



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

ANÁLISE EXPERIMENTAL DA VELOCIDADE DE COMBUSTÃO EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

Fabiano Disconzi Wildner, wildner66@yahoo.com.br¹
Pedro Barbosa Mello, mello@mecanica.ufrgs.br¹
Serguei Nogueira da Silva, serguei.silva@erechim.ifrs.edu.br²

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Eng. Mecânica, Sarmiento Leite, 425, Porto Alegre, RS

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Rua Domingos Zanella, 104, Erechim, RS

Resumo: *A velocidade de propagação da chama em motores a ciclo Otto é uma das principais características do combustível, sendo fundamental seu conhecimento para um melhor ajuste do par motor/combustível. Quanto maior a velocidade de propagação da chama, menor será o trabalho negativo necessário para comprimir a mistura, já em combustão, antes do Ponto Morto Superior e maior deverá ser a eficiência do ciclo. A velocidade de propagação da chama é fortemente influenciada pela relação de compressão, condição de mistura e avanço de ignição. Este trabalho tem como objetivo analisar a influência destes parâmetros de operação na velocidade de propagação da chama em um motor CFR (Cooperative Fuel Research). Neste trabalho serão apresentados resultados experimentais de medidas de ângulo entre o momento de ignição de combustível e a detecção da chama na extremidade oposta da câmara de combustão, por um sensor de ionização, em um motor CFR, bem como o diagrama pressão versus volume, para a avaliação do trabalho produzido por ciclo, valor do pico de pressão e ângulo que este ocorre. Para a realização deste trabalho será analisada a variação do ângulo de combustão do etanol hidratado para 6 relações de compressão, 5 avanços de ignição e 5 relações ar-combustível, estas abrangendo faixas típicas de operação de motores comerciais. Os resultados indicam um menor ângulo de combustão para relações de compressão elevadas, condição de mistura ligeiramente rica e elevados ângulos de ignição.*

Palavras-chave: *Combustão, CFR, Etanol, Velocidade de Propagação de Chama*

1. INTRODUÇÃO

A utilização de fontes limpas de energia para a propulsão veicular é um desafio a curto prazo, de modo a reduzir o impacto ambiental causado atualmente pela grande frota automotiva existente. Como solução a curto prazo, busca-se processos mais eficientes e menos poluentes. Neste sentido, os motores de combustão interna passaram por uma grande evolução nas últimas décadas baseadas na variação da geometria do motor e melhorias com a utilização de sistemas de controle eletrônicos, permitindo ajustes de parâmetros de combustão como pressão no interior do cilindro, ponto de ignição e injeção direta de combustível. Associado com a evolução dos motores, tem-se ainda, devido ao constante aumento do custo dos combustíveis líquidos derivados do petróleo e às crescentes restrições com relação à contaminação ambiental, o aumento de interesse em combustíveis alternativos [Poulopoulos et al, 2004, Rampe et al, 2000]. Estes combustíveis podem ser classificados em gasolinas sintéticas, gasolinas ativadas com compostos oxigenados como metil terc butil éter (MTBE), terc amil etil éter (TAEE), etil terc butil éter (ETBE), álcoois e combustíveis gasosos.

Analisando parâmetros de influência no desempenho de motores de combustão interna temos que a máxima pressão devido à combustão deve ocorrer em um ponto de operação que forneça o máximo torque. Se o início da combustão for avançado para antes do ponto morto superior, o trabalho negativo de compressão aumenta. Se a ignição for atrasada, o pico de pressão ocorre mais tarde e terá uma redução do seu valor, reduzindo a produção de trabalho no curso de expansão. O tempo adequado para o início do processo de combustão depende da velocidade de propagação da chama e configurações geométricas da câmara de combustão. Estas dependem do projeto do motor, das condições de operação e das propriedades da mistura ar combustível [Guibet et al, 1999, Chollet, 1996].

A combustão completa é descrita como aquela na qual frente de chama move-se através da câmara de combustão até que a mistura ar combustível seja consumida inteiramente e transformada em dióxido de carbono e água. Fatores como composição do combustível, relação ar combustível, parâmetros geométricos, temperatura, pressão, relação de compressão e depósitos na câmara, determinam as características físicas e químicas do processo combustão [Zervas et al, 2004, Sayin et al, 2005]. As reações que ocorrem durante o processo de combustão são determinadas através de

mecanismos químicos em série e em paralelo com etapas iniciadoras através da formação de radicais e reações em equilíbrio. Em muitos casos, em virtude da elevada liberação de energia e conseqüente elevação na temperatura, a velocidade de reação aumenta de forma exponencial, podendo ocorrer detonação. A ocorrência de detonação depende da temperatura, pressão do sistema e características físico-química do combustível. Em pressões muito baixas, o sistema mantém-se fora da região de detonação e a mistura reage suavemente. Com a elevação da pressão e temperatura do sistema, os produtos intermediários reagem entre si antes da extinção da chama nas proximidades da parede do cilindro, favorecendo a detonação [Heywood, 1988, Selamet et al, 2004, Farrel et al, 2004].

A turbulência na câmara de combustão é proporcional à rotação do motor e aumenta a velocidade de propagação da chama. Elevadas rotações requerem um grande avanço de ignição. Os parâmetros geométricos afetam a turbulência e a área da superfície da frente de chama. Parâmetros aerodinâmicos do sistema de admissão contribuem para a criação de um fluxo de gás direcionado, mudando a área da superfície e o caminho da chama. Medidas de velocidade de combustão em regime laminar, utilizando hidrocarbonetos puros, indicam que, para uma mesma relação ar combustível, a velocidade de combustão varia em função da estrutura química do combustível. As variações não são muito grandes e a diferença na velocidade de chama entre o benzeno (que apresenta elevada velocidade) e o isoctano não é superior a 25%. Para combustíveis convencionais, os quais consistem de uma mistura de compostos, podem apresentar grandes variações [Guibet et al, 1999, Owen, 1995].

