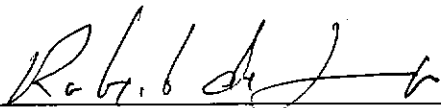


**ESTUDO EXPERIMENTAL DE DIVERSOS TIPOS DE INJEÇÃO EM MOTORES  
CICLO OTTO - CRF OCTANO ANALISANDO DESEMPENHO E EMISSÕES.**

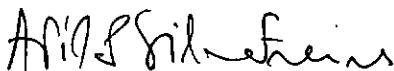
*Renata de Fátima Vasconcellos*

**TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS  
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS  
EM ENGENHARIA MECÂNICA**

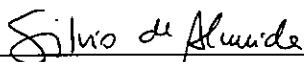
**Aprovada por:**



**Profº Roberto de Souza, D.Sc.**



**Profº Átila Pantaleão Silva Freire, Ph.D.**



**Profº Sílvio Carlos Anibal de Almeida, D.Sc.**



**Profº Su Jian, D.Sc.**

**Rio de Janeiro - Brasil  
Março - 1996**

**VASCONCELLOS, RENATA DE FÁTIMA**

**Estudo Experimental de Diversos Tipos de Injeção em Motores Ciclo Otto -  
CFR Octano Analisando Desempenho e Emissões**

**COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Mecânica, 1996**

**Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE**

## **Agradecimentos**

**Aos professores Roberto de Souza e Átila P. Silva Freire pelo apoio dispensado e pelas importantes sugestões que fizeram com certeza deste um bom trabalho.**

**Aos funcionários do LMT Alexandre Oliveira e José Carlos de Oliveira pela ajuda e cooperação na confecção das peças e nos testes.**

**A minha mãe pelo incentivo e apoio principalmente nos momentos mais difíceis.**

**Ao amigo Mauro Araujo pela ajuda incansável.**

**Ao apoio financeiro recebido do CNPQ para a realização deste trabalho.**



**Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)**

**ESTUDO EXPERIMENTAL DE DIVERSOS TIPOS DE INJEÇÃO EM MOTORES CICLO OTTO - CRF OCTANO ANALISANDO DESEMPENHO E EMISSÕES.**

**Renata de Fátima Vasconcellos  
Março, 1996**

*Orientador: Prof. Roberto de Souza e Prof. Átila P. Silva Freire  
Programa: Engenharia Mecânica*

O uso do gás natural como combustível em veículos automotivos tem se intensificado nos últimos anos, por razões ambientais, políticas e energéticas. No presente trabalho foi estudado a combustão do gás natural quando diretamente injetado na câmara de combustão e no coletor de admissão em motores ciclo Otto, utilizando um injetor elétrico de combustível, comandado eletronicamente por um sistema de acionamento no qual conseguia-se variar o tempo e a posição de injeção.

Este motor além das características tradicionais dos motores CFR, pode ler sua rotação variada através da dosagem da mistura injetada, além de um dinamômetro que permite a leitura do torque efetivo.

Com este estudo buscou-se obter uma avaliação comparativa global entre os diversos sistemas de injeção, avaliando parâmetros como consumo específico, avanço, taxa de compressão, potência e emissões.

**Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)**

**An experimental study of several possible type of injection in Otto Cycle Engines including their performance and exhaust emission.**

**Renata de Fátima Vasconcellos  
March, 1996**

*Thesis Supervisors: Roberto de Souza e Átila P. Silva Freire  
Department: Mechanical Engineering*

**In this work, a study of natural gas combustion was carried out. The gas was directly injected in the combustion chamber and in the intake manifold, in Otto cycle engines. The use of an electrical fuel injector, which was electronically commanded by a control unit, allowed changes in the position and time of the injection to be made.**

**This type of engine has all the characteristics of traditional CFR engines, but can have its rotation changed through a dosage of the injected mixture. Besides, it has a dynamometer through which the effective torque can be read.**

**The objective of the present work was to make a critical evaluation of several injection systems, including specific consumption, compression rate, power and exhaust emissions.**

## **I- Introdução**

As duas últimas décadas mostraram profundas modificações no perfil de utilização dos combustíveis líquidos derivados de petróleo no país. Assim, reduziu-se o consumo da gasolina pela divisão de seu mercado com o álcool, enquanto incrementou-se a demanda de óleo diesel, pela inexistência de um substituto viável técnica e economicamente. Dessa maneira, foi necessário modificar o perfil do refino no país, degradando-se a qualidade do diesel em favor da quantidade e agravando o problema da poluição ambiental nos grandes centros.

Estudos da FEEMA mostram que cada ônibus emite para a atmosfera, cerca de 3,8 t/ano de poluentes, com ênfase especial para os particulados (fumaça negra) e dióxido de enxofre

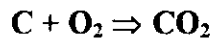
por outro lado, o esforço crescente na busca de petróleo nacional, fez com que as reservas de gás natural se elevassem de modo significativo no país, com destaque para a Bacia de Campos, com reservas provadas exploráveis de 40 bilhões de m<sup>3</sup>, e uma produção atual de 7,2 milhões de m<sup>3</sup>/dia. É importante, a informação de que, com a entrada em produção dos campos de Marlim e Albacora, a produção de gás da Bacia de Campos atingirá os 15,4 milhões de m<sup>3</sup>/dia de gás associado, e que portanto deve ser imediatamente usado ou ser queimado em flares, como ocorre atualmente.

## 1.1 - Teoria da Combustão

A química do processo da combustão é um problema complexo de engenharia, de significado tanto teórico como prático. Nela vários tópicos precisam ser entendidos para que o fenômenos na câmara de combustão sejam bem modelados.

### A) Equações da Combustão

Consideremos a reação que ocorre quando o carbono se une com o oxigênio para formar o dióxido de carbono:



Esta equação significa que:



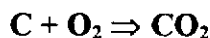
Pela mesma linha de raciocínio, a equação para a combustão de hidrogênio e oxigênio pode ser escrita em qualquer uma das formas seguintes:



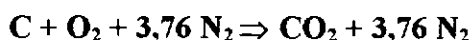
Estas equações mostram que o peso da mistura deve ser igual ao peso dos produtos, apesar do número de mols da mistura e dos produtos não serem necessariamente iguais.

Os elementos combustíveis nos carburantes são predominantemente o carbono e o hidrogênio, com pequenas quantidades de enxofre como o outro único elemento combustível. Os carburantes líquidos são misturas de hidrocarbonetos complexos, posto que para os cálculos de combustão, a gasolina e o óleo combustível podem ser considerados com fórmula molecular média  $\text{C}_8\text{H}_{18}$ .

Na maioria dos casos a combustão se efetua com o oxigênio atmosférico e não com oxigênio puro. O nitrogênio e outros gases do ar somente diluem a concentração de oxigênio e normalmente aparecem nos produtos de forma inalterada. por exemplo, a combustão de carbono e oxigênio puro é:

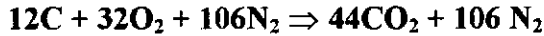


e quando o oxigênio é fornecido pelo ar seco, 3,76 mols de nitrogênio aparente acompanharão cada mol de oxigênio:





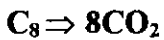
Multiplicando cada termo por seu peso molecular:



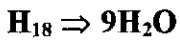
O balanço de uma reação química pode ser ilustrado pela combustão completa de  $C_8H_{18}$  com ar seco:



Primeiro efetua-se o balanço do carbono ( $C_{mistura} = C_{produtos}$ )



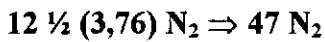
depois o balanço do hidrogênio ( $H_{mistura} = H_{produtos}$ )



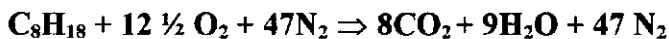
posteriormente o balanço do oxigênio ( $O_{produtos} = O_{mistura}$ )



e, finalmente um balanço do nitrogênio ( $N_2 = 3,76 O_2$ )



A equação da combustão completa é:



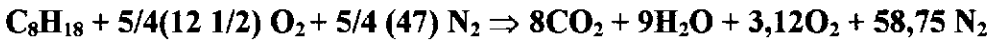
Nesta equação foi utilizada a quantidade estequiométrica de ar, isto é, a quantidade exata de ar para a conversão do carburante em produtos oxidados..

As quantidades relativas de ar e carburante que tomam parte na reação são chamadas de razão ar-carburante ou inversamente, razão carburante-ar:

<b>AC = peso de ar/peso de carburante</b>
---

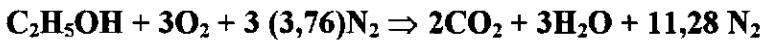
$$AC = (12 \frac{1}{2} + 47) \times (28,97) / 8 \times (12) + 18 \times (1,008) = 15,1 \text{ kg de ar/kg de carburante}$$

O caso comum de combustão envolve ou um excesso ou uma deficiência de ar relativo à quantidade teórica. Consideremos que 25% de excesso de ar (ou 125% do ar teórico) seja fornecido à reação:



o ar em excesso aparece nos produtos de forma inalterada.

Quando um carburante possui oxigênio, o procedimento é o mesmo que o anterior, com exceção do oxigênio do carburante que é diminuído do oxigênio a ser fornecido. Assim a combustão completa do álcool etílico é:



e a razão ar-carburante é igual a:

$$\text{AC} = 414/46 = 9,0 \text{ kg ar/kg de carburante}$$

## **B) Calor de Combustão**

O calor de combustão de um carburante é igual à quantidade de calor liberado quando o carburante é completamente queimado e os produtos resfriados à temperatura inicial. Dois casos são de importância prática: o calor de combustão a volume constante e o calor de combustão à pressão constante.

Para analisar estes dois processos, o balanço de energia pode ser aplicado. Assim, para o sistema de volume constante:

$$Q - W = \Delta U$$

$$W = 0$$

$$Q_{v,T} = U_{\text{prod}} - U_{\text{mist}} \quad (\text{a})$$

Enquanto para o processo de fluxo à pressão constante

$$Q - W = \Delta U + \Delta pV$$

$$W = 0$$

$$Q_{p,T} = H_{\text{prod}} + H_{\text{mist}} \quad (\text{b})$$

Nas equações (a) e (b) a diferença entre mistura e produtos inclui energia química interna, a qual foi liberada na reação. À seguir, estão relacionados os calores de combustão para alguns combustíveis:

COMBUSTÍVEL	CALOR DA COMBUSTÃO (Btu/mol)
BUTANO	10,49
OCTANO	17,78
ÁLCOOL METÍLICO	16,12
ÁLCOOL ETÍLICO	18,25
BENZENO	13,71
TOLUENO	14,25
XILENO	15,88

Sempre que um carburante contenha hidrogênio, um dos produtos da combustão será a água, que existirá como um líquido, ou um gás ou uma mistura de duas fases. Se a água formada pela combustão do hidrogênio do combustível pode ser condensada, o calorímetro registrará uma quantidade de calor maior do que se a água estivesse no estado de vapor. Devido este fato, dois calores específicos podem ser distinguidos:

- \* *poder calorífico superior* - a água formada encontra-se totalmente no estado líquido;
- \* *poder calorífico inferior* - a água formada encontra-se totalmente no estado de vapor.

A diferença entre estes dois valores é igual a energia latente de vaporização da água na determinada temperatura.

### C) Eficiência Térmica de um Motor a Combustão

Qualquer forma de motor a combustão é uma máquina de fluxo contínuo com ar e combustível entrando à temperatura e pressão atmosférica e os produtos de combustão liberados à pressão atmosférica. Para estas condições de fluxo, o calor da combustão que poderia ser obtido da mistura ar-combustível é o calor da combustão à pressão constante. Mas o motor a combustão produz trabalho e libera calor apenas como subproduto. Daí, poder-se designar a eficiência térmica desta conversão por:

$$\eta_t = W/Q_{P_o, T_o}$$

$P_o$  = pressão ambiente

$T_o$  = temperatura ambiente

A equação mostra que a eficiência térmica calculada do motor de combustão dependerá do valor que é atribuído ao calor de combustão.

A combustão do motor começa na vela, quando a centelha e as moléculas em torno dela são elevadas a um nível de energia em que a reação é auto-suficiente. Durante este período o aumento de pressão é pequeno porque a quantidade de carga queimada é extremamente pequena. Aqui a velocidade da chama é baixa porque se deve estabelecer uma *zona de reação* de alguma profundidade, e também a turbulência da mistura é baixa. É importante observar que todas as localizações das velas são próximas à superfície da câmara de combustão, onde a turbulência tenderá a ser mais baixa que nas porções centrais da câmara. por estas razões a centelha deve ocorrer antes do fim do período de compressão para que sejam obtidas altas pressões próximo ao período de expansão. O tempo requerido para a chama avançar 10% do comprimento da câmara.

Uma vez que a reação esteja em desenvolvimento, uma *frente de chama* avançará à partir da vela. Note-se que neste estágio o gás não queimado à frente da chama e o gás já queimado atrás desta frente estão comprimidos pela expansão da mistura em queima. Aqui, a combustão de qualquer elemento da mistura ocorre em pressão constante, mesmo que a pressão através da câmara esteja aumentando para o processo em conjunto.

O estágio final da combustão chega quando a chama diminui a velocidade à medida que se aproxima das paredes afastadas da câmara. O ponto final exato é difícil de ser determinado e portanto apenas a posição de 95% de deslocamento.

O processo de combustão descrito acima raramente ocorre num motor real sem aparecerem traços de auto-ignição, isto é, a mistura de combustível e oxigênio reagem espontaneamente sem a necessidade de uma chama para iniciar a combustão. Assim, o gás na frente da superfície normal da chama é comprimido pela expansão da mistura carburante e assim sua temperatura e sua densidade aumentam. Se a temperatura exceder a temperatura de auto-ignição (TAI) e permanecer alguma quantidade de gás não queimado nesta temperatura ou pouco acima dela durante o atraso de ignição, será registrado uma ignição espontânea ou auto-ignição em vários pontos focais.

Consideremos uma combustão a volume constante e adiabática de uma mistura ar-combustível. A primeira lei mostra que:

$$Q - W = \Delta U$$

$$Q = 0, W = 0$$

$$\Delta U = 0$$

$$U_{\text{PROD}, T_2} = U_{\text{MIST}, T_1} \quad (\text{a})$$

$$Q_{V, T_1} = U_{\text{PROD}, T_1} - U_{\text{MIST}, T_1} \quad (\text{b})$$

Substituindo (a) em (b):

$$Q_{v,T1} = - \Delta U_{\text{PROD}} = U_{\text{PROD}, T1} - U_{\text{MIST}, T2}$$

E, de modo semelhante para o processo de combustão à pressão constante,

$$Q_{p,T1} = - \Delta H_{\text{PROD}} = H_{\text{PROD}, T1} - H_{\text{MIST}, T2}$$

As equações acima significam que o processo de combustão pode ser considerado equivalente a queimar a mistura completamente a produtos na temperatura inicial  $T_1$ , e, com o calor de reação assim obtido, os produtos podem ser aquecidos à temperatura final  $T_2$ .

#### **D) Combustão em Motores Ignição por Centelha (ICE)**

A combustão no motor ICE é dependente de uma chama criada na vela e capaz de progredir na mistura não queimada. Enquanto o mecanismo exato da propagação da chama é desconhecido, a chama é evidência de uma reação química entre o combustível e o oxigênio, a qual libera energia com o conseqüente aumento de temperatura. Uma vez que a mistura teoricamente correta seria a mais reativa, e como as misturas reais nunca são inteiramente homogêneas, uma mistura levemente rica em combustível seria a mais adequada para a reação química. Mas a reação química não é a história completa da propagação da chama, porque a transferência de calor, por exemplo, da frente da chama para a mistura (fria) não queimada poderia elevar a temperatura e assim facilitar a propagação da reação. É possível que as partículas ativadas na frente da chama poderiam difundir-se no gás não queimado e assim manter a velocidade de combustão. Logo, pode-se concluir que uma mistura rica é requerida teoricamente para a propagação mais rápida da chama.

O processo de auto-ignição pode seguir vários caminhos. Em alguns casos a chama pode se propagar para fora de cada ponto focal de ignição com velocidades da mesma ordem da propagação normal da chama. Assim, a combustão e a expansão de cada elemento através da câmara ocorrem mais ou menos uniformemente em toda a mistura. Entretanto, a liberação de energia é muito mais rápida que na combustão normal, devido à multiplicidade de frentes de chama. Esta liberação rápida de energia pode causar vibração da estrutura do motor.

Por outro lado, a auto-ignição pode ocorrer em vários locais com velocidades explosivas. Aqui a expansão do elemento de ignição pode atrasar-se em relação à liberação rápida de energia e portanto um aumento de pressão localizado existirá momentaneamente na câmara.

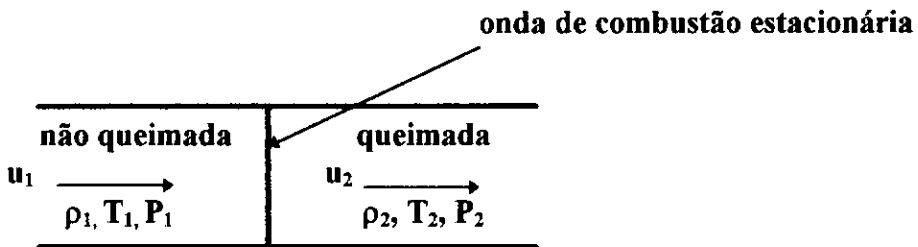
Assim, superpostas ao aumento geral de pressão existirão diferenças de pressão localizadas, provenientes da explosão quase instantânea de partes da mistura. A diferença de pressão localizada, quando pequena, viajará através da câmara à velocidade acústica e será refletida para a frente e para trás pelas paredes da câmara. O gás da câmara será alternadamente comprimido e expandido pela onda de pressão até que o equilíbrio de pressão seja restabelecido.

No processo normal de combustão, uma diferença pequena de pressão deve existir como a condição de propagação da frente da chama. Então, sempre que ocorra a auto-ignição, uma diferença de pressão deve necessariamente registrar-se devido à espontaneidade da liberação de energia, apesar de que estas diferenças de pressão possam ser pequenas e não determináveis pelos aparelhos usuais de medida de pressão.

Um objetivo do processo de combustão é queimar a mistura antes que o pistão tenha se deslocado muito no curso de expansão. Então uma leve auto-ignição é desejável porque irá aumentar o processo de combustão num momento em que a velocidade de chama está diminuindo. De fato, o máximo de potência é obtido no motor ICE comum quando a centelha é ajustada ao ponto da batida apenas perceptível.

Uma ignição adiantada motivada por um ponto quente é chamada *pré-ignição*, porque a chama começa antes que a centelha ocorra. A pré-ignição causará temperaturas e pressões ainda mais altas no gás final do que a ignição normal devido à sua ocorrência prematura no curso de compressão.

### E) Curva de Hugoniot



As equações de conservação para um fluxo permanente unidirecional, sem adição de calor externo ou perda de calor são:

#### \* *Continuidade*

$$\frac{1}{dx} \partial(\rho \cdot u) = 0 \quad (a)$$

#### \* *Momento*

$$\rho \cdot u \frac{du}{dx} = -\frac{dp}{dx} + \frac{d}{dx} \left[ \frac{4}{3} \mu + \mu \right] \frac{du}{dx} \quad (b)$$

## \* Energia

$$\rho u \left[ \frac{d}{dx} \left( h + \frac{u^2}{2} \right) \right] = - \frac{d}{dx} q_{COND} + \frac{d}{dx} \left[ u \left( \frac{4}{3} \mu + \mu \right) \frac{du}{dx} \right] \quad (c)$$

onde

$$q_{COND} = -\lambda \, dT/dX \quad (d)$$

$$h = C_p \cdot T + h^o \quad (e)$$

Integrando a equação (a) para equação (b) temos e desprezando  $\mu'$  temos:

$$\rho \cdot u = \text{constante} = m$$

$$\rho u \frac{du}{dx} + u \frac{d}{dx} (\rho u) = - \frac{dp}{dx} + \left( \frac{4}{3} \mu \frac{du}{dx} \right)$$

Da continuidade:

$$\frac{1}{dx} \partial(\rho \cdot u) = 0$$

$$\frac{d}{dx} \left[ \rho u^2 + p - \frac{4}{3} \mu \frac{du}{dx} \right] = 0$$

Integrando,

$$\rho u^2 + p - \frac{4}{3} \mu \frac{du}{dx} = \text{const}$$

A equação da energia se torna:

$$\rho u \left( c_p T + h^\circ + \frac{1}{2} u^2 \right) - \lambda \frac{dT}{dx} - u \left( \frac{4}{3} \mu \frac{du}{dx} \right) = \text{const}$$

pois  $du/dx$  e  $dT/dx$  são ambos iguais a zero na região não queimada e queimada.

