



IBP1073_06

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO E CONSUMO DE COMBUSTÍVEL EM UM MOTOR DIESEL ALIMENTADO COM A MISTURA DE DIESEL COM ETANOL ANIDRO E ADITIVO DIOLEFECT. TESTES DE LUBRICIDADE.

Yordanka R. Cruz¹, Donato G. Aranda², Pedro P. Pereira³, Alberto C. Osório⁴

Copyright 2006, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico foi preparado para apresentação na *Rio Oil & Gas Expo and Conference 2006*, realizada no período de 11 a 14 de setembro de 2006, no Rio de Janeiro. Este Trabalho Técnico foi selecionado para apresentação pelo Comitê Técnico do evento, seguindo as informações contidas na sinopse submetida pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho Técnico, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, seus Associados e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho Técnico seja publicado nos Anais da *Rio Oil & Gas Expo and Conference 2006*.

Resumo

O presente trabalho relata e analisa as atividades desenvolvidas na avaliação de desempenho e consumo de combustível em um motor diesel, CUMMINS MOD BTAA 5.9, com bomba injetora em linha, alimentado com a mistura diesel – 8% etanol anidro – 0.5% do aditivo DIOLEFECT (melhorador da estabilidade e a lubricidade), realizada na Universidade Federal de Rio de Janeiro. Adotando como referência os dados relativos ao desempenho com o uso do óleo diesel.

Os resultados alcançados nos ensaios em bancada dinamométrica mostram que, independentemente de que a potência é reduzida conforme o conteúdo energético da mistura e o consumo de combustível aumentou proporcionalmente à redução do poder calorífico, a utilização da mistura estudada não implica em qualquer alteração tecnológica. Só é preciso incluir na formulação um componente para que a combustão seja mais eficiente.

Adicionalmente, estudou-se a lubricidade da mistura pelo ASTM D 6079-99, com resultados positivos. O filme lubrificante é mantido baixo as mesmas condições de carga e temperatura que o diesel de referência, não ocorrendo deformação plástica dos metais.

Resultados satisfatórios, como os obtidos neste teste, são o início da avaliação do aditivo DIOLEFECT como melhorador da lubricidade, aspecto que visa a possibilidade de uso generalizado da mistura.

Abstract

The Abstract must be written in English.

The purpose of this project is to analyze the performance and fuel consumption of a stationary Diesel engine, with fuel in-line injection pump, using diesel fuel – 8% ethanol – 0.5% DIOLEFECT additive blend.

In the project is also reported a preliminary lubricity evaluation of different blends and diesel oil as motor fuels using the ASTM D 6079-99.

The results indicate that:

- The reduction in power of engine is approximately the same as the reductions in energy content of the blend relative to diesel fuel.
- The brake specific fuel consumption increased in 3% compared to the same model engine operating on diesel fuel.
- DIOLEFECT additive has been effective in increased fuel blends lubricity.

¹ Mestre, Engenheiro Químico – CENTRO DE PESQUISAS DE PETRÓLEO DE CUBA

² PHD, Engenheiro Químico – UNIVERSIDADE FEDERAL DE RIO DE JANEIRO

³ Engenheiro Mecânico – UNIVERSIDADE FEDERAL DE RIO DE JANEIRO

⁴ Mestre, Engenheiro de Petróleo – CENTRO DE PESQUISAS DE PETRÓLEO DE CUBA

1. Introdução

Nas décadas de 70 e 80, motivados pelas sucessivas crises de preços e de abastecimento de petróleo, foram realizados no Brasil e no exterior intensos estudos visando à redução do consumo de óleo diesel pela sua substituição parcial ou total por álcool.

Nos anos 90, em função das exigências ambientais impôs-se a necessidade de produção de combustíveis “limpos”, ressurgindo o interesse por tais estudos e incentivando o desenvolvimento de aditivos estabilizantes, eficazes e econômicos.

