



## **DESEMPENHO E CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTÍVEL DE MOTORES OPERANDO COM GASOLINAS ADITIVADAS COM ÁLCOOL ETÍLICO E COM MTBE**

**Pedro Mello**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica  
E-mail: mello@mecanica.ufrgs.br  
Rua Sarmiento Leite, 425 - 90050-170 - Porto Alegre - RS

*Resumo: Os motores de combustão interna, que operam segundo o ciclo Otto, apresentam desempenho e consumo específico baseados fundamentalmente no tipo de combustível utilizado. No Brasil é utilizado como aditivo anti-detonante álcool etílico anidro adicionado à gasolina, o que altera consideravelmente o poder calorífico das misturas, devido ao empobrecimento. Outro aditivo anti-detonante produzido em grande escala no Brasil é o MTBE, que até pouco tempo foi utilizado em algumas regiões do Brasil. Por motivos econômicos, existe a possibilidade de voltar novamente ao uso do MTBE no Brasil. Assim sendo, este trabalho apresenta um estudo comparativo destes dois componentes adicionados à gasolina, tanto no que se refere ao desempenho quanto ao consumo específico de combustível.*

*Palavras-chave: Motor, combustível aditivo, álcool etílico, MTBE*

### **1. INTRODUÇÃO**

Os motores automotivos, para o mundo moderno, são de fundamental importância, logo, todos os aspectos relativos aos seus funcionamentos e às condições de operação devem estar sempre presentes para manter-se sempre um bom desempenho e proporcionar uma maximização de sua durabilidade, aliado ao menor consumo específico de combustível e à menor produção de gases danosos ao meio ambiente. O desenvolvimento tecnológico nesta área tem sido enorme, tanto de forma direta como indireta, através de grandes centros de pesquisas ou de experiências práticas iniciadas no desenvolvimento e preparação de motores automotivos destinados a veículos de competição.

Com o surgimento de novos componentes e materiais nos últimos anos, têm-se conseguido motores com alta performance e com baixa relação peso/potência, afora isso a durabilidade dos motores tem sido aumentada significativamente. Entretanto, cabe salientar que o conjunto motor – combustível é indissociável, isto é, a otimização do desempenho do consumo específico de combustível e o índice de emissões não dependem somente de um bom combustível e de um ótimo motor, também é necessário que haja um acerto deste conjunto no que diz respeito à regulagem e às condições de operação do mesmo. Desta forma, este trabalho pretende mostrar alguns testes comparativos realizados com motores alimentados com gasolinas diferenciadas em sua composição, devido à adição de substâncias anti-detonantes de diferentes naturezas.

Os objetivos de apresentação destes testes são proporcionar aos usuários de motores automotivos uma visão real do que pode acontecer no desempenho dos motores, quando alimentados com diferentes tipos de gasolinas aditivadas no uso diário. Para tal estudo foram levantados experimentalmente curvas de torque, consumo específico de combustível e

potência de um motor automotivo, operando com dois tipos de misturas de gasolina, uma com álcool etílico e outra com MTBE.

## 2. GASOLINA + OXIGENADOS

Para substituir os aditivos de origem etilados (com chumbo), nos anos 70-80, passou-se a utilizar no Brasil os aditivos anti-detonantes com átomos de oxigênio em suas moléculas, os chamados oxigenados, e dentre estes os mais comuns são o álcool etílico anidro (99,6 GL a 20°C, Penido Filho (1980)) e o metil tércio butil éter (MTBE).

O uso dos álcoois e dos éteres como aditivos anti-detonantes e oxigenados adicionados à gasolina comum (blend), ou como combustíveis alternativos utilizados para motores de combustão interna, surgiu principalmente devido às várias crises no setor petrolífero. Na Europa em 1973, principalmente na Itália e na Alemanha, e nos Estados Unidos em 1979, o MTBE apareceu como um forte substituto para a gasolina, por ser um subproduto do setor petroquímico, derivado da reação de metanol e isobutano, a partir de plantas de produção de etano.

Principal vantagem do uso de um oxigenado adicionado à gasolina é afora o seu elevado efeito anti-detonante, o empobrecimento da mistura, o que torna a combustão mais completa, como consequência ocorre uma redução nos índices de produção de CO (monóxido de carbono) e HC (hidrocarbonetos) nos gases de escape do motor. Evitando-se assim o uso de aditivos contendo chumbo na gasolina, que é um produto altamente poluidor e agressivo ao meio ambiente. (Dalavia et al 1992).