### Relações entre as duas regiões

$$\rho_1 u_1 = \rho_2 u_2 = m$$

$$p_1 + \rho_1 u_1^2 = p_2 + \rho_2 u_2^2$$

$$C_p T_1 + \frac{1}{2} u_1^2 + q = C_p T_2 + \frac{1}{2} u_2^2$$

$$h_1 + \frac{1}{2} u_1^2 = h_2 + \frac{1}{2} u_2^2 \quad (f)$$

$$p_2 = \rho_2 R_2 T_2$$

$$C_p - C_v = R$$

Usando a definição para  $C_p$  e a equação de estado (f) obtemos a relação de Hugoniot:

$$\frac{\gamma}{\gamma - 1} \left( \frac{p_2}{\rho_2} - \frac{p_1}{\rho_1} \right) - \frac{1}{2} (p_2 - p_1) \left( \frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2} \right) = q$$

Em alternativa, a relação de Hugoniot pode ser expressa em termos de entalpia:

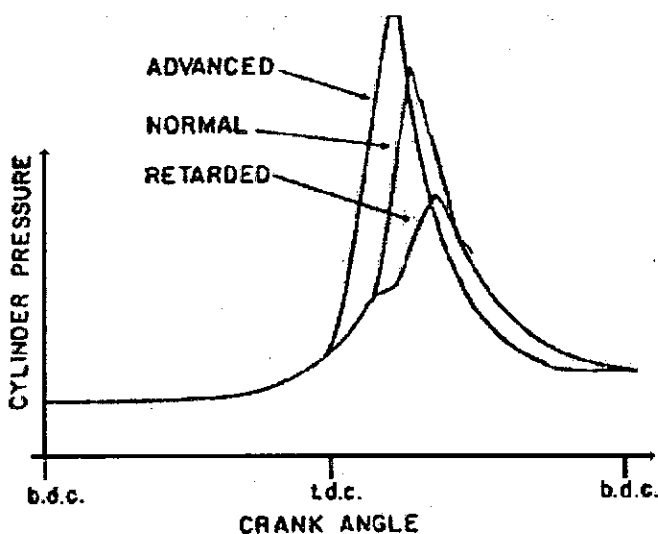
$$h_2 - h_1 = \frac{1}{2} (p_2 - p_1) \left( \frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2} \right)$$



### I.1.1-Revisão Bibliográfica

De acordo com estudos de Bahram Eghbali [22], a potência do motor a gás natural é limitada devido os limites de ignição do combustível e o fenômeno de detonação.

Em teste realizado em motor CFR, mostrou-se que quando utilizado gás natural como combustível ocorre a necessidade de avançar a centelha em  $10^\circ$  em relação ao recomendado pela ASMT para a gasolina. Caso isto não ocorra, observa-se que a combustão é lenta implicando em uma baixa eficiência - ver gráfico abaixo.

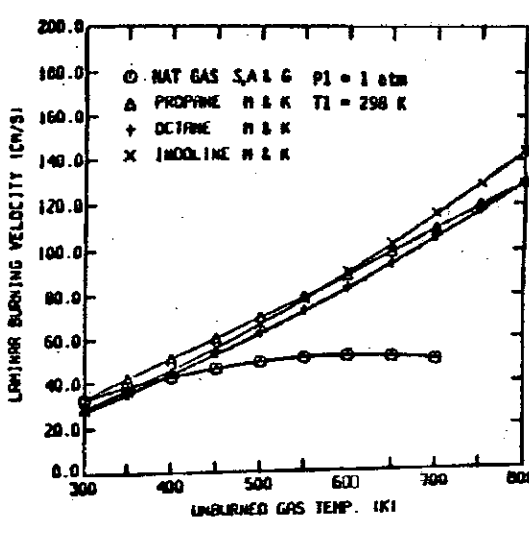


**FIGURA 01 - POSIÇÃO DA CENTELHA**

Outro fato que foi comprovado é que consegue-se aumentar a eficiência do motor modificando-se alguns parâmetros como:

- \* Relação Ar/Combustível;
- \* Limitação da taxa de compressão, de tal forma a evitar a detonação;
- \* Modificação na câmara de combustão.

Além disto, em testes realizados por Jones e Evans [24] em um motor Toyota Corolla, 04 cilindros, observou-se que com gás natural como combustível obtém-se uma perda de potência em 15% e de eficiência em 5%, devido à baixa velocidade de combustão, que é  $\cong 50$  a 60% menor que a velocidade de combustão da gasolina - ver figura abaixo.



**FIGURA 02 - VELOCIDADE DE COMBUSTÃO**

Esta baixa velocidade tem grande influência durante o período de atraso da ignição.

## 1.2- Gás Natural

### 1.2.1- Características Gerais

O gás natural é encontrado em formações de rochas porosas, indicando quase sempre a proximidade de depósitos de óleo cru. No entanto, a sua ocorrência não depende da existência do óleo, podendo ser encontrado em bolsões de gás. Quando encontrado junto com petróleo pode estar sob a forma de uma camada gasosa ou misturado ao óleo quando sujeito a pressões elevadas.

É composto basicamente de metano e outros hidrocarbonetos leves, apresentando ponto de ebulição bastante baixo em comparação com outros compostos de origem orgânica. O processo de purificação pelo qual o gás passa visa a retirada de compostos mais pesados, aproveitados na indústria química, petroquímica e mesmo na produção de outros combustíveis. Sua composição é bem variada, dependendo da região de extração e do tipo de processo de refino ou purificação a que é submetido - tabela 1.

% volume	Rio de Janeiro	Natal
CH <sub>4</sub>	86.73	84.30
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	9.66	10.76
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	1.67	.25
i C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	.03	-
n C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	.06	-
CO <sub>2</sub>	.56	3.12
N <sub>2</sub> + O <sub>2</sub>	1.29	1.57
PCS (kcal/kg)	9569	9185
Densidade Relativa	.629	.645

**TABELA 01 - COMPOSIÇÃO DO GÁS NATURAL**

Além disto, pode ser classificado em úmido ou seco, dependendo da percentagem de gasolina encontrada no gás. Para valores maiores de 0.013 l/m<sup>3</sup> é considerado como úmido. Quanto ao teor de enxofre (H<sub>2</sub>S), pode ser doce (baixas concentrações) ou ácido (altas concentrações).

## **I.2.2- Aspectos de Segurança**

A utilização do gás natural em veículos é mais segura, quando comparada com outros combustíveis líquidos, devido as seguintes características:

### **a) Limite de Inflamabilidade**

A faixa de mistura ar-gás para haver ignição é bem estreita:

5 a 14 % em volume de gás.

### **b) Temperatura de Ignição**

A temperatura de ignição do metano é bem superior a dos outros combustíveis convencionais - 650 °C.

### **c) Densidade**

O gás natural é mais leve que o ar ( $d = 0.62$ ) e, havendo um vazamento, sobe e dissipa-se rapidamente.

### **d) Não tóxico**

Em concentrações altas o mesmo pode causar vômitos e asfixia.

### **e) Odorização**

Como medida de segurança, o gás natural é odorizado de forma que uma concentração de 0.5% seja detectada. Essa concentração se encontra em níveis bem mais baixos do que os mínimos necessários para haver combustão ou para ser prejudicial à saúde.

## **I.2.3 - Gás Natural em Motores Veiculares - Ciclo Otto**

Os motores ciclo Otto são geralmente empregados em veículos leves, possuindo como principal característica a admissão de uma mistura ar+combustível, que é comprimida e tem sua combustão iniciada por uma centelha elétrica, gerada pelo sistema de ignição.

A conversão de um motor de ignição por centelha para o uso do gás natural é bastante simples, sendo necessário a instalação dos seguintes componentes:

- 1- Sistema de abastecimento e armazenamento de gás;
- 2- Sistema de redução de pressão ou evaporação de gás;
- 3- Sistema de dosagem e mistura ar/gás;
- 4- Válvulas para corte de combustível.

O funcionamento de um motor ciclo Otto alimentado por combustíveis líquidos ou gasosos se dá de forma análoga, a exceção de algumas particularidades apresentadas no caso de alimentação por gás.

À seguir, é mostrado um esquema do kit ciclo Otto bicomustível gás natural (GNC), encontrado no mercado.

<b>Item</b>	<b>Denominação</b>
<b>01</b>	<b>Redutor</b>
<b>02</b>	<b>Elemento de Ligação de Água</b>
<b>03</b>	<b>Misturador</b>
<b>04</b>	<b>Elementos de Ligação de Gasolina</b>
<b>05</b>	<b>Mangueira</b>
<b>06</b>	<b>Eletroválvula de Gasolina</b>
<b>07</b>	<b>Conjunto Marcha Lenta Independente</b>
<b>08</b>	<b>Válvula de Abastecimento</b>
<b>09</b>	<b>Válvula Termostática</b>
<b>10</b>	<b>Elementos de Ligação do Metano</b>
<b>11</b>	<b>Chave Comutadora com Chicote</b>
<b>12</b>	<b>Válvula Reservatório</b>
<b>13</b>	<b>Cilindros de Alta Pressão de GNC</b>
<b>14</b>	<b>Variador de Avanço</b>
<b>15</b>	<b>Mangueira do Depressor</b>
<b>16</b>	<b>Suporte</b>
<b>17</b>	<b>Válvula de Linha</b>
<b>18</b>	<b>Eletroválvula</b>

ESQUEMA DE MONTAGEM DO KIT-G.N.C.

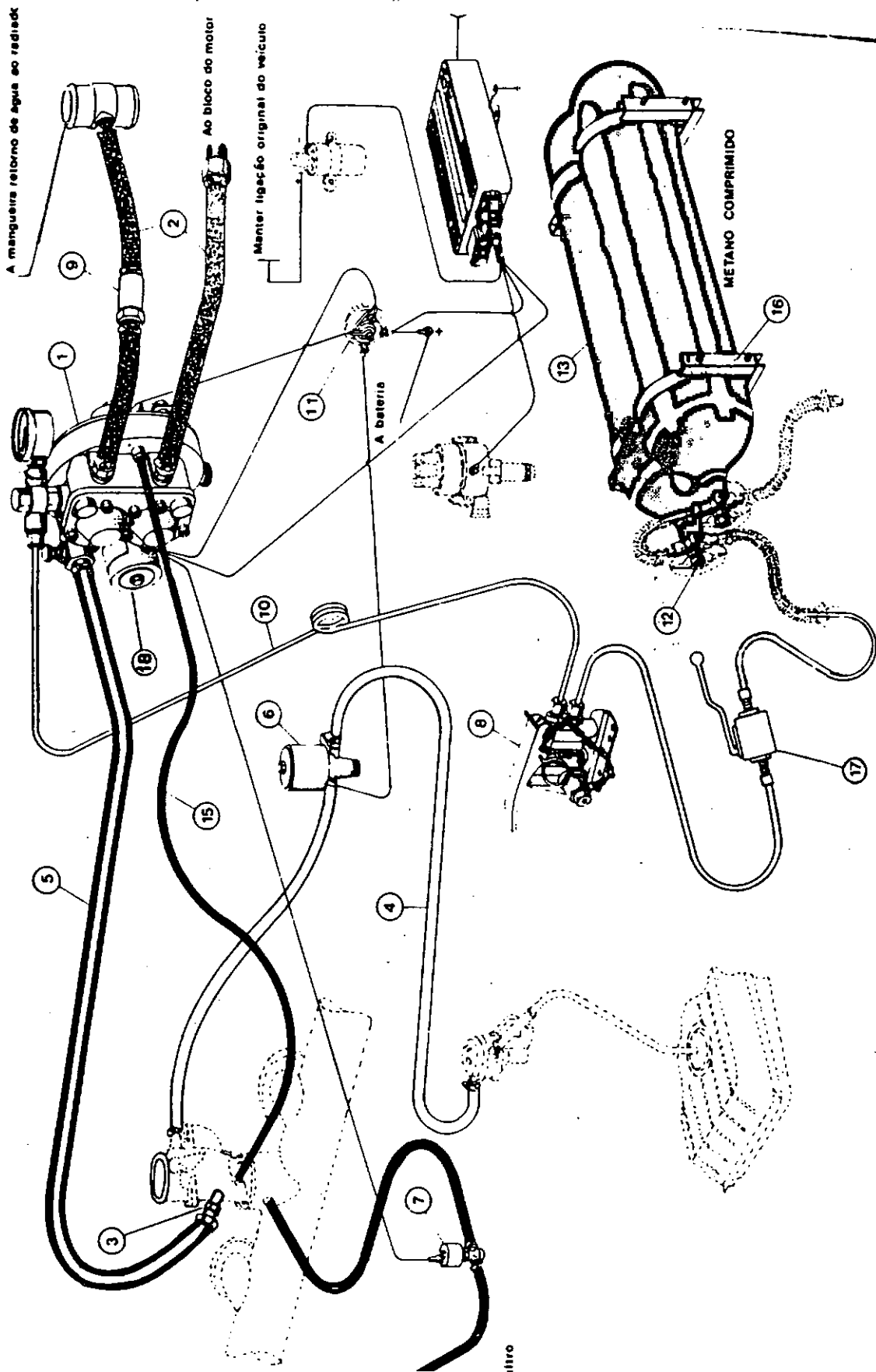


FIGURA 3 - ESQUEMA DE MONTAGEM DO KIT DE GÁS NATURAL COMPRIMIDO

## **I.2.4 - Características do Gás Natural e Aspectos de sua Utilização em Motores de Combustão Interna**

### **A) Mistura e distribuição de Combustível**

A mistura do gás natural com o ar se dá naturalmente sem necessidade de haver turbulência ou aquecimento. Essa mistura homogênea e bem distribuída pelos cilindros propicia:

- partidas mais fáceis;
- funcionamento a frio sem grandes problemas;
- queima mais completa.

### **B) Resfriamento do Sistema de Admissão da Câmara de Combustão**

Nos motores alimentados por combustíveis líquidos, é necessária a vaporização do combustível para facilitar a mistura com o ar. Para tal, transfere-se calor das partes em contato com a mistura, causando assim um resfriamento das mesmas.

Nos motores alimentados por gás isto não ocorre, e pode-se observar um aumento de temperatura na câmara de combustão, que o sistema de refrigeração deverá ser capaz de dissipar.

### **C) Potência Fornecida**

A quantidade de gás necessária a combustão ocupa um volume maior do que se esse combustível estivesse em estado líquido. Assim, a quantidade de ar admitida é menor, observando-se uma perda de potência da ordem de 10% quando o gás é utilizado.

### **D) Sistema de Ignição**

A mistura ar-gás ioniza o ambiente da câmara de combustão e, assim, requer maior voltagem do sistema de ignição para uma combustão mais eficiente. Os sistemas de ignição convencionais utilizados em motores ciclo Otto, são capazes de fornecer esta carga extra, desde que se encontrem em boas condições de uso.

### **E) Desgaste**

Como nenhum ou pouco carbono é formado durante a combustão, o motor movido a gás se mantém em boas condições de limpeza e, assim, observam-se menores taxas de desgaste para um mesmo período de utilização, quando comparado com motores alimentados por combustíveis líquidos.

### **F) Óleo Lubrificante**

O óleo lubrificante se mantém isento de impurezas por longos períodos devido a ausência de carbono formado na combustão dos motores alimentados a gás. Outrossim, não são observadas as freqüentes diluições de óleo lubrificante e remoção da película de óleo dos cilindros causados pelos combustíveis líquidos.

### **H) Amaciamento do Motor**

Devido a menor formação de carbono e, conseqüente, melhor lubrificação do conjunto cilindro/pisão/anéis, o amaciamento do motor movido a gás é prejudicial e os fabricantes recomendam a sua utilização inicial com combustíveis líquidos.

### **I) Desgaste Válvula/Sede de Válvula**

Alguns combustíveis líquidos recebem uma aditivação de chumbo para aumentar a octanagem. O gás natural não recebe essa aditivação, gerando assim duas conseqüências:

- menor poluição ambiental;
- maior desgaste no assentamento das válvulas com suas sedes.

O chumbo contido na gasolina deposita-se nas válvulas e sedes, agindo então como um lubrificante e protegendo-os da erosão.

### **J) Octanagem**

O índice de octano do gás natural é bem superior a maioria dos combustíveis líquidos. O funcionamento de um motor convencional com gás se dá de forma



excepcional devida a característica não detonante desse combustível, permitindo que se avance a ignição, melhorando a performance do motor, sem contudo, ocasionar problemas de detonação.

### ***1.3 - Emissões***

#### **1.3.1- Poluição Automotiva**

Ao alargar seus horizontes o ser humano descobre embora nem sempre em tempo hábil, a necessidade de interagir com o seu habitat como forma de preservar seus recursos de subsistência e melhorar a sua qualidade de vida.

Da relação custo/benefício entre a função dos meios locomotivos na sociedade moderna e a perturbação por eles causada ao meio ambiente, deve resultar o equilíbrio entre o possível e o desejável, entre o necessário e o descabido.

Avaliar por exemplo, as conseqüências do impacto ambiental produzido por certos tipos de veículos sobre a saúde pública é uma tarefa difícil, especialmente em países que requerem uma geração de riquezas crescentes e onde o transporte econômico representa um trunfo indispensável.

O controle da poluição veicular é também função da estrutura de transporte do fluxo de veículos, da adequação destes ao trajeto em que circulam e de sua operação. Estes fatores afetam diretamente o nível de emissões e o consumo de combustível dos veículos. Caberá então aos órgãos responsáveis, garantir o cumprimento das etapas estabelecidas na legislação, utilizando normas e dispositivos aos quais estarão submetidos todos os segmentos envolvidos na questão: indústria automotiva, fabricantes de combustíveis, administração pública e usuários.

No Brasil, a regulamentação é feita pelo Proncove (Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores), criado pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente, que regulamentou os níveis de emissão de poluentes por veículos e o prazo em que essa regulamentação entra em vigor.

#### **1.3.2 - Características dos Poluentes**

A poluição do ar, causada por múltiplos fatores, é um problema de todos. Os motores veiculares, quando desregulados ou em mau estado de conservação, lançam no ar uma elevada quantidade de poluentes, agravando ainda mais a situação.

Os motores de combustão interna transformam o calor produzido pela queima do combustível em trabalho mecânico. Como resultado desta queima, descarregam na atmosfera diversos tipos de gases tais que:

*CO<sub>2</sub> - dióxido de carbono*

*H<sub>2</sub>O - vapores de água*

*N<sub>2</sub> - nitrogênio*

*C - carbono*

*CO - monóxido de carbono*

*HC - hidrocarbonetos*

*NO - óxidos de nitrogênio*

*SO<sub>2</sub> - anidrido sulfuroso*

Desses gases, apenas CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e N<sub>2</sub> não nocivos ao meio ambiente.

Substância	Forma como é encontrado	Efeitos no Meio Ambiente
Hidrocarbonetos (HC)	Gás que dependendo da composição podendo ou não ser inodoro.	Alguns aromáticos são considerados cancerígenos e atacam o sistema nervoso.
Óxido de Nitrogênio (NO <sub>x</sub> )	NO - gás inodoro, sem gosto e incolor; NO <sub>2</sub> - gás avermelhado	"Smog fotoquímico: causa irritação nos olhos, nariz e garganta.
Monóxido de Carbono (CO)	Gás inodoro, incolor e sem gosto.	Dores de cabeça, desconforto e cansaço. Em ambiente fechado pode levar à morte.
Ozônio (O <sub>3</sub> )	Gás incolor com odor característico.	Na estratosfera, detém os raios ultravioletas.
Óxido de Enxofre (SO <sub>x</sub> )	Gases incolores, altamente tóxicos e de odor irritante.	Danos às vias respiratórias, à vegetação, etc.
Fumaça Branca	Gás branco de odor desagradável.	Irritações nas vias respiratórias e nos olhos.
Chumbo (Pb)	Metal pesado jogado na atmosfera em forma de pequenas partículas.	Lento envenenamento que causa a degeneração no sistema nervoso.

**TABELA 2 - PRODUTOS DA COMBUSTÃO INCOMPLETA: FORMAÇÃO E EFEITOS**

### I.3.3 - Emissões com Gás Natural Combustível

A utilização do gás natural reduz sensivelmente a emissão de substâncias poluentes proveniente da descarga dos veículos. Apresenta como benefícios ambientais:

- ausência de óxidos de enxofre;
- ausência de odores e compostos orgânicos reativos;
- ausência de material particulado (fumaça negra).

A tabela à seguir, mostra uma comparação da emissão média de poluentes para motores a gás natural, gasolina e álcool.

Constituintes	Gás Natural	Álcool	Gasolina
---------------	-------------	--------	----------

CO	12.0	16.0	22.0
HC	2.80	1.60	2.00
NOx	2.20	1.80	1.00
Partículas	0.00	0.00	0.20
SOx	0.00	0.00	0.16

**TABELA 3 - EMISSÃO MÉDIA DE POLUENTES (g/km)**

### I.3.4 - Catalisadores

A utilização do catalisador entre as soluções estudadas tecnicamente pelas indústrias automobilísticas, é a que tem demonstrado melhores resultados em termos de funcionalidade, confiabilidade a longo do prazo e custo, afim de diminuir a emissão do nível de poluentes para a atmosfera.

O termo conversor catalítico, designa genericamente um reator metálico instalado no sistema de escapamento. Este reator, de aço inoxidável, contém o catalisador propriamente dito, que é constituído de uma colméia cerâmica ou metálica (monolito) impregnada com substâncias ativas. Essa colméia é formada por

milhares de minúsculos canais (células), por onde passam os gases poluentes. As paredes destes canais são recobertas com óxidos de metais, que criam uma superfície de contato. Externamente, o monolito é envolvido por uma manta amortecedora destinada a protegê-lo contra vibrações e choques.

As substâncias ativas são o óxido de alumínio, metais preciosos cataliticamente ativos (Pd, Pt e Rh) e promotores (substâncias que aumentam a ação catalítica dos metais preciosos). Somente as substâncias ativas são responsáveis pelos efeitos catalíticos; a colméia cerâmica ou metálica serve apenas como material suporte.

#### *1.4 - Objetivos*

Este trabalho visa desenvolver um programa intensivo de estudos para utilização do gás natural em motores ciclo Otto.

