taxas de substituição de diesel por AEHC, gerando uma gama de dados que posteriormente serviu como fonte de comparação para o ensaio diesel (original).

Nesta segunda etapa, a máxima taxa de substituição foi determinada a partir da condição limite de cada etapa da operação, ou seja, quando o motor começa apresentar anormalidade em seu funcionamento. Este fenômeno é conhecido como detonação ou no sentido figurado como “batida de pino”. Para isso, foi necessário estabelecer um critério que consistiu na observação e audição, simultânea, de dois fenômenos, na qual se destacam por oscilação da

curva de pressão no interior de um dos cilindros, visualizada pelo software, e o som característico do mau funcionamento.

4.1 Redução de Dados

A fim de se analisar, estudar e discutir os resultados a serem obtidos, a seguir segue uma relação de formulações para o respectivo trabalho.

4.1.1 Potência

Esta expressão conhecida como o produto do torque pela velocidade angular mede a potência líquida do eixo fornecida pelo motor, conhecida também como potência de freio, sendo absorvida pelo dinamômetro.

$$P = \frac{T \times 2\pi \times N}{60000} \quad (1)$$

A potência líquida, P, é expressa como [kW], o torque, T, em [N.m] e a velocidade angular, N, em [rpm].

4.1.2 Taxa de substituição

O propósito é medir o quanto de massa de diesel foi substituído pela de álcool.

$$TS_{Da} = \left(1 - \frac{\dot{m}_D}{\dot{m}_{Dp}} \right) \times 100 \quad (2)$$

A taxa de substituição de diesel por álcool, TS_{Da} , é expressa em [%], o consumo de diesel puro, \dot{m}_{Dp} , em [kg/h] e o consumo de diesel acrescido de álcool, \dot{m}_D , em [kg/h]. Ressalta-se que TS_{Da} igual a zero, a operação é diesel original.

4.1.3 Consumo de Etanol

O álcool etílico hidratado combustível, uma mistura de etanol e água, é um percentual que foi determinado a partir da massa específica e temperatura do AEHC, medido pelo aparelho Coriolis, 806 kg/m^3 e $23,34^\circ\text{C}$, respectivamente. Com os valores encontrados, consulta-se então a norma NBR 5992. Através da Tabela 1 da norma determina-se a massa específica do AEHC, para posteriormente, com interpolação linear, pela Tabela 2 da mesma norma, encontrar um valor de 93,34% de etanol.

A finalidade é corrigir a vazão de álcool, obtendo a vazão de etanol.

$$\dot{m}_e = 0,9334 \times \dot{m}_a \quad (3)$$

O consumo de etanol, \dot{m}_e , é expresso em [kg/h], e o consumo de AEHC, \dot{m}_a , em [kg/h].

4.1.4 Consumo de Específico de Combustível

Este cálculo se destaca como fator relevante, em virtude de fornecer uma perspectiva de como o motor está aproveitando o combustível para gerar trabalho útil. Calcula-se então para ambos os modos de operação.

Modo Diesel

Este cálculo se destaca como a razão entre o consumo de diesel e a potência líquida do eixo do motor.

$$cec_D = \frac{\dot{m}_D}{P} \quad (4)$$

Onde o consumo específico no modo diesel, cec_D , é expresso em [g/kW.h], o consumo de diesel, \dot{m}_D , em [g/h] e a potência líquida em [kW].

Modo Diesel-Álcool

Para este tópico, o consumo específico de combustível, possui uma correção, feita pela razão entre os poderes calorífico inferiores de ambos os combustíveis, a fim de criar uma energia equivalente ao do modo diesel puro.

$$cec_{Da} = \frac{\dot{m}_D + \left(\frac{PCI_e}{PCI_D} \right) \times \dot{m}_e}{P} \quad (5)$$

Onde o consumo, é expresso em [g/kW. h], o poder calorífico inferior do etanol, PCI_e , é dado por (26865 kJ/kg), o poder calorífico do diesel, PCI_D é (42450 kJ/kg) e o consumo de etanol, em [g/h].