O estágio inicial da combustão exerce importante papel na evolução e desenvolvimento da chama, pois uma pequena diferença na formação inicial da chama pode produzir uma significativa variação na pressão dentro do cilindro [Heywood, 1988].

No Laboratório de Motores – *LABMOT* – da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – *UFRGS* – desenvolve-se uma linha de pesquisa em análise experimental de propriedades físico-químicas de combustíveis. Esta dispõe de uma bancada de testes de combustível onde, através de uma metodologia baseado em um sistema de instrumentação composto de sensor de detecção de chama e de pressão na câmara de combustão, são avaliadas propriedades de diferentes tipos de combustíveis. Neste trabalho apresentam-se os resultados experimentais obtidos com a bancada, destacando as potencialidades do sistema desenvolvido. Assim, a busca de uma relação mais eficiente entre motor e combustível é o principal objetivo deste estudo.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Neste capítulo são apresentadas as características da bancada de testes de combustíveis desenvolvida no *LABMOT* baseada na utilização do motor *ASTM CFR (Cooperative Fuel Research)*, destacando as modificações implementadas, o sistema de instrumentação desenvolvido e o programa de cálculo dos parâmetros de combustão. No fim do capítulo apresenta-se a metodologia adotada para a realização dos ensaios.

2.1. Características da Bancada de Ensaio de Combustíveis

Para o desenvolvimento da bancada de ensaio de combustíveis utilizou-se um motor *Cooperative Fuel Research (CFR)*. Este nasceu da necessidade das refinarias e dos construtores de motores em desenvolver meios de medir características da combustão da gasolina, sendo adotado mundialmente como padrão para teste de octanagem de combustíveis. Este projeto sobrevive até hoje sem alterações na geometria da câmara de combustão. Como características este possui sistemas mecânicos que permitem a variação da relação de compressão de 4:1 a 16:1 de forma simples e exata, sem afetar a regulagem das válvulas ou a configuração básica da câmara de combustão.

O motor *CFR* é acoplado por uma polia e correias a um motor síncrono, que tem a função de estabilizar a rotação e, assim, garantir rotação constante, funcionando hora como freio, hora como motor. A alteração de rotação para os testes *MON* (900 RPM) e *RON* (600 RPM) é feita pela substituição da polia acoplada ao motor síncrono. A Tabela 2.1 apresenta as características mecânicas do motor *CFR*.

Tabela 2.1: Especificações do motor padrão *ASTM-CFR* [ASTM, 1964]

Motor <i>ASTM-CFR</i>	
Cilindro	Monocilíndrico
Diâmetro	82,55 mm
Curso	114,3 mm
Volume Deslocado	611,3 cm ³
Abertura da Válvula de Admissão	30° APMS
Fechamento da Válvula de Admissão	214° APMS
Abertura da Válvula de Exaustão	160° APMS
Fechamento da Válvula de Exaustão	355° APMS
Comprimento de Abertura das Válvulas	6,05 mm

Visando a utilização de um sistema de gerenciamento eletrônico de combustível, foi projetado e construído um coletor de admissão, sendo substituindo o sistema de alimentação de combustível original composto por um carburador

de três cubas. O motor na sua configuração original é apresentado na Figura 2.1 à esquerda e, à direita, o coletor construído já instalado no motor.

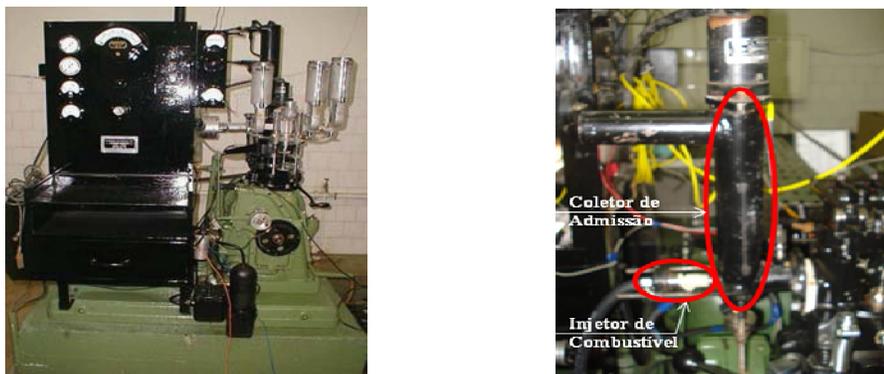


Figura 2.1: Motor padrão ASTM CFR na sua configuração original e coletor projetado para a instalação dos bicos injetores de combustível.

O sistema original de ignição foi substituído por um sistema de ignição eletrônico. Para gerenciamento do eletrônico de combustível e da ignição foi instalado um módulo eletrônico *Total Engine Control II – TEC-II* (Figura 2.2), fabricado pela empresa Electromotive Inc. Este sistema permite a programação de mapas de avanço de ignição e de injeção de combustível com base nos dados de carga aplicada ao motor, rotação, temperatura e razão de mistura. Isto é possível em razão de sua constituição compreender dois aspectos básicos: a ignição eletrônica e a injeção eletrônica de combustível. Assim, este sistema permite o completo controle do motor.

Os parâmetros de operação do motor como ângulo de ignição e relação ar/combustível são estabelecidos pelo operador através do módulo eletrônico. Este, através de um conjunto de sensores instalados, controla a válvula injetora de combustível e o chaveamento da bobina de ignição.

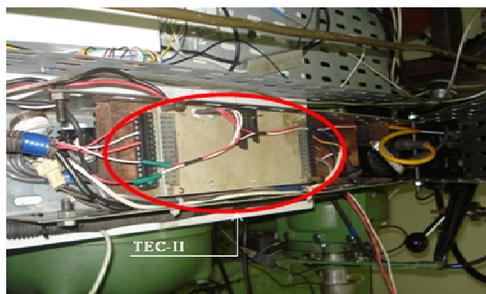


Figura 2.2: Detalhe da TEC-II instalada na bancada de ensaio de combustíveis.