Um dos objetivos deste programa é estudar o comportamento do gás natural quando injetado diretamente na câmara de combustão e injetado diretamente e indiretamente no coletor de admissão. Diante disto, foi projetada e construída uma câmara auxiliar de combustão, instalada em um motor de pesquisa CFR-Octano que foi instrumento adequadamente para a utilização do gás natural. Nesta câmara foi instalado um injetor elétrico de combustível (bico injetor), comandado eletronicamente por um sistema de acionamento desenvolvido no próprio laboratório. A câmara de acordo com Maxson e Oppenheim [17] representa um volume inferior a 2% do volume total deslocado pelo pistão, o que garante que ocorra a variação contínua da taxa de compressão sem afetar substancialmente o seu valor máximo (14:1). Além disto, também foram desenvolvidos adaptadores para a injeção contínua (fluxo direto e fluxo direcionado) e para injeção sincronizada no coletor de admissão, de tal forma a ser possível analisar e comprar os níveis de emissões, eficiência e potência do motor em comparação com outros combustíveis como álcool e gasolina, e entre os métodos de injeção.

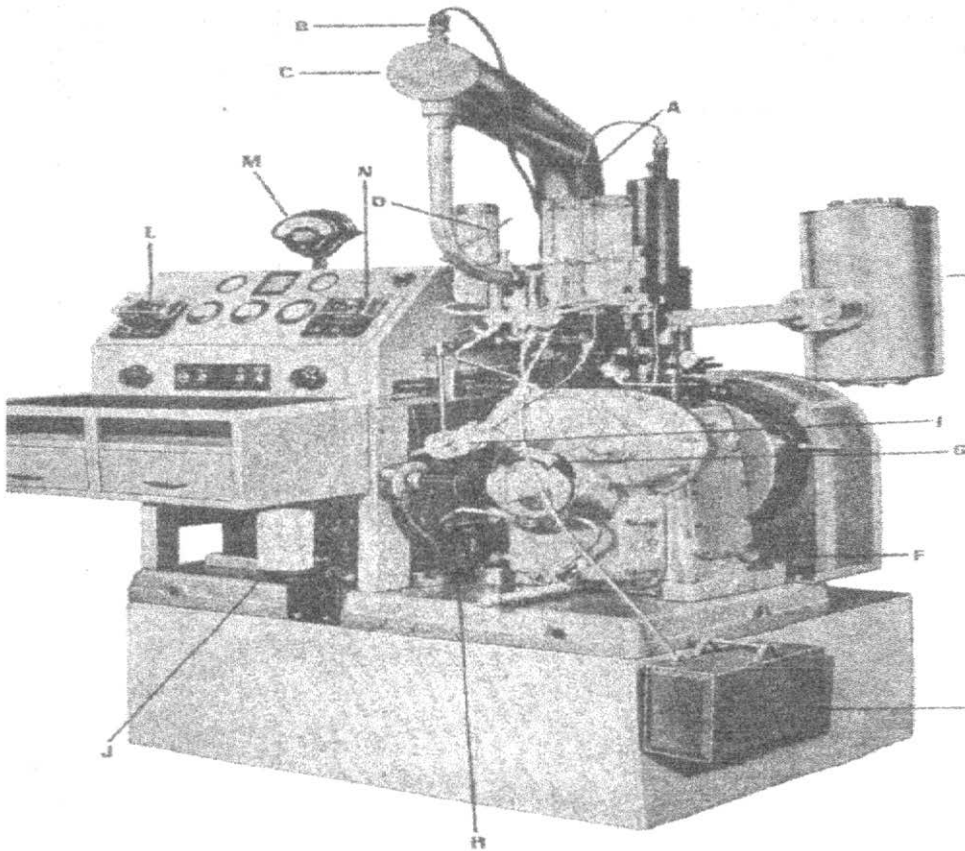
O interesse nestes sistemas de injeção respalda-se tanto na redução final de custo a nível de consumo de combustível, como na obtenção de índices menores de emissão de poluentes, devido a possibilidade de estratificação da mistura na câmara de combustão, isto é, utilização de misturas globais mais pobres no cilindro, permitindo o uso de taxas de compressão maiores, reduzindo a emissão de  $\text{NO}_x$ . Espera-se também um aumento de potência do motor em relação ao sistema convencional de injeção de gás natural, que produz atualmente de acordo com Granado [6], Barreto [12] e Ventura [34] potência cerca de 15% menor, devido à expansão do gás ao ser admitido nos cilindros, reduzindo o rendimento volumétrico, equiparando o motor em eficiência quando comparado com o movido a gasolina.

## **II - Metodologia Experimental**

### **II.1 - Equipamento**

#### **II.1.1 - CFR - Octano**

O equipamento utilizado neste trabalho foi um motor CFR - Octano, que apesar de possuir um projeto bastante antigo, possui características que o tornam particularmente atrativo para fins de pesquisa - figura 4.



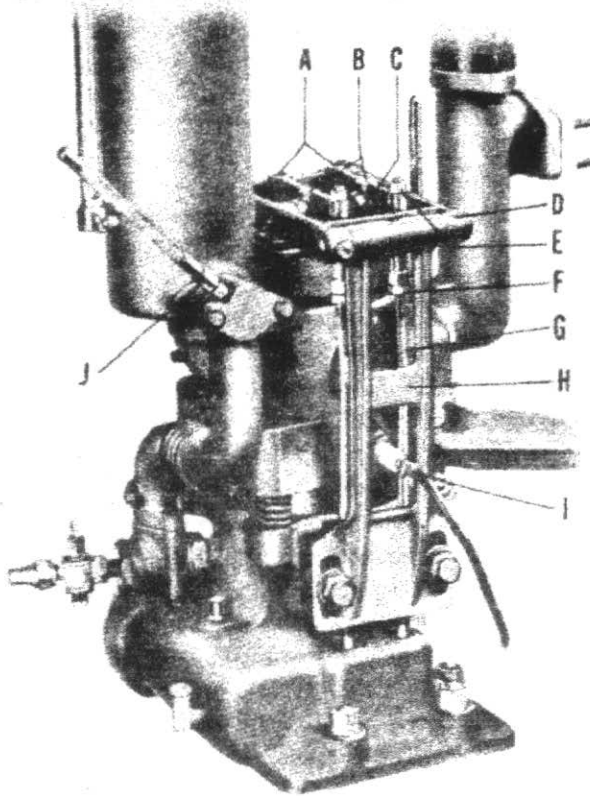
**FIGURA 4 - MOTOR CFR-OCTANO**

## Principais Características:

### 1) Motor

Monocilíndrico, 4 tempos, ciclo Otto, horizontal, refrigerado a água, comando de válvulas lateral e válvulas no cabeçote - figura 5.

- diâmetro : 8,255 cm
- curso : 11,430 cm
- cilindrada total : 611,74 cm



**FIGURA 5 - COMANDO DE VÁLVULAS**



## 2) Taxa de Compressão

Variação contínua de 4,5:1 a 16:1 com o motor em funcionamento. A leitura da taxa é dada por um micrômetro em polegadas, com menor divisão de 0,001 polegadas, que registra a altura do cabeçote do motor. De posse deste valor, entra-se em uma tabela e obtém-se o valor da taxa de compressão - figura 6.

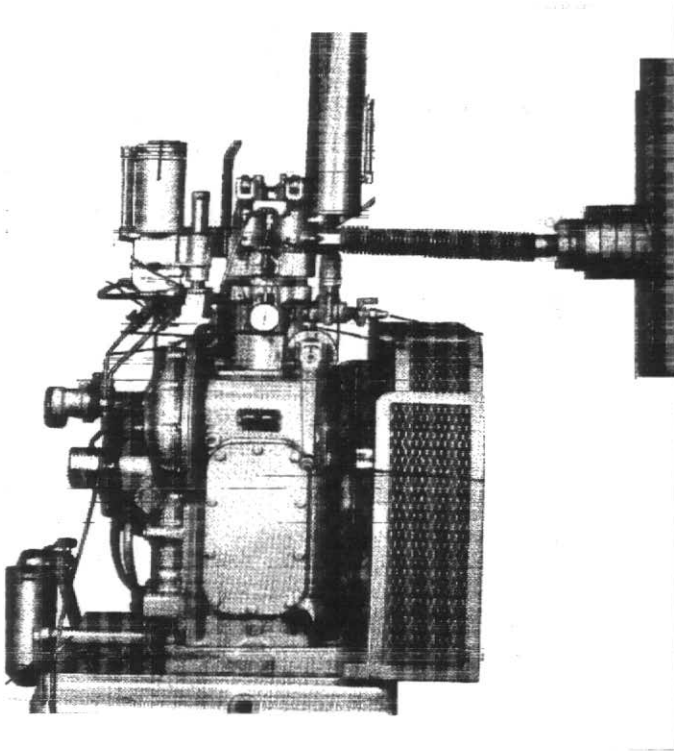
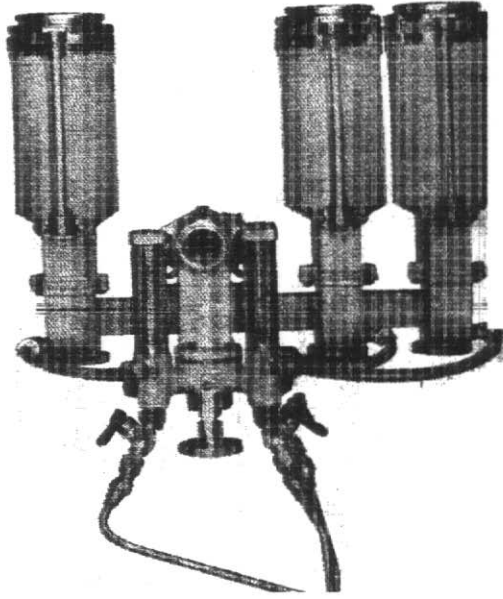


FIGURA 6 - VARIAÇÃO DA TAXA DE COMPRESSÃO

## 3) Relação Ar - Combustível

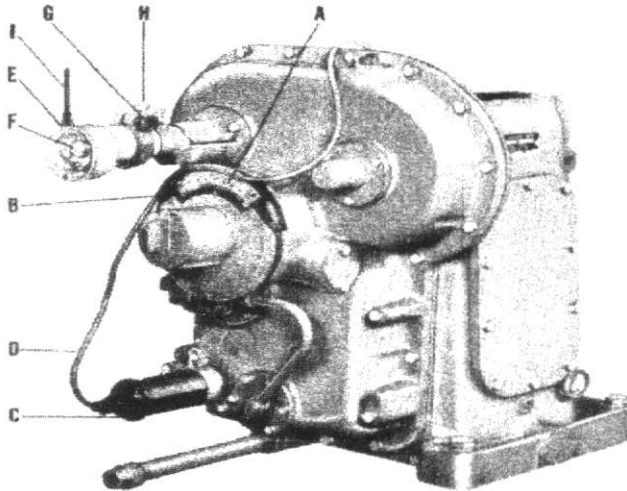
É obtida pela variação do desnível do combustível na cuba do carburador em relação ao pulverizador do venturi - figura 7.



**FIGURA 7 - CUBAS DE COMBUSTÍVEL LÍQUIDO**

#### **4) Avanço de Centelha**

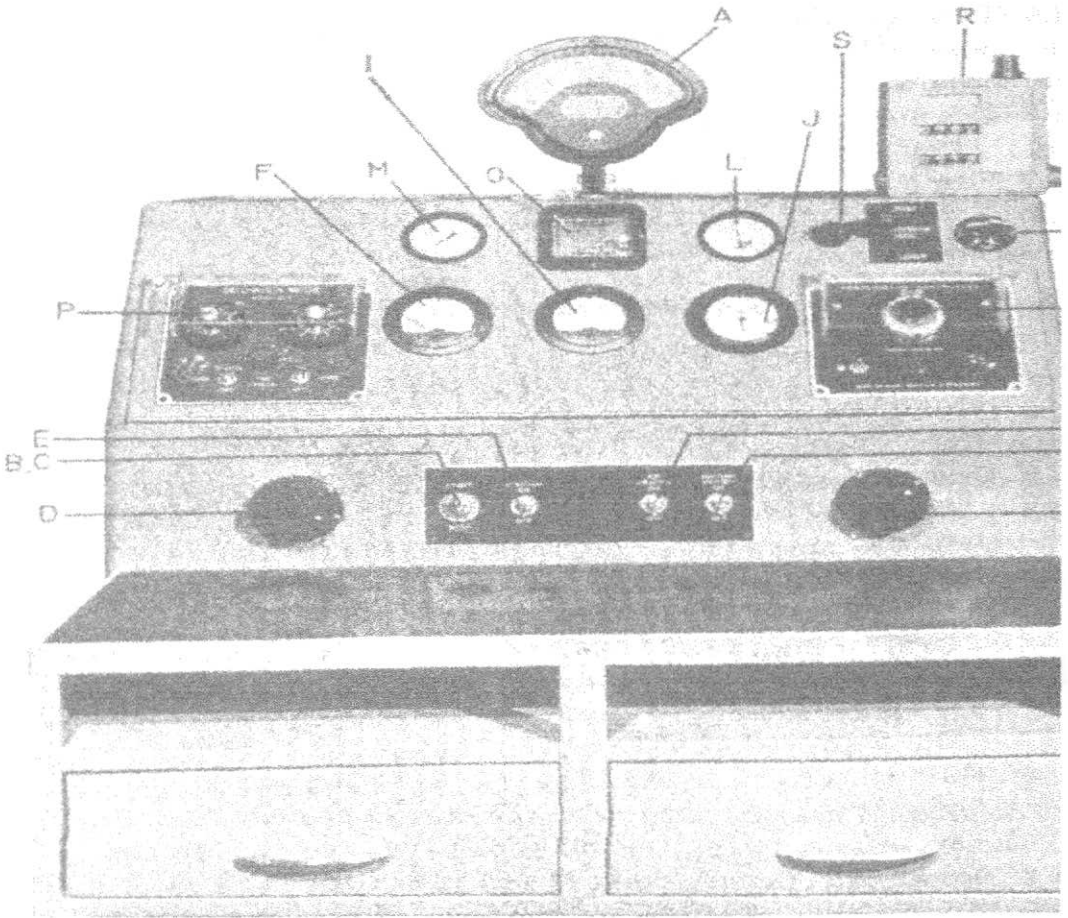
É obtido através de um mostrador que indica instantaneamente a quantos graus a centelha está ocorrendo em relação ao ponto morto superior. Este valor pode ser modificado com o motor em funcionamento - figura 8.



**FIGURA 8 - DISTRIBUIDOR**

## 5) Temperaturas

Tanto a temperatura do ar de admissão como da mistura ar - combustível no interior do coletor de admissão podem ser controladas através de resistências elétricas, localizadas à montante e à jusante do venturi, possuindo potência máxima de 300 W e 1000 W respectivamente - figura 9.



**FIGURA 9 - PAINEL DE CONTROLE**

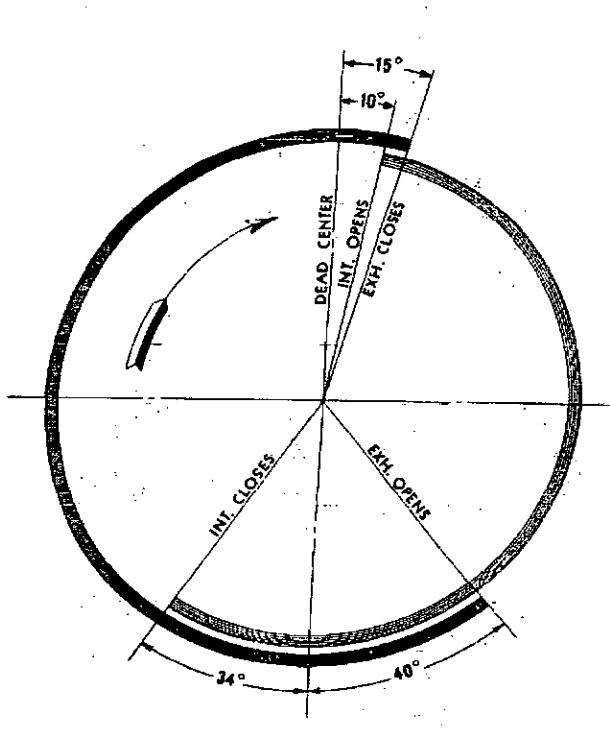
Obs: O motor ainda permite a leitura da temperatura e da pressão do óleo, como também da água de refrigeração, que permanece em condições normais de

trabalho em torno de 100 °C, devido a ação do sistema evaporativo do trocador de calor .

Principais Limitações:

### 1) Rotação

Devido sua construção mecânica e seu sistema de admissão, que possui instantes de abertura e fechamento da válvula diferentes dos convencionais, observou-se que para rotações superiores a 1000 rpm, ocorre um queda acentuada do rendimento volumétrico - figura 10.



**FIGURA 10 - DIAGRAMA DE VÁLVULAS CFR-OCTANO**

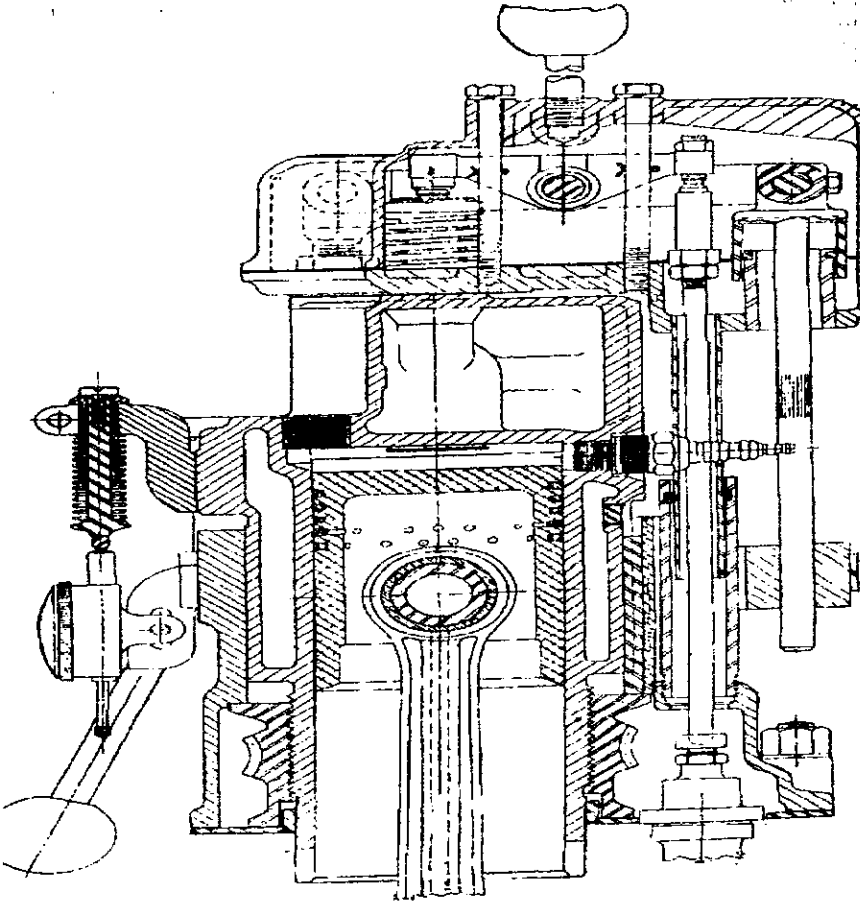
### 2) Câmara de Combustão

O formato da câmara de combustão em forma de disco e a localização da vela de ignição em um dos extremos do cabeçote desfavorece a combustão - figura 11.

Principais Modificações:

1) Instalação de um dinamômetro eletromagnético.

2) Instalação de uma borboleta de aceleração para controle da vazão de ar que entra no coletor de admissão.



**FIGURA 11 - FORMATO DA CÂMARA DE COMBUSTÃO E POSIÇÃO DA VELA DE IGNIÇÃO**

### II.1.2 - Dinamômetro

O dinamômetro associado ao motor CFR - Octano, permite a variação da rotação do motor, pois o motor elétrico síncrono que gira em série pode ser desligado.

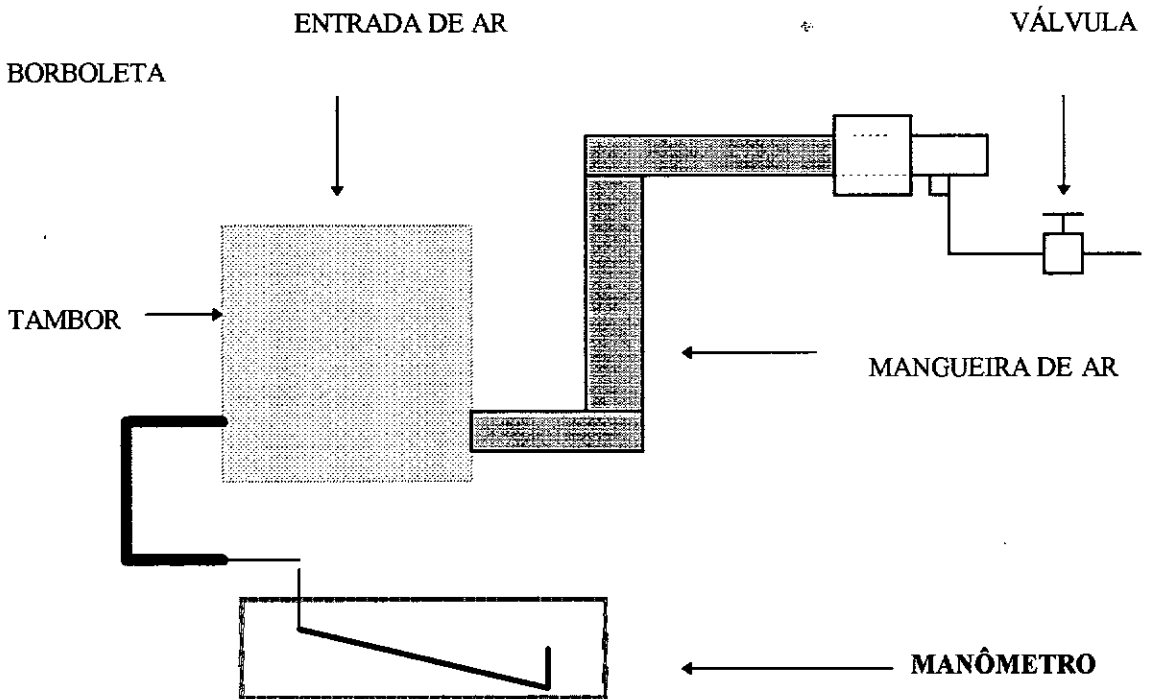
O sistema dinamométrico, consiste em um absorvedor tipo corrente parasita de FOUCAULT, marca Dynamic, com capacidade máxima de absorção de 30 HP e rotação máxima de 8000 rpm.

