



## **APLICAÇÃO DE MISTURAS DE ÓLEO DIESEL/ETANOL ANIDRO/BUTANOL EM MOTORES DE IGNIÇÃO POR COMPRESSÃO**

### **Ithamar Ribeiro Rangel**

Instituto Militar de Engenharia - IME  
Praça Gen. Tibúrcio, 80, Praia Vermelha - Urca - 22290-160  
Rio de Janeiro, RJ, Brasil - e-mail: [ita@epq.ime.eb.br](mailto:ita@epq.ime.eb.br) / [ithamar@microlink.com.br](mailto:ithamar@microlink.com.br)

### **Roberto Guimarães Pereira**

Universidade Federal Fluminense - UFF  
Rua Passo da Pátria, 156, São Domingos - 24210-240  
Niterói, RJ, Brasil - e-mail: [temrobe@vm.uff.br](mailto:temrobe@vm.uff.br)

### **Código: CPB1171**

***Resumo.** A baixa solubilidade do etanol anidro em óleo diesel, motivou o estudo de misturas ternárias onde o butanol é utilizado como co-solvente. Dentro deste enfoque, foram levantadas os parâmetros reológicos dessas misturas e as mesmas foram aplicadas no motor MBB OM314. Os resultados obtidos nos testes de desempenho em banco dinamométrico e a determinação dos parâmetros reológicos são apresentados.*

*Palavras-chave:* Lubrificantes, lubrificação e reologia; Máquinas Térmicas e de Fluxo; Energia e Meio Ambiente.

## **1. INTRODUÇÃO**

O quadro Brasileiro de Combustíveis Alternativos dos derivados de petróleo não poderá fugir ao compromisso de compatibilidade dos três fatores básicos - produção, distribuição e utilização. Sem dúvida, o etanol é o combustível líquido alternativo que otimiza melhor este compromisso.

A demanda do óleo diesel, mais do que qualquer outro derivado, vem determinando a muito uma evasão de divisas nacionais através das importações do óleo cru e do próprio óleo diesel, além disso, ressalta-se que os grandes produtores de petróleo e as grandes quantidades de Reservas Mundiais encontram-se no Oriente Médio, região dotada de alta instabilidade política. Esses aspectos associados ao fato que novas reservas mundiais estão cada vez mais escassas, torna-se imperativo que pesquisas sejam realizadas com o objetivo de encontrar alternativas que venham minimizar ou até atingir um grau de completa independência, não só do óleo diesel, mas como de todos os derivados do petróleo.

No entanto, se as poucas modificações nos tradicionais motores de ignição por centelha (motor a gasolina) viabilizaram a utilização do etanol. Primeiro na mistura e depois como substituto completo da gasolina, o mesmo não ocorre para o óleo diesel.

Dentre as várias alternativas para substituição parcial do óleo diesel, a utilização de misturas diesel-etanol anidro destaca-se como a de aplicação mais simples, já que existe grande disponibilidade de etanol e não é necessário qualquer alteração no motor original. Além disto, o aumento de produção de etanol é possível e viável, pois existe uma tradição tecnológica que vem se desenvolvendo desde da época do Brasil Colônia.

O principal problema deste tipo de alternativa é a baixa estabilidade que essas misturas possuem com a variação de temperatura e umidade ambiente. Além disso, a baixa solubilidade do etanol em óleo diesel impede misturas com teores acima de aproximadamente 5% de etanol.

Uma das soluções para aumentar a solubilidade e a estabilidade do etanol em óleo diesel é utilizar uma terceira substância (butanol normal) que, agindo como co-solvente, possibilite teores de misturas estáveis com maiores percentuais de substituições.

O objetivo do trabalho é apresentar resultados comparativos, obtidos através de ensaios de desempenho em banco dinâmométrico, do motor MBB OM314 utilizando óleo diesel e misturas ternárias pré-selecionadas, e investigar as variações dos parâmetros reológicos dessas misturas em relação ao óleo diesel.