2.2 Sistema de Instrumentação Utilizado

Para a realização da análise das características físico-químicas de combustível, foi projetado e instalado um sistema de instrumentação composto de um equipamento de aquisição de dados e um conjunto de sensores para a medição de grandezas como a pressão da câmara de combustão, início de ignição, relação ar/combustível, ângulo de manivela e temperaturas de admissão, escape e líquido de arrefecimento. Ainda instalou-se um circuito de detecção de chama para medição do ângulo entre o início da centelha e a detecção da chama. Os dados foram analisados por meio de um programa desenvolvido pela equipe deste trabalho, possibilitando análises como trabalho por ciclo e diagrama pressão-volume. O conjunto de sensores utilizados bem como o programa desenvolvido para a análise dos dados registrados é descrito a seguir.

2.2.1 Sensor de Pressão na Câmara de Combustão

A pressão em relação à posição da árvore de manivela é medida por meio de um sensor óptico instalado na câmara de combustão, marca *Oprand Incorporated*, modelo D32292Q, conforme apresentado na Figura 2.3. Este possui como características uma frequência de resposta de 30 kHz, faixa de medição de 0 a 20 Mpa e erro de 1% do fundo de escala sob condições de combustão. O sinal de saída deste sensor é relacionado com a pressão por meio de uma curva de calibração.

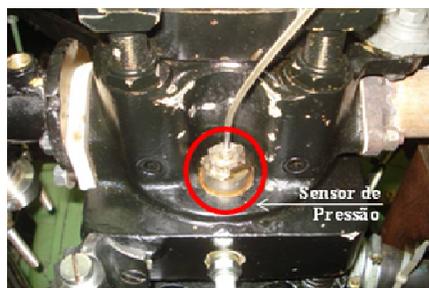


Figura 2.3: Sensor para medição de pressão

2.2.2 Ignição

O momento da ignição é registrado a partir do chaveamento do primário da bobina, realizado pelo sistema de controle de injeção eletrônica.

2.2.3 Relação Ar-Combustível

A razão da mistura foi medida durante a realização dos testes por um sensor de oxigênio de banda larga. O condicionamento e leitura do sensor de oxigênio de banda larga é realizado com o equipamento WB-O2 Datalogger, fabricado pela empresa FuelTech Ltda. Este mede o valor da razão de mistura ar-combustível para uma ampla faixa. Possui uma saída analógica isolada, de valor diretamente proporcional à razão de mistura medida.

2.2.4 Posição Angular do Eixo de Manivelas

O sistema utilizado para medir o ângulo do eixo de manivelas é constituído de um encoder incremental fabricado pela Danaher Sensors & Controls, modelo BA 3022, com uma resolução de 1000 pulsos por revolução. Este é acoplado por meio de polias e correia sincronizadora a árvore de manivelas. Sendo a relação de transmissão entre as polias na razão de 26 para 15, a resolução final da medida do ângulo da árvore de manivelas é de 1.733,3 pulsos por revolução, o que corresponde 0,2077 graus. A Figura 2.4 mostra o instrumento instalado no motor.

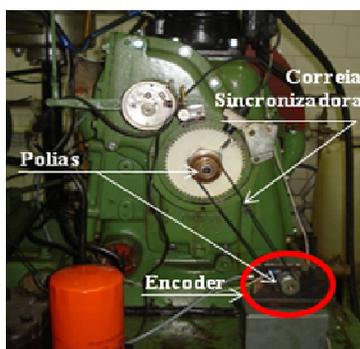


Figura 2.4: Encoder modelo BA 3022 utilizado nos ensaios.

O conjunto de determinação da referência da posição angular eixo de manivelas do motor (Figura 2.5) é fixado na parte traseira do motor. Este é constituído por um sensor óptico fixo na parte traseira do bloco do motor e um anteparo precisamente posicionado de forma a interromper a passagem do sinal luminoso no ponto morto superior (PMS) do eixo de manivelas. Os sinais são enviados a um conversor analógico-digital para tratamento, interpretação e análise.

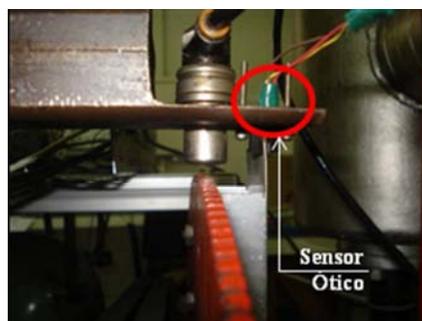
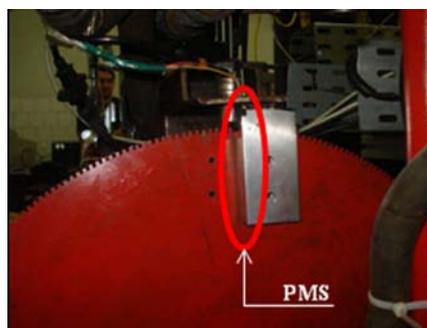


Figura 2.5: Conjunto de determinação da referência da posição angular eixo de manivelas do motor.

2.3.5 Medição das Temperaturas

Durante os ensaios utilizou-se o monitoramento de temperatura para garantir condições de operação idênticas do motor para as diferentes repetições. Foram monitoradas as temperaturas da água de arrefecimento do motor, do óleo de lubrificação, dos gases de exaustão e da mistura ar/combustível admitida. Foram utilizados termopares tipo K com condicionadores de sinal.

2.3.6 Sensor de Detecção de Chama

O sensor de detecção de chama é composto por um eletrodo posicionado diametralmente oposto à vela de ignição original do motor CFR e um circuito detector de ionização. Utilizou-se como eletrodo, uma vela de ignição modelo NGK R, classe 9.