## II.2 - Instrumentação

### II.2.1- Medidor de Vazão de Ar

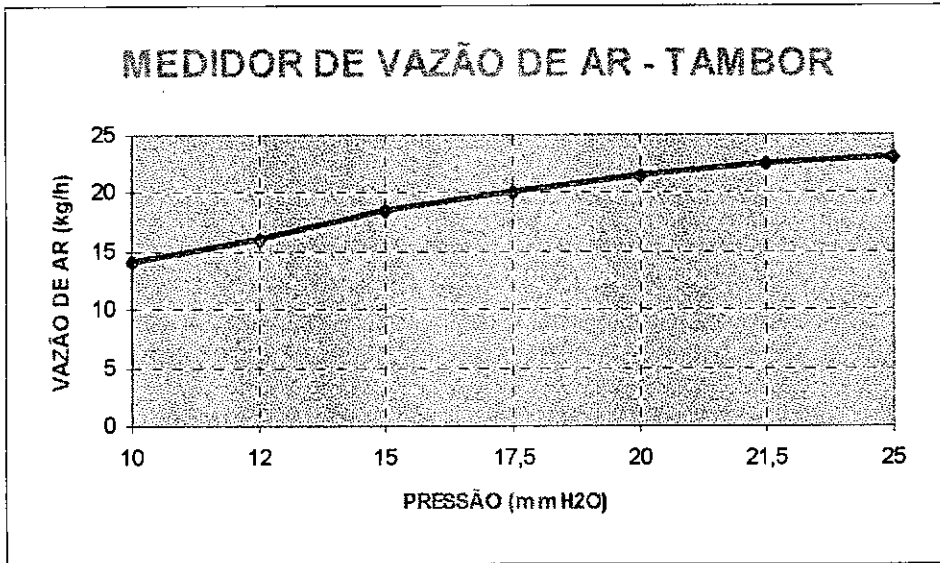
#### A - Tambor

A medição de vazão de ar foi realizada utilizando um bocal calibrado localizado na entrada de uma câmara de amortecimento de pulsações - figura 12.

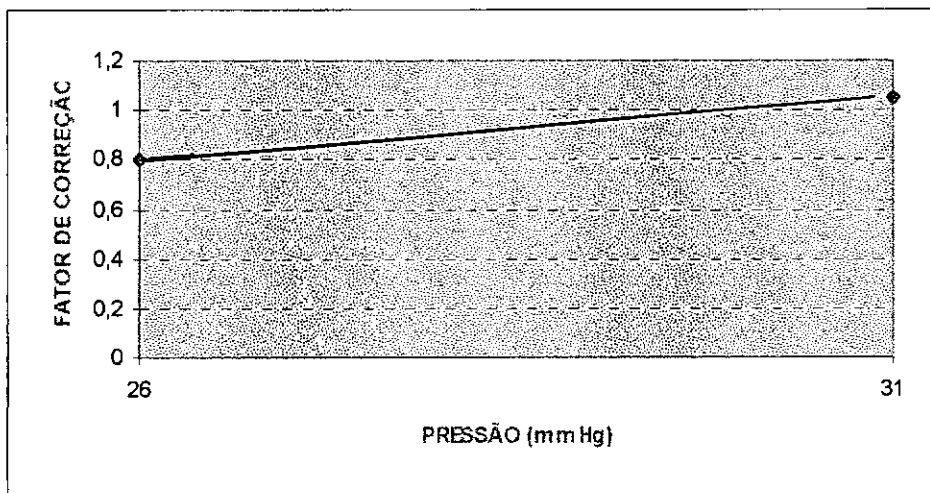


**FIGURA 12 - TAMBOR**

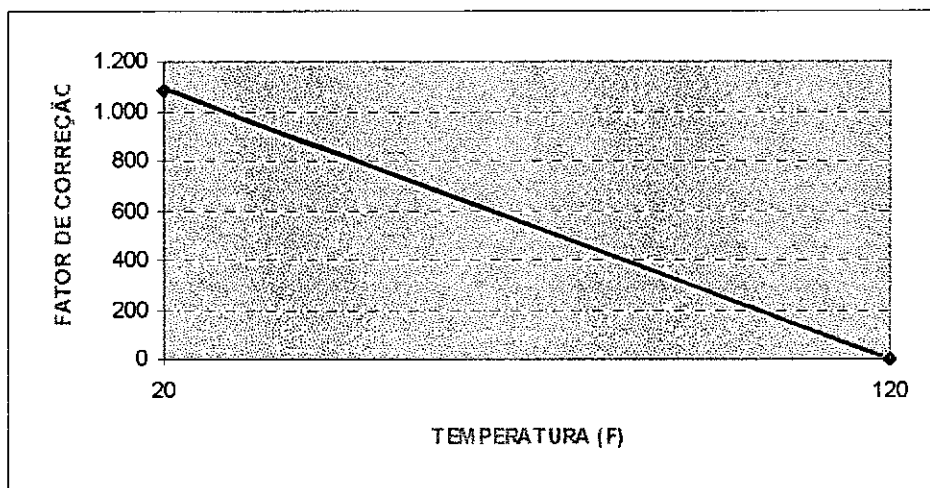
Este medidor possui como princípio de funcionamento a variação de pressão do fluxo de ar através do bocal de 19,05 mm de diâmetro, que é obtida através de um manômetro inclinado, com leitura em mmH<sub>2</sub>O e menor divisão de 1 mm H<sub>2</sub>O, afim de se obter uma melhor precisão. De posse deste valor e com os valores das temperaturas de bulbo seco, bulbo úmido, ambiente e pressão barométrica consegue-se obter a vazão real de ar utilizando a curva e as cartas de correção do fabricante do sistema .



**FIGURA 13 - CURVA DE VAZÃO DE AR**



**FIGURA 14 - FATOR DE CORREÇÃO DA PRESSÃO**

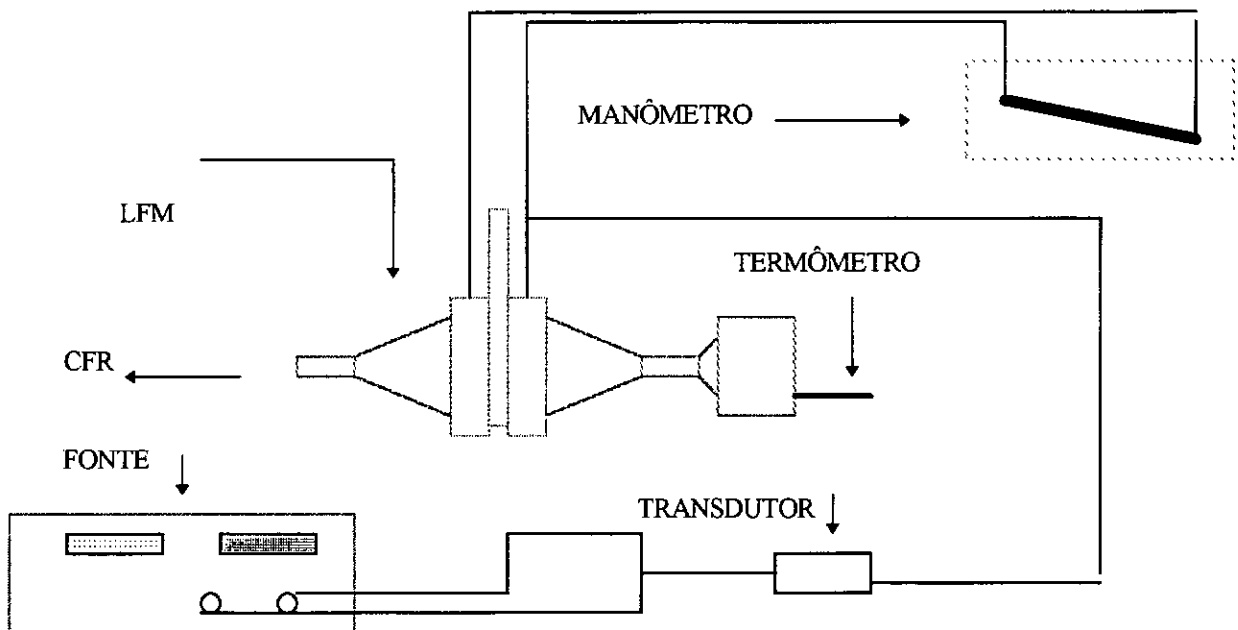


**FIGURA 15 - FATOR DE CORREÇÃO DA TEMPERATURA**

Devido a necessidade de evitar uma explosão na câmara de compensação, no caso de ocorrer retorno de gás pela linha de admissão de ar, foi confeccionado um sistema de proteção especial para a mesma próximo ao bocal, utilizando uma placa de acrílico.

## B - Medidor de Fluxo Laminar

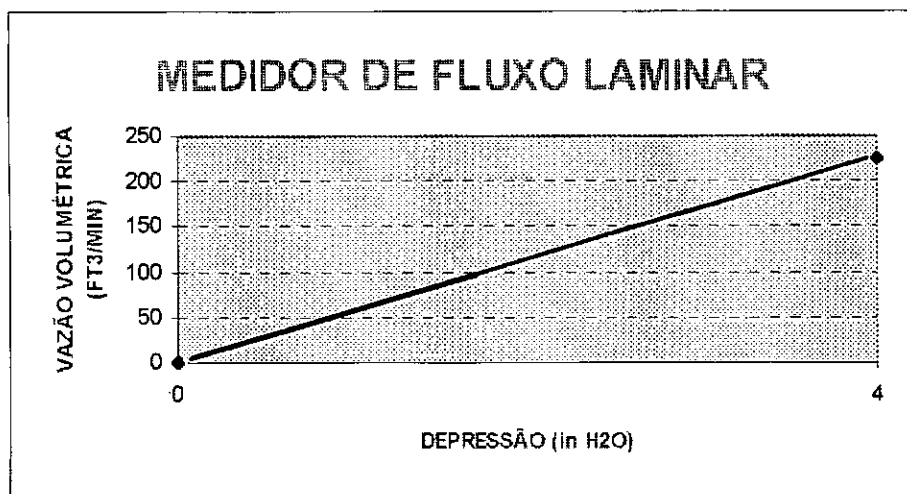
Este medidor foi utilizado apenas com a finalidade de verificar a veracidade dos valores obtidos pelo tambor.



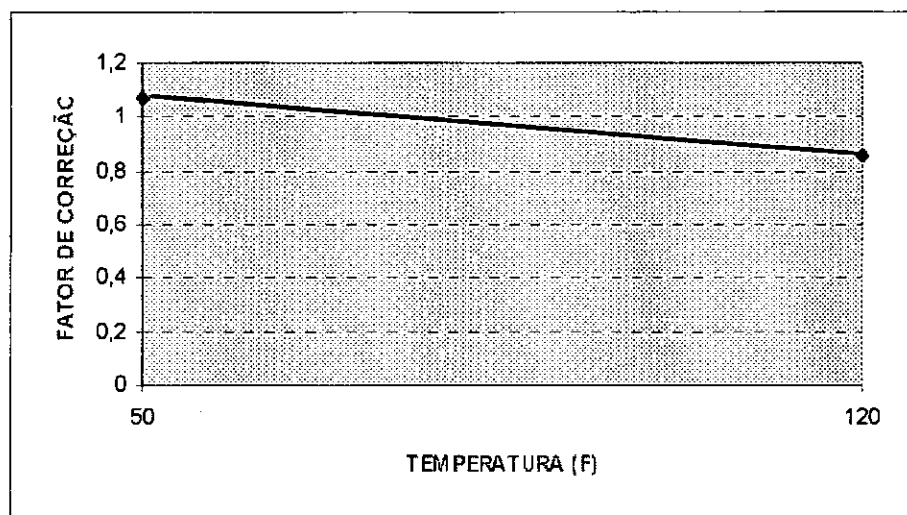
**FIGURA 16 - MEDIDOR DE FLUXO LAMINAR**

Possui como princípio de funcionamento a criação de uma leve diferença de pressão, devido a inserção de um elemento em forma de matriz na corrente de fluxo. Para sua precisão deve seguir o princípio do escoamento laminar. Um sistema completo consiste em um elemento primário - o próprio medidor e um elemento secundário - medidor de pressão diferencial, tal como um transdutor de pressão. Além disto, deve-se utilizar um sensor de temperatura à montante do medidor afim de realizar correções de temperatura. De posse destes valores, através da curva e das cartas de correção, consegue-se obter o valor real da vazão de ar.

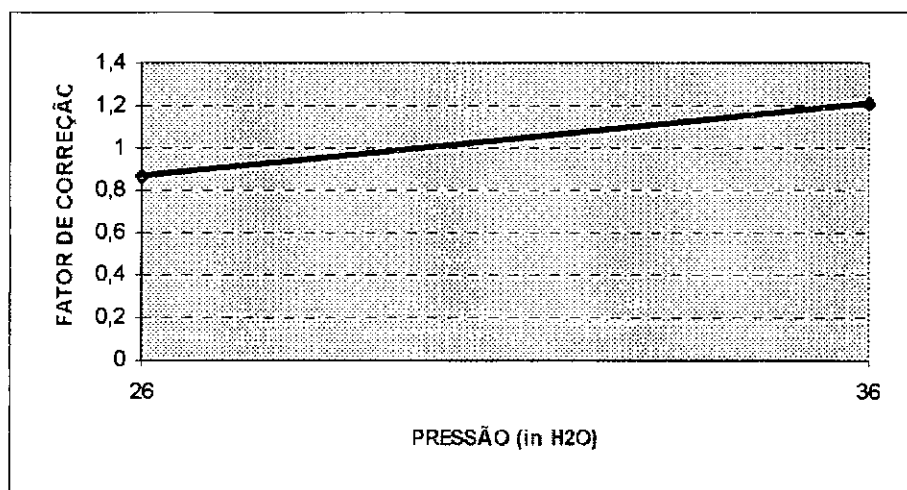




**FIGURA 17 - CURVA DE VAZÃO DO LAMINAR FLOW METER**



**FIGURA 18 - FATOR DE CORREÇÃO DA TEMPERATURA**



**FIGURA 19 - FATOR DE CORREÇÃO DA PRESSÃO**

Para a realização da calibração, procedeu-se da seguinte forma:

- 1) Marcou-se 05 (cinco) variações angulares na borboleta de aceleração.
- 2) Efetuou-se a medidas utilizando o tambor.
- 3) Efetuou-se as medidas utilizando o medidor de fluxo laminar.
- 4) Comparou-se as vazões obtidas por intermédio do traçado de um gráfico  $m_{LFM}$   
X  $m_{TAMBOR}$ .

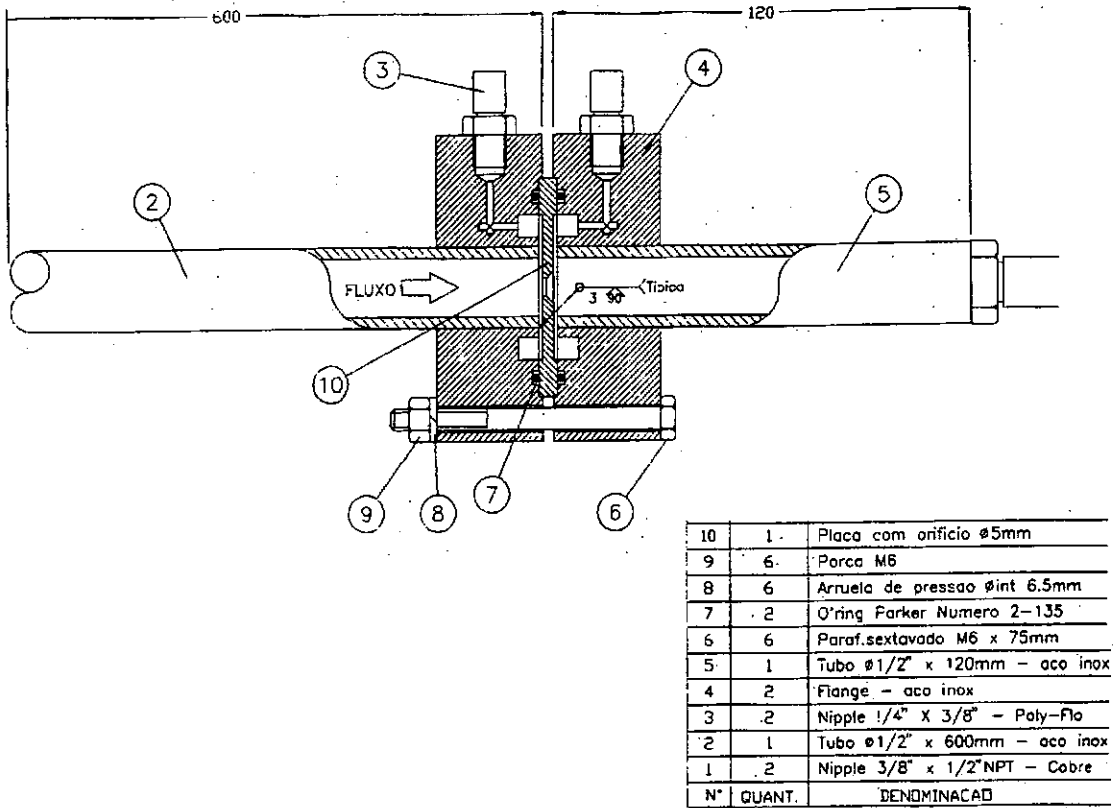
## II.2.2 - Medidor de Vazão de Combustível Gasoso

### A - Placa de Orifício

A placa de orifício é um instrumento de geração de perda de carga e medição de vazão. Provoca duas regiões de grande turbulência no escoamento, onde ocorrem transformações irreversíveis de energia, criando um grande perda de carga. Apresenta como vantagens a grande simplicidade de fabricação, facilidade de montagem, baixo custo e boa precisão.

A placa de orifício utilizada foi projetada e confeccionada no próprio laboratório. Para o projeto foi feito um programa computacional - ver apêndice G, utilizando como referência o Manual de Medição de Vazão [9], para o cálculo de placas de orifício de pequenos diâmetros. No caso do projeto mecânico, certas precauções foram tomadas:

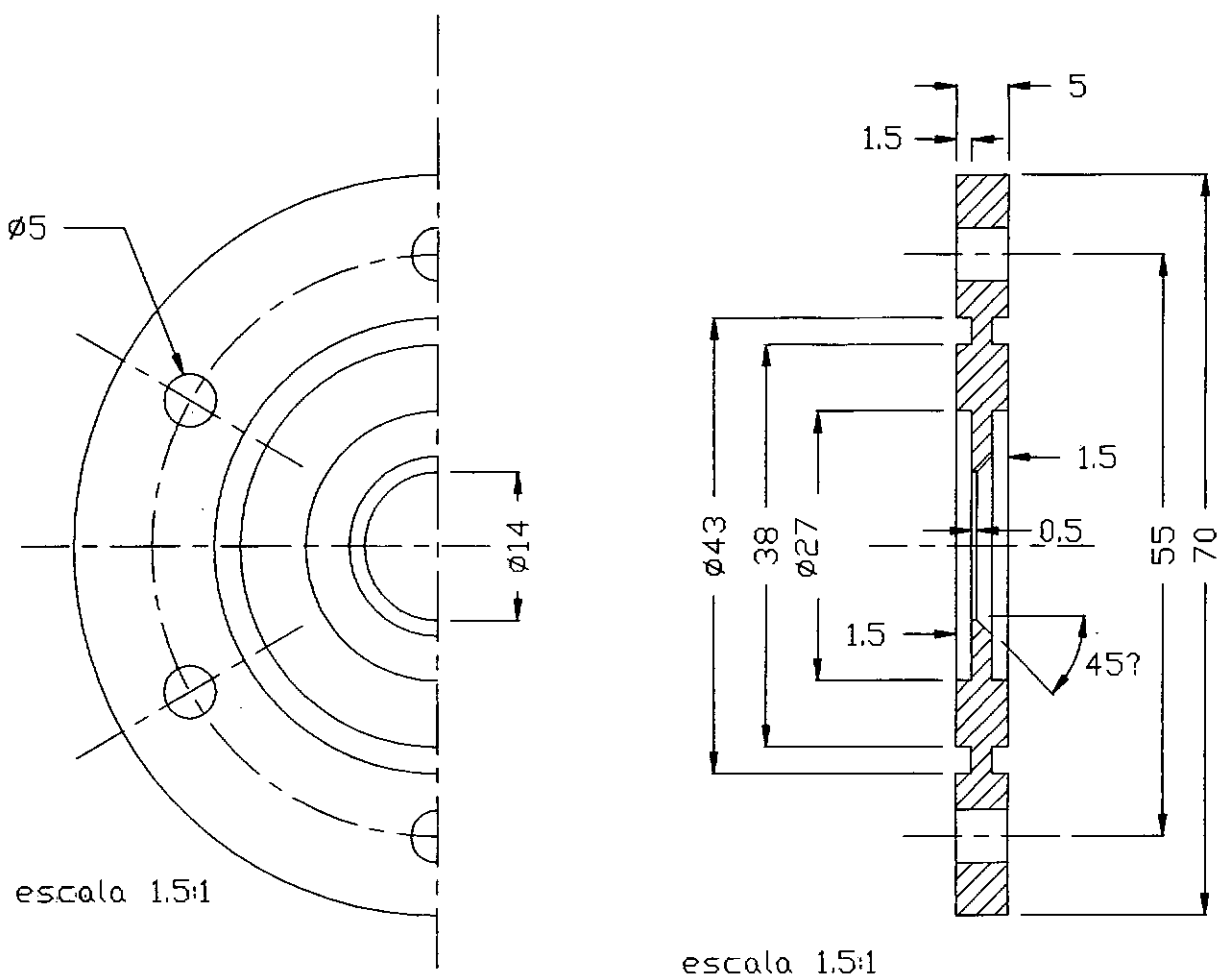
- 1) O tubo de medição era de parede grossa, em aço inox adequado à aplicação, sendo o trecho reto à montante pelo menos 36 (trinta e seis) vezes o diâmetro interno do tubo e à jusante 05 (cinco) vezes - figura 20.