## 2. TESTE DE DESEMPENHO DO MOTOR OM MBB314

Foram realizados ensaio de desempenho em banco dinâmométrico com as seguintes misturas:

Tabela 1. Misturas selecionadas para testes de desempenho

|                    |                    |                    |
|--------------------|--------------------|--------------------|
| MD+10(3,0+7,0)BE   | MD+11,5(3,5+8,0)BE | MD+12,5(5,0+7,5)BE |
| MD+12,5(4,5+8,0)BE | MD+15(5,0+10)BE    |                    |

MD+A(B+C)BE - Misturas de óleo diesel + A% de substituição de óleo diesel (B% de Butanol + C% de etanol anidro)

### 2.1. Características do Motor

- Marca: Mercedes Benz
- Modelo: OM314
- Número de cilindros: 4
- Curso: 128mm
- Diâmetro do cilindro: 97mm
- Cilindrada total: 3784 cm<sup>3</sup>
- Taxa de compressão: 17:1
- Aplicação: Veicular
- Câmara de combustão: Injeção direta

### 2.2. Instrumentação Utilizada

- Dinamômetro de indução, marca Hoffman, modelo I2D, com capacidade de 161,7 KW a 9500 rpm.
- Medição de força através de célula de carga e indicadores analógico e digital, marca Hoffman, campo de medição de zero a 10000 rpm.
- Medição de pressão:
  - Manômetro tipo Bourdon, marca Merlin, campo de medição de zero a 2757 KPa.
  - Manômetro tipo Bourdon, marca U. S. GAUGE CONY, campo de medição de zero a 103,4 KPa.
  - Manômetro tipo "U", coluna d'água, campo de medição de zero a 14,7 KPa.
- Medição de temperatura:
  - Indicador digital, marca Alfa, campo de medição de -50 a 1800 °C.
- Medição do consumo de combustível:
  - Bureta de vidro, calibrada para 100 a 300 cm<sup>3</sup>.
  - Cronômetro com leitura analógica, marca Jaquet.
- Medição das condições atmosféricas:
  - Termômetro marca Hurger, campo de medição de 0 a 55 °C, precisão de 1 °C.
  - Psicrômetro, marca Hurger, precisão de 1%.

### 2.3. Metodologia Aplicada na Execução dos Ensaio

- Os ensaios foram realizados tomando-se como referência a Norma ABNT 5484.
- O início de cada bateria de ensaios sempre foi precedido da estabilização da temperatura do óleo lubrificante e da temperatura da água de arrefecimento.
- Efetuou-se, sempre, a medição de consumo de combustível duas vezes, para um tempo de consumo superior a 60 segundos e repetiu-se a leitura, caso as duas medições apresentassem uma diferença de tempo superior a um segundo.
- As leituras foram efetuadas nas rotações de 1200, 1400, 1600, 2000, 2200, 2400, 2600 rpm.
- O corte de alimentação de óleo diesel no motor foi iniciado a 2650 rpm pelo regulador de velocidade da bomba injetora, impossibilitando portanto a leitura na sua rotação nominal de 2800 rpm.

### 2.4. Resultados Obtidos

Os percentuais de substituição de óleo diesel, efetuados através da adição de butanol normal e etanol anidro, foram corrigidos e avaliados segundo as expressões abaixo:

$$SC = 1 - (CEVDM / CEVD) \times 100 \quad (1)$$

SC - percentual de substituição corrigido de óleo diesel

CEVDM - consumo específico volumétrico de óleo diesel na mistura

CEVD - consumo específico volumétrico de óleo diesel

$$CEVDM = (DM \times CV) / Neo \quad (2)$$

DM - percentual de diesel na mistura

CV - consumo volumétrico da mistura álcool-diesel

Neo - potência efetiva observada

$$ES = (SC / SV) \times 100 \quad (3)$$

ES - eficiência de substituição de óleo diesel

SC - percentual de substituição corrigido de óleo diesel

SV - substituição volumétrica de óleo diesel

Todas as misturas aplicadas no motor OM314, apresentaram uma queda média máxima de potência inferior a 5% e um aumento médio máximo de consumo específico inferior a 6%, na solicitação de carga plena, conforme a Tab. (2) e Figs. (1), (2). As misturas MD+10(3,0+7,0)BE, MD+11,5(3,5+8,0)BE, MD+12,5(4,5+8,0)BE, MD+12,5(5,0+7,5)BE, MD+15(5,0+10)BE apresentaram variações médias de percentuais de potência e momento de força observados de -1,8; -2,4; -2,9; -2,5; -4,5 e 0,5; 2,0; 1,9; 2,3; 2,7 para o consumo específico.

Na substituição volumétrica do óleo diesel, os valores médios encontrados foram de 9,5; 9,7; 10,9; 10,5; e 12,7, com eficiência média de substituição de 95; 84,3; 87,2; 84; 84,7; conforme a Tab. (2), Figs (3) e (4), e Eqs. (1) e (3).

Os valores relacionados a eficiência térmica repetiram os encontrados com o combustível original (óleo diesel). Os resultados médios obtidos ficaram em torno de 37%, conforme a Tab. (2) e Fig. (5).