A tabela 1 mostra algumas propriedades do etanol e do MTBE. O uso do álcool etílico no Brasil iniciou em meados dos anos 80, como aditivo à gasolina comum e teve sua última regulamentação em 1993, através da lei 8.738. O etanol consumido no sul do Brasil era proveniente da região central, com isso o custo desse combustível ficava muito elevado, com uma nova crise no setor petrolífero e um colapso dos insumos energéticos em geral, o conselho nacional do petróleo autorizou, a partir de 31 de janeiro de 1980, o uso do MTBE no sul do Brasil para ser adicionado a gasolina em substituição ao álcool etílico. O MTBE desde essa época tem sido produzido em larga escala pela planta de produção de etano do Pólo Petroquímico de Triunfo, RGS, a partir do isobutano. Evidentemente o custo de produção, incluindo o transporte, fica muito menor comparado ao etanol, que tem origem em outras regiões do Brasil. Logo, o uso desse produto no sul do país tem grande repercussão e impacto econômico.

Tabela 1. Propriedades do álcool etílico e do MTBE

	Fórmula	Peso Molecular	PCIx10 (J/kg)	Razão A/C	Ponto de Ebulição (°C)
Etanol	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	46,07	16,7	9,0	78,2
MTBE	(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub>	88,15	35,1	11,7	55,4

Em vários estados dos Estados Unidos existe legislação que obriga o uso de oxigenados misturados à gasolina, onde têm-se um mercado de 8 milhões de barris por dia, e estima-se que 7% desse volume possa ser suprido com MTBE. No Brasil pode-se perfeitamente utilizar o MTBE em períodos de entre safra do álcool sem problemas de abastecimento, pois, o nosso país importa frequentemente álcool produzido a partir de uva, milho, arroz etc., o que torna-se desnecessário caso seja liberada a comercialização do MTBE para ser usado como combustível.

## 3. OPÇÃO PELO MTBE – ASPECTOS TÉCNICOS

O principal aspecto técnico é a notável capacidade do MTBE no que se refere ao seu poder anti-detonante quando misturado à gasolina comercial tipo comum (blend), outra vantagem é o empobrecimento da mistura, o que provoca um processo de combustão mais completo, com isso reduzindo significativamente o índice de formação de monóxido de carbono e de hidrocarbonetos

livres nos gases de escape dos motores, isto é, o aspecto ambiental torna-se sensivelmente beneficiado com o uso deste aditivo. O MTBE é pouco solúvel em água e totalmente solúvel com hidrocarbonetos que formam a gasolina.. Ele apresenta características similares a uma boa gasolina como mostra a tabela 2 ( Marchesi et al 1988)

Tabela 2. Propriedades do MTBE e da mistura MTBE + gasolina

	Peso específico (20,4 °C kg/m <sup>3</sup> )	Tensão de vapor (Pa)	Ponto de congelamento (°C)	Ponto de inflamabilidade (°C)	Teor de O <sub>2</sub> (% em peso)	NO MON	NO RON
MTBE	70,6	54900	-109	-28	18,2		
Mistura		39200-58800				118-127	98-108

O MTBE pode ser usado sem problemas de estocagem, manuseio e transporte, devido à constância de suas propriedades tanto físicas quanto químicas, isso vale para o componente bruto e para o componente misturado à gasolina. Esse oxigenado não é agressivo aos componentes dos motores automotivos, e quando adicionado à gasolina diminui significativamente a tendência à detonação de acordo com testes realizados por Marchesi et al, 1982, realizados de acordo com normas do CORC (Coordinating Octane Requirement Comitee), levando em consideração a aceleração e a velocidade do veículo. Este mesmo autor cita que como não ocorrem alterações significativas nas características da mistura, a dirigibilidade do veículo é tão boa quanto a um veículo que use outro tipo de combustível convencional. Estes estudos também foram confirmados, pelo EFOA (European Fuel Oxygenates Association). Os testes valem para mistura de MTBE à gasolina, no valor de 10% em volume.

No RGS foram realizados testes de desempenho em veículos carburados, fabricados em 1982 por Dalavia et al 1992. Nestes testes foi constatado algum tipo de carbonização na região das velas de ignição, o que deve-se à razão de mistura ar + combustível, que precisa ser modificada em cerca de 96% de seu valor original, de acordo com as recomendações do setor.

