

1. INTRODUÇÃO

Os motores a combustão interna continuarão sendo nos próximos anos a principal forma de propulsão dos veículos, justificando as intensas atividades de pesquisa e desenvolvimento nessa área. O objetivo de tais atividades é alcançar metas de uso de combustíveis alternativos, bem como de redução das emissões de poluentes de efeito local ou de gases do efeito estufa, que contribuem para o aquecimento global.

Diante disso, torna-se cada vez mais importante conhecer e estudar os fenômenos da combustão em motores e entender os mecanismos que afetam o seu desempenho, consumo de combustível e emissões. Apesar dos estudos relacionados aos processos de combustão de motores terem se iniciado no final do século XIX, ainda hoje, eles são considerados de alta complexidade, devido à ocorrência paralela de diversos fenômenos físicos, tais como a cinética química, escoamentos de fluidos, processos de transferência de calor e características de combustível.

Atualmente, há no Brasil duas características particulares que destacam o mercado de combustíveis e de veículos leves do resto do mundo: a utilização de etanol como combustível automotivo e a venda, em larga escala, de veículos flexíveis capazes de funcionar com gasolina, etanol e suas misturas. Tais características motivam o melhor entendimento da interação entre essa tecnologia de motor com os diversos combustíveis possíveis. Este trabalho se destina a estudar parâmetros de desempenho e de combustão de um motor flexível utilizando etanol, investigando ainda o impacto do conteúdo de água no combustível para o funcionamento do motor.

O etanol foi utilizado oficialmente como combustível automotivo no Brasil pela primeira vez antes da Segunda Guerra Mundial. Tal experiência consistia na adição de etanol anidro à gasolina inicialmente, em 5% de volume (Decreto N° 20.169/1931) e, posteriormente, até 10% do volume (Decreto N° 59.190/1966).

Porém, o marco efetivo da entrada do etanol na matriz energética brasileira foi o lançamento do ProÁlcool, em 1974, como reação ao primeiro choque do petróleo que gerou altas significativas nos preços desse combustível fóssil. Em sua fase inicial, o programa focou o aumento progressivo do percentual de etanol anidro

(com até 0,7% em massa de água) na mistura com gasolina pura (gasolina A). A meta almejada era de 20% de adição de etanol anidro à gasolina (gasolina C).

Com o segundo choque do petróleo, em 1979, ampliou-se o programa com a adaptação de automóveis do ciclo Otto para rodar com etanol hidratado (com até 7,4% em massa de água). Os incentivos fiscais à aquisição de veículo a etanol hidratado e ao preço deste combustível para o consumidor promoveram o rápido crescimento do mercado no Brasil. A participação de veículos a etanol hidratado nas vendas totais de veículos leves passou de 0,3% em 1979 para 92,2% em 1985 (ANFAVEA, 2009). A partir do final da década de 80 ocorreu o declínio do mercado de etanol hidratado devido à queda do preço do petróleo no mercado internacional e também aos preços mais atrativos do açúcar para exportação, considerando-se que a indústria sucroalcooleira optou por maximizar a produção desse alimento em detrimento do combustível. Tais conjunturas contribuíram para a crise de abastecimento de etanol, ocorrida em 1989. As vendas de veículos leves a etanol hidratado no mercado interno caíram sucessivamente, sendo registrada participação de 1,2% vendas de veículos leves em 2001 (ANFAVEA, 2009). Nesse período, excetuando os momentos agudos de escassez de etanol no mercado interno, toda a gasolina comercializada no país possuía acima de 20% de etanol anidro, em volume (LEITE, 1997).

No exterior, somente é usado o etanol anidro como aditivo, normalmente até 10%. Uma outra aplicação é a mistura de 85% de etanol anidro com 15% de gasolina, o E85. No Brasil, por força de lei federal o etanol anidro é atualmente adicionado na proporção de 20% a 25% em volume à gasolina comercializada nos postos de serviço do país. Em 2003, devido à iniciativas governamentais, o programa de etanol foi reativado no país com o lançamento da tecnologia flexível, com veículos capazes de utilizar gasolina C, etanol hidratado e suas misturas como combustível. O volume de etanol hidratado vendido no mercado interno saltou de 3.245.322 m³ em 2003 para 16.470.948 m³ em 2009 (ANP, 2010). Já o etanol anidro tem a sua demanda estável ou em discreta elevação no mercado nacional, acompanhando a tendência da gasolina C (ANP, 2010).

Do ponto de vista técnico, a razão do etanol adicionado à gasolina C ser anidro, tem origem no problema de separação de fases (PENIDO, 1983). O etanol anidro possui concentração muito pequena de água (até 0,7% em massa), enquanto o etanol hidratado, vendido nos postos de serviço, pode possuir até 7,4% de água

em massa, ou seja, uma concentração cerca de dez vezes maior. Pelo fato de água e gasolina não serem miscíveis e também de água e etanol possuírem elevada afinidade química, há o risco de formação de duas fases líquidas (gasolina e etanol+água) em baixas temperaturas, caso o etanol hidratado seja misturado à gasolina A. Outro risco iminente é a possível presença de pequenas contaminações adicionais de água no etanol hidratado, comuns em tanques de postos de serviço, que acarretariam a separação de fases em temperaturas mais elevadas.