TAB. 2 Resultados obtidos nos testes de desempenho em banco dinamométrico do motor MBB OM314

| <b>MISTURAS</b>           | <b>REND. TÉRMICO MÉDIO</b><br><br>(%) | <b>SUBST. VOLUM. MÉDIA DE O. DIESEL</b><br>(%) | <b>SUBST. VOLUMÉTRICA DE O. DIESEL CORRIGIDA</b><br>(%) | <b>EFICIÊNCIA DE SUBST.</b><br><br>(%) | <b>D% MÉDIA DE POT. E MOMENTO DE FORÇA OBSERVADO</b> | <b>D%MÉDIA DE CONSUMO ESPECÍFICO</b> | <b>D% MÉDIA DE REND. TÉRMICO</b> |
|---------------------------|---------------------------------------|--|---|--|--|--------------------------------------|----------------------------------|
| <b>MD+10(3,0+7,0)BE</b>   | 37,0                                  | 10   | 9,5   | 95,0                                   | -1,8   | 0,5                                  | 2,2                              |
| <b>MD+11,5(3,5+8,0)BE</b> | 36,7                                  | 11,5   | 9,7   | 84,3                                   | -2,4   | 2,0                                  | 1,5                              |
| <b>MD+12,5(4,5+8,0)BE</b> | 36,9                                  | 12,5   | 10,9  | 87,2                                   | -2,9   | 1,9                                  | 2,0                              |
| <b>MD+12,5(5,0+7,5)BE</b> | 36,6                                  | 12,5   | 10,5  | 84,0                                   | -2,5   | 2,3                                  | 1,2                              |
| <b>MD+15(5,0+10)BE</b>    | 36,9                                  | 15   | 12,7  | 84,7                                   | -4,5   | 2,7                                  | 1,8                              |
| <b>ÓLEO DIESEL</b>        | 36,2                                  | -  | -   | -                                      | -  | -                                    | -                                |