**FIGURA 20 - MEDIDOR DE COMBUSTÍVEL GASOSO COMPLETO**

2) A placa foi confeccionada em aço inox com espessura de 3mm (1/8"). A usinagem foi feita com bastante precisão pois as características geométricas têm grande influência sobre a repetibilidade da medição. Foi chanfrada à jusante com ângulo compreendido entre 30° e 45° - figura 21.

3) As tomadas de pressão foram feitas em ranhuras anulares, formando câmaras piezométricas de cada lado da placa. As fendas anulares eram contínuas em todo o seu perímetro e a abertura foi de pelo menos 12 mm. Os eixos da tomada e da tubulação formavam um ângulo mais próximo possível de 90°

**FIGURA 21 - PLACA DE ORIFÍCIO**

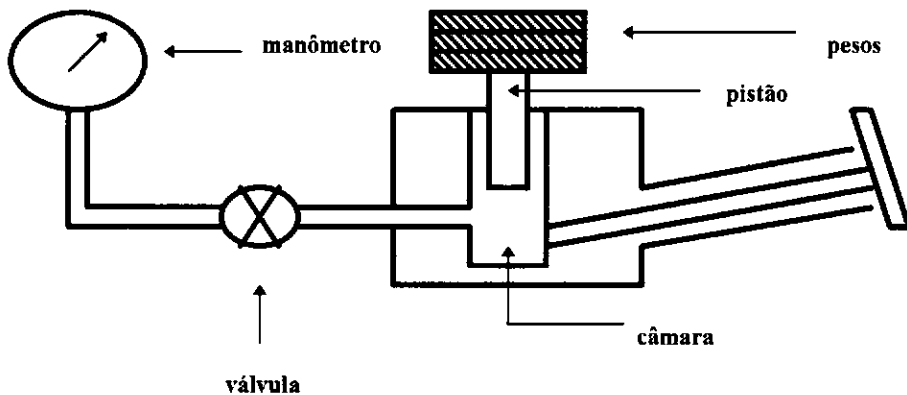
Obs: À montante do tubo de medição, antes da tomada de pressão foi instalado um termopar afim de medir a temperatura do gás natural, que será utilizada no cálculo da vazão.

A diferença de pressão foi obtida utilizando um transdutor de pressão, acoplado nas tomadas de pressão. Este transdutor possuía uma resistência para casamento de impedâncias, que deve ser ligada ao pólo positivo da fonte de 24 Volts. Possui como principais características:

- *Marca SMAR , modelo LD 300 D1*
- *Faixa Operacional: 0 - 500 mmH<sub>2</sub>O*
- *Ligação : 2 (dois) fios*
- *Saída : 4 - 20 mA*

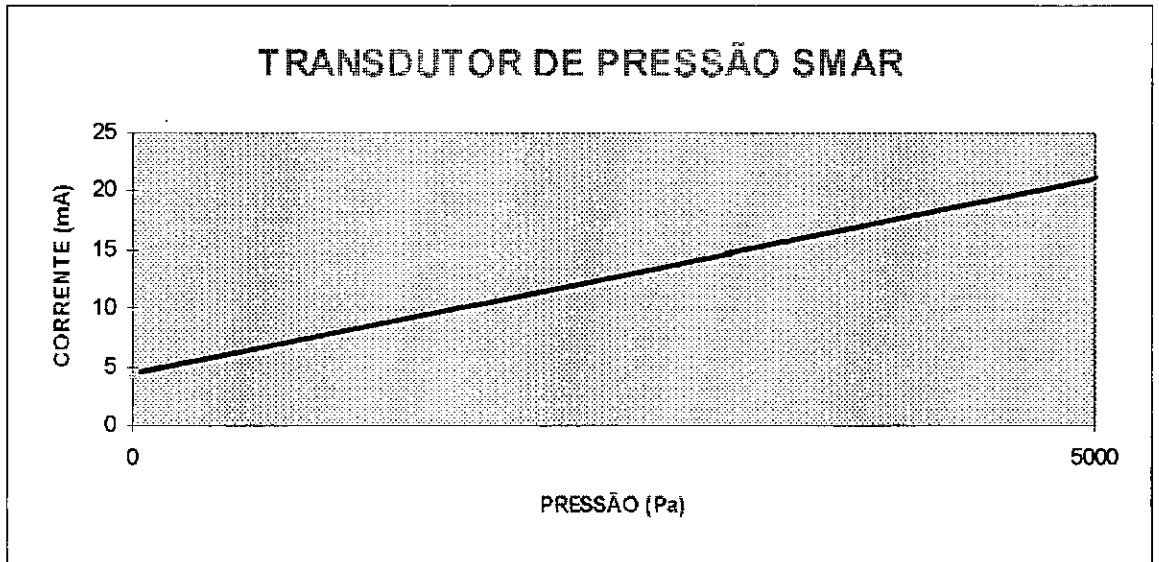
Anterior a sua utilização, foi necessário realizar sua calibração, utilizando um calibrador de peso morto - figura 22. Neste calibrador acoplamos o transdutor ligado a uma fonte de 24 Volts e a um amperímetro. À medida em que colocávamos pesos de valores conhecidos (padronizados), liamos a resposta no amperímetro. Estes pesos eram de valor correspondente a 10 psi cada.

É importante ressaltar que era necessário girar o suporte dos pesos, durante cada leitura, afim de vencer a viscosidade cinemática do óleo entre o cilindro e o pistão.



**FIGURA 22 - CALIBRADOR DE PESO MORTO**

Os resultados deste processo, foram plotados em um gráfico, através do qual obtivemos a curva de calibração do transdutor.



**FIGURA 23 - CURVA DO TRANSDUTOR DE PRESSÃO SMAR**

### **B - Válvula Reguladora de Pressão**

Inicialmente partiu-se para utilização de uma válvula reguladora da RODAGÁS, utilizada nos kits de conversão para gás natural, porém como esta estava precisando de uma série de reparos e a compra de uma nova seria inviável, por ser um dos componentes mais caros do kit, partiu-se para uma nova solução, utilizando um válvula da White Martins - modelo R-82, que possui as seguintes características:

1) Manômetros de precisão, com escalas diretas e de fácil leitura.

- *Manômetro de Entrada* : até 315 kgf/cm

- *Manômetro de Saída* : até 16 kgf/cm

- *Pressão Máxima de Saída*: 10 kgf/cm

- *Vazão Máxima* : 90 kgf/cm

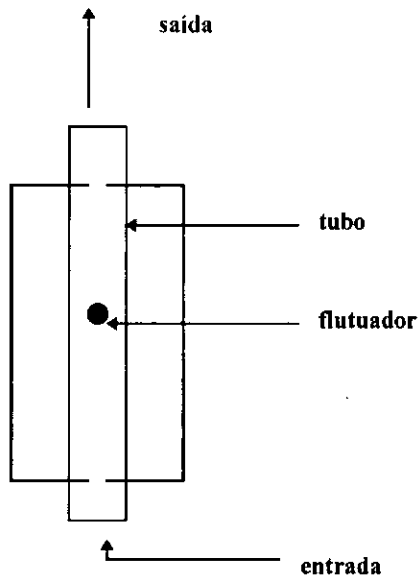
2) Se o trabalho for interrompido por mais de 30 (trinta) minutos, deve-se aliviar a pressão do regulador fechando a válvula do cilindro de gás.

3) Esta válvula deve ser operada como instrumento de precisão.

Obs: Durante os testes foi sempre observado a existência de congelamento da válvula, sendo utilizado um ventilador soprando ar contra a mesma.

### C - Rotâmetro

O rotâmetro é um instrumento baseado no princípio na mudança de posição de uma peça móvel com conseqüente variação da área anular, mantendo-se a pressão diferencial aproximadamente constante. É um instrumento de leitura direta - figura 24.



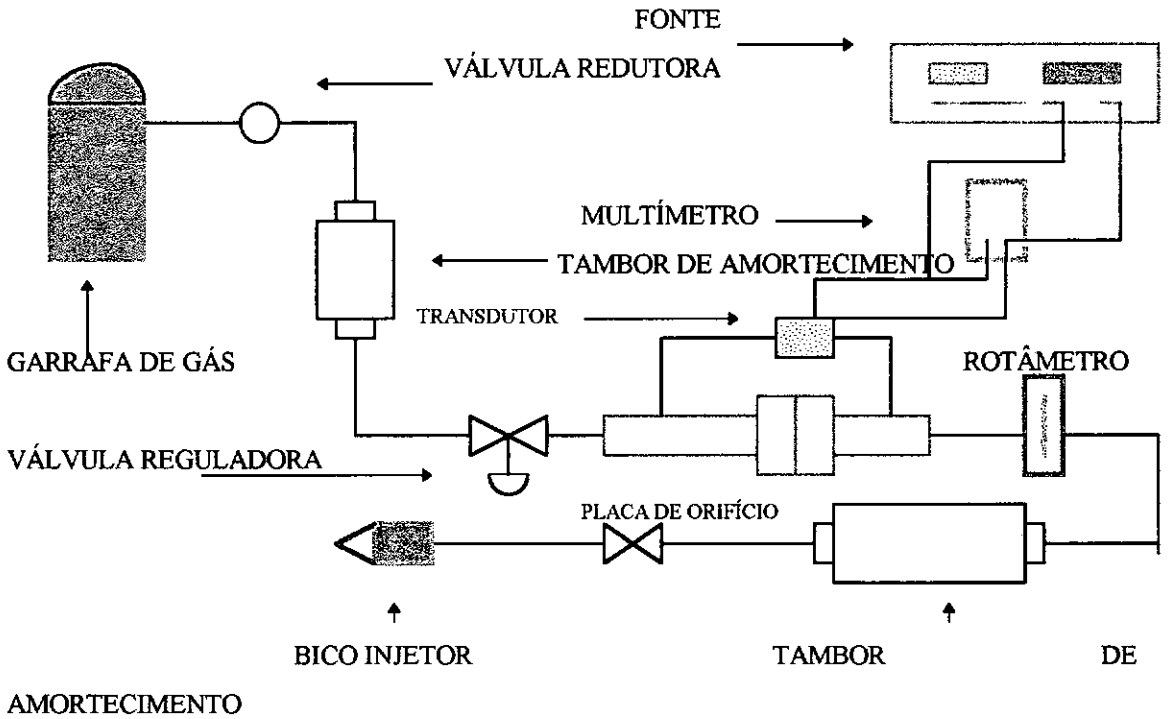
**FIGURA 24 - ROTÂMETRO**

No trabalho exposto, não foi utilizado como medidor de vazão, e sim com a finalidade de verificar se as câmaras estavam realmente absorvendo as pulsações. Foi introduzido entre a placa de orifício e a segunda câmara de amortecimento. Além da finalidade citada acima, este também possuía finalidade de:

- 1) Informar o instante em que as câmaras estavam completamente cheias, valendo com isso a condição de escoamento estacionário.
- 2) Funcionar como um sistema de segurança, caso a pressão da linha de alimentação de gás ficasse muito elevada.

## D - Câmara de Amortecimento de Pulsações

Foram confeccionadas duas câmaras de amortecimento no próprio laboratório, utilizando bujões de gás padronizados. Estas, foram instaladas à montante e à jusante da placa de orifício com a finalidade de amortecer as pulsações provenientes da válvula reguladora de pressão e da abertura e fechamento do bico injetor respectivamente - figura 25.

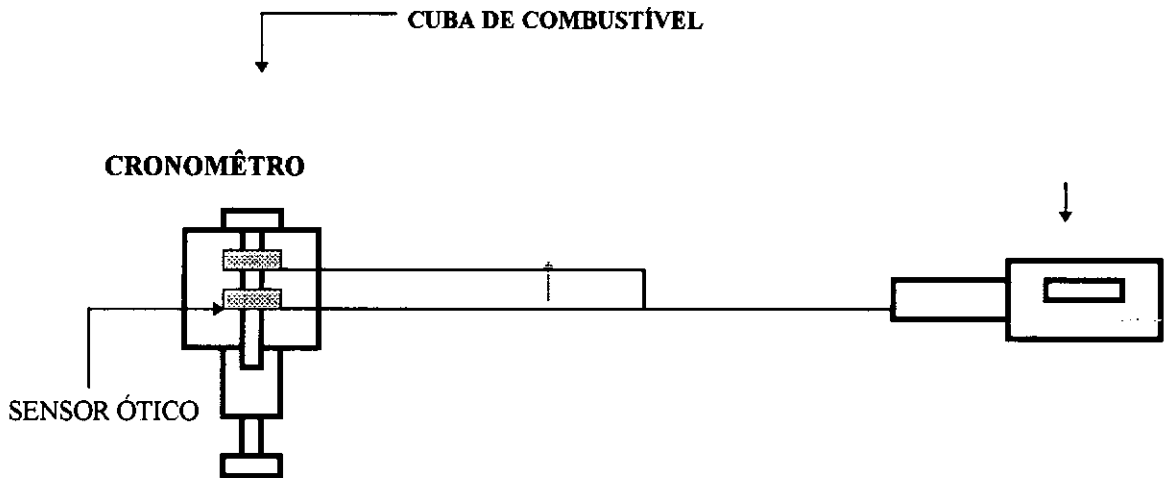


**FIGURA 25 - ESQUEMA DE MONTAGEM DA PLACA DE ORIFÍCIO**

### II.2.3 - Medidor de Vazão de Combustível Líquido

Para a medição da vazão de combustível líquido, optou-se pela calibração de determinado volume em um pequeno reservatório que antecede a cuba do carburador. Este volume, que na calibração acusou 19,05 ml, foi delimitado por duas células fotoelétricas sensíveis à passagem do nível de combustível. A primeira célula liga e a segunda desliga um cronômetro digital com menor divisão em décimos de segundo - figura 26.





**FIGURA 26 - MEDIDOR DE COMBUSTÍVEL LÍQUIDO**

## II.2.4 - Medidores de Temperatura

### A - Psicrômetro

Foi utilizado com a finalidade de medir as temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido. Possui como características:

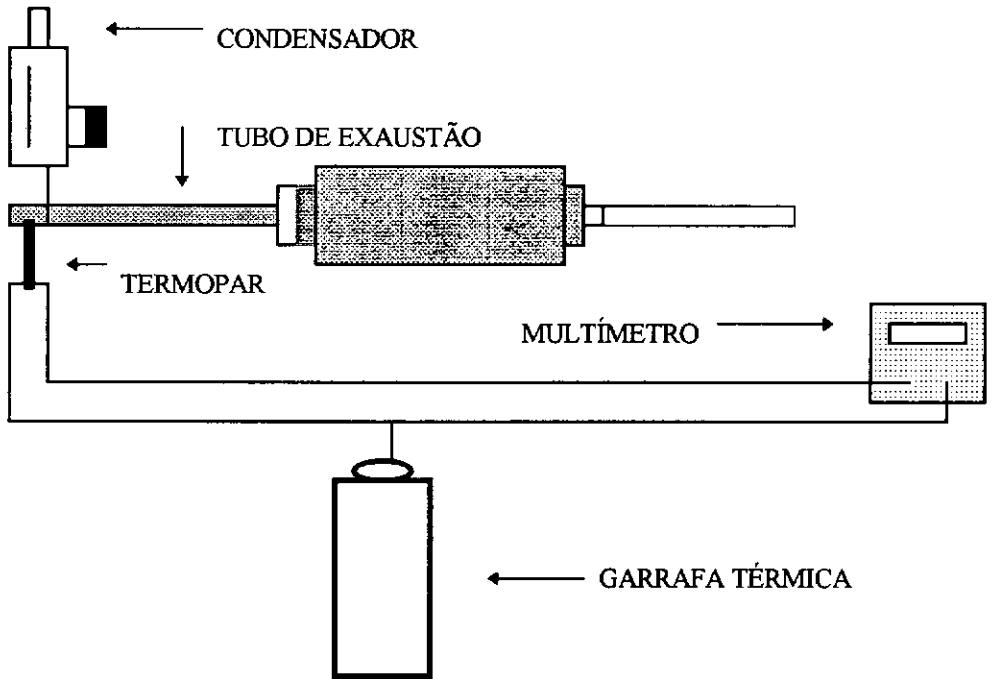
- Marca: PRINCO
- Escala: Fahrenheit com menor divisão de 1 °F.

### B - Termopares

Foram utilizados dois termopares Cromel-Alumel, tipo K, com capa de aço inoxidável afim de garantir sua proteção contra corrosão e possível descalibração, conforme descrito à seguir:

#### 1) Interior do coletor de escapamento

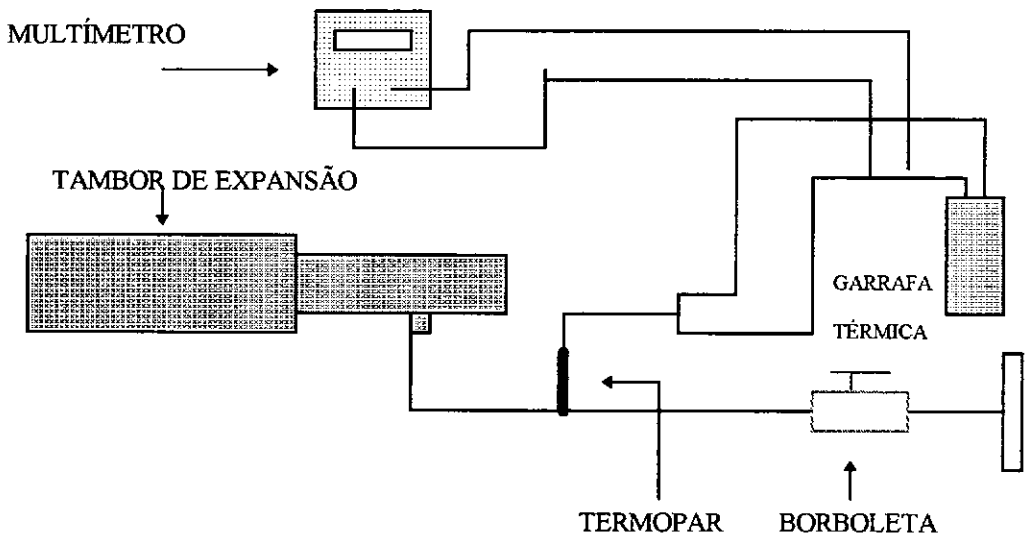
Foi instalado o mais próximo possível da válvula de escapamento mas sem que este enxergasse o interior da câmara de combustão, afim de evitar que qualquer forma de radiação fosse captada diretamente - figura 27.



**FIGURA 27 - TERMOPAR NA DESCARGA**

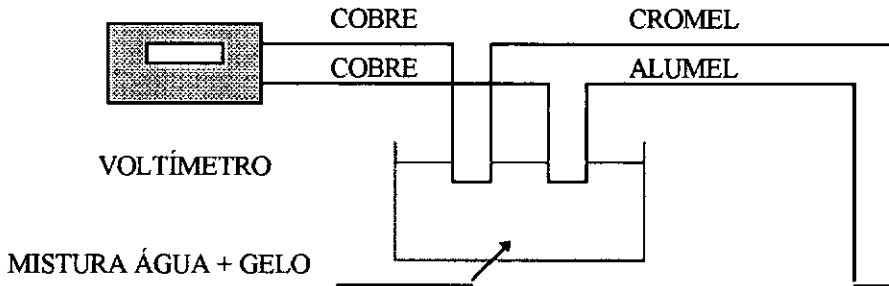
## 2) Coletor de Admissão

Foi instalado o mais próximo possível da válvula de admissão - figura 28.



**FIGURA 28 - TERMOPAR NA ADMISSÃO**

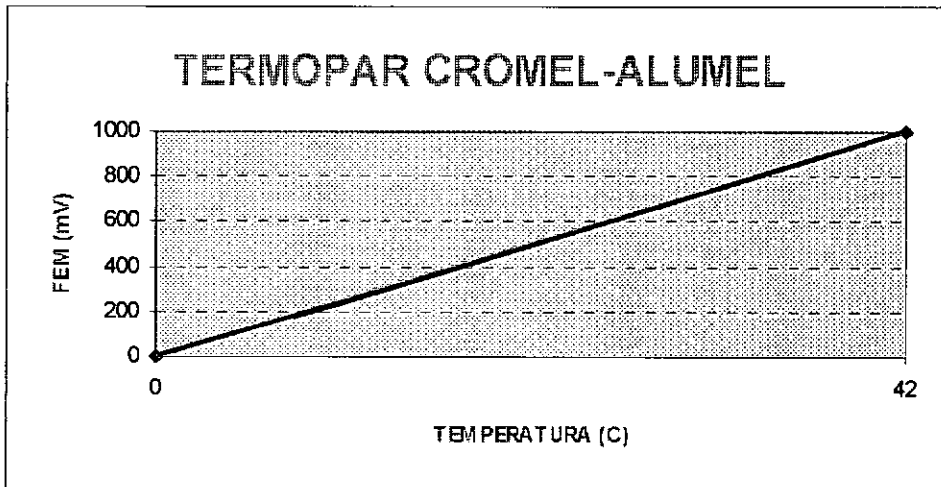
Na ligação dos termopares, foi utilizado o esquema tradicional, que consiste basicamente em colocar as extremidades do termopar a  $0^{\circ}\text{C}$ , de tal forma que o sinal gerado pelo multímetro só dependerá da temperatura do meio a ser medido, pois a tensão gerada em  $0^{\circ}\text{C}$  é  $0\text{ mV}$  - figura 29.