Como é do conhecimento da sociedade brasileira, a questão do óleo diesel ainda corresponde a um problema de difícil solução no Brasil.

As perspectivas para os próximos anos não serão melhores, devido os preços atuais no mercado internacional, superiores a US \$ 30/barril. Além destes aspectos devem ser considerados também os elevados custos de transporte para distribuição do óleo diesel em todo o país.

Há que se considerar, também e especialmente, os aspectos ambientais. As emissões específicas do óleo diesel são significativas, não apenas no setor elétrico (geração em motores diesel em comunidades isoladas) mais principalmente no setor de transportes, responsável por elevado consumo deste combustível.

Por todos estes motivos, a redução no consumo de óleo diesel no país vem sendo objeto de estudo por diversos especialistas no assunto, visando a redução no seu consumo, tanto no setor de transporte como no setor elétrico. Em particular, esta necessidade na redução no consumo de óleo diesel no país vai ao encontro à tendência mundial de redução nas emissões de carbono responsáveis pelo efeito estufa, dentro das negociações do Protocolo de Kyoto.

Visando atingir este objetivo, é importante a adoção de políticas sustentáveis que permitam a substituição de óleo diesel por outros energéticos de forma tecnicamente adequada, como por exemplo, a mistura álcool & diesel.

O setor sucro - alcooleiro iniciou, em meados de 1997, estudo orientado para investigar a viabilidade de uso no Brasil de mistura de óleo diesel e álcool, considerando seu potencial de melhoria ambiental relativo às emissões de escapamento, ao inventário brasileiro de emissões de CO₂ e de outros gases de efeito estufa, em nível local e global. Os estudos referenciaram-se nos testes realizados na Suécia, Austrália, Chile, Alemanha e Tailândia, com ônibus, caminhões, tratores e diversos equipamentos com motores do ciclo Diesel.

De acordo com o programa de pesquisas desenvolvido no país, referente ao consumo destas misturas, apresenta-se o seguinte trabalho que tem como **objetivo**:

- ✚ Avaliar a viabilidade técnica de utilizar a mistura diesel – 8% álcool etílico anidro combustível (AEAC) – 0.5% do aditivo DIOLEFFECT, como melhorador da estabilidade e a lubricidade, através dos testes de desempenho e consumo de combustível em um motor Diesel, com bomba injetora em linha. Adicionalmente, estudo-se a lubricidade da mistura.

2. Materiais e Métodos

- Os ensaios de desempenho e consumo de combustível foram realizados no motor CUMMINS MOD BTAA 5.9 (Figura 1), com bomba injetora em linha, no Laboratório de Motores da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Rio de Janeiro.



Figura 1. Motor CUMMINNS MOD BTAA 5.9

- No Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT), estudo-se a lubricidade da mistura pelos métodos: ASTM D 6079-99 “*High Frequency Reciprocating Rig*” e ISO 12156 “*Diesel Fuel – Assessment of lubricity using the high frequency reciprocating rig*” (HFRR)).

Conforme pode-se inferir de seus títulos, estas normas se aplicam somente para óleo diesel e não prevêem a evaporação de componentes dos combustíveis.

Levando em conta a presença de etanol em algumas amostras, estes procedimentos foram modificados de forma a reduzir a evaporação do álcool que compõe as misturas, ensaiadas a 60°C, e os efeitos deste fenômeno nos resultados das avaliações em questão.

Foi utilizado, então, em substituição ao recipiente padrão, um recipiente desenvolvido pelo fabricante do equipamento HFRR para combustíveis voláteis, não normalizado, adaptado a um dispositivo que busca garantir a manutenção do teor de álcool das misturas durante o ensaio.

Para evitar a introdução de novas fontes de erro na comparação dos resultados, as amostras de óleo diesel também foram ensaiadas no mesmo arranjo.

Desta forma, os resultados obtidos, apesar de válidos para uma avaliação comparativa, não podem ser tomados como absolutos.