4.1.5 Rendimento Térmico

O rendimento térmico, um valor adimensional, tem por finalidade medir a eficiência de um motor, adotando em sua formulação o calor obtido pela combustão e a potência do eixo.

Modo Diesel

$$\eta_{T,D} = \frac{P}{\dot{m}_D \times PCI_D} \times 100 = \frac{1}{cec_D \times PCI_D} \times 100 \quad (3)$$

O rendimento térmico é expresso em [%] e o consumo de diesel em [g/h].

Modo Diesel-Álcool

Ressalta-se que o conceito de energia equivalente citado no Consumo Específico de Combustível é utilizado novamente para o cálculo do rendimento no modo diesel-álcool.

$$\eta_{T,Da} = \frac{P}{\left(\dot{m}_D + \frac{PCI_e}{PCI_D} \times \dot{m}_e \right) PCI_D} \times 100 = \frac{P}{\dot{m}_D \times PCI_D + \dot{m}_e \times PCI_e} \times 100 \quad (4)$$

O rendimento térmico é expresso em [%] e o consumo de diesel juntamente com o consumo de etanol em [kg/s].

5 Resultados e Discussões

A seguir, são apresentados os gráficos obtidos através dos dados coletados durante os ensaios para as diferentes rotações: 1400, 1800 e 2200 RPM.

Analisando os gráficos de máxima taxa de substituição, observa-se que para altas cargas a máxima taxa decresce. Isto se deve pelo fato de que o etanol tende à detonação em altas cargas e temperaturas.

Observa-se que a máxima taxa de substituição obtida nos experimentos foi a 2200 rpm, com aproximadamente 71% à 25% da carga máxima. Já para a 1800 rpm, a máxima taxa de substituição foi de aproximadamente 67% a 10% da carga máxima, e para 1400 rpm, de 37,5% à 10% da carga máxima.

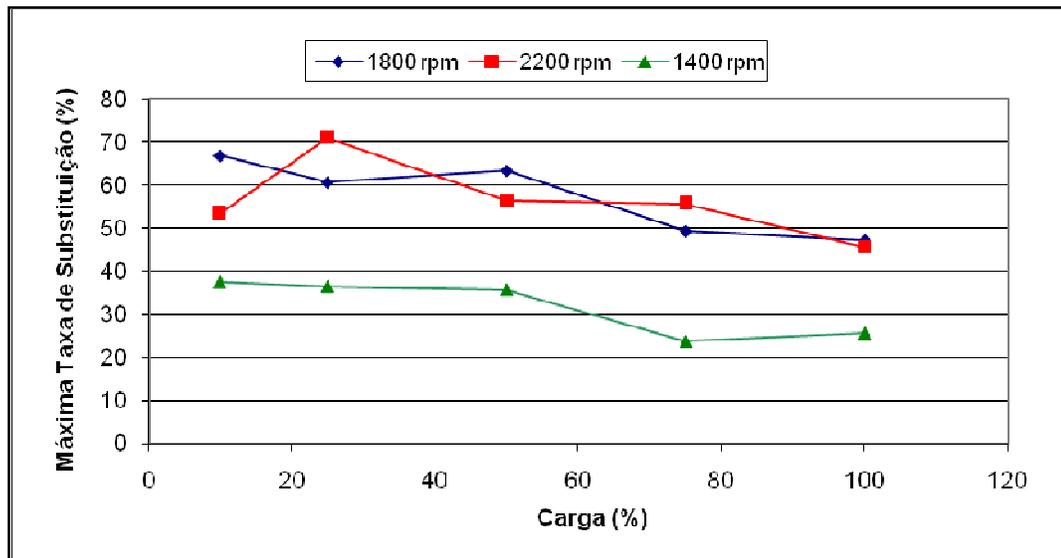


Fig. 6: Máxima taxa de substituição para diferentes cargas, em todas as rotações

O gráfico a seguir, rendimento térmico por taxa de substituição (1800 rpm, figura 6), mostra que para altas cargas, o rendimento térmico, aumenta em pequena parcela em maiores taxas de substituição. Comportamento totalmente contrário em baixas cargas e em maiores taxas de substituição, que diminui consideravelmente.