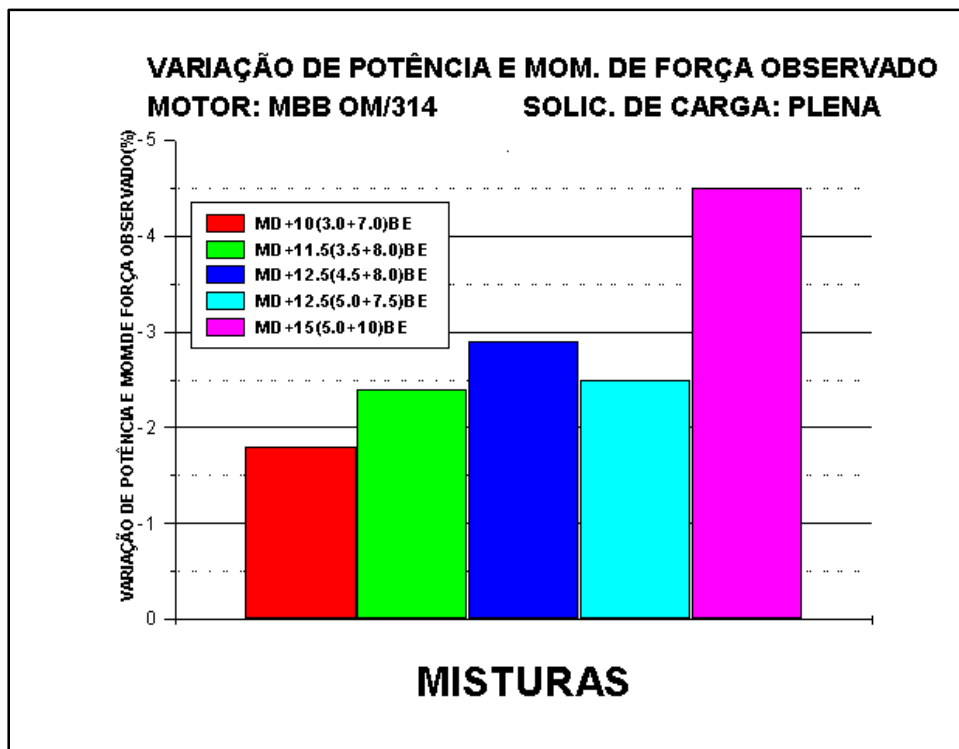


Figura 1. Variação de potência e momento de força

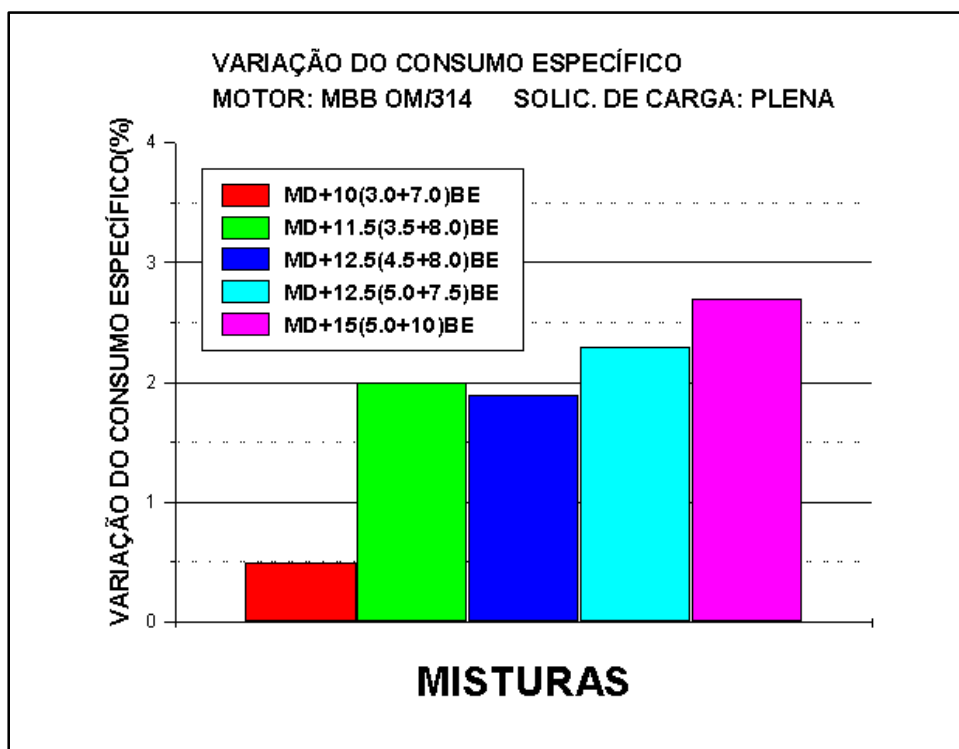


Figura 2. Variação do consumo específico

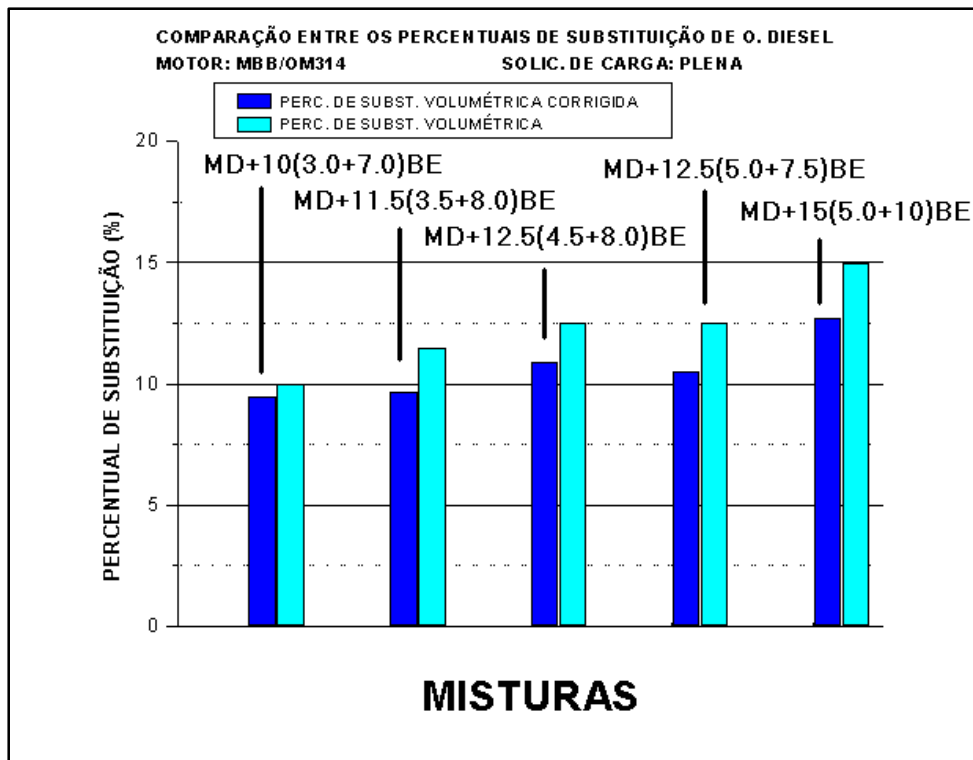


Figura 3. Percentual de substituição

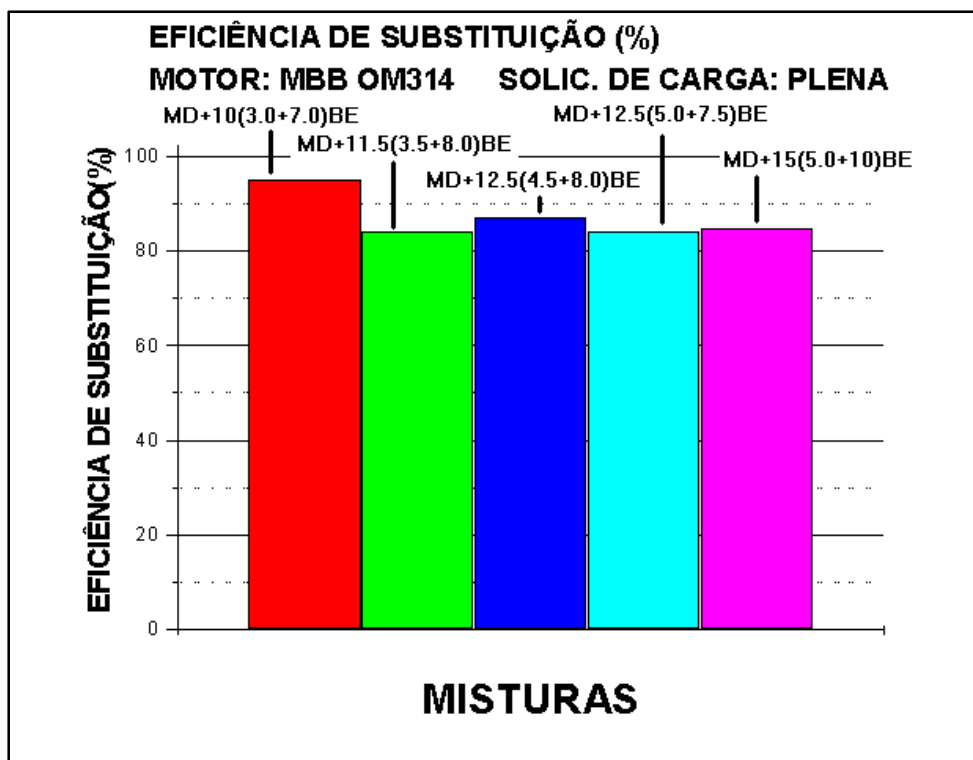


Figura 4. Eficiência de substituição

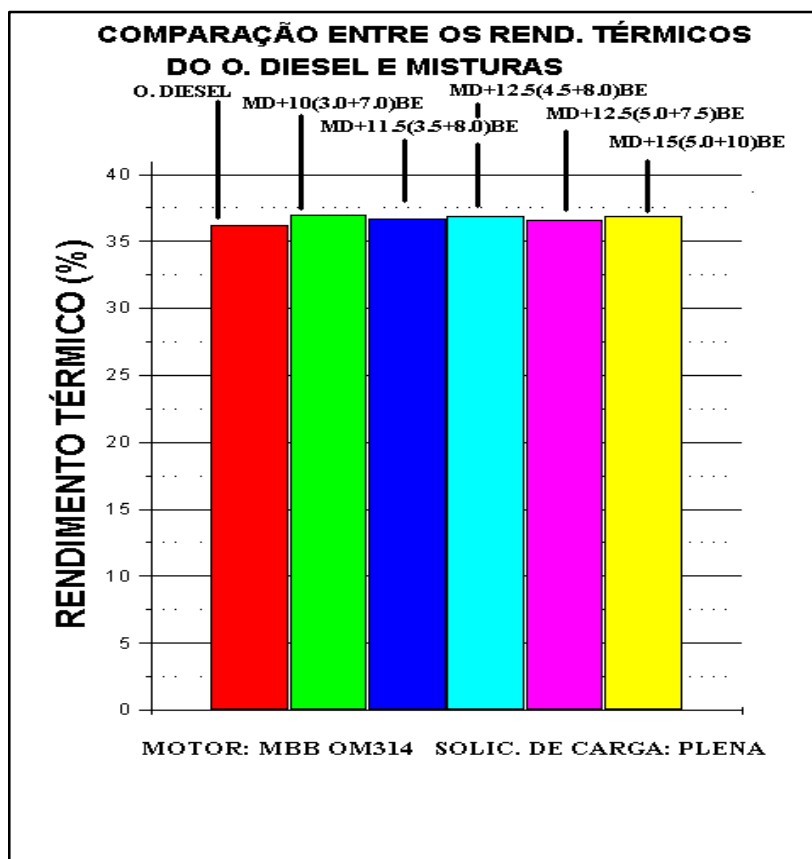


Figura 5. Rendimento térmico

### 3. CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA

O objetivo da caracterização reológica é o levantamento das possíveis variações dos parâmetros reológicos das misturas álcool-diesel em relação ao óleo diesel. Para isto submeteu-se as amostras ao teste de cisalhamento (*steady shear*), obtendo-se as curvas de escoamento e viscosidade.

#### 3.1 Instrumentação Utilizada

Todas as medidas foram realizadas em um reômetro rotativo RS50 conectado a um banho termostático K20-DC5 