O princípio de funcionamento do circuito detector de chama está baseado na capacidade de detectar a presença de chama através da diferença de condutividade elétrica entre os eletrodos sensores, neste experimento é representado pelo eletrodo de terra e o eletrodo central da vela de ignição. Este circuito foi desenvolvido em parceria entre os autores e o Laboratório de Mecatrônica e Controle (LAMECC – UFRGS), no âmbito do projeto CONTROL-GÁS, financiado pela FINEP.

2.4 Sistema de Aquisição de Dados

Para a aquisição e registros dos sinais gerados pelos sensores utilizou-se uma placa de aquisição de dados modelo DAQmx PCI-6221, fabricada pela National Instruments. Os dados são adquiridos com base na posição angular do eixo de manivelas através dos pulsos fornecidos pelo encoder, de modo que a cada pulso detectado na entrada digital da placa de aquisição de dados é realizada a leitura e armazenamento dos dados de todos os canais analógicos utilizados. Com a realização dos ensaios a uma rotação de 900 RPM, a taxa de aquisição resultante é cerca de 26kHz.

Na figura 2.6 apresenta-se um diagrama esquemático da ligação dos sensores, o condicionamento de dados e a aquisição instalada na bancada de testes de combustível.

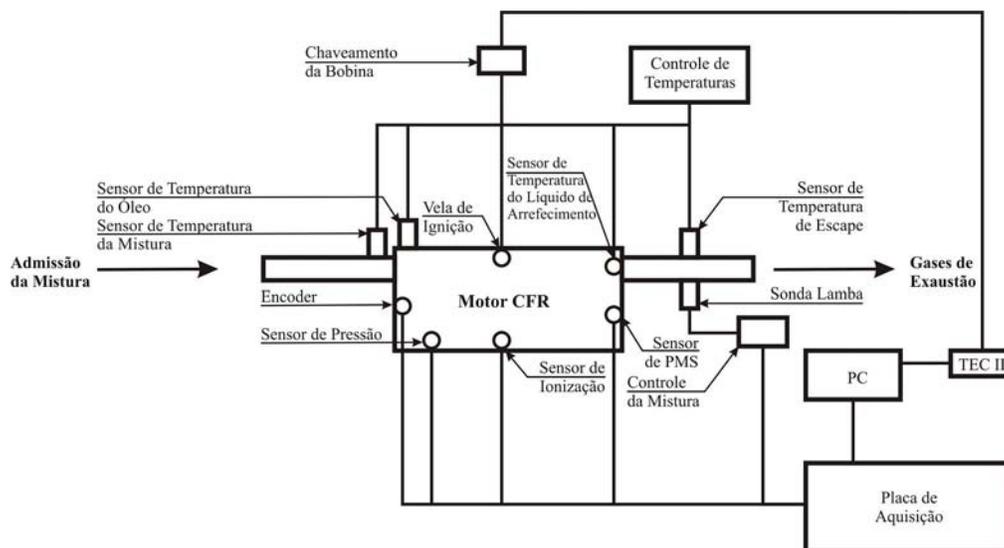


Figura 2.6: Representação esquemática do experimento.

2.4 Programa de Registro, Tratamento e Apresentação de Dados

Para a realização deste trabalho desenvolveu-se um programa para a aquisição e tratamento dos dados obtidos durante os ensaios realizados. Ainda são calculadas outras grandezas baseadas nos sinais registrados pelos sensores. O programa foi desenvolvido em módulos para facilitar sua posterior adaptação para outros trabalhos. Na Figura 2.7 apresenta-se um diagrama esquemático do programa elaborado em linguagem de programação LabView.

