

## 6 Conclusões e Recomendações

De acordo com os resultados apresentados no capítulo anterior, chegaram-se às seguintes conclusões:

### Emissões de CO e HC

Sobre a operação Diesel-gás sem restrição do ar, as emissões específicas de monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos não queimados (HC), são consideravelmente elevadas quando comparadas à operação Diesel. À medida que se aumenta a taxa de substituição, observa-se um crescimento nos índices destas emissões e, somente em altas cargas e máximas taxas, uma queda é observada.

Na operação Diesel-gás, o enriquecimento da mistura, através da restrição parcial do ar, causa uma queda notável nas emissões de CO e HC e, conseqüentemente, aumento no rendimento térmico. Porém, estes resultados são mais acentuados em baixas cargas, com a mínima vazão do ar e a máxima taxa de substituição.

Os níveis de CO e HC apresentam uma queda acentuada até a razão de equivalência alcançar um valor de 0,67. Acima deste valor, tipicamente em cargas superiores a 50% e com restrição da vazão do ar, estas emissões tornam-se praticamente inalteradas. As emissões de CO para razões superiores a 0,67 resultam em índices semelhantes aos obtidos em baixas cargas da operação Diesel tradicional.

### Emissões de NO<sub>x</sub>

Ao que se refere às emissões específicas de óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) na operação Diesel-gás sem restrição do ar, o nível destas é mais baixo quando comparado à operação Diesel tradicional. Porém, à plena carga, em baixas rotações e operando com máxima taxa de substituição, as emissões de óxidos de

nitrogênio são levadas a níveis superiores. Assim, o tempo de residência dos gases dentro do cilindro, maior em baixas rotações, seria um fator que contribui no acréscimo deste poluente.

A restrição parcial do ar acarreta certo aumento nas emissões de  $\text{NO}_x$ , tendendo a serem maiores em altas cargas. Por outro lado, em baixas cargas e certas rotações (onde a vazão de ar não é extremamente reduzida), os índices destes poluentes permanecem inferiores aos da operação Diesel.

Razões de equivalência acima de 0,67, nas quais encontraram-se as menores emissões de HC e CO, causam os maiores acréscimos das emissões de  $\text{NO}_x$ .

### Emissões de MP

Como também é verificado, existe uma boa diminuição das emissões específicas do material particulado (MP) na operação Diesel-gás. Este efeito é, contudo, mais acentuado em altas cargas do motor e altas taxas de substituição.

A restrição parcial do ar origina um pequeno incremento do MP. Entretanto, estes começam a cair conforme aumenta a taxa de substituição, tornando-se insignificantes em máximas taxas. Já em mínima carga, a queda da vazão do ar gerou uma diminuição deste poluente.

### Outras Observações

O motor Diesel-gás, operando com máxima taxa de substituição, inclusive com restrição parcial do ar de admissão, não aceitou misturas com razões de equivalência total acima de 0,83 da estequiométrica, e praticamente não trabalhou com razões inferiores a 0,3. Contudo, estes valores foram sempre superiores, em toda a faixa de operação, quando comparados ao modo Diesel.

A máxima redução do ar origina uma queda notável no valor da máxima taxa de substituição. Entretanto, este efeito é mais acentuado em altas cargas. Tal fato deve-se ao aumento do jato piloto Diesel, a fim de garantir a correspondente combustão adequada.

Em relação ao rendimento térmico, verificou-se que os aumentos alcançados através da redução do ar são alcançados acima de certo valor de taxa de substituição (entre 20% e 50%, para baixas cargas). Em plena carga, esta redução da vazão do ar acarreta rendimentos superiores à operação Diesel. Já em baixas cargas, foram alcançados os melhores ganhos, porém, estes ainda são inferiores aos verificados na operação Diesel.

Verificou-se que a eficiência volumétrica da operação Diesel é ligeiramente superior quando comparada à operação Diesel-gás sem restrição do ar. Tal efeito é, entretanto, superior em máxima carga e altas taxas de substituição, basicamente pelo maior deslocamento parcial do ar, devido ao gás natural.

A adição da borboleta de restrição parcial da vazão do ar, na versão Diesel-gás, é o principal fator limitador de seu desempenho, principalmente em baixas cargas (devido ao maior fechamento da borboleta). As menores eficiências volumétricas, em cargas baixas, originam as maiores reduções das emissões de CO e HC e, como era de se esperar, os maiores incrementos no rendimento térmico e temperatura de escape.

Cabe também destacar a contribuição do presente trabalho, no que diz respeito à redução parcial de um dos principais problemas envolvendo a combustão em motores Diesel-gás: a queima incompleta de misturas pobres em cargas baixas. Embora os resultados de emissões ainda sejam superiores aos encontrados na operação Diesel, estas foram notavelmente reduzidos.

Sugere-se que, em trabalhos futuros, para altas cargas do motor, seja evitada a redução excessiva da vazão do ar, a fim de prevenir um maior aumento nas emissões de óxidos de nitrogênio.

Também se recomenda que, especialmente em baixas cargas, sejam avaliados os efeitos do avanço da injeção do óleo Diesel, o pré-aquecimento da mistura e a recirculação parcial dos gases de escapamento (EGR), a fim de se estabelecer até que ponto estes métodos podem melhorar a redução das emissões obtidas (sobretudo as de CO e HC), sem diminuir o desempenho do motor.

O hidrocarboneto predominante na troposfera é o metano, considerado um gás de efeito estufa. Portanto, a fim de reduzir este efeito, se torna importante a redução das emissões de hidrocarbonetos totais na operação Diesel-gás.