Já para o gráfico rendimento térmico em 1800 rpm (figura7), verifica-se que em baixas cargas, seu valor no modo diesel puro é superior ao modo diesel-álcool, contudo para altas cargas o modo diesel-álcool apresenta um ligeiro acréscimo no rendimento térmico. Isto mostrou um melhor aproveitamento dos combustíveis nas condições de cargas elevadas.

Selecionando, as máximas taxas de substituição encontrada nas diferentes cargas avaliadas foi possível obter uma única curva de operação para o modo diesel-álcool e compará-la com seu modo diesel (figura8), similar.

Os resultados coincidem com as mostradas na figura 7. Embora as figuras 7 e 8, realizadas para 1800 rpm, os resultados são foram similares para as rotações de 1400 e 2200 rpm.

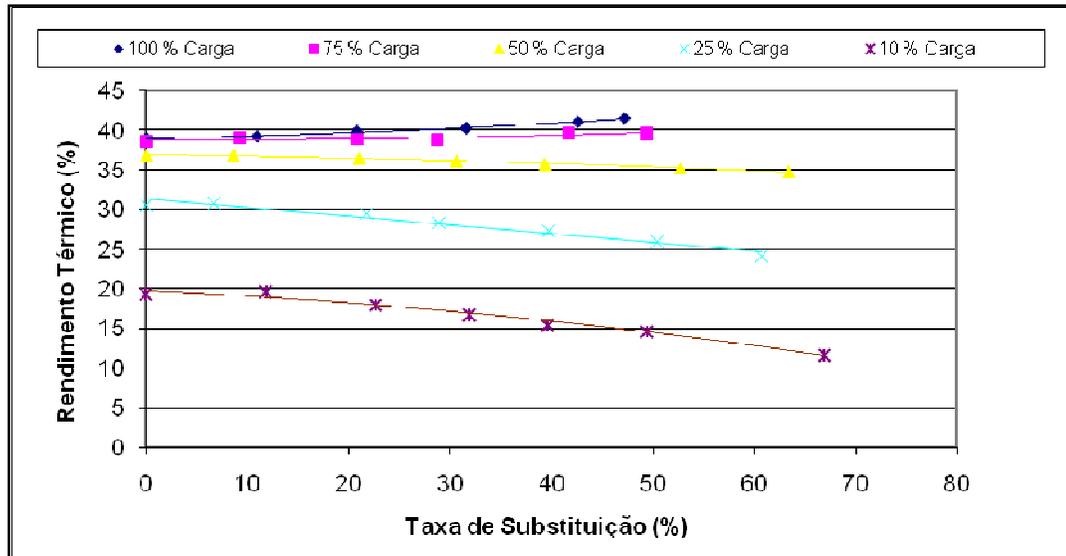


Fig. 7: Rendimento térmico com diferentes taxas de substituição, em 1800 rpm

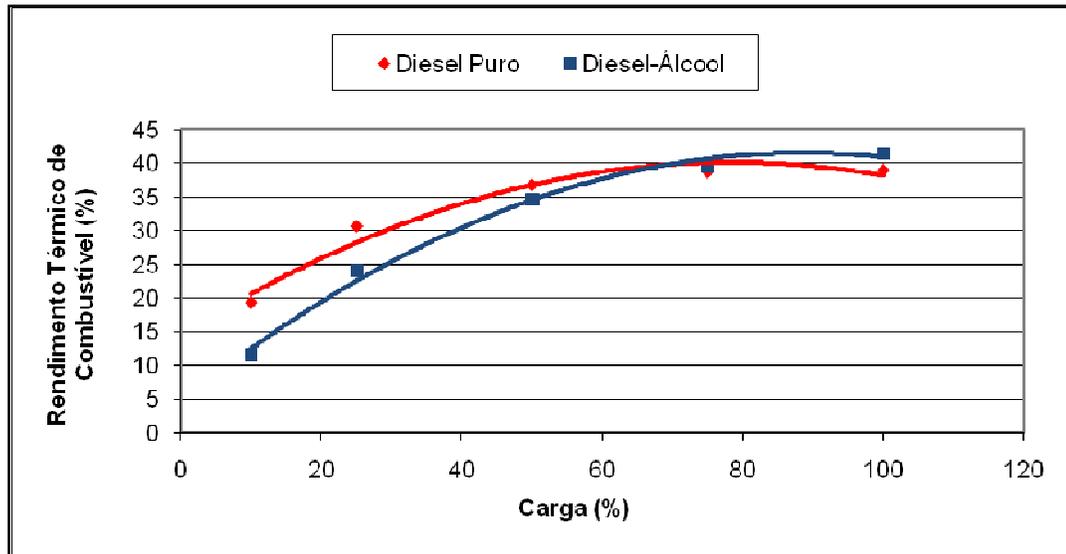


Fig. 8: Rendimento térmico de combustível para diferentes cargas, em 1800 rpm

Por fim, os gráficos (figura 9, 10, 11 e 12) abaixo representam a concentração do material particulado nos gases de escapamento do motor. Nota-se claramente que com o aumento da taxa de substituição, obtida nas menores cargas, a emissão de material particulado decresce consideravelmente. Logo, é evidente que a redução do consumo de óleo diesel e o incremento de álcool, com 7% de concentração de água, levam a uma notável queda das emissões de material particulado.

Verifica-se também que a 1400 rpm a emissão de material particulado aumenta em grandes proporções em comparação com as rotações de 1800 e 2200 rpm. Isto se deve pelo fato de que a baixas rotações a temperatura na combustão é menor, desfavorecendo o processo de queima no interior do cilindro, emitindo assim, uma maior quantidade de poluentes.

