

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi realizado ensaio de motor multicomcombustível com sistema de injeção de combustível programável em banco de provas utilizando etanol anidro e etanol hidratado em três pontos de operação distintos: potência máxima (5500 RPM a plena carga), torque máximo (2250 RPM a plena carga) e RPM de cruzeiro (1900 RPM com 8° de abertura da borboleta). Para tais pontos, foram testadas três configurações: etanol anidro e etanol hidratado com calibrações otimizadas para cada um desses combustíveis, bem como etanol anidro com a calibração otimizada para o etanol hidratado. Dessa forma, obteve-se resultados de parâmetros de desempenho e de combustão, os quais permitiram comparações entre os combustíveis e as configurações de teste.

Os principais resultados experimentais para os parâmetros de desempenho foram potência, torque, consumo de combustível, mássico e específico, rendimento térmico, rendimento volumétrico, pressão média efetiva e emissões de THC, CO, NOx e CO₂. Para os parâmetros de combustão, foram obtidos pressão e temperatura no cilindro, calor liberado, calor aparente, calor perdido e calor total, fração de massa queimada, atraso e duração da combustão, bem como taxa de liberação de calor.

7.1. CONCLUSÕES

Dos resultados experimentais para potência, torque, rendimento térmico e pressão média efetiva, conclui-se que nos pontos operacionais de potência e torque máximos foram evidenciadas de forma mais clara as diferenças entre o etanol anidro, independentemente da configuração de teste adotada, e o etanol hidratado, sempre com vantagem para o uso do etanol anidro. No ponto de RPM de cruzeiro, devido às suas características de baixas carga e rotação do motor, os resultados apresentaram diferenças muito pequenas. Porém, nessa condição de teste, o etanol hidratado atingiu potência e torque ligeiramente maiores que o etanol anidro. O consumo de combustível, tanto mássico quanto específico, foi menor para o etanol anidro, também independentemente da configuração de teste adotada, nos três

pontos de operação. Foi obtido maior rendimento volumétrico com o uso do etanol hidratado nos três pontos de operação.

As emissões de THC e CO apresentaram tendências de redução com a utilização do etanol anidro em comparação com o etanol hidratado. Quanto à influência do avanço de ignição nas emissões desses poluentes, foi possível observar aumento nas emissões de THC no ponto de RPM de cruzeiro, onde a diferença entre os ângulos de liberação da centelha foi maior. Para o CO, ocorreu aumento nos pontos de potência e torque máximos. As emissões de NOx foram menores para o etanol hidratado em potência máxima e em RPM e cruzeiro, enquanto em torque máximo os valores apresentaram tendências divergentes. As emissões de CO₂ foram maiores em RPM de cruzeiro, com valores semelhantes entre as configurações de teste. Porém, decaíram para valores semelhantes em potência e torque máximos, com exceção do etanol hidratado em potência máxima que apresentou valores ainda mais baixos.

Em relação aos parâmetros de combustão, observou-se que na condição de torque máximo foram atingidos os maiores valores de pressão, temperatura, calor total liberado e taxa de liberação de calor, além de menores atraso e duração da combustão. Tais parâmetros também foram comparados sob a influência da mudança de combustível e do ângulo de avanço da ignição.

Quanto à mudança de combustível, notou-se que as maiores pressões e temperaturas no cilindro foram alcançadas pelo etanol anidro. Devido à otimização adotada, o calor total liberado foi equivalente para os dois combustíveis, tornando o estudo das parcelas de calor aparente e calor perdido fundamental para explicar o desempenho dos dois combustíveis. Outro fato é que o etanol hidratado apresentou maiores atraso e duração da combustão quando comparado ao etanol anidro. A partir das taxas de liberação de calor, em conjunto com a análise de calor perdido, foram observadas tendências maior trabalho útil ao motor com o etanol anidro no ponto de potência máxima. No ponto de torque máximo, maiores taxas de liberação de calor foram verificadas para o etanol hidratado. No entanto, a hipótese de parte da energia liberada ter sido consumida para aumento da temperatura da água presente nesse combustível e não para fornecimento de trabalho ao motor, explicou o fato de não ter sido obtido maiores valores de potência. Em RPM de cruzeiro, observou-se que o etanol hidratado resultou em trabalho útil ao motor muito próximo daquele para o etanol anidro.

