

INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE DIFERENTES MISTURAS DE ÁLCOOL GASOLINA NOS NÍVEIS DE EMISSÕES EM UM MOTOR A COMBUSTÃO INTERNA DE IGNIÇÃO POR CENTELHA.

Felipe Soto Pau

Núcleo de Engenharia Térmica e Fluidos - EESC-USP, Av. Trabalhador São-carlense, 400, 13566-590 - São Carlos - SP.

felipesp@sc.usp.br

José Antônio da Silva

FUNREI - Fundação de Ensino Superior de São João Del Rei, Pça. Freio Orlando, 170, 36300-000 - São João Del Rei - MG.

jant@funrei.br

Rodrigo Fernando Estella dos Santos

Núcleo de Engenharia Térmica e Fluidos - EESC-USP, Av. Trabalhador São-carlense, 400, 13566-590 - São Carlos - SP.

santosrf@sc.usp.br

Antonio Moreira dos Santos

Núcleo de Engenharia Térmica e Fluidos - EESC-USP, Av. Trabalhador São-carlense, 400, 13566-590 - São Carlos - SP.

asantos@sc.usp.br

Resumo. *Obteve-se os níveis de emissão de CO, CO₂ e NO_x, para um motor com taxa de compressão típica de motor a álcool (11:1), em carga parcial de 60% a 2500rpm, utilizando misturas álcool - gasolina em diferentes proporções. Avaliou-se a influência do índice percentual do álcool misturado à gasolina com relação à emissão de poluentes. Para cada ensaio variou-se os valores de ângulo de avanço da ignição e razão ar combustível para cada mistura visando o melhor desempenho do motor. Foi obtido a partir da curva de pressão no interior da câmara de combustão um índice da detonação que ajudou a verificar o comportamento da combustão. Os resultados demonstram que os índices de emissão de CO₂ e NO_x diminuem com maior adição de etanol, enquanto para o CO mostrou-se mais favorável trabalhar com misturas mais pobres para os mesmos índices de emissões.*

Palavras chave: *Motor a combustão interna, Emission, Mixture ethanol - gas.*

1. Introdução

O motor de combustão interna é, atualmente, uma das principais fontes de poluição do ar. Os gases de exaustão destes motores, resultantes da queima da mistura ar-combustível, contém óxidos de nitrogênio (NO_x), monóxido e dióxido de carbono (CO e CO₂) e hidrocarbonetos (HC) não queimados ou parcialmente queimados. Existem outros gases resultantes da queima, porém estes citados são os que causam maiores danos ao meio ambiente e, conseqüentemente, à saúde. As quantidades relativas de cada gás dependem do tipo e das condições de operação de cada motor.

Segundo Sher (1998), nos países desenvolvidos, nas áreas urbanas, cerca de 40-50% das emissões de HC, 50% de NO_x e 80-90% de CO são provenientes de veículos automotivos. Já na década de (1982-1991), esses níveis tiveram uma diminuição considerável devido a crescente preocupação com a poluição atmosférica.

Uma das alternativas para diminuir a quantidade de alguns gases poluentes no meio ambiente seria adicionar etanol a gasolina. Já que o etanol é considerado como um combustível limpo. A razão para essa qualificação é que, quando comparado com a gasolina e óleo diesel as emissões da combustão do etanol são, em geral, menores e menos agressivas.

Bata e Roan (1989) estudaram o efeito da adição do etanol na gasolina nos gases de exaustão em um motor Ford 2300 cilindradas. Eles observaram uma queda de 40-50% nas emissões de monóxido de carbono e uma queda considerável nas emissões de hidrocarbonetos, comparando-se com a gasolina.

Reuter et al. (1992) analisaram o efeito do uso de aditivos oxigenados na gasolina nos gases de exaustão. Eles obtiveram uma redução de 12,4% nas emissões de CO e 5,4% nas emissões de HC. As emissões de NO_x aumentaram 4,8%.

Em 2001, Pouloupoulos et al., analisando conversores catalíticos, observaram uma diminuição nas emissões de CO e HC quando na adição de uma porcentagem de etanol na gasolina.