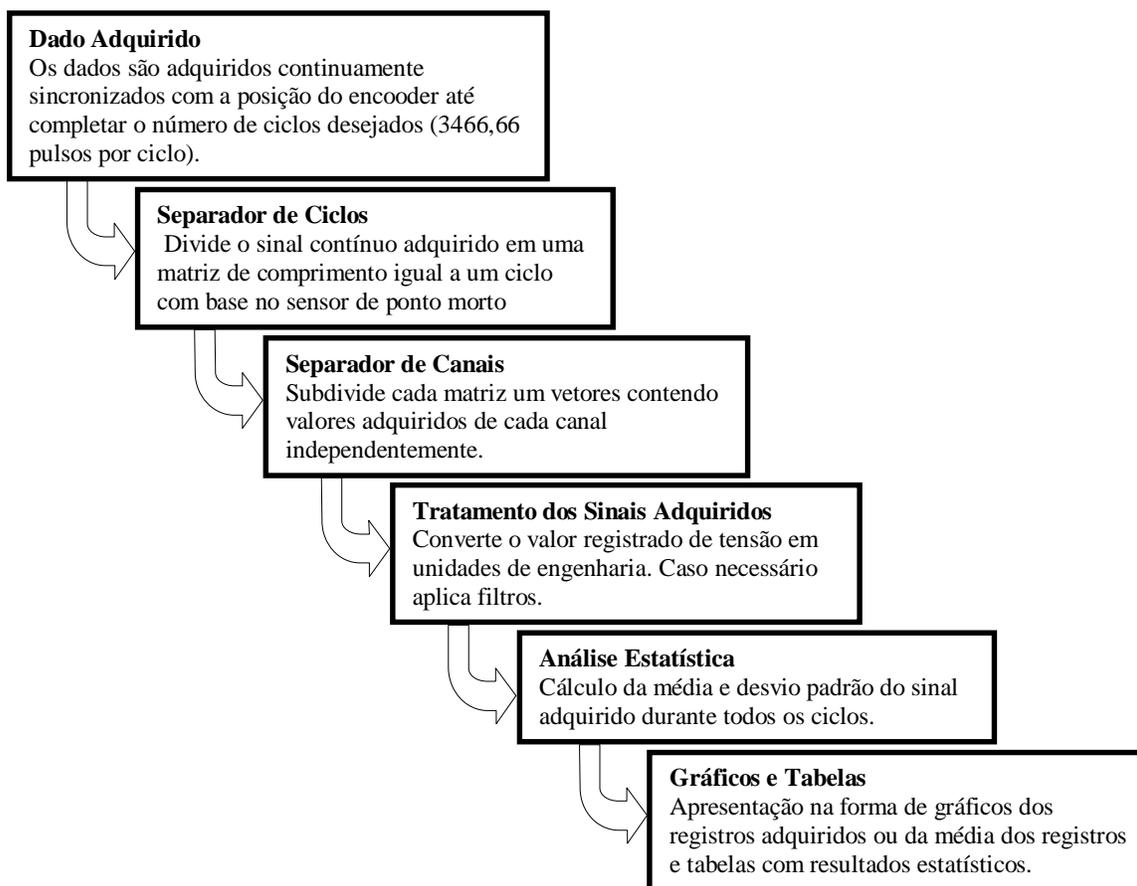


Figura 2.7: Diagrama esquemático do programa elaborado em linguagem de programação LabView.

A interface desenvolvida para a utilização do programa desenvolvido em LabVIEW 8.6 é apresentada na Figura 2.8 a seguir. O campo superior direito deve ser preenchido com os parâmetros de ensaio, tais como número de ciclos a serem adquiridos, relação de compressão, gravar ou não o arquivo e filtro do sensor de chama. Os demais campos apresentam resultados obtidos durante o ensaio, dentre os quais as curvas de pressão dentro do cilindro em relação ao ângulo do eixo de manivelas, curvas de pressão versus volume, resposta do sensor de chama, tabela com os resultados médios do ensaio, média e desvio padrão dos parâmetros monitorados durante o ensaio e os sinais vindos diretamente da placa de aquisição de dados, sem tratamento.

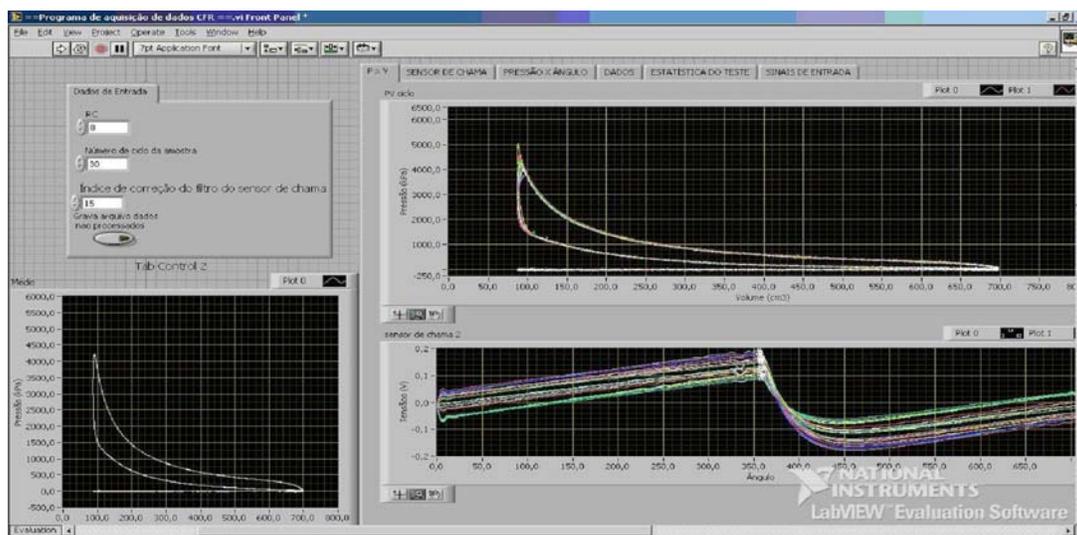


Figura 2.8: Interface do programa para aquisição e tratamento de dados.

3 Metodologia de Ensaio

Com o objetivo de minimizar as variáveis envolvidas nos ensaios, adotou-se uma única metodologia para a realização de todos os ensaios realizados neste trabalho. Esta metodologia foi desenvolvida no âmbito do LABMOT da UFRGS e toma como base a metodologia descrita na norma ASTM D 357-64 utilizada nos ensaios para a determinação do número de octanas em combustíveis abaixo de 100 octanas. Nesta estão descritos os procedimentos para o início da operação do motor CFR, bem como o procedimento para aquecimento e estabilização das condições operacionais do motor em questão. Nesta estão determinadas que os ensaios só podem ser realizados após a estabilização da temperatura do líquido de arrefecimento em 80°.

Durante a realização dos ensaios, após as condições de operação do motor estáveis, acerta-se a condição de mistura ar/combustível, o ângulo de ignição e relação de compressão do ensaio. Definiu-se experimentalmente o valor de aquisição de 30 ciclos consecutivos de combustão como representativo dos resultados do ensaio. Todos estes sinais são adquiridos a cada pulso fornecido pelo encoder à placa de aquisição de dados, resultando assim em dados relacionados à posição angular do eixo de manivelas, onde o sensor de ponto morto superior marca o início da aquisição de cada ciclo sincronizado com o ponto morto superior do motor, no início do ciclo de admissão. Estes dados são gravados e visualizados ao final de cada ensaio em um aplicativo desenvolvido em LabView 8.6. Visando a validação através da análise estatística os dados são registrados três vezes.

Para a demonstração da funcionalidade do sistema proposto na análise de propriedades de combustíveis, foram realizados três ensaios utilizando como combustível o etanol hidratado. No primeiro objetivou-se a análise da influência do ângulo de ignição na combustão, no segundo ensaio objetivou-se a análise da influência da variação da relação de compressão e, no terceiro, a análise da influência da variação da relação ar/combustível. Durante todos ensaios os demais parâmetros de controle foram mantidos fixos. As condições de ensaio são descritas a seguir.

O primeiro ensaio manteve-se fixa a relação de compressão (rc 8:1) e a condição de mistura ($\lambda = 1$), variando-se o ângulo de ignição nos valores de 17°, 19°, 21°, 23° e 25° APMS.