ambos da marca HAAKE, utilizando-se o sensor de geometria tipo cilindro concêntricos DG41, cuja as especificações geométricas encontram-se listadas na Tab. (3).

Tabela 3. Especificações do sensor de cilindro concêntrico DG41

|                    |                     |
|--------------------|---------------------|
| Diâmetro Interno 1 | 35,500mm            |
| Diâmetro Interno 2 | 36,000mm            |
| Diâmetro Externo 1 | 42,800mm            |
| Diâmetro Externo 2 | 43,400mm            |
| Volume da Amostra  | 6,3 cm <sup>3</sup> |

#### 3.2 Metodologia Aplicada na Execução dos Testes

- Os produtos utilizados na obtenção das misturas álcool-diesel são de origem comercial, sendo as mesmas preparadas no Laboratório de Reologia da UFF.
- Para cada medição sempre utilizou-se uma nova amostra, e antes de iniciar o teste aguardava-se que ela entrasse em equilíbrio térmico.

- As amostras foram medidas e introduzidas no sensor através de seringas com campo de medição de 0 a 6mm e precisão de 0,1mm.
- Foram realizados, para cada mistura, testes nas temperaturas de 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 e 90 °C respectivamente.

### 3.3 Teste de Cisalhamento

O teste de cisalhamento consiste em impor à amostra de fluido um determinado valor de tensão (método da tensão controlada – CS) ou de deformação (método de deformação controlada – CR) obtendo-se como resposta, respectivamente, um valor de deformação ou de tensão. Obtém-se, então, a curva de escoamento do material, relacionando a tensão com a taxa de deformação. Para os fluidos até então investigados a viscosidade não variou com a taxa de deformação.

### 3.4 Resultados Obtidos

A Figura (6) apresenta a variação da viscosidade com a temperatura do óleo diesel e misturas álcool-diesel obtidas em um teste de cisalhamento.