Mas sabe-se que, juntamente com um estudo das emissões de motores que operam com misturas álcool-gasolina, somente um controle efetivo da emissão destes gases é que fará com que tenhamos um ambiente cada vez menos poluído. As novas normas de controle de emissões automotivas (NBR 8833, NBR12857, NBR 12858), estão cada vez mais exigentes quanto a isso.

Uma das maneiras de estudar dos produtos da combustão, em laboratório, é fazer uma análise dessas emissões em função da relação λ , uma vez que λ é definido como a relação ar/combustível real pela relação ar/combustível estequiométrica:

$$\lambda = \frac{\left(\frac{A}{C}\right)_{real}}{\left(\frac{A}{C}\right)_{esteq.}} \quad (1)$$

A composição dos produtos da combustão é significativamente diferente para misturas ricas ($\lambda < 1$), e misturas pobres ($\lambda > 1$). A relação estequiométrica da relação ar/combustível ($\lambda = 1$) depende da composição do combustível, porém é o parâmetro informativo para definir a composição da mistura.

Nos motores de ignição por centelha quando a borboleta está totalmente aberta, consegue-se a maior economia, num processo de combustão estável, para valores de $\lambda = 1,1$ e $1,3$. A máxima potência destes motores é obtida para misturas levemente enriquecidas: $\lambda = 0,85 - 0,90$. Já para baixas cargas e marcha lenta é necessário um maior enriquecimento da mistura para alcançar um trabalho estável do motor. No caso de $\lambda < 1$ devido a insuficiência do oxigênio o combustível não se queima totalmente, como consequência durante a combustão o desprendimento do calor é incompleto e nos gases de exaustão aparecem os produtos de oxidação incompleta CO e HC.

Neste trabalho são apresentados e analisados os níveis de emissão de CO, CO₂, e NO_x em função de λ , para um motor com taxa de compressão típica de motor a álcool (11:1), para carga parcial 60%, utilizando misturas álcool-gasolina em diferentes proporções.

2. Metodologia

O motor utilizado nos experimentos foi um GM-151, 4 cilindros em linha, 2474 cc, com taxa de compressão 11:1, carburado, a álcool.

Este motor foi utilizado em um dinamômetro do tipo corrente de Foucault, modelo Schenck-fert-nr-lw-0090 typ w 260.

Para controlar a variação da relação ar/combustível fornecida ao motor, foi instalado na cuba do carburador um tubo através do qual aumentou-se a pressão no seu interior por meio de um compressor de ar, sendo necessário, para isso, tampar o tubo de respiro da cuba do carburador. Este aparelho permite tanto fazer pressão para aumentar a quantidade de combustível fornecida ao motor, como fazer vácuo na cuba do carburador para diminuir a quantidade de combustível.

Para variar o ângulo de avanço da ignição instalou-se um sistema semelhante ao descrito anteriormente. Aproveitando o dispositivo de avanço a vácuo do distribuidor de corrente do motor, ligou-se o mesmo a um compressor e uma válvula de agulha. Variando-se o vácuo no regulador, controlava-se o momento da centelha.

Para medir a pressão no interior do cilindro, utilizou-se um sensor piezométrico AVL, modelo 8QP 500ca. Para a instalação deste sensor, o cabeçote foi furado no primeiro cilindro, depois de observada a estrutura do motor, em especial as galerias para a circulação de água de arrefecimento.

Foi desenvolvido um procedimento para avaliar a detonação a partir da curva de pressão, Alex (2001), obtendo-se um índice de detonação que mostra a intensidade deste processo que prejudica a combustão. Os ensaios de enriquecimento e empobrecimento da mistura ar-combustível foram feitos até atingir um funcionamento estável observado pela balança do dinamômetro e pela curva de pressão obtida no osciloscópio.

O programa de análise do sinal de pressão, visualização e apresentação dos resultados foi desenvolvido em ambiente LABVIEW. Ele lê os dados gravados em formato ASCII pelo software de aquisição e executa a análise.

