

## 6 Conclusões e Recomendações

A tecnologia HCCI é considerada como um novo processo de combustão, permitindo economizar o uso de combustível e diminuir as concentrações de  $\text{NO}_x$  e MP nas emissões veiculares. Um estudo experimental foi desenvolvido para analisar a combustão HCCI num motor ciclo diesel de quatro tempos utilizando gasolina como combustível. Uma serie de testes foram planejados e conduzidos para estudar os efeitos de parâmetros de controle na combustão HCCI. As principais conclusões do presente trabalho assim como as recomendações futuras são mencionadas a continuação.

### 6.1. Conclusões

- Os estudos experimentais demonstraram que a combustão HCCI é caracterizada pela rápida combustão e rápida velocidade na liberação de energia quando qualquer parâmetro de controle (temperatura da mistura, quantidade de combustível e rotação do motor) era variado.

- A temperatura da mistura, o fator lambda e a rotação do motor foram variados e sua influência no processo de auto-ignição e combustão HCCI foi analisada. Tanto o início da auto-ignição como a máxima de pressão foram consideradas sensíveis a todos os parâmetros de controle do motor, entre os quais a temperatura da mistura apresentou a maior influência no início da auto-ignição e o fator lambda no avanço da ignição e na liberação de energia térmica.

- O fator lambda pode ser utilizado para diminuir os atrasos de ignição em condições HCCI, tendo uma grande influência na liberação de calor principalmente quando se trabalha na faixa de 2,6 até 2,9 já que maior quantidade de combustível está sendo injetado.

- A rotação do motor tem uma influência sobre a faixa de operação onde o motor pode trabalhar no modo HCCI, sempre considerando valores mínimos da variação de ciclo a ciclo ( $COV P_{max}$ ). Nestes ensaios observou-se que nas rotações de 1800 e 1900 RPM, o motor apresenta menores valores de  $COV P_{max}$  e menor variação na aquisição dos valores de torque ( $COV Torque$ ).

- O  $COV$  de máxima variação de ciclo a ciclo da pressão, diminui com o incremento da razão de equivalência até atingir a zona de detonação onde um incremento nos valores de  $COV$  é observado.

- O aumento da pressão e conseqüentemente, os picos máximos de pressão se incrementam com a variação do  $\lambda$  e com temperatura da mistura. Qualquer variação na injeção de combustível vai apresentar um efeito direto na liberação de energia e, portanto na geração dos níveis de pressão foi observado nas rotações estudadas.

- Finalmente, o aumento da temperatura da mistura faz que a pressão com a qual se inicie o funcionamento HCCI seja maior, onde para a temperatura de  $75^{\circ}C$  a mínima pressão no início foi de 60 bar e para a temperatura de  $90^{\circ}C$  se obteve uma pressão de início de aproximadamente 75 bar.

## **6.2. Recomendações finais para trabalhos futuros**

Sugere-se que, em trabalhos futuros:

Procura de uma melhor forma para o alinhamento em linha do sensor de torque com o motor de combustão e o motor elétrico do dinamômetro. A pesar de ter utilizado um relógio comparador para o alinhamento axial e paralelo, o sensor de torque precisa segundo o fabricante de um sistema de alinhamento nas posições axial, radial e angular que só poderia ser conseguido atualmente a partir de um sistema de alinhamento a laser. Uma alternativa secundaria seria a utilização de

um sistema de acoplamentos tipo elásticos de garras côncavas ou de precisão sem folga que permitiriam compensar qualquer mínimo desalinhamento.

Utilização outros tipos de combustíveis, atualmente só foi testado gasolina natural e gasolina tipo C basicamente por suas propriedades de alta volatilidade e alto numero de octanagem que permite uma maior facilidade na formação de uma mistura homogênea e trabalhar com motores de altas razões de compressão respectivamente. Uma boa possibilidade seria a utilização de etanol que por seu alto numero de octanagem também pode trabalhar com motores de altas razões de compressão.

Uma alternativa interessante seria a utilização dos gases EGR já que permitiria diminuir as emissões de  $\text{NO}_x$  e ter um maior controle sob o inicio da ignição e sob a velocidade de combustão. Esta técnica permite que a fase de ignição seja atrasada e que a máxima pressão do gás diminua e por tanto, permitiria controlar a temperatura do gás no interior do cilindro.

A estratificação da carga se apresenta como uma boa alternativa para o controle do inicio da combustão. A injeção direta de combustível tem o potencial de estender a faixa de operação para altas cargas e baixas temperaturas de combustão. Esta técnica oferece o potencial de incrementar a razão de compressão em motores e, portanto a extensão dos limites de carga do HCCI.

O controle da temperatura da parede é necessário para diminuir as perdas de calor. Por conseguinte deve-se fixar a temperatura da parede do cilindro do motor refrigerado a água para assim diminuir o máximo possível a perda de calor pela diferença de temperaturas entre a parede e carga da mistura principalmente de baixa para media rotação onde as paredes do cilindro começam a esquentar e, em contato com a mistura se apresenta uma alta transferência de calor da mistura para as paredes ocasionando muitas vezes variações nas condições térmicas de um ciclo para outro.