**FIGURA 29 - FONTE FRIA**

Obs: A fonte fria era constituída por uma garrafa térmica, contendo gelo + água .

Como as medidas eram obtidas em milivolts, foi fornecido pelo fabricante a curva do termopar, através da qual obtínhamos os valores de temperatura.



**FIGURA 30 - CURVA DO TERMOPAR**

### **II.2.5 - Medidor de Rotação**

Foi medida utilizando um tacômetro tipo acumulador, possuindo as seguintes características:

- *Marca: DYNAMATIC,*
- *Escala: rpm, com menor divisão de 1 rpm.*

### **II.2.6 - Medidor de Pressão Atmosférica**

Foi medida utilizando um barômetro, possuindo as seguintes características:

- *Marca: SUNDO*
- *Escala: mmHg, com menor divisão de 1 mmHg.*

### **II.2.7 - Avanço de Centelha**

Foi medido utilizando um mostrador que indica a todo instante a quantos graus a centelha está ocorrendo em relação ao ponto morto superior., sendo possível variar este avanço com o motor em funcionamento. Para verificarmos a medida foi utilizada uma lâmpada estroboscopia, que era ligada ao cabo da vela de ignição e aos pólos positivo e negativo de uma bateria.

### **II.2.8 - Torque**

O sistema de medida de torque, consiste basicamente de um conjunto braço e célula de carga, que fornece um sinal que enviado a um transdutor analógico é convertido em leitura de torque. Possui como principais características:

- *Marca: BHL ELETRONICS*
- *Capacidade Máxima: 45 kg*
- *Escala: pound.feet (lbf.ft), com menor divisão de 0.2 lbf.ft*
- *Fundo de Escala: 50 lbf.ft*

Este sistema foi sempre calibrado estaticamente com pesos e braços conhecidos, anteriormente a qualquer teste do motor.

## **II.3 - Equipamentos Complementares**

### **I.3.1- Adaptador para Injeção Contínua de Gás Natural no Coletor de Admissão**

#### **A - Para Fluxo Direto**

Para injeção contínua de gás natural no coletor de admissão, foi confeccionada uma peça de latão - figura 31, instalada próximo à válvula de admissão do motor. Esta peça tinha a finalidade de apenas injetar o gás no coletor, não se preocupando em direcionar o fluxo.

#### **B - Para Fluxo Direcionado**

##### **B.1 - Coletor de Admissão**

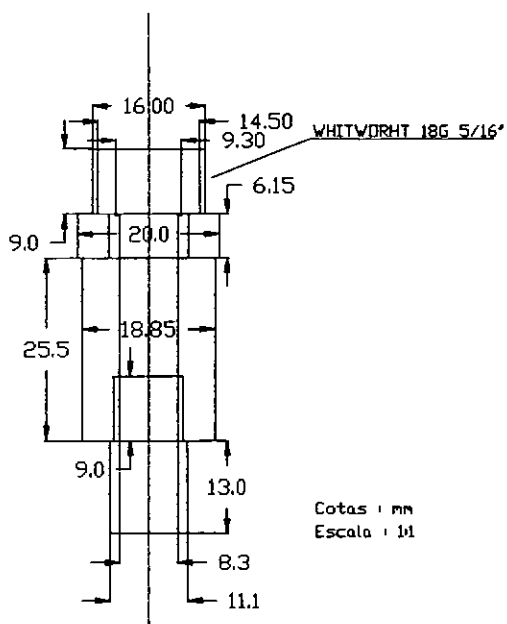
Esta peça de latão, instalada no mesmo local que a anterior, tinha como função direcionar o fluxo, de tal forma a verificar mudanças ou não no comportamento do motor. Foi confeccionada de forma que se pudesse variar a direção de injeção, assim como a velocidade do fluxo de gás - através da mudança do tubo interno de cobre - figura 32.

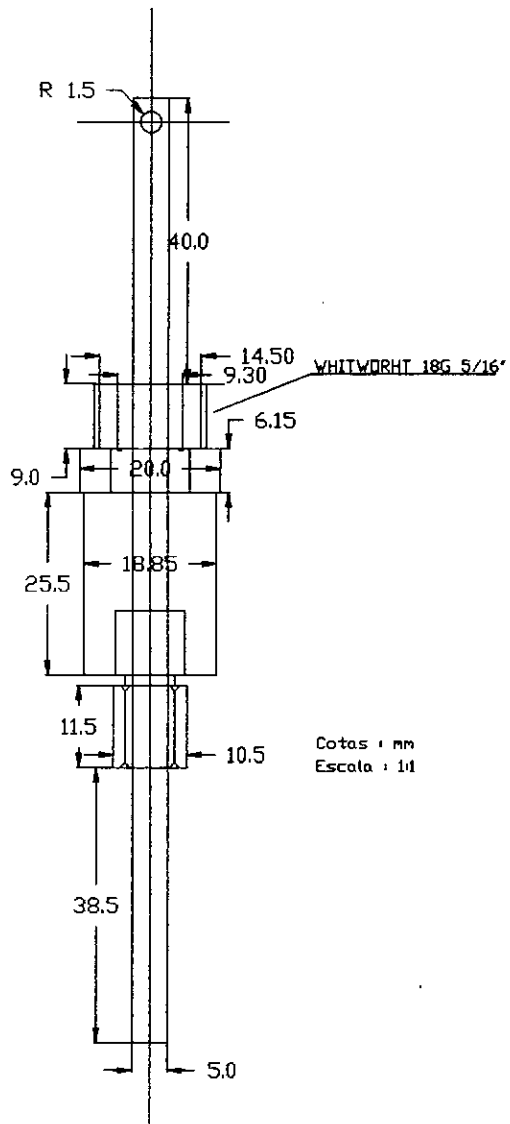
##### **B.2 - Entrada do Coletor de Admissão**

Esta peça foi instalada na entrada do coletor de admissão, no local da resistência elétrica de aquecimento do ar de entrada - figura 33.

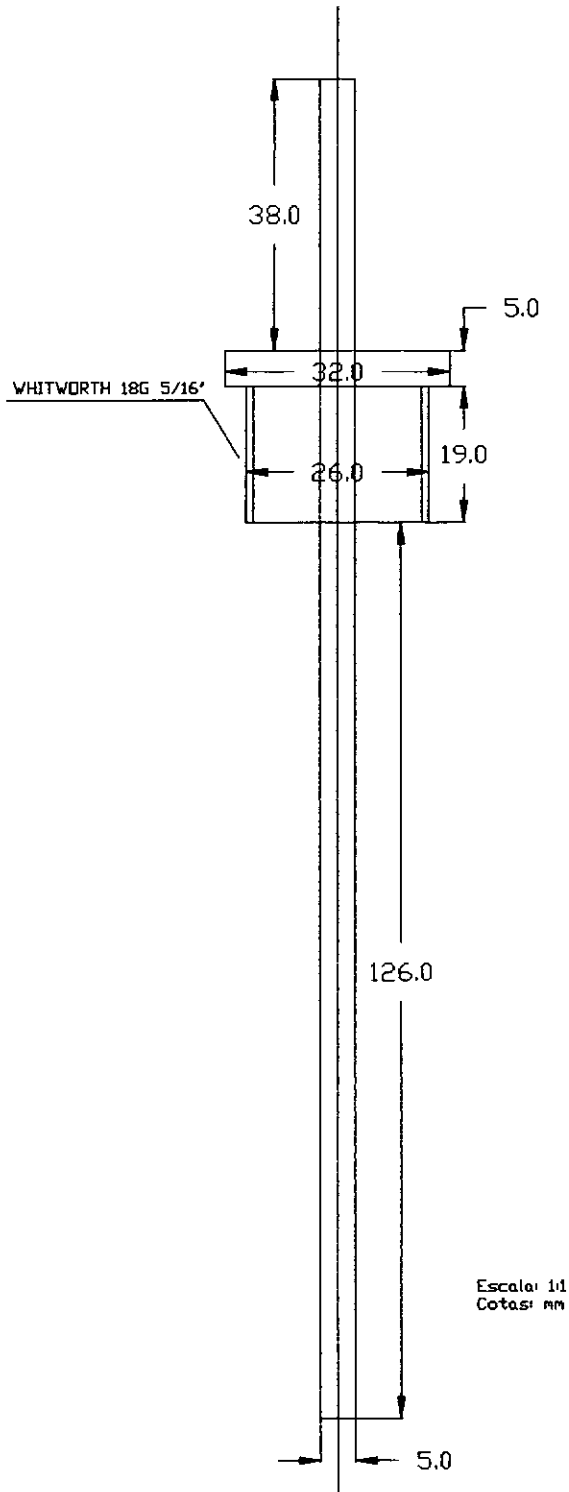
### **II.3.2 - Adaptador para Injeção Sincronizada no Coletor de Admissão**

Para injeção sincronizada no coletor de admissão, foi confeccionada uma peça de latão, instalada no mesmo local que as anteriores, na qual era inserido o bico injetor. Esta peça na sua parte inferior continha um tubo de cobre com furo, afim de direcionar o fluxo .

**FIGURA 31 - ADAPTADOR PARA FLUXO DIRETO**



**FIGURA 32 - ADAPTADOR PARA FLUXO DIRECIONADO - COLETOR DE ADMISSÃO**



**FIGURA 33 - ADAPTADOR PARA FLUXO DIRECIONADO - ENTRADA DO COLETOR DE ADMISSÃO**



## II.3.3 - Antecâmara

### A - Antecâmara 1

#### A.1 - Desenvolvimento

No desenvolvimento desta primeira antecâmara, resolveu-se instalá-la na posição da vela de ignição do CFR, substituindo esta por uma de uso comercial, pois devido às suas características, é difícil de ser encontrada no mercado nacional.

Segundo estudos realizados por Maxson e Oppenheim [17], um volume ideal para uma antecâmara deve ser inferior a  $5 \text{ cm}^3$ ; além disto deve ser projetada visando criar uma certa turbulência durante a fase da compressão, de tal forma que a velocidade de propagação da chama, seja a maior possível.

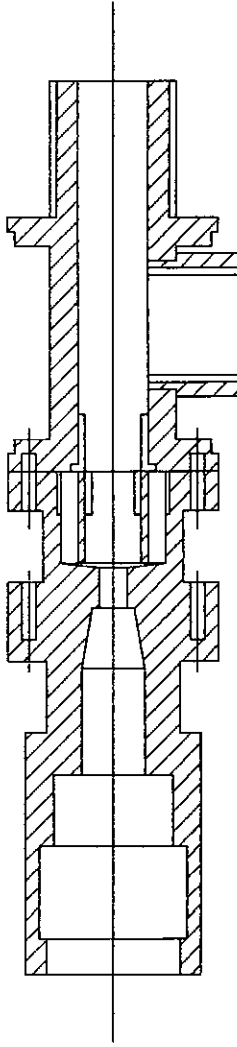
Esta antecâmara é composta basicamente de três (3) partes principais e duas (2) secundárias - figura 34, que serão descritas à seguir:

#### 1) Fixação da Vela de Ignição

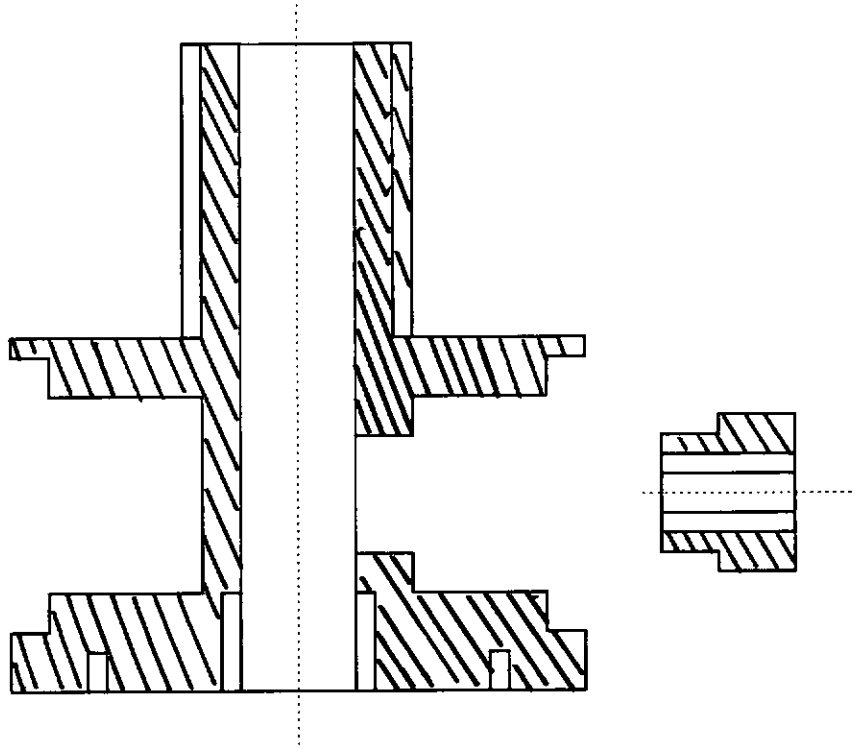
Para a fixação da vela de ignição, foi confeccionada uma peça de aço, rosqueada em uma das extremidades que será instalada na posição da vela de ignição do CFR, sendo a nova vela instalada perpendicularmente ao eixo da peça - figura 35.

A vela de ignição utilizada foi a do tipo BP8F S - NGK, possuindo as seguintes características:

<b>Diâmetro da Rosca</b>	<b>14 mm</b>
<b>Grau Térmico</b>	<b>tipo frio - 8</b>
<b>Alcance</b>	<b>assento cônico</b>
<b>Configuração</b>	<b>eletrodo central com núcleo de cobre embutido</b>
<b>Abertura do Eletrodo</b>	<b>0,8 mm</b>



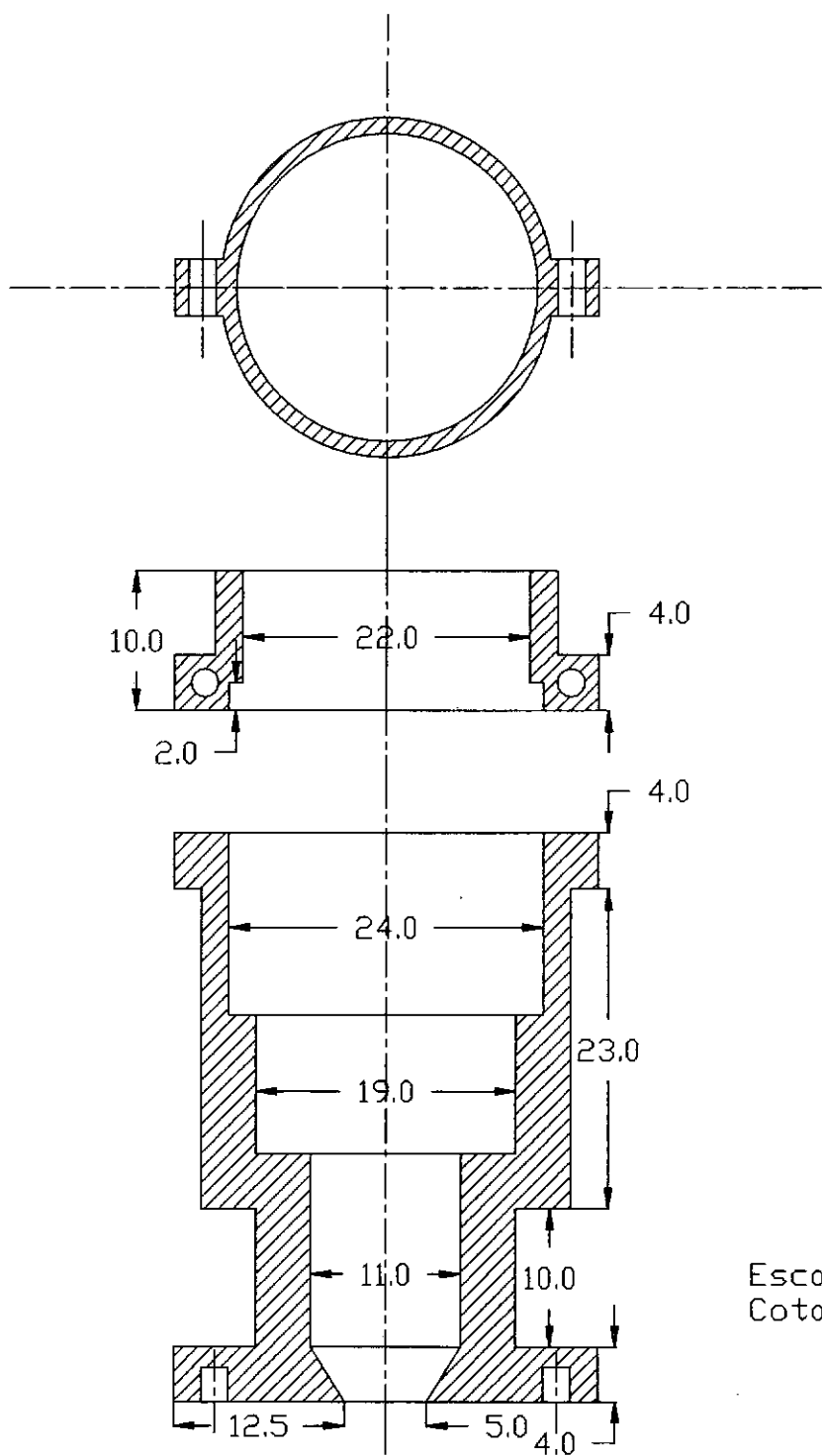
**FIGURA 34 - ANTECÂMARA 1**



**FIGURA 35 - FIXAÇÃO DA VELA DE IGNIÇÃO**

## **2) Fixação do Bico Injetor**

Para fixação do bico injetor, foi confeccionada uma peça de aço inoxidável, com muita precisão, de tal forma que este entrassem com interferência afim de garantir o não escapamento do mesmo devido às elevadas pressões de trabalho - figura 36.

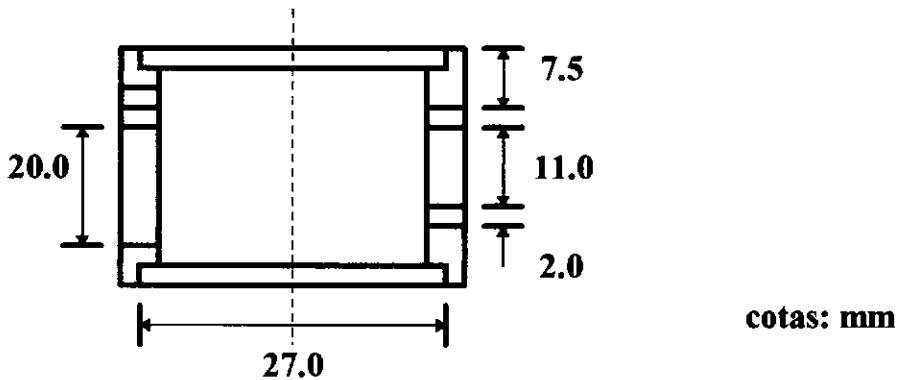


Escala: 2:1  
Cotas: mm

**FIGURA 36 - FIXAÇÃO DO BICO INJETOR**

### 3) Refrigeração

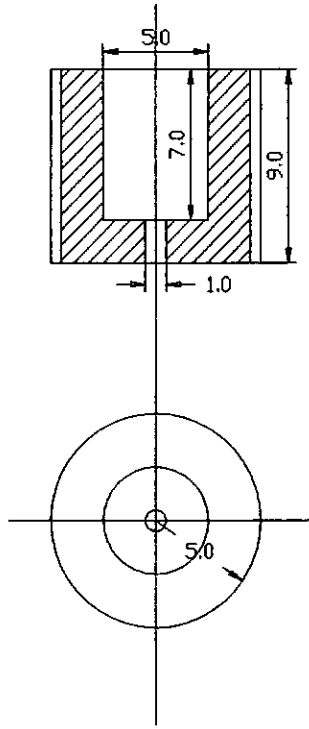
Devido às elevadas temperaturas que fica submetida por causa da ignição da vela, ocorreu necessidade de refrigerar esta parte da antecâmara. Foi confeccionado uma camisa d'água que retirava água da própria torre de refrigeração do CFR, utilizando um tubo de cobre de diâmetro igual a 1/4". Esta água fluia devido à ação da gravidade - figura 37



**FIGURA 37 - CAMISA DE REFRIGERAÇÃO**

### 4) Giglê

Foi instalado um giglê de latão, posicionado após o bico injetor, afim de controlar a velocidade do fluxo do gás natural e a turbulência. Este giglê pode ser trocado, variando o número de furos e/ou o diâmetro dos mesmos - figura 38.