Os gases de exaustão foram coletados na tubulação de escapamento e filtrados antes de serem analisados. Para isto, utilizou-se uma tomada para unir o coletor de escape a um tubo flexível, que vai conectado a um trocador de calor que funciona com um fluxo contínuo de água para garantir uma baixa temperatura. Este trocador tem como função condensar a água que está em estado de vapor nos gases de exaustão. A água foi retirada dos gases para que não interfira nos resultados apresentados pelos analisadores.

Antes da passagem dos gases pelos analisadores, eles foram filtrados para retirar o particulado sólido, que sempre sai pelo escapamento do motor. Estes filtros auxiliam na condensação da água remanescente que ainda não foi condensada na serpentina do trocador de calor.

Foram utilizados analisadores de CO, CO₂, e NO_x. Estes equipamentos são da marca HORIBA, de fabricação japonesa. Eles foram calibrados com gás padrão, tomando-se sempre o cuidado de efetuar as medidas em condições de regime permanente de funcionamento do motor.

3. Resultados obtidos

Jóvaj (1987) afirma que a composição do combustível a ser usado no motor, exerce uma considerável influência sobre os produtos da combustão. Quando o motor funciona com uma mistura estequiométrica ($\lambda = 1$), a emissão de CO deve ser nula e os valores para C_x H_y são mínimos. A partir do ponto em que a mistura começa a ficar mais rica ($\lambda < 1$), os níveis de

CO, C_xH_y aumentam. Ao empobrecer a mistura ar/combustível ($\lambda > 1$), C_x H_y aumenta, devido ao excesso de ar provocar falhas na combustão deixando de queimar uma fração do combustível, gerando a emissão dos hidrocarbonetos.

O trabalho mostra os índices de emissões obtidos desses gases mostrando-se bastante coerentes com o comportamento teórico evidenciado pela literatura. Uma primeira análise é feita com os dados obtidos para emissão de CO, CO₂, NO_x, acrescentando-se diferentes quantidades em volume de álcool à gasolina (37%, 50%).

3.1. Análise de NO_x

Os óxidos de nitrogênio (NO_x) representam uma mistura de diferentes óxidos (NO, NO₂, e outros), entre os quais os mais tóxicos são o NO₂ e seu polímero N₂O₄ Jóvaj (1987). Os óxidos de nitrogênio se formam na presença de oxigênio nas zonas da câmara de combustão nas quais bruscamente eleva-se a temperatura devido à reação química de oxidação dos hidrocarbonetos. As quantidades de óxido de nitrogênio formadas dependem da quantidade de nitrogênio e oxigênio presentes nos produtos da combustão. Entre os óxidos de nitrogênio que se formam a maior parte é de NO. Quando os produtos da combustão são expulsos para a atmosfera a temperatura diminui e o NO transforma-se em NO₂. Tendo em vista a lentidão dessa transformação, ela não acontece na tubulação de escape, apesar da existência de oxigênio livre, entretanto todo esse processo é finalizado na atmosfera. A quantidade final de NO₂ que se forma nesse processo é resultante da difusão recíproca dos produtos da combustão com o ar atmosférico.

A combustão de etanol tem o potencial de gerar menos óxido de nitrogênio que a gasolina, isto se deve ao alto calor latente de vaporização que possibilita maior refrigeração do motor e devido à menor temperatura de chama. Isto pode ser visto na figura 1, onde o aumento do percentual de álcool na mistura (37% para 50%) provocou a queda dos níveis de emissão desse gás para misturas ricas, estequiométrica e ligeiramente pobre. Já para mistura ar/combustível mais pobre ($\lambda > 1,1$), este efeito não se cumpre devido a pouca quantidade de combustível no interior da câmara de combustão que pode chegar até a extinção parcial da chama, provocando uma diminuição da temperatura máxima do ciclo. Esse comportamento se mostra coerente com análises anteriores feitas por Jóvaj (1987).