#### 4. ASPECTOS AMBIENTAIS E TOXICOLÓGICOS DO MTBE

O impacto ambiental é o principal motivador do uso dos oxigenados na gasolina como aditivos anti-detonantes, devido ao empobrecimento da mistura, e como consequência as emissões de CO e de HC ficam consideravelmente reduzidas, se comparado a combustíveis derivados exclusivamente de carbono e de hidrogênio. O trabalho realizado por Melchiors et al 1988 em três diferentes tipos de veículos, mostra que essa redução de emissões é bem significativa e situa-se abaixo daquelas exigidas pelo PROCONVE (programa do CONAMA para controle de poluição veicular). Este mesmo autor encontrou em 1994 resultados mais consistentes na análise de emissões de CO e HC resultante de estudos em veículos que trafegaram na região metropolitana da cidade de Porto Alegre. O autor também observou que o índice de produção de poluentes depende também da variação dos calibres do sistema de alimentação dos motores., ou seja, da razão de mistura ar + combustível. Comparado ao etanol, o MTBE apresenta pequena desvantagem no que diz respeito ao índice de emissões, mas tem grande vantagem no que se refere ao aspecto econômico.

Por outro lado, Lloyd et al 1989 sugere que o uso de oxigenados adicionados à gasolina seja somente permitido após um completo estudo dos efeitos ambiental e toxicológicos do produto a ser usado. Também devem ser observados os aspectos de segurança no manuseio e estocagem do produto. O autor sugere que devem ser obrigatoriamente observados: o efeito das emissões veiculares e não veiculares na qualidade e visibilidade do ar ambiente, a exposição pública e contaminação ambiental por substâncias tóxicas associadas ao combustível, e a segurança no armazenamento e manuseio do combustível.

Marchesi et al 1988 e o Office of Research and Development et al 1994 apresentaram estudos sobre o uso de MTBE e o seu impacto ambiental, bem como um estudo de toxicidade aguda, subaguda e efeitos congênitos e na reprodução e metabolismo sobre o homem, dessa substância. Também foi estudado o potencial cancerígeno do MTBE, não demonstrando nenhuma evidencia nesse sentido.

Algumas experiências com voluntários humanos foram realizadas, fazendo com que um grupo de pessoas ficasse expostas ao produto pelo período de uma hora por dia. Os resultados mostraram que não ocorreu sequer irritação nos olhos e vias respiratórias. Cita-se que alguns frentistas e motoristas expostos ao MTBE sentiram náuseas, dor de cabeça e tosse, contrariamente ao que aconteceu com o grupo de voluntários, embora o tempo de exposição tenha sido muitíssimo menor. Acredita-se que isso seja devido à sensibilidade de algumas pessoas ou até mesmo a efeitos psicológicos de quem sofre tais reações, embora o fenômeno não tenha sido constatado em cobaias de laboratório. O limite máximo de exposição a o MTBE fixado pela Conference of Governmental Hygienists é de 40 ppm, embora os motoristas e frentistas acima citados tenham ficado expostos no máximo a 1 ppm. Logo, acredita-se que o MTBE não apresenta efeitos cancerígenos evidentes, nem anomalias toxicológicas ou teratogenia aos humanos.

## 5. DIRIGIBILIDADE

Os aditivos adicionados à gasolina são destinados a reforçar ou aumentar as várias propriedades de desempenho relacionados com a operação satisfatória dos motores de combustão interna, bem como tender a minimizar problemas de estocagem, manuseio e oxidação dos combustíveis. Outro fator importante relacionado com a aditivização dos combustíveis é a dirigibilidade, que é definida como sendo o grau que o motor liga facilmente, marcha lenta regular e ao dirigir haja suavidade com boa resposta à aceleração do veículo em qualquer velocidade. A dirigibilidade pode ser afetada com a temperatura do motor, com a relação ar + combustível, e principalmente com as características do combustível, bem como com a regulagem do motor, assim sendo em climas quentes ou frios o conjunto motor-combustível deve ser perfeitamente sincronizado.