Para a formulação da mistura utilizou-se:

- Óleo Diesel Automotivo S-500, cumpre com as especificações de qualidade estabelecidas na Portaria ANP Nº 310, de 27.12.2001 – DOU 28.12.2001.
- Álcool etílico Anidro Combustível (AEAC), cumpre com as especificações de qualidade estabelecidas na Portaria ANP Nº 2, de 16.1.2002 – DOU 17.1.2002.
- Aditivo “DIOLEFECT”, melhorador da estabilidade e a lubricidade da mistura, composto por ésteres etílicos de ácidos graxos.

Em todos os testes foram adotados como referência os dados relativos ao desempenho com o uso do óleo diesel nas seguintes condições:

- a) Sem alteração nas regulagens do sistema de injeção, para simular as condições normais de operação com a mistura estudada.
- b) Com débito reduzido para simular carga equivalente às cargas registradas quando o motor opera com a mistura diesel – 8% álcool etílico anidro combustível (AEAC) – 0.5% do aditivo DIOLEFECT.

3. Resultados e Discussão

Com o objetivo de avaliar a qualidade da mistura: 91.5% diesel - 8% etanol anidro - 0.5% de aditivo DIOLEFECT, como combustível para motores Diesel, realizaram-se estudos dinâmometricos preliminares no banco de motores da faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, com o correspondente levantamento das curvas características de desempenho do motor e consumo específico de combustível. Os testes foram desenvolvidos no motor Diesel descrito anteriormente.

Nas tabelas 1 e 2, mostram-se os resultados dos ensaios obtidos do funcionamento do motor trabalhando com duas qualidades diferentes de combustível:

- Consumindo combustível Diesel Automotivo S-500
- Consumindo a Mistura (diesel - 8% etanol anidro - 0.5% aditivo DIOLEFECT)

Tabela 1. Desempenho do Motor consumindo Combustível Diesel

Rotação rpm	Torque N/m	Potência kw	Temperatura do retorno combustível ao tanque °C	Temperatura do ar que entra ao Motor °C	Temperatura de saída dos gases de emissão °C
1000	550,7	57,5	27	74	391
1200	580,8	74,1	29	88	430
1400	598,7	87,7	31	106	430
1600	610,5	101,4	31	122	418
1800	547,9	102,4	34	131	405
2000	532,6	111,8	39	137	395
2200	496,7	114,2	40	150	418
2400	436,5	109	44	156	431
2600	154,5	42,7	47	111	340

Tabela 2. Desempenho do Motor consumindo a Mistura

Rotação rpm	Torque N/m	Potência kw	Temperatura do retorno combustível ao tanque °C	Temperatura do ar que entra ao Motor °C	Temperatura de saída dos gases de emissão °C
1000	510,2	52,7	32	68	186
1200	529,3	67,2	33	82	285
1400	546,5	80,4	34	97	309
1600	548,5	91,1	35	113	325
1800	513,6	95,5	38	124	329
2000	488,5	103,2	40	136	335
2200	450,9	104,1	42	146	342
2400	393,5	98,1	44	152	355

Estes resultados permitiram comprovar que a temperatura do retorno do combustível ao tanque não supera os 47 °C, demonstrando-se que não há vaporização do álcool na linha de retorno.

O comportamento do torque e da potência do motor representam-se na figura 2.

Além disso, calculou-se a perda de potência do motor ao consumir a mistura, com relação aos valores obtidos consumindo o Combustível Diesel convencional. Estes resultados mostram-se na tabela 3.

A perda média de potência do motor foi de 8,6%, praticamente proporcional ao teor de etanol adicionado na mistura. Tendo em conta as experiências de outras instituições, como o IPT, para motores com bomba em linha, a potência é reduzida conforme o conteúdo energético volumétrico da mistura.