Cotas : mm  
Escala : 3:1

**FIGURA 38 - GIGLÊ**

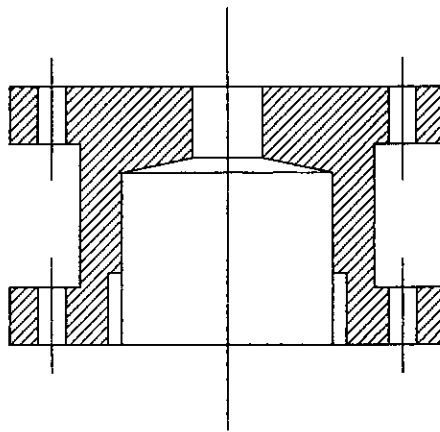
## 5) Válvula para evitar Refluxo

Devido às altas pressões de trabalho, para evitar o refluxo do gases queimados foi confeccionado uma peça que posicionada entre o bico injetor e a vela de ignição, continha uma válvula de esfera ( $d=0,70$  mm) de aço, apoiada sobre uma mola - figura 30.

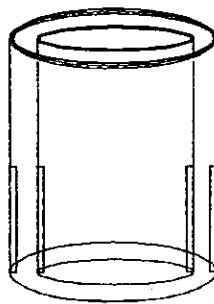
### A.2 - Dificuldades

Durante os testes foram observadas várias dificuldades, tais que:

- 1) Não centelhamento.
- 2) Obtenção de uma mistura não homogênea.
- 3) Vazão de gás natural injetado não suficiente.



Escala : 2:1



**FIGURA 39 - VÁLVULA PARA EVITAR RETORNO**

## B - Antecâmara 2

### B.1 - Desenvolvimento

Devido às dificuldades que surgiram na primeira antecâmara durante os testes realizados, partiu-se para a confecção de uma nova antecâmara, sendo esta instalada na posição do transdutor de pressão. Esta foi confeccionada de latão e não houve necessidade de refrigeração pois foi mantida a posição original da vela de ignição do motor - figura 40. É composta de duas partes principais:

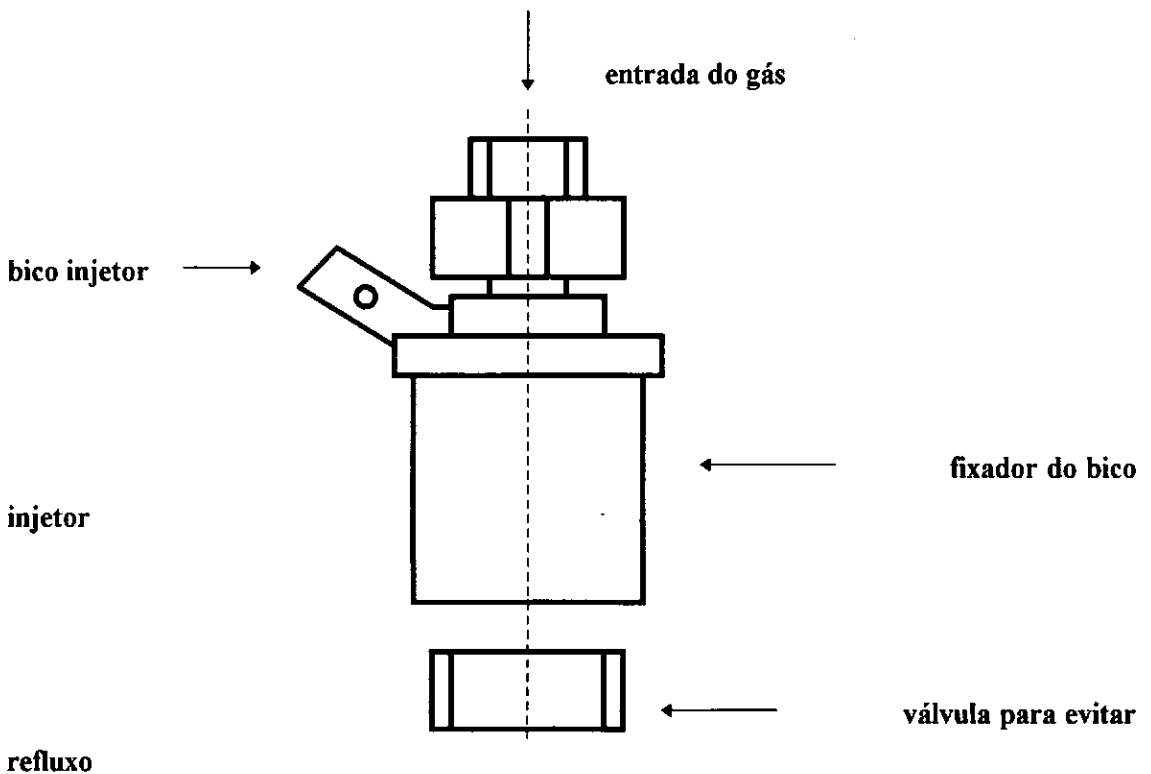


FIGURA 40 - ANTECÂMARA 2

#### 1) Fixação do Bico Injetor

Para a fixação do bico injetor foi confeccionada uma peça de latão, com muita precisão, de tal forma que este entrassem com interferência afim de garantir o não escapamento do mesmo, devido às elevadas pressões de trabalho.



## 2) Válvula para evitar Refluxo

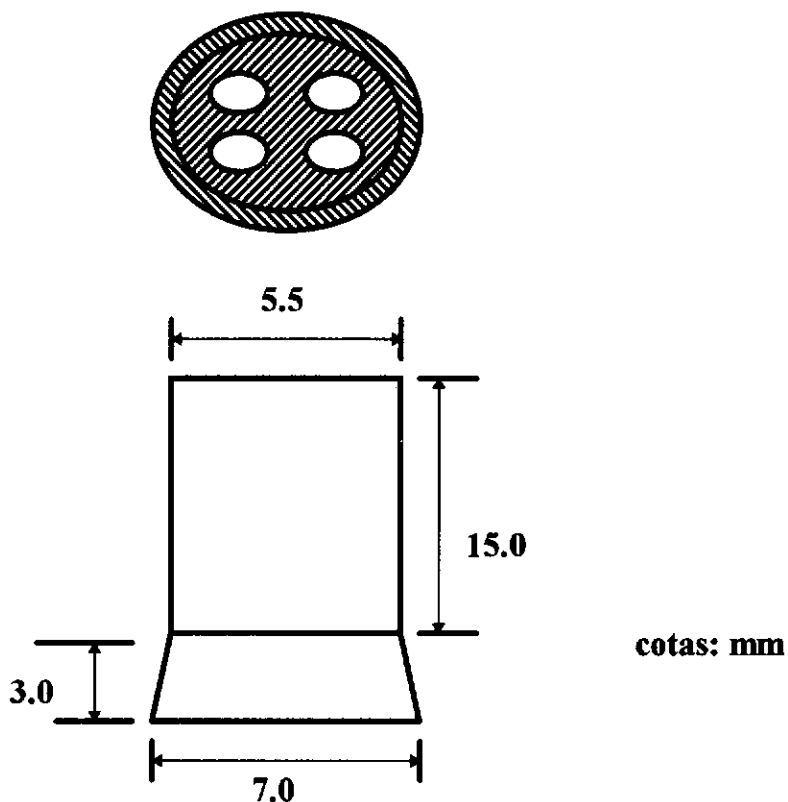
Como foi dito anteriormente, devido às elevadas pressões de trabalho, houve a necessidade de confecção de uma válvula para evitar o refluxo dos gases queimados.

À princípio resolveu-se manter a proposta anterior da utilização de uma válvula de esfera, apoiada sobre uma mola. Como esta esfera era de um material mais mole do que a sede, devido á explosão, observou-se depois de vários testes diversas marcas em toda a extensão da mesma, não evitando assim o refluxo. Devido a este problema, resolveu-se confeccionar um novo tipo de válvula utilizando aço inoxidável - figura 41, mantendo-se a sede com o mesmo material, isto é, latão. Neste novo sistema, não houve necessidade de utilização da mola, ficando desta forma a válvula sempre aberta, fechando-se somente durante o tempo de compressão e explosão do motor. À seguir será indicado todo o procedimento de confecção e ajuste da válvula:

⇒ Para um perfeito funcionamento do conjunto válvula/antecâmara, existia a necessidade de equipamentos e ferramentas específicas, devido o pequeno tamanho da válvula e a necessidade de elevada precisão. Como não dispúnhamos destes, houve a necessidade de se realizar um trabalho com calma e paciência afim de se obter o resultado esperado.

Inicialmente, observou-se o ângulo da cabeça da válvula e o ângulo da sede, que devem ser iguais afim de diminuir o tempo necessário de lapidação ( $\cong 33^\circ$ ). Após, elaborou-se um cronograma afim de facilitar o trabalho realizado, tal como se segue:

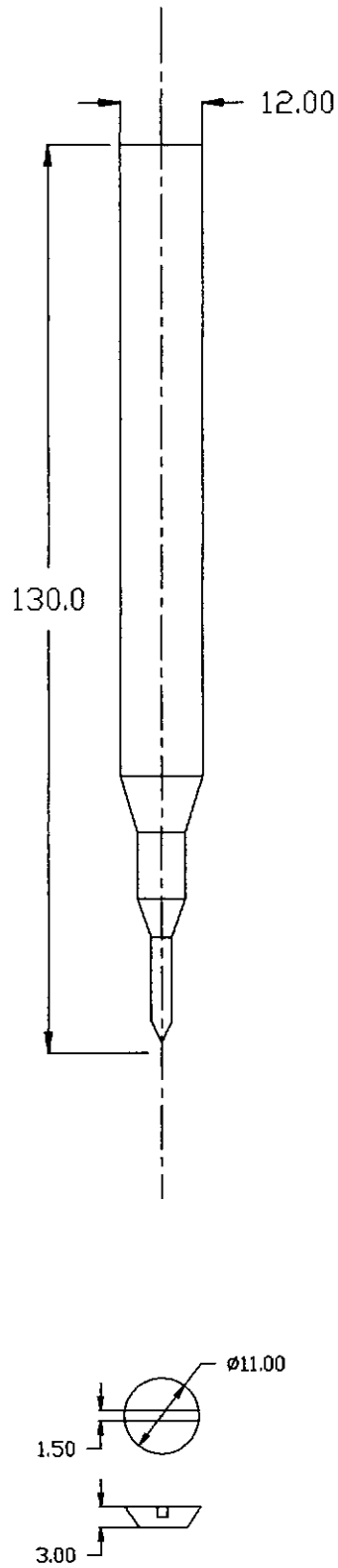
- \* Confecção da parte onde estará contida a válvula de latão.
- \* Confecção da válvula de aço inoxidável.
- \* Confecção da sede da válvula.
- \* Confecção da ferramenta de madeira para esmerilhar a válvula - figura 42.
- \* Confecção do acessório para movimentar a válvula na sede, durante o esmerilhamento; sendo este preso na cabeça da válvula utilizando super-bonder.



**FIGURA 41 - VÁLVULA PARA EVITAR REFLUXO**

Após a confecção de todos os componentes do sistema, partiu-se então para a operação de esmerilhamento. Neste processo utilizou-se **CARBORUNDUM - COLAUTO** (fino e grosso) e uma ferramenta de madeira afim de não afetar a usinagem realizada nas peças.

Obs: O Carborundum só pode ser colocado na sede e na válvula, pois caso caia na guia, haverá desgaste em ambas as peças, tornando o assentamento válvula-sede instável.



**FIGURA 42 - FERRAMENTA PARA ESMERILHAR**

## **B.2 - Dificuldades**

As maiores dificuldades foram:

### **1) Vazamentos**

Entre a antecâmara e o motor devido às dificuldades de aperto, pelo pouco espaço existente. Este problema foi solucionado, acrescentando na parte superior da antecâmara um sextavado que fixo por oito (8) parafusos de 2 mm, permitiu a aplicação do torque necessário.

### **2) Válvula para Evitar Refluxo**

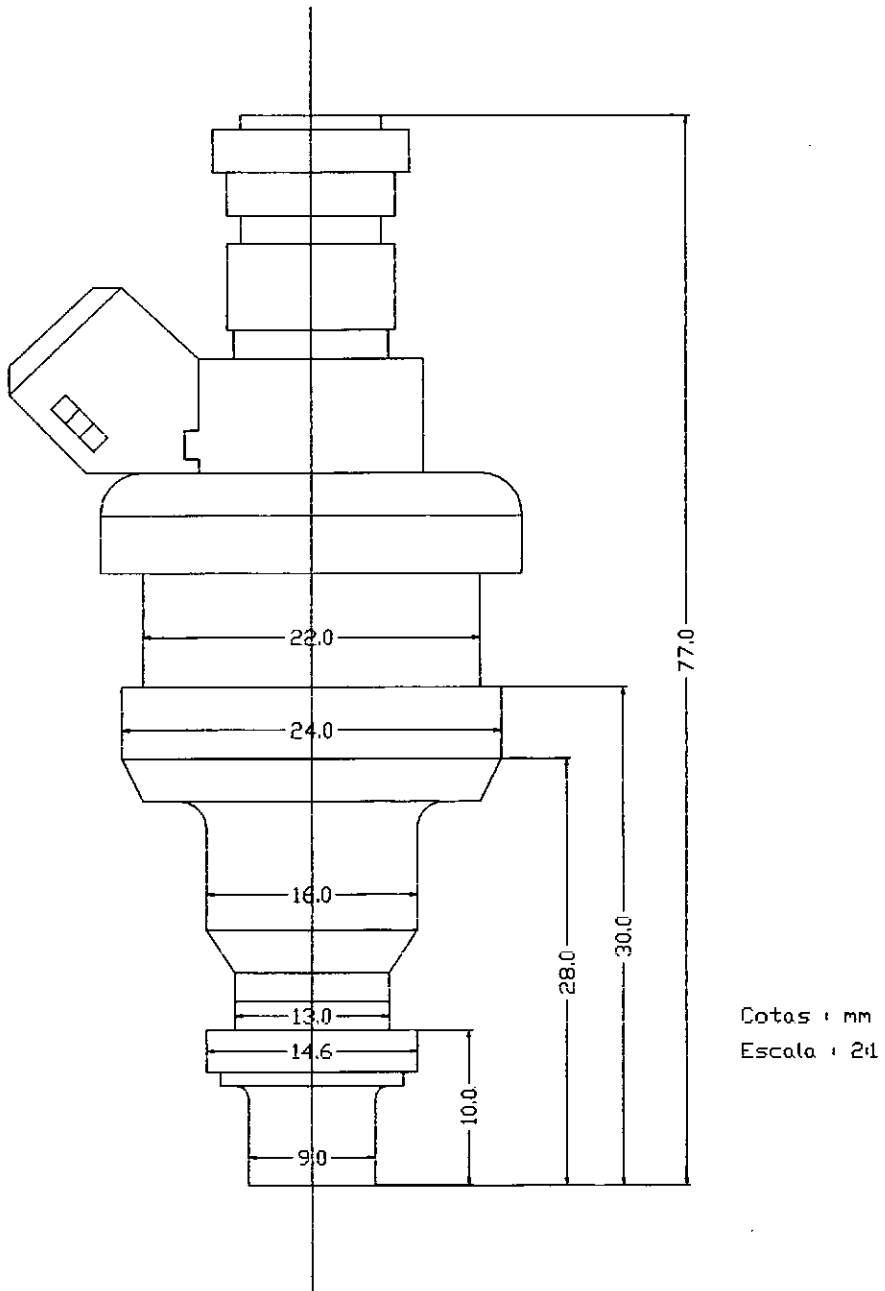
Devido às elevadas pressões de trabalho, houve necessidade de um certo tempo de esmerilhamento, até o perfeito assentamento válvula-sede, cessando totalmente o vazamento.

### **3) Baixa vazão do Bico Injetor**

Devido à baixa vazão fornecida pelo bico injetor, não foi possível trabalhar com o motor só com a antecâmara.

## **II.3.4 - Bico Injetor**

O bico injetor nada mais é do que uma válvula de agulha com acionamento eletromagnético, e sua função é fazer com que o combustível seja injetado no coletor de admissão. A abertura desta válvula acontece devido a um sinal enviado por um sistema eletrônico, que determina o tempo e a frequência desta abertura e, conseqüentemente, a quantidade de combustível necessária para cada condição do motor - figura 43.

**FIGURA 43 - BICO INJETOR**

### Características

- Adequado para todos os equipamentos de injeção eletrônica;
- Excelente estabilidade em longa duração.
- Boa preparação de combustível.
- Alta qualidade.
- Insensível às influências de combustível.

<b>Tipo</b>	<b>Bosch</b>
<b>Número de Orifícios</b>	<b>4 furos</b>
<b>Resistência</b>	<b>2,5 <math>\Omega</math></b>
<b>Corrente</b>	<b>700 mA</b>
<b>Tensão</b>	<b>1,5 - 3,0 V</b>
<b>Tensão de Pick - Up</b>	<b>15 V (pico a pico)</b>
<b>Indutividade da Bobina</b>	<b>0,63 <math>\pm</math> 5% mH</b>
<b>Máxima Vazão de Combustível</b>	<b>9 kg/h</b>
<b>Máximo Curso da Agulha</b>	<b>0,1 mm</b>

### Principais Modificações

Como o bico injetor utilizado foi projetado para combustível líquido, quando utilizado para trabalhar com combustível gasoso observou-se que a vazão fornecida não era suficiente para suprir às condições de funcionamento do motor, ocorrendo a necessidade de realizar certas modificações no mesmo, tais que:

#### **1) Diâmetro dos Furos**

Abriu-se um único furo com diâmetro de 1,85 mm.

#### **2) Área de passagem do Gás**

Abertura de fendas nas faces dos pentágonos existentes no eixo da agulha, afim de aumentar a área de passagem do gás.

### 3) Componente Plástico

Retirada deste componente afim de evitar o derretimento do mesmo, devido à elevada temperatura de trabalho - principalmente na injeção direta na câmara de combustão.

Obs: Após as modificações, deve-se observar durante a montagem a correta posição da agulha, verificando a correta voltagem de abertura da solenóide.

## II.3.5 - Sistema Eletrônico para Controle do Tempo de Abertura do Bico Injetor

### A - Injeção Eletrônica

#### Introdução

A injeção de combustível nos motores Ciclo Otto não é feita diretamente na câmara de combustão, mas sim nos dutos do coletor, próximo à válvula de admissão de ar. Pode ser do tipo **central**, que tem apenas um injetor para todos os cilindros ou do tipo **múltiplo**, que usa um injetor para cada cilindro . Apresenta como principal finalidade, manter a proporção correta da mistura ar/combustível nas mais diversas condições de solicitação do motor, criando vantagens como:

- A - Melhor dirigibilidade.
- B - Maior potência.
- C - Melhor desempenho.
- D - Menor emissão de gases poluentes.
- E - Menor consumo de combustível.
- F - Menor necessidade de manutenção.

## Funcionamento Básico

A injeção de combustível no sistema MPFI (mais usual) é feita por quatro válvulas injetoras fixadas em cada cilindro no duto do coletor de admissão, as quais são acionadas através de impulsos elétricos enviados pelo módulo eletrônico de controle. Este, por sua vez, para gerar os impulsos elétricos que acionam as válvulas injetoras, recebe sinais de sensores e interruptores que indicam as condições de funcionamento do motor. O combustível é enviado às válvulas injetoras por uma bomba elétrica que mantém sua pressão controlada através da válvula reguladora de pressão. Combinando o tempo de abertura das válvulas injetoras e a pressão do combustível, a quantidade de combustível que será injetada no coletor é a necessária para formar, com o volume de ar admitido, a mistura ideal para uma combustão completa - figura 44.

## **B - Desenvolvimento do Sistema**

### Objetivo

Este sistema eletrônico foi desenvolvido pelo próprio laboratório com o auxílio do setor técnico do Departamento de Eletrônica da UFRJ.