Estudos efetuados em veículos alimentados com gasolina contendo MTBE mostraram que em operações transientes a dirigibilidade não sofre variações significativas, dando uma boa resposta neste sentido, embora a mistura seja mais pobre. Para corrigir o índice de dirigibilidade, devido ao empobrecimento da gasolina com MTBE, usa-se a seguinte expressão:

$$ID = T50 + M/2$$

Onde ID é o índice de dirigibilidade, M é o percentual em massa de MTBE na mistura e T50 é a temperatura dos 50% evaporados do combustível em °C.

## 6. TESTES E TIPOS DE COMBUSTÍVEIS

Os procedimentos experimentais dos testes de desempenho e de consumo específico de combustível do motor baseiam-se na norma ISO 1585 de junho de 1996 e no HVAC Handbook de 1987. Nestas normas são apresentados fatores de correção de torque e potência obtidos fora das condições padrões especificadas. Aqui considera-se a potência líquida como aquela obtida em ensaios dinamométricos, no qual o motor deve estar equipado somente com os componentes auxiliares mínimos imprescindíveis para mantê-lo em funcionamento normal. A norma prevê testes tanto para motores naturalmente aspirados, quanto para motores superalimentados. O freio utilizado para o levantamento dos dados experimentais é um dinamômetro hidráulico com capacidade de frenagem de até 400 KW. A energia de frenagem é dissipada através de um fluxo de água.

O motor utilizado nos testes tem 6 cilindros dispostos em linha, com volume de cilindrada de 4095 centímetros cúbicos, tendo diâmetro do cilindro de 98,4 mm e curso do êmbolo de 89,7 mm. A taxa de compressão do motor é de 8:5, sendo refrigerado por líquido e equipado com sistema de

injeção eletrônica de combustível com processo do tipo seqüencial programável. Com este equipamento é possível mudar todos os parâmetros de injeção de combustível e de ignição dentro de um intervalo amplo, o que possibilita alta maleabilidade das condições de operação do motor.

De acordo com o fabricante, o motor original vem equipado com sistema de injeção eletrônica de combustível tipo semi-seqüencial e fornece potência de 168 CV a 4500 RPM e com torque disponível de 29.1 Kgf m a 3500 RPM.

O fator de correção de potência devido ao afastamento das condições dos testes com as condições padrões especificadas pela norma, é dado usando-se alguns parâmetros, tais como: pressão atmosférica, temperaturas de bulbo seco e de bulbo úmido respectivamente. Assim define-se uma chamada pressão atmosférica seca. A partir desse parâmetro empírico obtêm-se também empiricamente o fator de correção de potência efetiva.

O consumo específico de combustível é medido através do fluxo de massa de combustível admitido pelo motor. Na verdade o fluxo de combustível é pesado durante um certo espaço de tempo. Este método é significativamente mais preciso do que o mais usual, que é simplesmente a medida do fluxo de massa, que varia evidentemente com a densidade do fluido.

Os dois tipos de combustíveis são de natureza comercial, vendidos normalmente em postos de serviços. O mais usual é uma mistura de gasolinas com álcool etílico anidro, com uma proporção de cerca de 24% de álcool na gasolina. O outro combustível é uma mistura de gasolina com MTBE (metil tercio butil éter), que é um subproduto da indústria petroquímica que foi utilizado em algumas regiões do Brasil por longo tempo, e que por força de lei seu uso está temporariamente proibida. A tendência é que haja uma reversão desta lei e que este aditivo volte a ser utilizado em algumas regiões, como aditivo anti-detonante, uma vez que seu custo de produção é significativamente inferior ao custo de produção do álcool etílico anidro.

## 7. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para o levantamento experimental dos dados de torque e de consumo específico de combustível, o funcionamento do motor deve estar dentro de certas condições ambientais, tais como: temperatura do ar de admissão, temperatura do líquido de arrefecimento do motor e índice de renovação do ar da sala de testes. Os testes são realizados a plena abertura da borboleta aceleradora do motor, mas com razão de mistura levemente pobre. Isso tornou-se possível devido à utilização de um sistema de injeção eletrônica de combustível completamente programável. Ao estabilizar-se a rotação do motor por um certo espaço de tempo mede-se o torque e pesa-se a massa de combustível admitida no motor durante este período.

A figura 1 abaixo mostra as curvas de torque para os dois tipos de combustíveis em função da rotação do motor. Nota-se a existência de uma diferença muito tênue no torque dos diferentes tipos de gasolinas para altas e baixas rotações do motor. Entretanto, para giros intermediários do motor os dois tipos de gasolinas apresentam valores similares de torque.