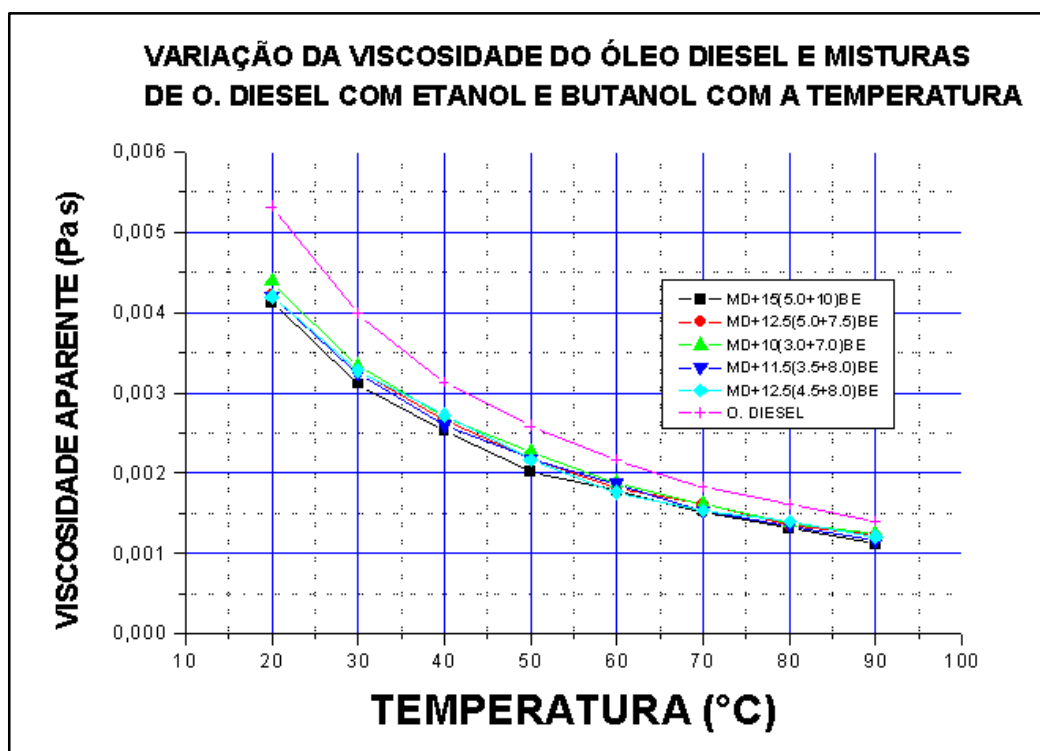


Figura 6. Variação da viscosidade com a temperatura

Constata-se através da Figura acima a diferença entre os valores de viscosidade do óleo diesel e misturas álcool-diesel, sendo que esta acentua-se na temperatura de 20 °C e decresce na medida que a temperatura aumenta.

Na Figura (7) encontram-se as diferenças percentuais dos resultados obtidos nos testes de cisalhamento, entre as viscosidades do óleo diesel e misturas álcool-diesel. Evidencia-se essa diferença entre a mistura MD+15(5,0+10)BE e o óleo diesel, obtendo-se valores que variam entre 17,5 a 22,5% para o intervalo de 20 a 90 °C. Para as demais misturas os valores ficaram entre 12 a 21%, destacando-se a mistura MD+10(3,0+7,0)BE, para a qual obtiveram-se as menores variações percentuais, e estas ficaram entre 12 a 17,5%.



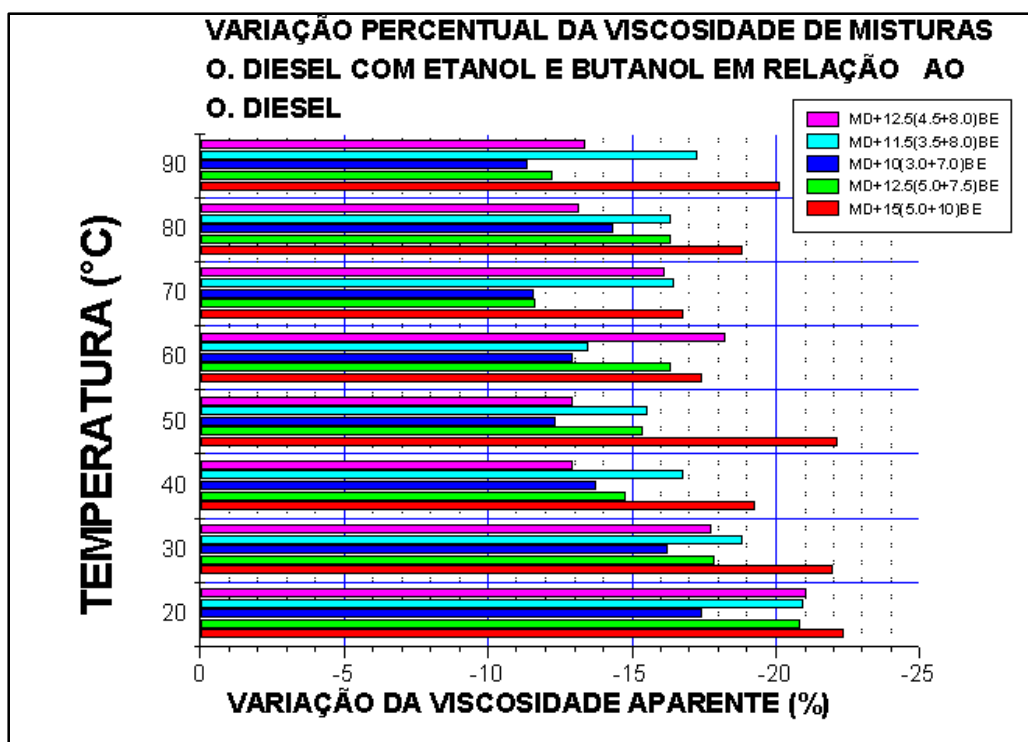


Figura 7. Variação percentual da viscosidade

#### 4. ANÁLISE DO RESULTADOS

As propriedades físico-químicas do etanol o tornam um combustível adequado aos motores de ignição por centelha, portanto diferenciando-o acentuadamente do óleo diesel. Em função das suas diferentes características, as misturas álcool-diesel produzem combustíveis cujas características físico-químicas tendem a se afastar do combustível original do motor (óleo diesel), resultando combustíveis com valores energéticos agregados menores, densidades menores, viscosidades menores e números de cetanos menores.