Por outro lado, a decisão pelo uso do etanol hidratado em lugar do anidro nos veículos a gasolina inicialmente convertidos residuiu na preocupação com as maiores temperaturas resultantes do processo de combustão do etanol (MELO, 2007) e pelas maiores taxas de compressão adaptadas para esse combustível. Nesses casos, a água contida no etanol hidratado atuava como refrigerante da câmara de combustão e como incrementador de octanagem do combustível, respectivamente (PENIDO, 1983).

Diante da existência de duas especificações de etanol no país, o presente trabalho lançou mão da infraestrutura experimental instalada no CENPES (Centro de Pesquisas e Desenvolvimento da PETROBRAS) para medir parâmetros de desempenho e de combustão de um motor flexível, equipado com sistema de injeção eletrônica programável, funcionando com etanol anidro e hidratado em três condições operacionais distintas. A partir dos dados experimentais de desempenho e com base na teoria de motores de combustão interna (HEYWOOD, 1988) foram obtidos ainda o rendimento térmico, o rendimento volumétrico e a pressão média efetiva. Partindo-se dos dados de pressão em um dos cilindros do motor durante a combustão, obteve-se a temperatura, o calor liberado, taxa de liberação de calor, a fração de massa queimada e a duração da combustão. Tais parâmetros foram calculados para cada um dos combustíveis nas diferentes condições operacionais propostas. Posteriormente, foram confrontados com o objetivo de estabelecer comparações entre os desempenhos do etanol anidro e hidratado, bem como de correlacionar os parâmetros de desempenho e de combustão medidos e/ou calculados.

1.1. OBJETIVO DO TRABALHO

O presente trabalho tem por objetivo realizar um estudo comparativo do desempenho, em banco de provas, de um motor multicomcombustível do ciclo Otto equipado com um sistema de injeção eletrônica programável, funcionando com etanol hidratado e etanol anidro. Para tanto, serão conduzidos, entre outros, ensaios de consumo de combustível, potência, torque e emissões de poluentes com esses dois combustíveis, em diferentes condições de operação, bem como medição de pressão por um sensor instalado em um dos cilindros do motor. A partir da medição de pressão serão calculados a temperatura, o calor liberado, a taxa de liberação de calor, a fração de massa queimada e a duração da combustão nos casos estudados. Também serão avaliados os efeitos da variação do conteúdo de água no etanol e a influência da relação ar-combustível e do avanço de ignição sobre o desempenho e a combustão em motor multicomcombustível. Serão estabelecidas correlações entre as variáveis de desempenho medidas e os parâmetros de combustão calculados, bem como realizadas comparações com resultados obtidos em veículos flexíveis. Finalmente, os resultados dos parâmetros de desempenho medidos no motor multicomcombustível serão comparados com resultados obtidos para veículos flexíveis comerciais em ensaios de consumo de combustível, emissões de poluentes e de retomada de velocidade.

1.2. DESENVOLVIMENTO DA DISSERTAÇÃO

No Capítulo 2 é apresentada uma revisão bibliográfica sobre o histórico do etanol no Brasil e no mundo, destacando as principais características do etanol hidratado e do etanol anidro, bem como as suas interações com os motores de combustão interna. É feita uma explicação sobre a tecnologia flexível dos motores comercializados atualmente no Brasil e são mencionados ainda resultados de trabalhos experimentais que utilizaram etanol e/ou motores multicomcombustível.

No Capítulo 3 é feita uma descrição da teoria envolvendo os motores de combustão interna do ciclo Otto, utilizada para a determinação dos parâmetros geométricos, de desempenho, emissões e combustão abordados nesse trabalho. São apresentadas as equações e as hipóteses para a realização dos cálculos necessários.

O Capítulo 4 apresenta a infraestrutura experimental utilizada para a obtenção dos resultados, descrevendo o motor, sistemas de condicionamento de ar e de combustível, a central eletrônica programável e os sistemas de medição e aquisição dos parâmetros de desempenho e de combustão estudados.

No Capítulo 5 é descrito o procedimento adotado para a obtenção dos dados experimentais, apresentando os pontos operacionais, os parâmetros de injeção e ignição e os combustíveis utilizados no experimento. São apresentados os critérios de adoção dos pontos operacionais, os métodos de otimização destes e de repetição dos ensaios.

No Capítulo 6 são apresentados os resultados comparativos entre o etanol anidro e o etanol hidratado, sendo comentados os efeitos da água e das configurações de rotação, carga, mistura e ignição nos parâmetros de desempenho e de combustão do motor multicomcombustível. São apresentados também resultados obtidos em veículos flexíveis utilizando os dois combustíveis.

O Capítulo 7 aborda as considerações finais a respeito do trabalho, bem como as conclusões obtidas. São apontadas ainda oportunidades de atividades futuras que envolvam o tema abordado e enriqueçam o presente trabalho.