A figura 2 mostra os dados de potência para os dois tipos de combustível, baseados nos dados experimentais obtidos para construir a figura 1. Evidentemente, aqui os valores de potência são praticamente os mesmos para giros intermediários do motor. Apenas para rotações altas e de baixas observa-se valores levemente diferenciados de potência líquida efetiva do motor para os dois tipos de gasolinas. Estes dados são perfeitamente justificáveis devido ao empobrecimento diferenciado dos combustíveis pela adição dos oxigenados. Para correção dos valores de potência torna-se necessário uma nova calibração dos componentes que regulam o fluxo de combustível nestes intervalos de giro do motor. Entretanto, para essa correção dos calibres, torna-se necessário fazer-se uma análise das emissões de CO e HC para estas condições de operação do motor. Sem uma análise detalhada dos gases de escape de tais motores pode-se estar atingindo níveis de emissões fora dos mínimos valores regulamentares. Cabe salientar que o uso desses combustíveis sem alteração na regulação do motor, seguramente apresenta boas condições de desempenho dos motores e garante, por outro lado, boas condições relativas ao impacto ambiental provocado pelas emissões nocivas de natureza veiculares.

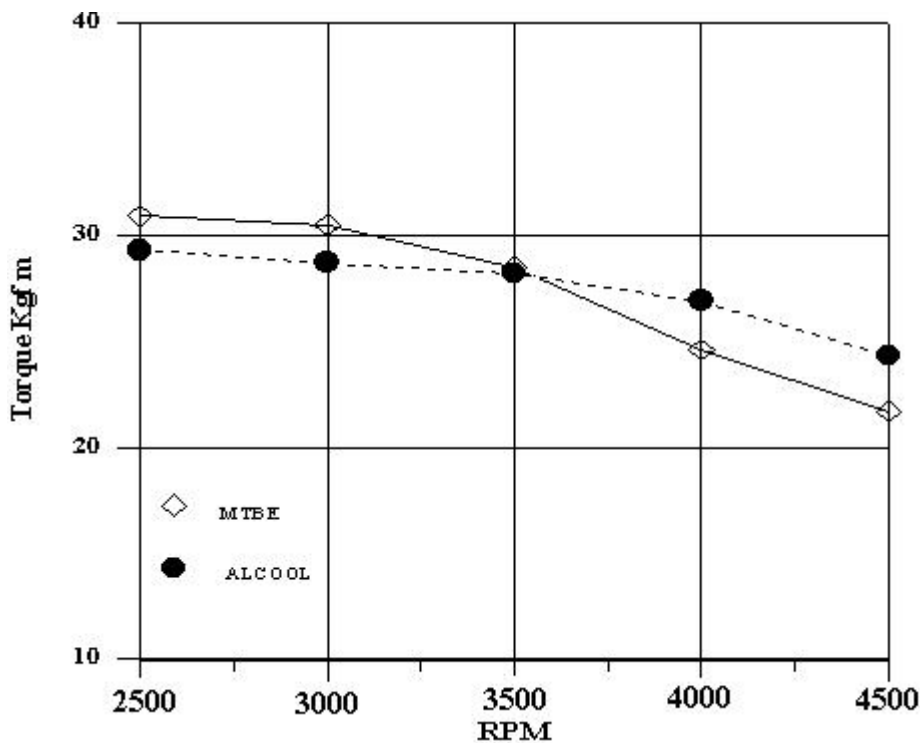


Figura 1. Valores de torque para as misturas de gasolinas com MTBE e álcool etílico anidro respectivamente, em função da rotação de um motor de seis cilindros em linha.