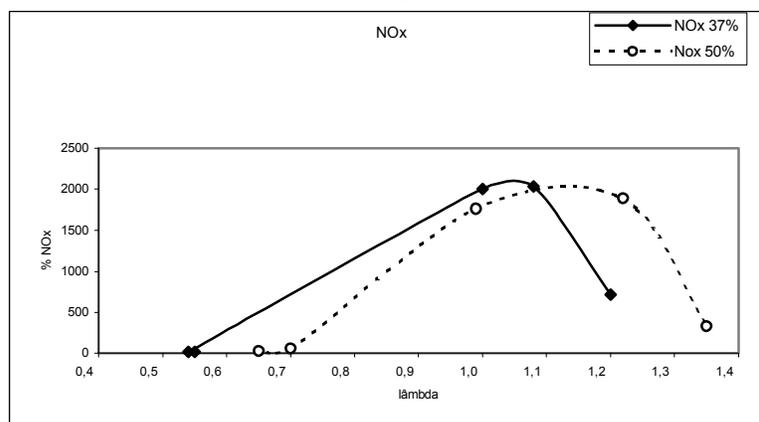
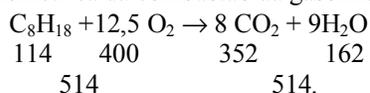


Figura 1. Índice de emissão de NO_x versus λ, para duas misturas de combustível

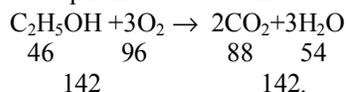
A quantidade de NO_x, com excesso de oxigênio é tanto maior quanto mais elevado for a temperatura máxima do ciclo. Nos motores de ignição por centelha a temperatura máxima do ciclo acontece para valores de λ entre 0,85 e 0,95; entretanto devido a ausência de oxigênio livre, a quantidade de NO_x resultante é pequena. A máxima quantidade de NO_x é formada para valores de λ um pouco maiores que a unidade (λ entre 1,05 e 1,1), que é quando a temperatura difere pouco da temperatura máxima e ao mesmo tempo nos produtos da combustão existe certa quantidade de oxigênio livre.

3.2. Análise de CO₂

Segundo Corsini (1990), a equação estequiométrica da combustão da gasolina representada pelo octano é:



A combustão de um litro de gasolina (0,74Kg) no motor retira da atmosfera 2,597 kg de O₂ e lança 2,285 kg de CO₂ correspondentes a 1163 litros de CO₂. A equação estequiométrica da combustão do etanol é:



A combustão de um litro de álcool no motor (0,8kg) retira da atmosfera 1,669kg de O_2 e lança 1,53 kg de CO_2 correspondente a 779 litros de CO_2 .

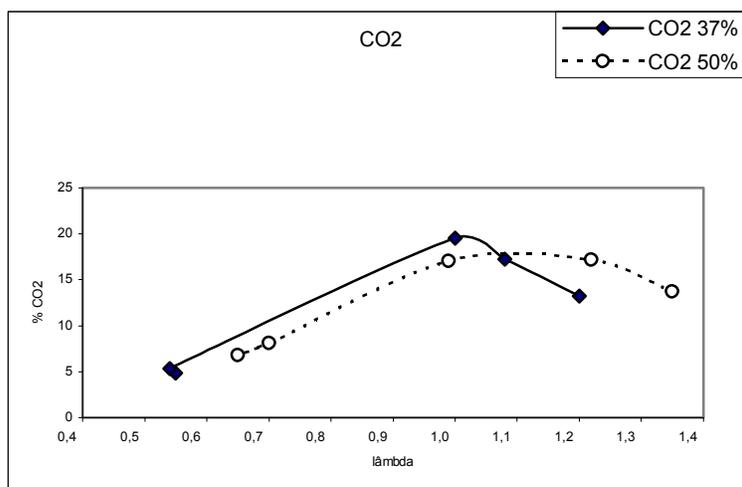


Figura 2. Índice de emissão de CO_2 versus λ para duas misturas de combustíveis.

A análise da Figura 2 mostra que a mistura com maior percentual de etanol apresentou menor quantidade de emissão de CO_2 para valores de $\lambda < 1,1$ aproximadamente, sendo esta faixa de lambda correspondente a um processo de combustão estável. Para valores de $\lambda > 1,1$ a mistura com menos etanol produz menos emissões de CO_2 devido a um processo de combustão menos estável, uma vez que, mais gasolina em condições de taxa de compressão alta (11:1), desfavorece o processo de combustão pela presença da detonação. Tal fenômeno foi comprovado pela curva de pressão medida no interior da câmara de combustão, significando que para mistura “muito” pobre ($\lambda > 1,2$) a detonação foi favorecida com maior quantidade de gasolina na mistura, tanto é assim, que para a mistura com mais etanol o funcionamento estável do motor, foi obtido para valores maiores de lambda ($\lambda=1,35$).