As diferenças existentes entre as misturas e óleo diesel transparecem nos testes de desempenho em banco dinamométrico, em uma primeira análise, e elas são evidenciadas à medida que aumenta-se o percentual de substituição do óleo diesel, resultando na queda de potência e momento de força observado e aumento no consumo específico, majoritário para mistura MD+15(5,0+10)BE, obtendo-se valores de -4,5% e 2,7% respectivamente e uma eficiência de substituição de 84,7%, conforme a Tab. (2) e Figs. (1), (2) e (4). Para a mistura com menor percentual de substituição, MD+10(3,0+7,0)BE, obteve-se uma variação para a potência e momento de força de -1,8% e aumento no consumo específico de 0,5%; com eficiência de substituição de 95%, conforme a Tab. (2) e Figs. (1), (2) e (4), portanto apresentando o desempenho bem próximo ao motor com seu combustível original, tornando essa mistura bastante atrativa para dar continuidade a investigação.

Todas as misturas apresentaram o rendimento térmico idêntico aos obtidos com óleo diesel, conforme a Tab. (2) e Fig. (5), e esses resultados podem ser traduzidos, voltando a dizer que em uma primeira análise, que a perda de desempenho encontra-se diretamente relacionada a subtração do valor energético agregado e a diminuição da densidade das misturas.

O valores encontrados na caracterização reológica das misturas, traduzindo-se em viscosidade aparente, é realmente preocupante. As diferenças percentuais das misturas em relação ao óleo diesel variam, conforme a Fig. (6), entre -12,5% a -22,5%, sendo que a maior subtração na viscosidade encontra-se relacionada a mistura MD+15(5,0+10)BE e a menor para a mistura MD+10(3,0+7,0)BE. Essa queda na viscosidade afeta o escoamento do fluido, a estanquidade nas linhas de injeção do combustível, podendo proporcionar vazamentos; e principalmente a

lubricidade, pois o óleo, além de combustível, é responsável pela lubrificação dos elementos da bomba e bicos injetores, sendo portanto uma propriedade determinante na durabilidade desses componentes. Até o estágio atual da investigação não foram detectados vazamentos, nem problemas relacionados ao escoamento, estanquidade e lubricidade.

## 5. CONCLUSÕES

Os ensaios dinamométrico efetuados com motor diesel OM314 utilizando as misturas álcool-diesel e a sua caracterização reológica, mostraram uma possível viabilidade de aplicação em maior escala, para a mistura MD+10(3,0+7,0)BE; porém para isto é necessário que sejam realizados testes de desempenho utilizando outros tipos de motores, estudos sobre os fenômenos inerentes a combustão, teste de durabilidade em banco dinamométrico e a aplicação em frotas, determinando o seu comportamento no campo.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores do trabalho agradecem ao CNPq e a FAPERJ pelo apoio financeiro prestado.

## 7. REFERÊNCIAS

Mascosko, C.W., 1994, "Rheology: principles, measurements and applications", Ed. VCH Publishers, Inc., United States of America, pp. 190-191.

Owen, K., Coley, T., 1990, "Automotive Fuels Handbook", Ed. Society of Automotive Engineers, Inc., United States of America, pp. 417, 319-343.

## 8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso neste trabalho.

## APPLICATION OF DIESEL OIL/ETHANOL/BUTANOL BLENDS IN COMPRESSION IGNITION ENGINES

### **Ithamar Ribeiro Rangel**

Instituto Militar de Engenharia - IME

Praça Gen. Tibúrcio, 80, Praia Vermelha - Urca - 22290-160

Rio de Janeiro, RJ, Brasil - e-mail: [ita@epq.ime.eb.br](mailto:ita@epq.ime.eb.br) / [ithamar@microlink.com.br](mailto:ithamar@microlink.com.br)

### **Roberto Guimarães Pereira**

Universidade Federal Fluminense - UFF

Rua Passo da Pátria, 156, São Domingos - 24210-240

Niterói, RJ, Brasil - e-mail: [temrobe@vm.uff.br](mailto:temrobe@vm.uff.br)

***Abstract.** The low solubility of ethanol in the diesel oil has motivated the study of blends using butanol like co-solvent. In this work, rheological parameters were investigated. The blends were tested in engines, such as: MBB OM314. The results obtained in dynamometer bench and the rheological properties are shown.*

***Keywords.** Lubrication, Rheology; Thermal Machines; Energy and Environmental.*