Quanto à mudança do ângulo de avanço, o efeito principal foi o deslocamento lateral das curvas de pressão e de taxa de liberação de calor. Ou seja, quando a centelha foi antecipada, o mesmo ocorreu com o aumento da pressão e da liberação de calor. Com o etanol anidro, devido ao seu menor atraso da combustão, foram obtidos ângulos de avanço ótimos mais próximos do PMS do que para o etanol hidratado.

Foi possível, a partir dos resultados dos parâmetros de combustão e das diferenças nas características dos combustíveis, explicar os resultados obtidos para os parâmetros de desempenho. A pressão no cilindro e a pressão média efetiva mostraram forte correlação. A temperatura durante o ciclo de compressão/expansão e o avanço de ignição serviram de base para as conclusões sobre a formação de NOx. A partir do atraso e duração da combustão, do calor aparente e perdido, bem como da taxa de liberação de calor foi possível avaliar o trabalho útil ao motor e, conseqüentemente, compará-los com torque, potência e rendimento térmico obtidos. As diferenças no rendimento volumétrico se basearam na influência da maior presença de água no etanol hidratado.

De uma forma geral, o motor multicomcombustível utilizado no presente trabalho demonstrou melhor desempenho utilizando etanol anidro, estivesse ele otimizado para este combustível ou não. No entanto, observou-se que para o ponto de RPM de cruzeiro, os desempenhos dos dois combustíveis foram equivalentes, indicando que em condições brandas de operação as diferenças entre os combustíveis não exerceram forte influência. Os resultados apresentados do motor calibrado para o etanol hidratado funcionando com etanol anidro estão coerentes com aqueles obtidos em veículos flexíveis (também preparados para o uso do etanol hidratado) testados em dinamômetro de chassi para medição de retomada de velocidade, consumo de combustível e emissões de poluentes. Ou seja, para as condições testadas, o motor multicomcombustível otimizado para o etanol hidratado, assim como os veículos flexíveis, obtiveram melhor desempenho ao utilizar etanol anidro do que o próprio etanol hidratado. Comparando-se os resultados de mudança no ângulo de ignição, não foram encontradas diferenças significativas no desempenho do motor utilizando as calibrações ótimas para o etanol anidro ou para o etanol hidratado, a menos das emissões de NOx, a qual foi minimizada quando utilizada a calibração ótima para o etanol anidro.

7.2. TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se como continuação do presente trabalho a investigação do desempenho e combustão de etanol em motor multicomcombustível contendo teores de água mais elevados, de forma a se estabelecer curvas de resultados em função da quantidade de água no combustível e estudar com mais detalhes a influência da água no processo de combustão.

Outra sugestão é incluir estudos sobre a tendência à detonação, detalhando em quanto se poderia alterar o avanço de ignição até atingir limite de detonação do motor. Isso possibilitaria medir o subdimensionamento do motor em relação à utilização do etanol. Um aperfeiçoamento ainda maior seria instrumentar um veículo flexível com sensor de pressão ou reproduzir, em bancada, o ciclo dinâmico utilizado para medição de emissões em veículos, com o objetivo de obter dados de desempenho e combustão em situações reais de utilização.

Os resultados obtidos no presente trabalho podem ser incrementados com a adoção de modelos mais sofisticados para o cálculo dos parâmetros de combustão, considerando, por exemplo, a variação da razão de calores específicos γ com a temperatura ao longo da combustão.

Outra oportunidade de melhoria seria estudar melhor a correlação dos fatores de correção introduzidos no cálculo do calor perdido com diferentes combustíveis nacionais em diferentes condições de operação. Pode-se ainda explorar a questão da influência do avanço de ignição na formação de NOx, bem como estudar com mais detalhes as diferenças de desempenho entre o etanol anidro e o etanol hidratado sob condições brandas de operação do motor.

Finalmente, poderia ser realizado estudo a respeito do impacto do aumento da temperatura na câmara de combustão, resultante do uso do etanol anidro, nas temperaturas do fluido de refrigeração e do óleo do motor, bem como as eventuais modificações na qualidade da partida do motor a frio com diferentes teores de água misturados ao etanol.