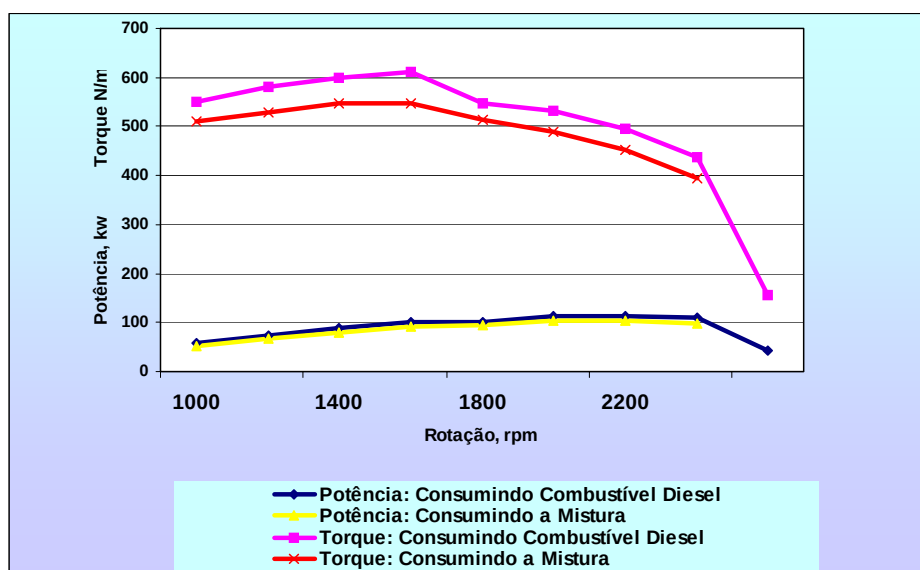


Figura 2. Curvas Características do Motor CUMMINS MOD BTAA 5.9.
Torque e Potência

Tabela 3. Perda de Potência do Motor ao consumir a Mistura

Rotação rpm	Perda de Potência %
1000	8,3
1200	9,3
1400	8,3
1600	10,1
1800	6,7
2000	7,7
2200	8,8
2400	10,0
Média	8,6

3.1. Consumo

Tendo em conta os resultados mostrados na tabela 4, pode-se dizer que o consumo específico de combustível aumentou em um 2,8% (cerca de 0,35% para cada 1% de etanol adicionado). Na literatura considera-se que o consumo de combustível aumenta proporcionalmente com a redução do poder calorífico.

Na figura 3, mostra-se o consumo específico de combustível em cada uno dos pontos estudados.

Os resultados alcançados nos ensaios em bancada dinamométrica mostram que, a utilização da mistura estudada não implica em qualquer alteração tecnológica ou tratamentos especiais e nem sequer uma regulação especial. Só é preciso incluir na formulação um componente a base de compostos nitroparafínicos para que a combustão seja mais eficiente.

Tabela 4. Consumo específico de combustível

Rotação rpm	Consumo Específico Combustível Diesel g/kw h	Consumo Específico da Mistura g/kw h
1000	260	318
1200	247	259
1400	248	250
1600	248	263
1800	258	273
2000	260	279
2200	278	294
2400	305	318
2600	365	
Média	274	282
Incremento de Consumo, %	2,8	