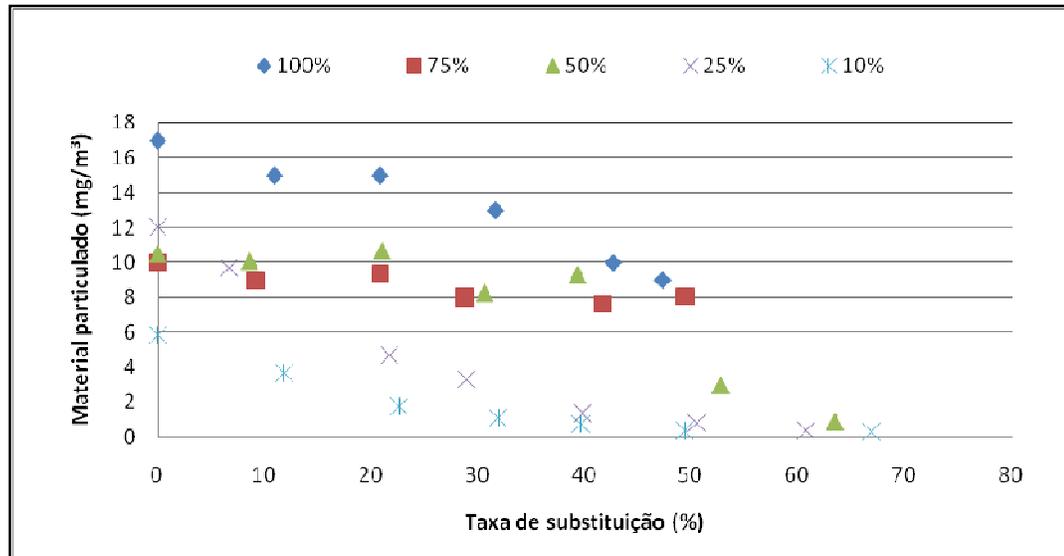


Fig. 9: Material particulado com diferentes taxas de substituição, em 1800 rpm

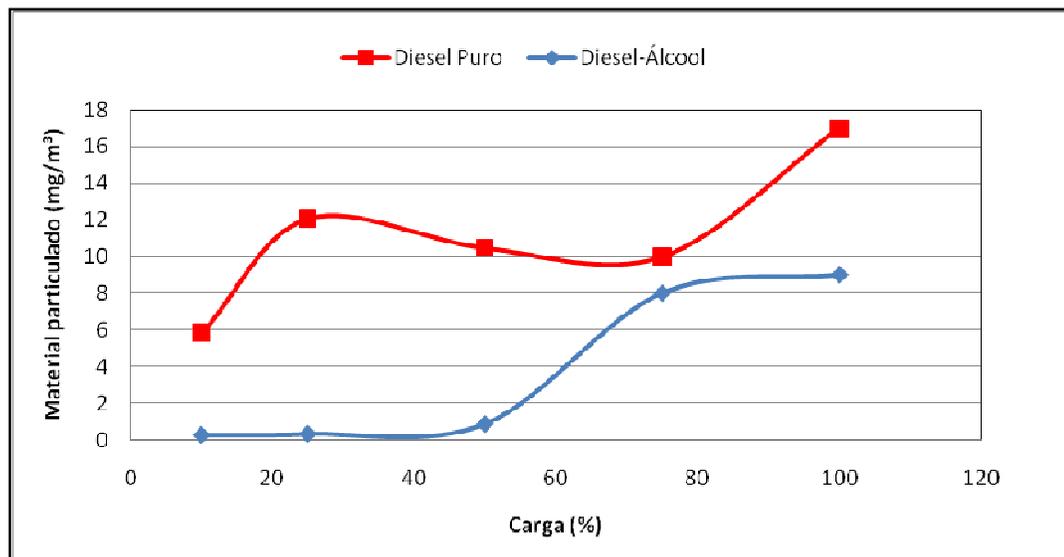


Fig. 10: Material particulado para diferentes cargas, em 1800 rpm

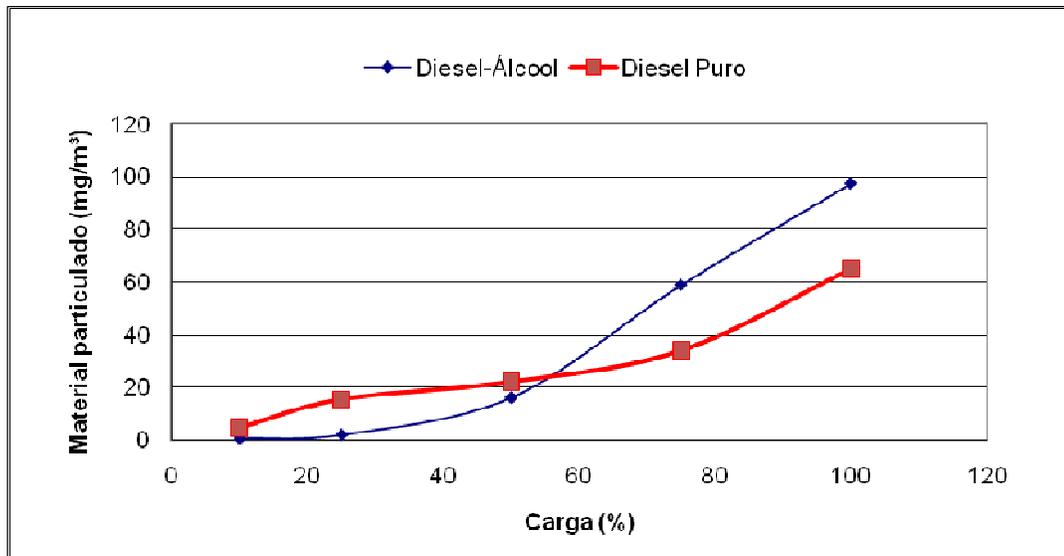


Fig. 11: Material particulado para diferentes cargas, em 1400 rpm

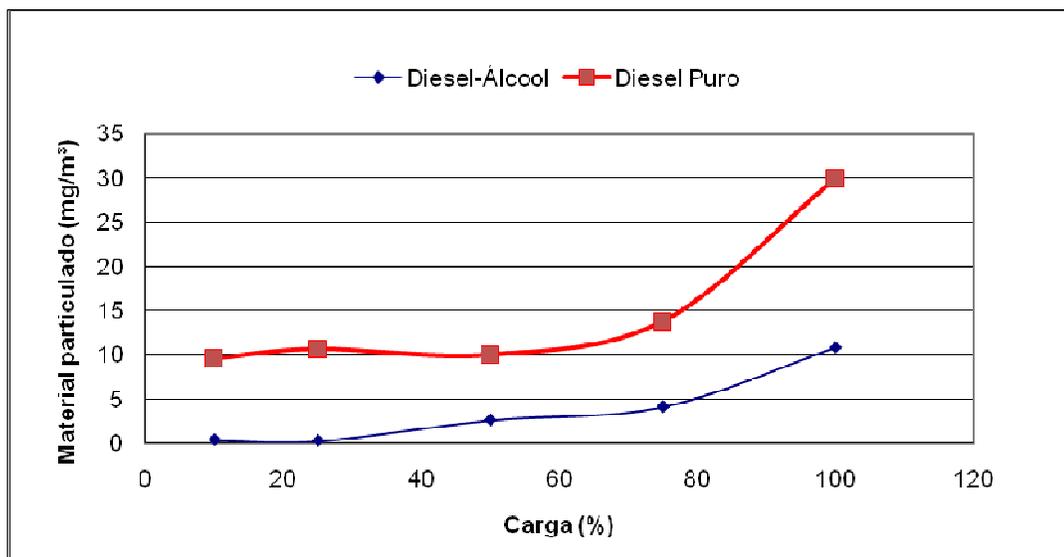


Fig. 12: Material particulado para diferentes cargas, em 2200 rpm

6 Conclusões e Recomendações

Nos experimentos realizados para cada rotação, observou-se que as maiores taxas de substituição foram atingidas em menores cargas. À medida que se aumentava a carga no motor, as taxas de substituição diminuía.

Verificou-se, nas três rotações analisadas, que em altas cargas e com máxima taxa de substituição, o rendimento térmico do modo diesel-álcool foi semelhante à operação original diesel.