Para o segundo ensaio manteve-se a condição de mistura fixa ($\lambda = 1$), e o ângulo de ignição (21° APMS), variando-se a relação de compressão nos valores de 5:1, 6:1, 7:1, 8:1, 9:1 e 10:1.

Já o terceiro ensaio realizou-se com o valor fixo de relação de compressão (rc = 8), dois valores de ângulos de ignição (19° e 21° APMS) e variando-se a condição de mistura nos valores de Lambda 0,8, 0,9, 1, 1,1 e 1,2.

4 Discussão dos Resultados

4.1 Primeiro Ensaio - Variação do Avanço de Ignição

Através da análise dos registros do valor de ângulo entre a ignição da mistura e a detecção da chama na parte oposta do cilindro apresentados na Figura 4.1, pode-se perceber uma redução no ângulo de detecção da chama à medida que o ângulo de ignição ocorre mais cedo em relação ao ponto morto superior.

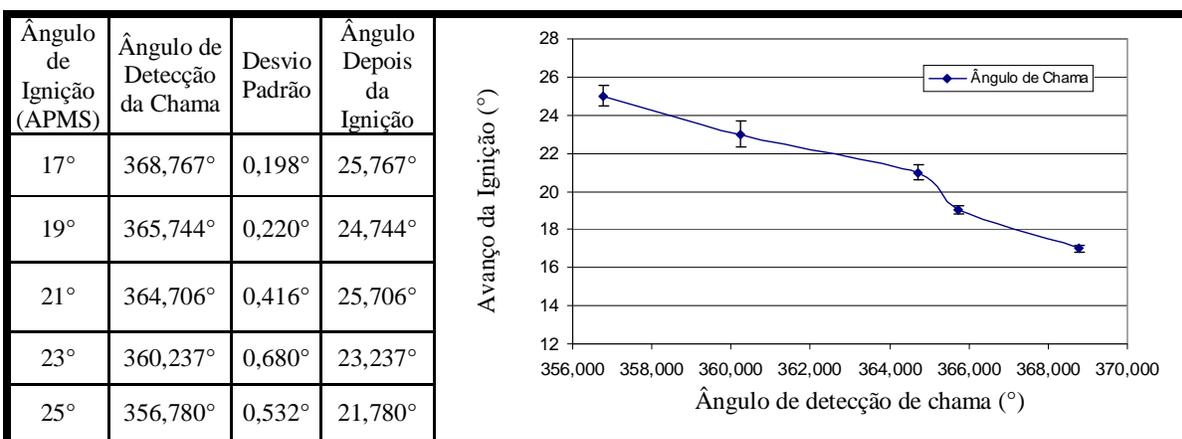


Figura 4.1: Resultados médios do valor de ângulo de combustão na condição de relação de compressão 8:1 e mistura estequiométrica

A Figura 4.2 apresenta a influência do avanço de ignição na área do diagrama pressão versus volume. Os avanços de ignição são de 17°, 19°, 21°, 23° e 25° em relação ao ponto morto superior para as curvas indicadas. A relação de mistura λ é igual a 1 (estequiométrico), relação de compressão de 8:1 e a rotação do motor é de 900 RPM.

Percebe-se nesta seqüência o aumento da área do diagrama pressão versus volume com o aumento do ângulo de ignição, ou seja, um aumento no trabalho útil no ciclo. Demonstra-se através destes resultados a correlação entre o avanço de ignição e o trabalho útil por ciclo.

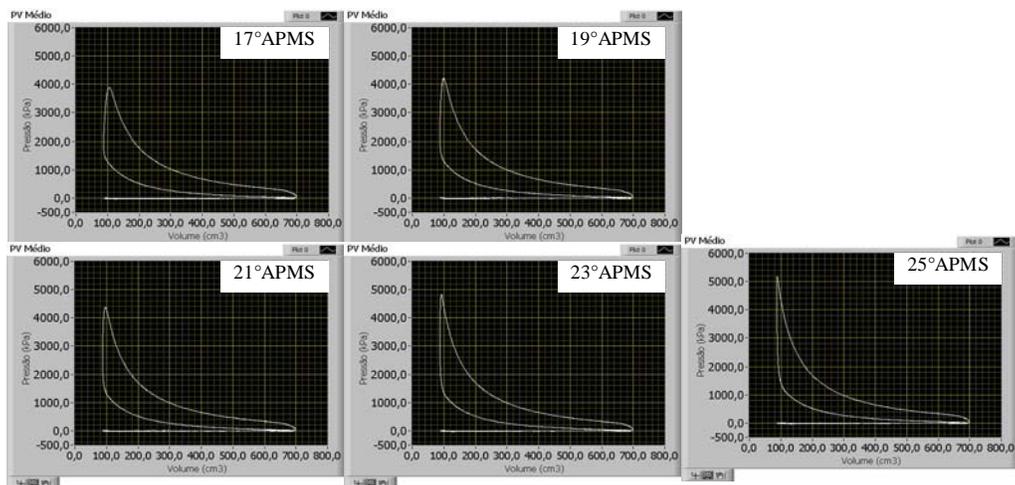


Figura 4.2: Comparação do diagrama P x V médio devido a variação do avanço de ignição.

Através de uma análise completa dos dados registrados no ensaio percebe-se o gradativo aumento do pico de pressão a partir do aumento do ângulo de ignição e a diminuição da duração da combustão, através da distância angular entre a liberação da centelha de ignição e a detecção da chama na parte diametralmente oposta à vela de ignição pelo sensor de ionização. Estes resultados estão de acordo com os dados registrados na literatura, o que valida este procedimento de medição.

4.2 Comparação Entre os Ensaio com Variação de Relação de Compressão

Comparando os resultados médios do valor de ângulo percorrido pelo eixo de manivelas entre a ignição da mistura e a detecção da chama na parte oposta do cilindro, mostrado na Tabela 4.1. Percebe-se uma redução no ângulo de detecção da chama à medida que a relação de compressão aumenta.