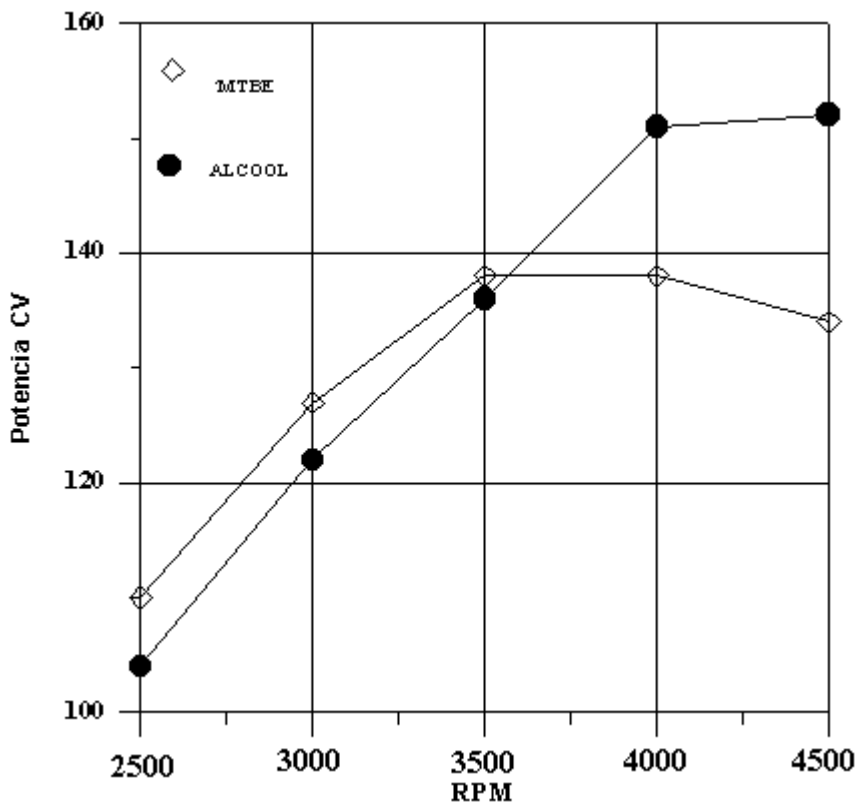


Figura 2 Curvas de potências efetivas desenvolvidas pelo motor de ciclo Otto com seis cilindros em linha calculadas a partir das curvas de torque mostradas na figura 1.

A figura 3 apresenta dados de consumo específico de combustível para os dois tipos de gasolinas, obtidos experimentalmente através da pesagem da quantidade de combustível admitida ao motor durante um certo intervalo de tempo. Neste caso os valores deste consumo são mais evidentemente

diferenciados para os diferentes tipos de combustíveis com diferentes tipos de aditivos anti-detonantes.