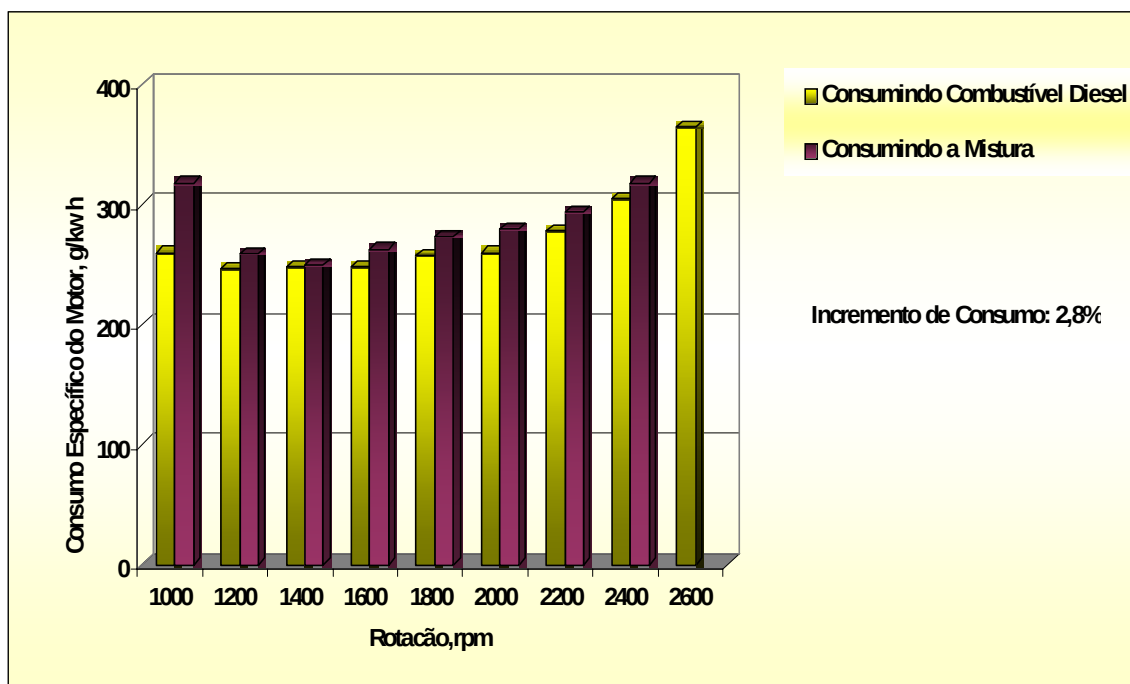


Figura 3. Consumo Específico de Combustível

3.2. Estudo preliminar de lubricidade

Estudo-se a lubrificidade das seguintes amostras de combustíveis, identificadas conforme tabela 5, abaixo.

Cumpra mencionar que, para efeito de comparação entre os procedimentos, a amostra de óleo diesel (1) também foi ensaiada nas condições prescritas pelas normas de referência (ensaio 5).

Tabela 5. Identificação das amostras

Identificação	Especificação
1	Óleo diesel
2	Óleo diesel misturado com 8,0 % em volume de etanol anidro
3	Óleo diesel misturado com 8,0 % em volume de etanol anidro e 0,5 % de aditivo DIOLEFECT
4	Óleo diesel misturado com 8,0 % em volume de etanol anidro e 1,0 % de aditivo DIOLEFECT

Um resumo dos resultados dos ensaios de lubricidade é apresentado na Tabela 6.

Tabela 6. Resumo das avaliações de lubricidade das amostras

Identificação da amostra	Ensaio	Volume do recipiente [ml]	Taxa de renovação do combustível [ml/min]	ASTM 6079 WSD* [mm]	ISO 12156 WS1,4* [μm]
1	1	15	1,2	0,34	347
	5	2	0	0,36	363
2	2	15	1,4	0,42	410
3	3	15	1,4	0,29	295
4	4	15	2,0	0,25	255

* valores determinados conforme sugerem as normas ASTM e ISO.

As considerações relativas às lubricidades apresentadas, baseiam-se exclusivamente nos resultados obtidos nos ensaios relacionados.

- Os ensaios 1 e 5, desenvolvidos com a amostra 1 (“óleo diesel”), respectivamente utilizando o procedimento modificado (com renovação do combustível) e o padrão (sem renovação do combustível), geraram medidas de desgaste que podem ser admitidas como próximas, o que sugere boa aderência entre os procedimentos.
- O ensaio 2, realizado com a amostra 2 (“Óleo diesel misturado com 8,0 % em volume de etanol anidro”), forneceu resultados que não permite classificá-la como adequada para utilização em motores diesel; o limite superior prescrito pela norma ISO 12156 (WS1,4) é 460 μm.
- Nos ensaios 3 e 4, os desgastes obtidos nas avaliações foram nominalmente inferiores àqueles observados com o uso do óleo diesel ensaiado nas mesmas condições. Observou-se uma significativa redução nas medidas dos diâmetros da elipse de desgaste com o uso do aditivo.
- A maior porcentagem de aditivo DIOLEFECT na amostra 4, relativamente à amostra 3, reduziu o valor nominal de desgaste. Entretanto, o coeficiente médio de atrito foi um pouco maior para a amostra 4, acompanhado de pequena redução da espessura do filme.