Tabela 4.1: Comparação dos ângulos médios de detecção de chama

rc	teste1 (°)	teste2 (°)	teste3 (°)	Média (°)	Desvio Padrão	Graus Depois da Ignição (°)
10:1	363,04	361,91	361,26	362,07	0,900722	23,070
9:1	362,75	363,03	362,76	362,8467	0,15885	23,847
8:1	364,65	365,24	364,22	364,7033	0,512087	25,703
7:1	368,75	367,85	366,7	367,7667	1,027538	28,767
6:1	370,11	370,39	369,06	369,8533	0,701166	30,853
5:1	375,64	378,27	376,62	376,8433	1,329148	37,843

Este comportamento pode ser melhor do visualizado na Figura 4.3 onde são apresentados a variação do ângulo de detecção da chama versus relação de compressão. Nota-se que, além do aumento do ângulo de detecção da chama com a redução da relação de compressão, tem-se um aumento do desvio padrão em consequência do aumento da variação cíclica de combustão.

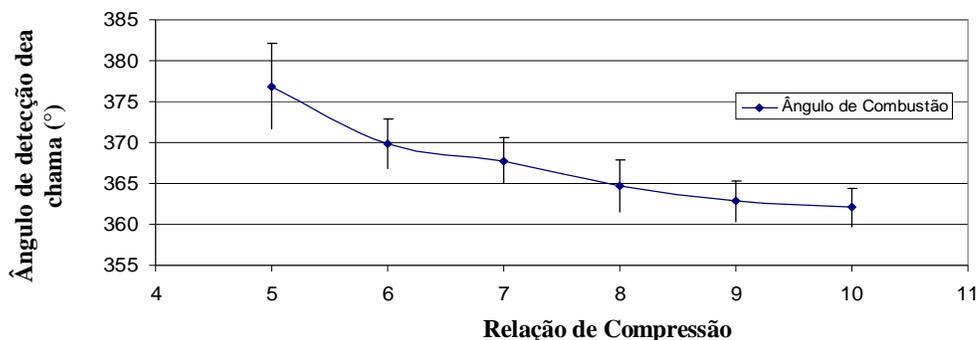


Figura 4.3: Comparação dos ângulos médios de detecção de chama.

Da análise do diagrama pressão versus volume apresentado na Figura 4.4 percebe-se o gradativo aumento do pico de pressão a partir do aumento da relação de compressão. Nesta mesma ordem verifica-se a diminuição da duração da combustão.

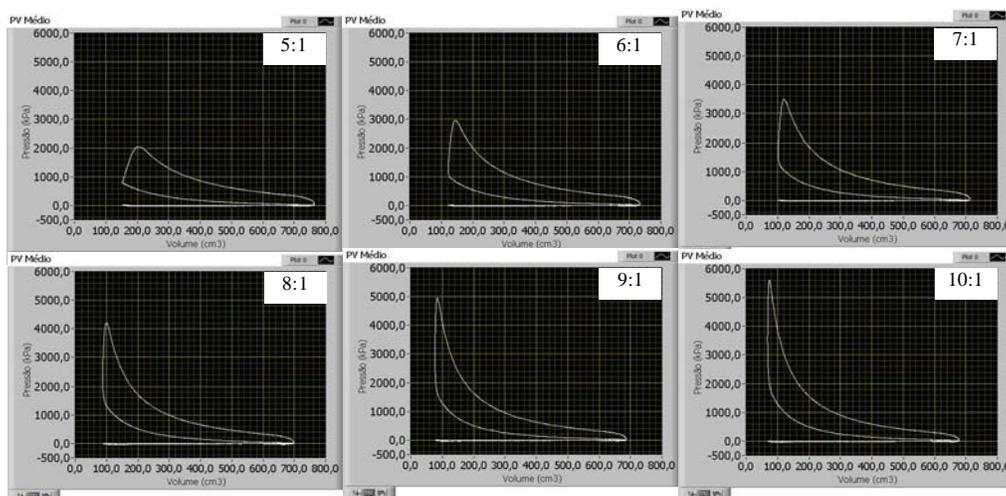


Figura 4.4: Diagramas pressão x volume médio

Verifica-se então uma correlação direta entre o aumento do pico de pressão e do trabalho útil com o aumento da relação de compressão e uma relação inversa do ângulo de detecção da chama com a relação de compressão, conforme encontrado na literatura.

4.3 Comparação dos Resultados Obtidos nos Ensaios com Ângulo de Ignição 19° e 21° APMS

Através da análise dos resultados obtidos para o ensaio de etanol com o motor operando com relação de compressão 8:1, variação da condição de mistura de λ 0,8 a 1,2, para dois diferentes ângulos de ignição (19° APMS e 21° APMS), como apresentado na Tabela 4.2, percebe-se que os resultados apresentam um comportamento característico semelhante para ambos avanços de ignição.

Tabela 4.2: Comparação dos ensaios realizados com relação de compressão 8:1

λ	19° APMS		21° APMS	
	Ângulo de Detecção da Chama(°)		Ângulo de Detecção da Chama(°)	
	Valor Médio	Desvio Padrão	Valor Médio	Desvio Padrão
0,8	361,126	2,57065	357,451	2,54511
0,9	361,785	1,86344	358,056	1,21492
1	364,493	2,41636	362,831	2,26861
1,1	369,57	4,0401	366,197	6,33363
1,2	377,442	7,10029	374,43	7,37477

Tem-se uma correlação inversa entre o enriquecimento da mistura admitida pelo motor (menor lambda) e o ângulo de detecção de chama, para ambos avanços de ignição. Na Figura 4.5 apresenta-se o resultado do ângulo de detecção de chama versus condição de mistura. Verifica-se uma redução da dispersão cíclica com o enriquecimento da mistura, apresentando valores de dispersão de ordem de grandeza iguais para as mesmas condições de misturas nos diferentes avanços de ignição.