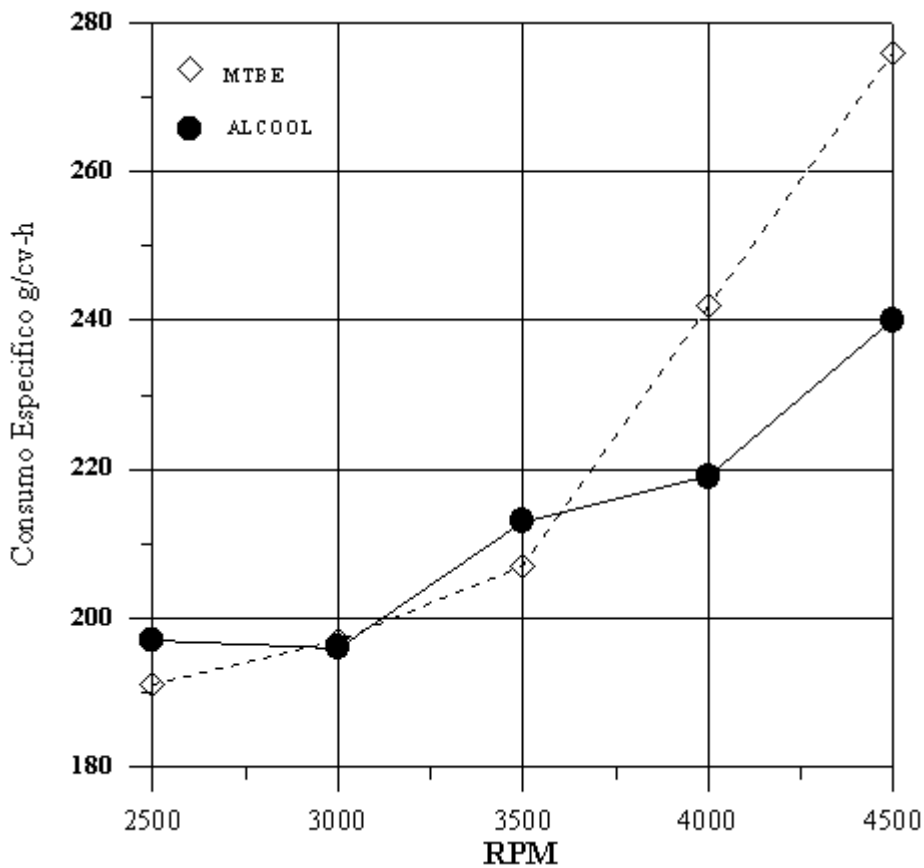


Figura 3. Curvas de consumo específico de combustível

## 8. CONCLUSÕES

Dos resultados, obtidos experimentalmente em laboratório; utilizando-se um processo que acarreta um conjunto de erros ao redor de 1%, pode-se concluir que os tipos de gasolinas utilizados para alimentar motores de combustão interna podem oferecer resultados satisfatórios apenas a partir de uma adequação e otimização do motor, levando-se em consideração os vários parâmetros de performance. Os resultados apresentados neste artigo mostram claramente que um combustível de características não tão significativas pode apresentar uma performance similar a de um combustível com características superiores, caso não haja uma adequação correta do par motor – combustível.

O desempenho de um motor de combustão interna não depende somente do desenho de seus componentes, mas também do combustível utilizado na regulagem correta do motor para esse tipo particular de combustível. Assim sendo, os usuários dos motores de combustão para fins automotivos devem sempre que possível tentar usar sempre o mesmo tipo de gasolina em seus automóveis. No presente estudo nota-se que a gasolina misturada com álcool apresenta uma leve tendência de maior performance para giros mais altos do motor, uma vez que os testes são comparativos. Entretanto isso não é definitivo, pois podem ocorrer alterações dessa performance, caso haja uma adequação correta do par motor - combustível.

## 9. REFERÊNCIAS

- C.T.A, 1994, "Relatório de Ensaio – Influência da Octanagem da gasolina na Eficiência de Conversão de Energia dos \Motores Automotivos – Relatório Final", São José dos Campos, SP, pp. 15-106.
- Dalavia, D., Melchior, d.J., Lima, E.F., Souza Filho, E.P., 1992 "Gasolina com MTBE

- Tendência futura e Experiência no RGS`, Sumário, Seminário sobre qualidade e uso da gasolina, IBP Rio de Janeiro, pp. 1-16.
- HVAC Handbook, 1987, "Engine Test Facilities", Chapter 31, pp. 311-316
- Heywood, J.B., 1988 "Internal Combustion Engine-Fundamentals", Ed. Mc Graw Hill, New York
- Lloyd, A.C., Lents, J.M., Green, C., Nemetn, P., 1985, "Air Quality Management in Lois Angeles; perspectives on Past and Future Emission Control Strategies", JPCA, The journal Of the Air & Waste Management Association, El Monte
- Marchesi, G., Sposini, M., Monti, F., 1988, "Comportamento Automotivo e Impacto Ambiental da Gasolina Contendo MTBE", Encontro, Discussão: Gasolina e Oxigenados Seus Danos Ambientais
- Melchior, D.J., Dalavia, D., Vilanova, L.C., 1997, "Estimativa das Emissões por Fontes Móveis para a Região Metropolitana da cidade de Porto Alegre, REFAP/DITEG/SEDEP, Porto Alegre.
- NBR ISO 1585, 1996, "Veículos rodoviários - Código de ensaio de motores – Potência líquida efetiva, ABNT, pp. 1-30.
- Penido Filho, P., 1980, "O álcool combustível: Obtenção e Aplicação nos Motores", Editora Nobel, São Paulo, pp. 120-180.
- Plint, M., Martyr, A. 1995, "Engine Testing Theory and Practice", Butterworth Heinemann, Oxford, pp. 10-186.

## **PERFORMANCE AND FUEL CONSUMPTION OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE OPERATING WITH ETHANOL-GASOLINE AND MTBE-GASOLINE MIXTURES**

**Pedro Mello**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica  
E-mail: mello@mecanica.ufrgs.br  
Rua Sarmiento Leite, 425 - 90050-170 - Porto Alegre - RS

*Abstract. In this paper a comparison analysis of an internal combustion engine performance operating with ethanol-gasoline and MTBE-gasoline mixtures is presented. The experimental results studies show that the engine performance and engine fuel consumption are function for both fuels mixtures. Therefore, both fuels mixtures can be used without significant problems in the engine performance.*

*Keywords: Engine performance, fuels. Ethanol-gasoline, MTBE-gasoline.*