A substituição parcialmente diesel realizada mostrou-se viável e válida, tendo em vista que o álcool é um combustível renovável, possui um menor preço que o derivado fóssil e, em relação ao aspecto ambiental, apresenta vantagens no que tange à redução de emissões, principalmente de material particulado.

Também devem ser considerados pontos tais como: o aspecto socioeconômico, o fato que o País possui o domínio da tecnologia de produção de álcool, a disponibilidade de terras para expandir a lavoura da cana-de-açúcar, a demanda externa por biocombustíveis aquecida, entrada de grupos empresariais importantes na produção de etanol e a disposição firme do empresariado de realizar investimentos no setor.

Em relação ao aparato experimental, sugere-se uma modificação, para futuros experimentos, com o propósito de melhorar a captação dos dados e proporcionar resultados cada vez mais satisfatórios. Cita-se, por exemplo, a utilização da técnica da injeção multiponto, ou seja, um bico injetor para cada cilindro. A finalidade é obter melhor qualidade da mistura ar-AEHC.

Para um próximo experimento é conveniente avaliar a utilização de AEHC com diferentes concentrações de água, como também os efeitos da operação diesel-álcool no que diz respeito à redução de gases poluentes ao meio ambiente.

Referências

- 1 - EGÚSQUIZA, J. C. C. (2006); **Redução das Emissões em Motores Diesel-gás**. Dissertação de Mestrado, DEM - PUC-Rio, Rio de Janeiro. 138p.
- 2 - Norma NBR 5992 (1980); **Determinação da massa específica e do teor alcoólico do álcool etílico e suas misturas com água**; ABNT - Associação de Normas Técnicas.
- 3 - Wylen, G. J. e Sonntag, R. E. (1995); **Fundamentos da Termodinâmica Clássica**; Editora Edgard Blüncher LTDA, São Paulo, SP.
- 4 - **Biodiesel, O novo combustível do Brasil**. Disponível na Internet no site: <http://www.biodiesel.gov.br>, acessado em 09/05/08.
- 5 - Reis, A. V. (2004); **Desempenho de motores do ciclo diesel operando com etanol hidratado no modo duplo combustível**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, DF, 80p.
- 6 - ANP - **Agência Nacional de Petróleo**. Disponível na Internet no site: <http://www.anp.gov.br>, acessado em 17/04/08.