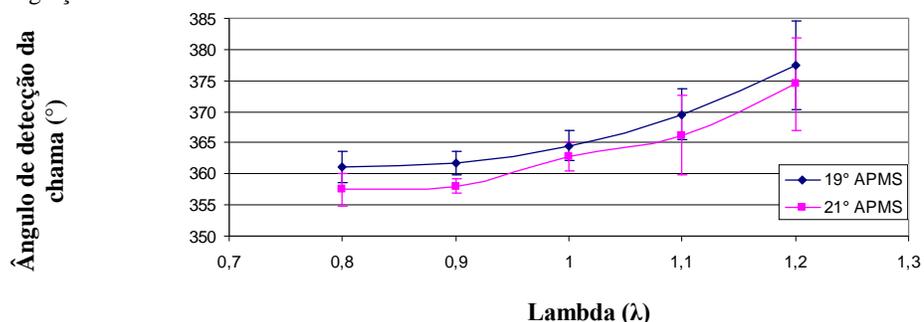


Figura 4.5 Comparação dos ensaios realizados com relação de compressão 8:1

5 Conclusões

Com base nos resultados obtidos até o presente momento pode-se concluir que a bancada de testes de combustível composta por um motor CFR associado a um sistema de instrumentação e programas de análise de dados dedicado construídos no Laboratório de Motores da Universidade Federal do Rio Grande do Sul demonstrou ter capacidade de reproduzir e monitorar fenômenos de combustão em motores de combustão interna, tais como evolução da pressão no interior da câmara de combustão, avaliação da dispersão cíclica, avaliação do ângulo de desenvolvimento da chama, cálculo do trabalho desenvolvido. Ainda com a utilização de uma injeção eletrônica programável acoplado ao sistema de controle de ignição tem-se o controle pleno de parâmetros de combustão como ângulo de ignição, relação de mistura ar/combustível, pressão do sistema de injeção e relação de compressão possibilita uma vasta gama de ensaios de características físico-químicas de combustíveis, podendo-se alterar apenas uma condição de ensaio e mantendo as demais fixas.

Através da realização dos ensaios verificou-se que o ângulo de detecção de chama tem uma correlação indireta com a relação de compressão, com a razão de mistura e com o ângulo de ignição, apresentando uma maior dispersão cíclica para as condições de menores relações de compressão e razão de mistura pobre. Estes resultados estão de acordo com os encontrados na literatura, indicando a robustez das medidas realizadas pelo sistema proposto.

Com a conclusão da construção da bancada de testes de combustível, a seqüência de trabalhos no Laboratório de Motores da UFRGS prevê a utilização desta ferramenta para ensaios de outros biocombustíveis e misturas destes.

3. REFERÊNCIAS

- ASTM, "ASTM Manual for Rating Motor Fuels by Motor and Research Methods American Society for Testing and Materials", Standard Test Method, 5ª edição, 1964.
- Chollet, H. M.; "O Motor e seus acessórios", Hemus Editora Ltda, São Paulo, 1996.
- Farrel, J. T.; Johnston, R. J.; Androulakis, P. SAE Paper 2004-01-2936.
- Guibet, Jean-Claude; "Fuels and Engines", Technology Energy Environment. Ed. rev. Traduzido por Frank Carr, Institut Français du Pétrole Publications, Paris: Technip, 1999.
- Heywood, John B. "Internal combustion engine fundamentals" USA: McGraw-Hill, 1988.
- Owen, K.; Coley, T.; Automotive Fuels Reference Book, Society of Automotive Engineers, Inc, 2ª ed., U.S.A., 1995.
- Poulopoulos, S. G.; Sâmaras, D. P.; Philippopoulos, C. J. Atm Environ 2001; 35:4399-4406.
- Rampe, T.; Heinzl, A.; Vogel, B. Journal of Power Sources 2000; 86: 536-41.
- Sayin, C.; Kilicaslan, I.; Canakci, M.; Ozsezen, N. "Applied Thermal Engineering", SAE 1315-24, 2005.
- Selamet, E. E.; Selamet, A.; Novak, J. M. Energy 2004; 29: 449-65.
- Zervas, Efthimios; "Correlation between cycle-to-cycle variations and combustion parameters of a spark ignition engine", Applied Thermal Engineering, n° 24, 2073-2081, 2004.

CON10-1956 - EXPERIMENTAL ANALYSIS OF COMBUSTION SPEED IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Fabiano Disconzi Wildner, wildner66@yahoo.com.br¹

Pedro Barbosa Mello, mello@mecanica.ufrgs.br¹

Serguei Nogueira da Silva, serguei.silva@erechim.ifrs.edu.br²

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Eng. Mecânica, Sarmento Leite, 425, Porto Alegre, RS

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Rua Domingos Zanella, 104, Erechim, RS

Abstract: *The flame speed propagation in Otto cycle engines is one of the most important fuel characteristics, being basic its knowledge for one better adjustment of fuel/engine pair. How greater the flame speed propagation, smaller will be the negative work necessary to compress the mixture, already in combustion, before the top dead center and greater will be the efficiency of the cycle. The flame speed propagation is strongly influenced by the compression rate, mixture condition and spark advance. This work aims to analyze the influence of these parameters of operation in the flame speed propagation in an CFR engine (Cooperative Fuel Research). In this work are presented experimental results of measures of angle between the moment of fuel ignition and the detection of the flame in the opposing extremity of the combustion chamber, by a ionization sensor, in an CFR engine, also the pressure versus volume diagram, for the evaluation of the work produced by cycle, value of the pressure peak and angle that this occurs. For the accomplishment of this work the variation of combustion angle for hydrated ethanol for 6 compression rate, 5 spark advances will be analyzed and 5 relations air-fuel, these enclosing typical range of operation of commercial engines. The results indicate a smaller angle of combustion for high compression rate, rich mixture condition and raised ignition angles.*

Keywords: *Combustion, CFR, Ethanol, Speed Flame Propagation*