3.3. Análise de CO

Fica claro que para $\lambda < 1$ (misturas ricas), devido à escassez de oxigênio, parte do carbono do combustível oxida-se formando CO e parte do hidrogênio reage com o oxigênio. Isto nada mais é do que a chamada combustão incompleta da mistura ar/combustível, porém a quantidade de CO no escapamento pode ser um índice da combustão incompleta. Observando a Figura 3 verifica-se uma pequena quantidade deste componente nos produtos da combustão para $\lambda > 1$ (misturas pobres). Já para $\lambda < 1$ a formação de CO é considerável significando uma diminuição do efeito térmico da reação de oxidação do combustível. Este efeito foi comprovado pela curva de pressão medida no interior da câmara de combustão.

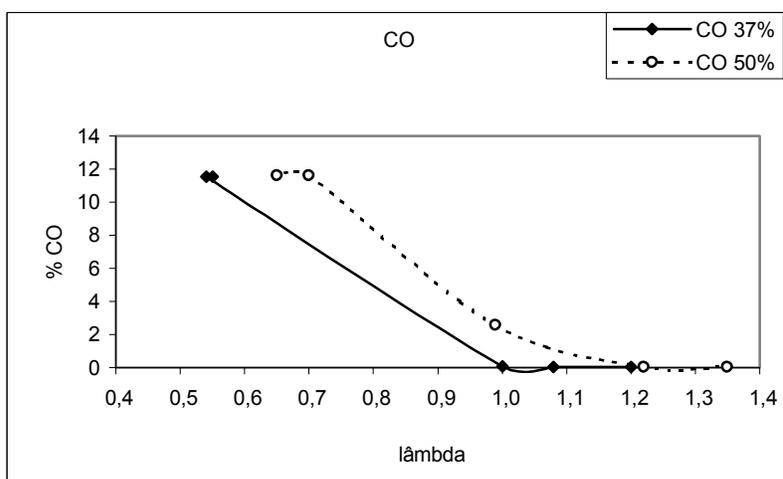


Figura 3. Índice de emissão de CO versus λ para duas misturas de combustíveis.

Da análise da Figura 3 pode-se inferir que a curva correspondente à maior quantidade de etanol foi deslocada para a faixa de misturas mais pobres, isso nos leva afirmar que a mistura com maior quantidade de álcool na gasolina, permite trabalhar com o motor usando misturas mais pobres para manter os mesmos níveis de emissão de CO.

De acordo com essa análise, a primeira grande vantagem do álcool é a sua grande tolerância ao excesso de ar, mantendo-se com chama estável até $\lambda=1,35$, enquanto que a gasolina tem o seu limite em $\lambda=1,1$. Esta característica, que corresponde ao limite de dirigibilidade do veículo, permite a utilização de misturas mais pobres e, com isto, reduções significativas da emissão de poluentes.

4. Conclusões

Os resultados das emissões obtidos se mostraram com um comportamento bem coerente com os já apresentados pela literatura especializada. A combustão de etanol tem o potencial de gerar menos óxido de nitrogênio que a gasolina, isto se comprovou para misturas ricas, estequiométrica e ligeiramente pobres. Já para mistura ar/combustível mais pobre ($\lambda > 1,1$), este efeito não se cumpre devido a pouca quantidade de combustível no interior da câmara de combustão que pode chegar até a extinção parcial da chama, provocando uma diminuição da temperatura máxima do ciclo. A mistura com maior percentual de etanol apresentou menor quantidade de emissão de CO₂ para valores de $\lambda < 1,1$ aproximadamente, sendo esta faixa de lambda correspondente a um processo de combustão estável. Uma mistura com maior quantidade de etanol na gasolina, permite trabalhar com o motor usando misturas mais pobres para manter os mesmos níveis de emissão de CO, significando que a maior tolerância do etanol à combustão com excesso de ar, permite uma queima mais completa e menor emissão de monóxido de carbono. O alto calor latente de vaporização do etanol aumenta o rendimento global do motor por diminuir a sua rejeição de calor, além de inibir ainda mais o fenômeno da detonação.