4. Conclusões

1. A temperatura do retorno do combustível ao tanque não supera os 47 °C, demonstrando-se que não há vaporização do álcool na linha de retorno.
2. A perda média de potência do motor foi de 8,6%, praticamente proporcional ao teor de etanol adicionado à mistura.
3. O consumo específico de combustível aumento em um 2,8% (cerca de 0,35% para cada 1% de etanol adicionado).
4. É preciso incluir na formulação da mistura um componente a base de compostos nitroparafínicos para que a combustão seja mais eficiente.
5. A mistura de diesel com 8% de etanol anidro não tem uma lubricidade adequada para sua utilização em motores Diesel com bomba de injeção rotativa.
6. Os desgastes obtidos nas misturas aditivadas com DIOLEFFECT foram nominalmente inferiores àqueles observados com o uso do óleo diesel, ensaiado nas mesmas condições.
7. O aditivo DIOLEFFECT melhora a lubricidade da mistura formulada com 8% de etanol anidro.
8. O melhor percentagem de aditivo DIOLEFFECT a ser incluído na mistura é 0,5.

5. Recomendações

1. Realizar testes acelerados de durabilidade em bancada e dinamômetro buscando uma resposta rápida para se verificar a viabilidade de uso desta mistura aditivada em bombas rotativas.

6. Referências

- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. CONSELHO INTERMINISTERIAL DO AÇÚCAR E DO ÁLCOOL. Sumário Executivo Mistura de 3% de álcool ao Diesel (MAD3). Brasília, dezembro de 2000.
- IRSHAD AHMED. US Patent 6,017,369. Diesel fuel composition. January 25, 2000.
- IRSHAD AHMED. US Patent 6,074,445. Polymeric fuel additive and method of making the same, and fuel containing the additive. June 13, 2000.
- IRSHAD AHMED. US Patent 6,183,524. Polymeric fuel additive and method of making the same, and fuel containing the additive. February 6, 2001.
- IRSHAD AHMED. US Patent 6,306,184. Diesel fuel composition. 2003.
- CAMPI, A. R. ET AL. Depósito de Patente Brasileira-PI9903413-1. Aditivo para melhorar as propriedades de combustível automotivo. 4 agosto 1999.
- CAMPI, A. R. ET AL. Depósito de Patente Brasileira-PI9903414-0. Mistura alcoólica solúvel em óleo diesel. 4 agosto 1999.
- Fuel and Engines. Vol. I e II. Editions Technip. Francia. 1999.
- MALDINI, J. G. Pesquisa exclusiva aprova qualidade do diesel no Brasil. Fundação de Apoio à Educação e Desenvolvimento Tecnológico e Fundação Centro Tecnológico, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, Novembro 2005. Disponível em: <<http://www.revistaelo.com.br/downloads/qualidade-diesel.pdf>>. Acesso em: 17 março 2006.
- Projeto mistura álcool/diesel/AEP-102 MAD 8. Resolução CIMA n. 11 de 2 de Março de 1999. Portaria MCT n. 315 de 15 de Julho de 1997-GEM.
- SATGÉ DE CARO, P. Interest of combining an additive whit diesel – ethanol blends for use in diesel engines. França, Julho/2000.
- SATGÉ DE CARO, P. Synthesis of oxygenated polyfunctional additives for ethanol diesel fuel blends. França, 1995.