5. Agradecimentos

Este trabalho recebeu o suporte da Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP: processos 98/13542-4 e 00/05188-8).

6. Referencias Bibliográficas

- Sanches, A.G., Pau, F.S., Silva, J.A., Santos, M.A., S., 2001, "Identification and Quantification of Knock in Internal Combustion Engines Using Spectral Analysis", SAE Technical paper 2001-01-3923.
- Sher, E., 1998, "Handbook of Air Pollution from Internal Combustion Engines: Pollutant Formation and Control", Academic Express, San Diego, USA, pp.1-663.
- Bata, R.M., Roan, V.P., 1989, "Effects of ethanol and or methanol in alcohol – gasoline blends on exhaust emissions", Journal of Engineering for Gas Turbines and Power III, pp432-438.
- Reuter, R.M., et al., 1992, "Effects of oxygenated fuels and RVP on automotive emissions auto/oil quality improvement program", SAE Technical Paper 920326, pp. 391-412.
- Poulopoulos, S.G., Samaras, D.P., Philippopoulos, C.J., 2001, "Regulated and Unregulated Emissions From an Internal Combustion Engine Operating on Ethanol-Containing Fuels", Atmospheric Environment, Vol. 35, pp.4399-4406.
- NBR8833, "Determinação da Conformidade de Veículos Leves com os Padrões Estabelecidos para Emissão de Escapamento", 1995, ABNT.
- NBR12857, "Gases e Misturas Gasosas para Utilização em Laboratório de Emissão Veicular, 1995, ABNT.
- NBR12858, "Gases e Misturas Gasosas utilizados em laboratório de emissão veicular – Determinação da Concentração, Grau de Pureza Mínima e Contaminantes, 1995, ABNT.
- Jóvaj, M.S., Maslov V. I., 1987, "Motores de Automóvil". Editorial Pueblo.Cuba.
- Corsini, R., 1990, "A Era do Álcool e o Efeito Estufa", Fundação Teodoro Souto, São Carlos SP.

INFLUENCE OF THE USE OF DIFFERENT BLENDS OF ETHANOL-GASOLINE IN THE LEVELS OF EMISSIONS IN A INTERNAL COMBUSTION ENGINES OF SPARK IGNITION.

Felipe Soto Pau

Núcleo de Engenharia Térmica e Fluidos - EESC-USP, Av. Trabalhador São-carlense, 400, 13566-590 - São Carlos - SP.
felipesp@sc.usp.br

José Antônio da Silva

FUNREI - Fundação de Ensino Superior de São João Del Rei, Pça.. Freio Orlando, 170, 36300-000-São João Del Rei-MG.

jant@funrei.br

Rodrigo Fernando Estella dos Santos

Núcleo de Engenharia Térmica e Fluidos - EESC-USP, Av. Trabalhador São-carlense, 400, 13566-590 - São Carlos - SP.

santosrf@sc.usp.br

Antonio Moreira dos Santos

Núcleo de Engenharia Térmica e Fluidos - EESC-USP, Av. Trabalhador São-carlense, 400, 13566-590 - São Carlos - SP.

asantos@sc.usp.br

***Abstract.** . The emissions level of CO, CO₂ and NO_x was obtained for a engine with typical compression rate alcohol-fuelled engines (11:1), in partial load of 60% and 2500 rpm, using alcohol-gasoline blends in different proportions. The influence of the percentage index of alcohol mixed to the gasoline was evaluated with respect to the poluentes emission. For each test the ignition timing and air-fuel ratio were varied for each blend aiming the best performance of the engine. From the pressure curve inside the combustion chamber a detonation index was obtained to verify the combustion characteristics. The results demonstrate that the CO₂ and NO_x indexes of emission decrease with larger ethanol addition, while the CO results have shown more favorable operation whit leaner blends for the same indexes of emissions.*

Keywords: Internal Combustion Engines, Emissions, Blends Ethanol Gasoline.