Desenvolveu-se um sistema eletrônico com duas finalidades básicas:

- 1) Controlar o tempo de abertura do bico injetor.*
- 2) Controlar o momento exato da injeção do combustível.*



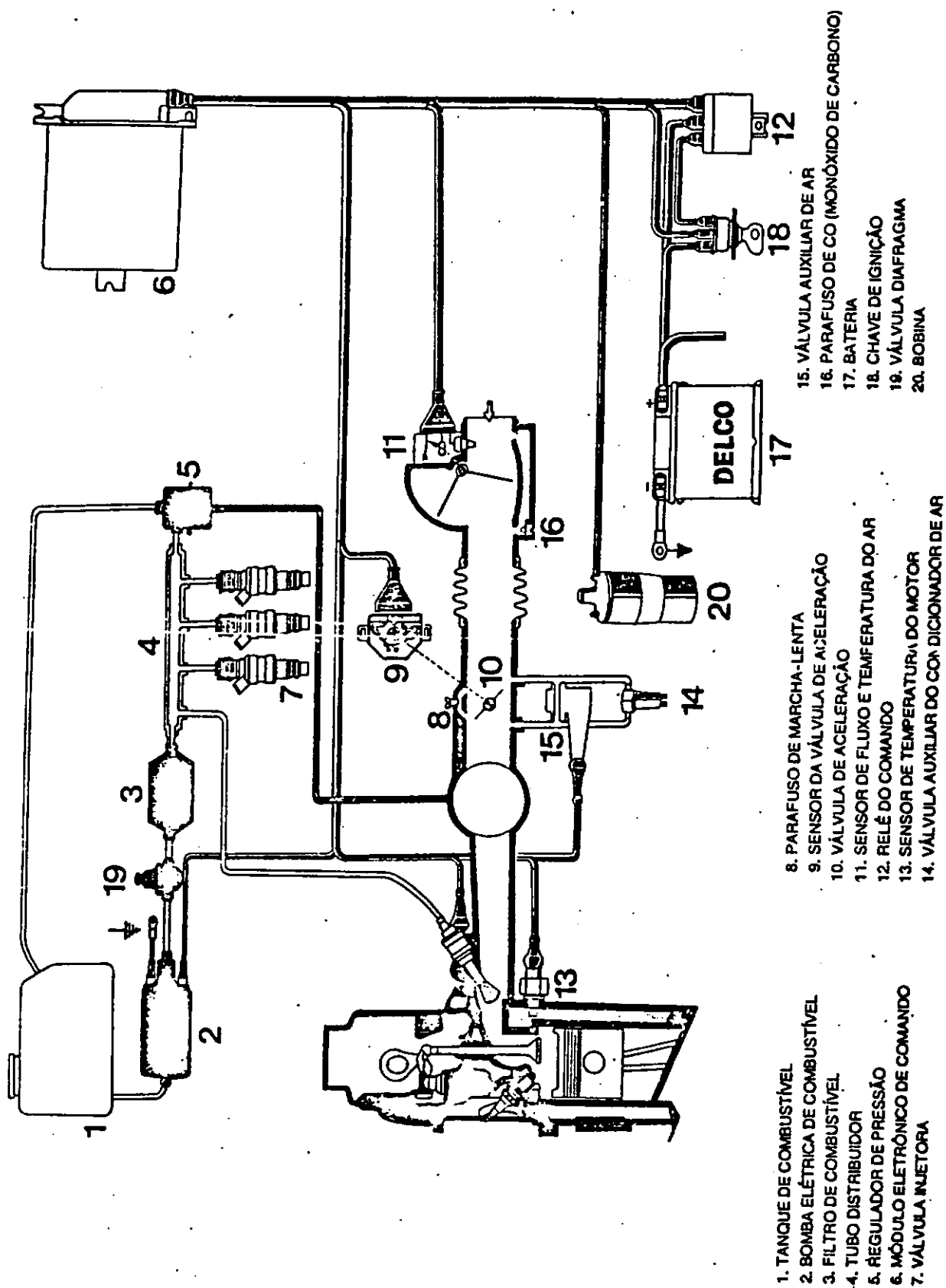


FIGURA 44 - SISTEMA DE INJEÇÃO ELETRÔNICA

## Componentes

É constituído de:

### **1) Sensores**

Dois sensores de coluna zero, sendo o primeiro um diodo emissor, que emite na região infravermelha, e o segundo um diodo receptor. Estes sensores foram fixos em peças móveis; permitindo a variação da angulação existentes entre os mesmos, com o motor em funcionamento.

### **2) Disco de Acrílico**

Confeccionou-se um disco de acrílico - figura 45, e pintou-se de preto fosco uma certa faixa do mesmo, correspondente ao limite de abertura do bico injetor - apêndice A. Este disco foi fixo no eixo do motor.

### **3) Escala Graduada**

Esta escala, também de acrílico, foi confeccionada no próprio laboratório e permite a visualização do ângulo existente entre os sensores.

### **4) Caixa Preta**

Nesta caixa preta, é onde está contido o sistema eletrônico, que comanda a abertura e o fechamento do bico injetor. Possui:

- \* Saída de 3V - 1,5 mA direcionada para o bico injetor
- \* Saída direcionada para os sensores.
- \* Luz indicadora de abertura da solenóide.
- \* Luz indicadora do ON-OFF do sistema.

## TESTE COM SISTEMA ELETRÔNICO

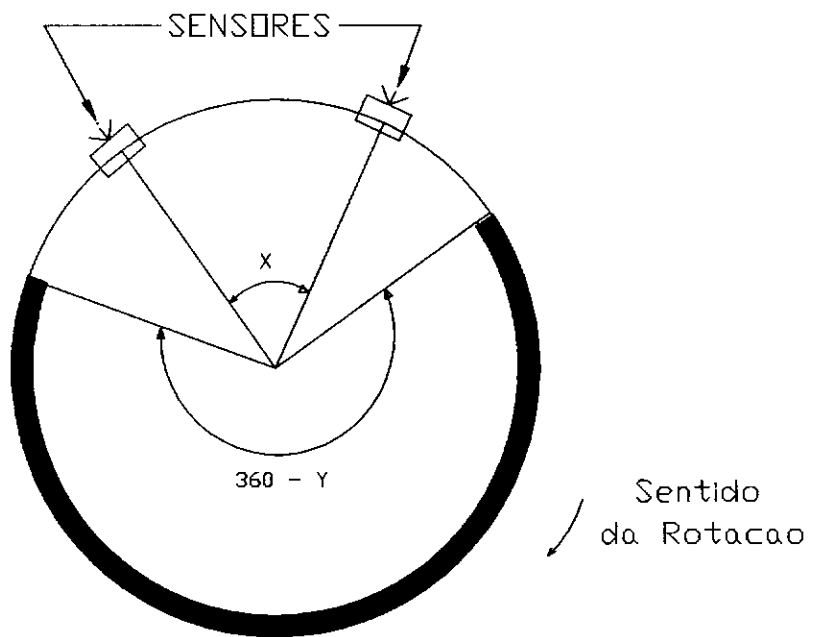
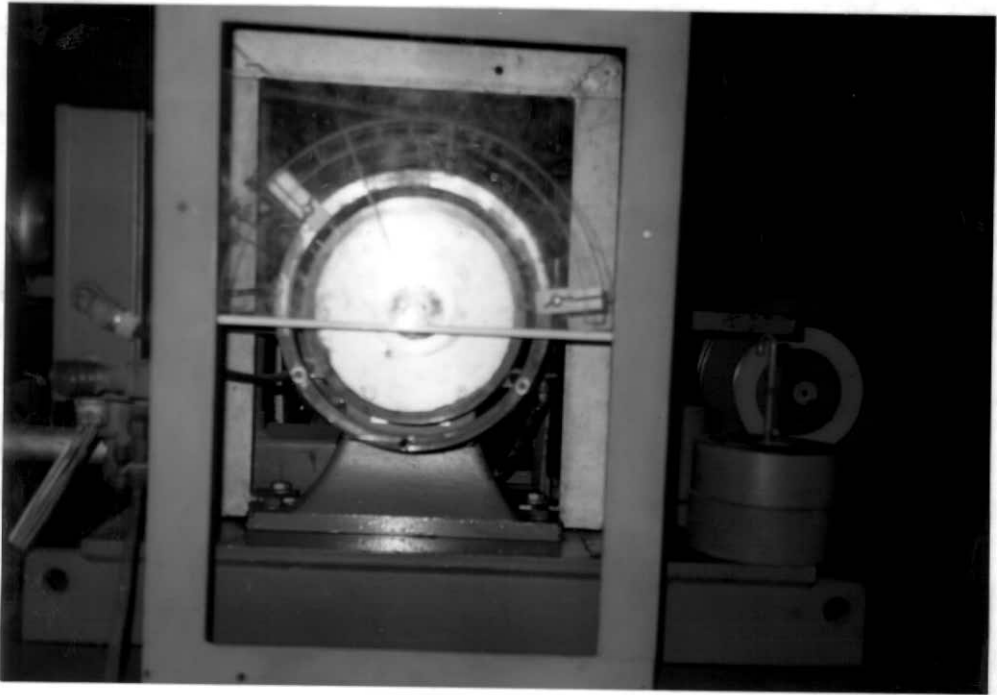


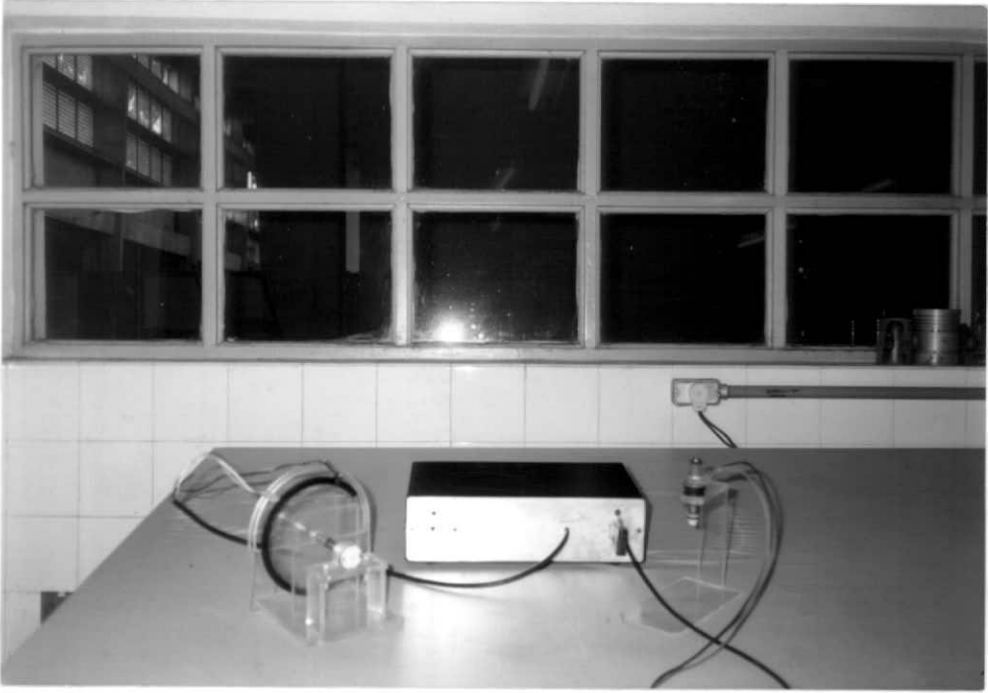
FIGURA 45 - DISCO DE ACRÍLICO

### Princípio de Funcionamento

Quando o início da faixa preta, passa pelo primeiro sensor, este aciona a solenóide, abrindo o bico injetor, que só será fechado quando o final da faixa preta passar pelo segundo sensor. O ângulo de permanência de injeção é dado pela soma do ângulo entre os sensores, mais o ângulo da parte transparente do disco de acrílico - figura 46.



**FIGURA 46 - DISCO DE ACRÍLICO**



**FIGURA 47 - ESQUEMA DE TESTE**

O tempo de abertura do bico injetor é dado por  $t = f(\text{rpm}, \alpha + \beta)$ , podendo ser obtido através de um gráfico - apêndice F.

Obs: Para a realização dos primeiros testes com o sistema descrito, foi confeccionado um mini sistema de acrílico, que visava reproduzir às condições de teste, utilizando um pequeno motor elétrico .

## II.4 - Procedimento Experimental

Antes de cada experiência, várias providências deveriam ser tomadas, como mostrado á seguir:

- 1) Checar a instrumentação contra possíveis falhas, assim como toda tubulação contra vazamentos.
- 2) Calibrar a célula de carga do conjunto dinamométrico, colocando-se o peso de 16.66 lb e variando o COARSE SPAN até obter o valor desejado (ao retirar-se o peso deve-se obter o valor zero).
- 3) Ligar a resistência de óleo de aquecimento do motor, até atingir à temperatura de 120 °F.
- 4) Medir as temperaturas de bulbo seco, bulbo úmido e a pressão atmosférica local.
- 5) Utilizar taxa de compressão baixa ( $\cong 5,5:1$ ), para partida do motor.

Uma série de testes foram realizados, com a finalidade de obter resultados representativos, utilizando três tipos de combustíveis - gás natural, gasolina, álcool - e utilizando várias formas de injeção, que serão descritas à seguir.

## **A - Gás Natural Injeção Direta $\Rightarrow$ Ante - Câmara**

Este tipo de teste, no qual utiliza-se a antecâmara 2, já descrita anteriormente, tem como objetivo, observar o efeito da injeção direta na câmara de combustão, isto é, se ocorre ou não aumento da eficiência e da potência do motor, comparado com a injeção contínua no coletor de admissão.

Devido à baixa vazão de gás natural fornecida pelo bico injetor, foi impossível trabalharmos unicamente com a antecâmara, sendo portanto necessário injetarmos no coletor de admissão simultaneamente.

Diante desta dificuldade, resolveu-se injetar no coletor de admissão a mesma vazão de combustível que a utilizada no teste V.3.1.1, e utilizando uma válvula agulha controlar a vazão de combustível injetada na antecâmara, podendo com isto comparar os valores entre si. Este procedimento de teste pode ser observado no fluxograma à seguir.

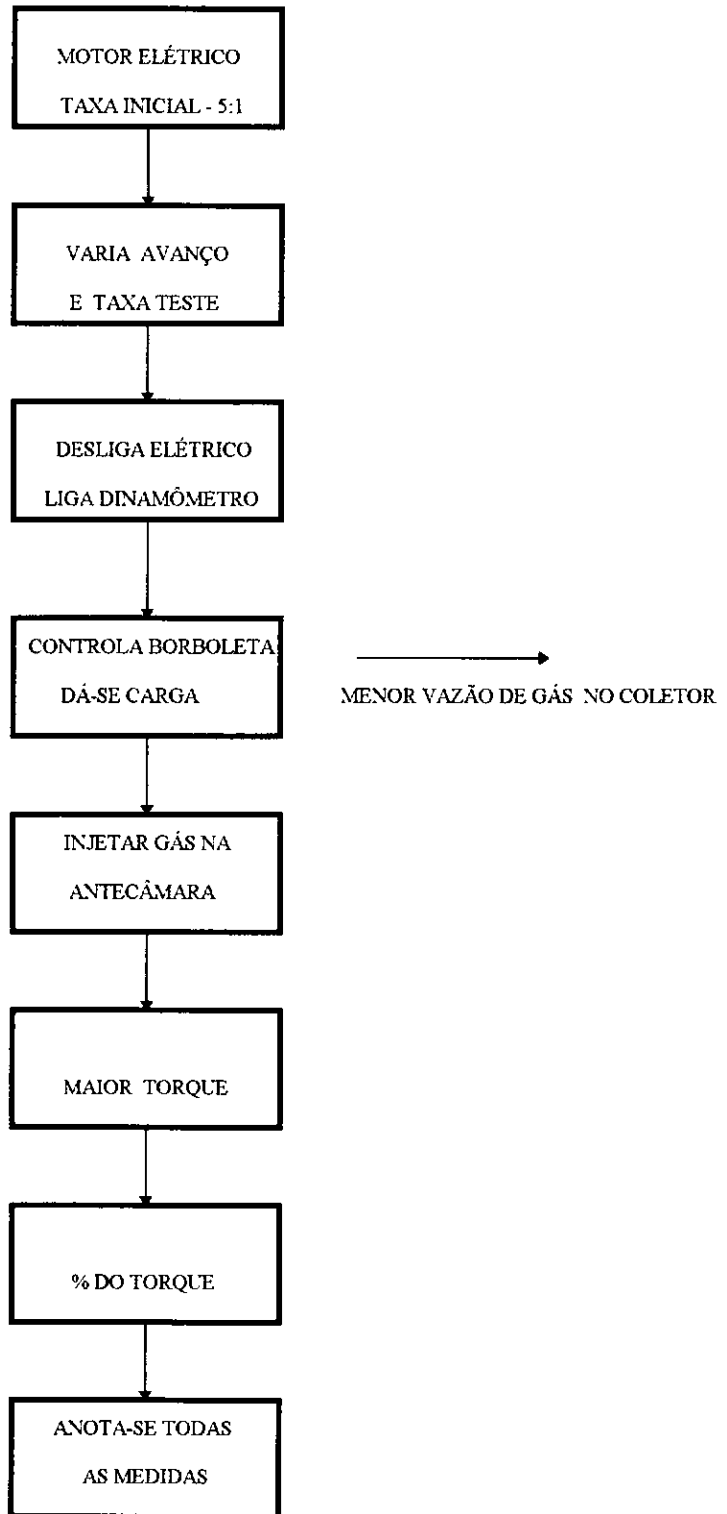
À partir de informações de Fiúza [5] e Granado [6], adotou-se os seguintes valores:

- 1) *Taxas de compressão: 12:1 e 14:1*
- 2) *Avanço de Centelha :  $-12^\circ$  e  $-9^\circ$*

As cargas utilizadas foram de 90%, 75%, 50%, 25% e 0%, sendo este controle realizado através do controle da abertura da borboleta no coletor de admissão, mantendo-se a rotação do motor constante (900 rpm). Além disto, variou-se a posição de injeção, isto é, injetou-se  $10^\circ$  após o ponto morto superior e  $50^\circ$  antes do ponto morto inferior - ver fluxograma à seguir.

Os resultados destes testes podem ser vistos em tabelas no apêndice E, assim como em gráficos no apêndice F.

## INJEÇÃO DIRETA ⇒ ANTECÂMARA



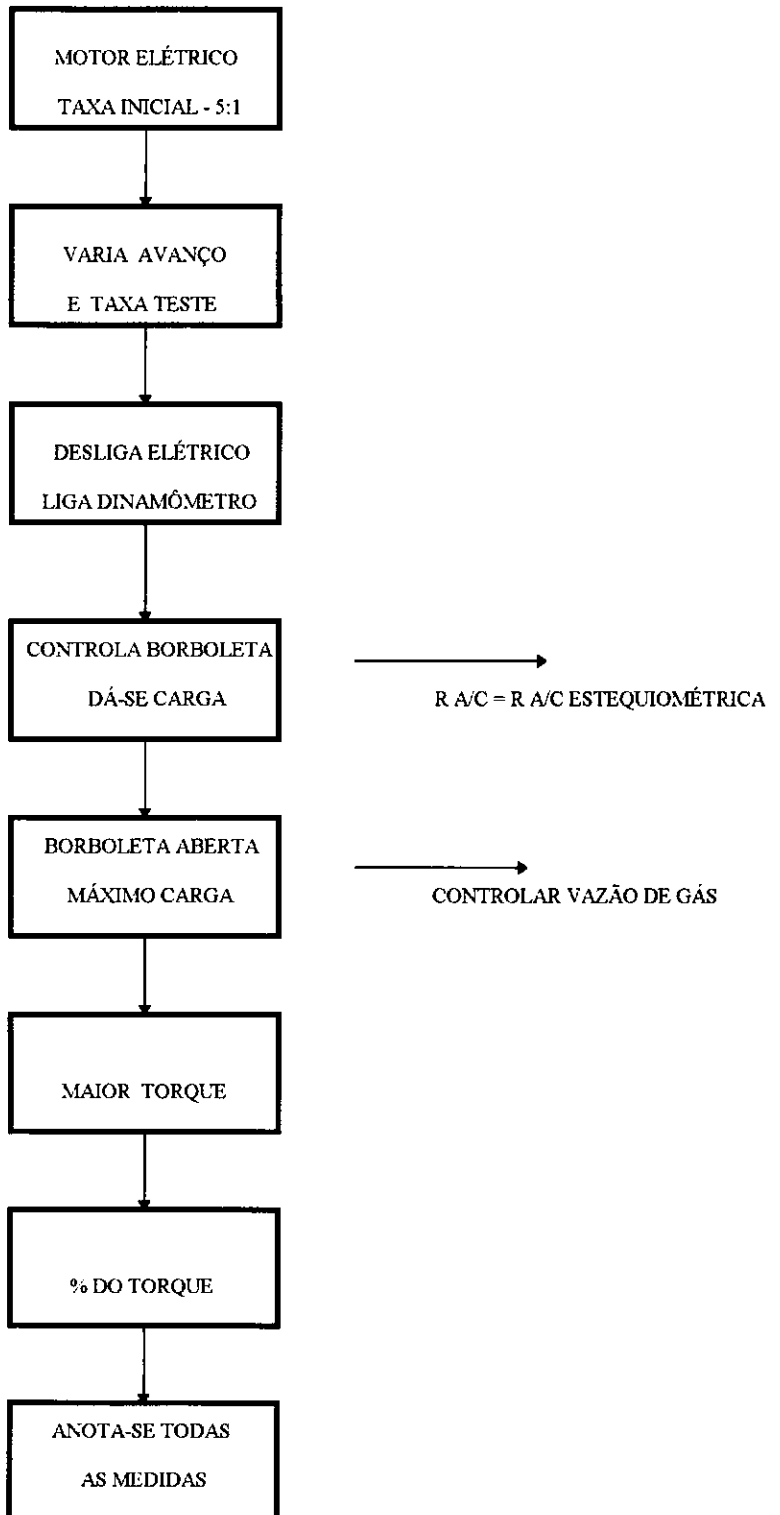


## **B - Gás Natural Injeção Indireta ⇒ Coletor de Admissão**

Neste tipo de teste, injetou-se no coletor de admissão utilizando o bico injetor, já descrito anteriormente. Tem como objetivo observar o efeito da injeção eletrônica utilizando gás natural no coletor de admissão, comparado com a injeção contínua. Este procedimento de teste pode ser observado no fluxograma à seguir.

Utiliza-se as mesmas taxas de compressão, mesmos avanços de centelha e mesmas cargas do teste anterior, variando-se o ângulo de abertura entre os sensores, isto é, variando-se o tempo de abertura do bico injetor, assim como a posição de injeção (PMS-Admissão e PMI-Descarga) - ver fluxograma à seguir.

Os resultados destes testes podem ser vistos, em tabelas no apêndice E assim como em gráficos no apêndice F.

**INJEÇÃO INDIRETA ⇒ COLETOR DE ADMISSÃO**

## **C - Gás Natural Injeção Contínua ⇒ Coletor de Admissão**

### **Direto**

Neste tipo de teste, utilizou-se a injeção direta no coletor de admissão, sem direcionar o fluxo de gás natural. São utilizados dois procedimentos de testes, que serão descritos à seguir:

#### **1) Primeira Versão**

São utilizados os mesmos parâmetros do anterior, isto é, mesmas taxas de compressão, mesmos avanços de centelha e mesmas cargas. Este procedimento de teste pode ser observado no fluxograma à seguir.

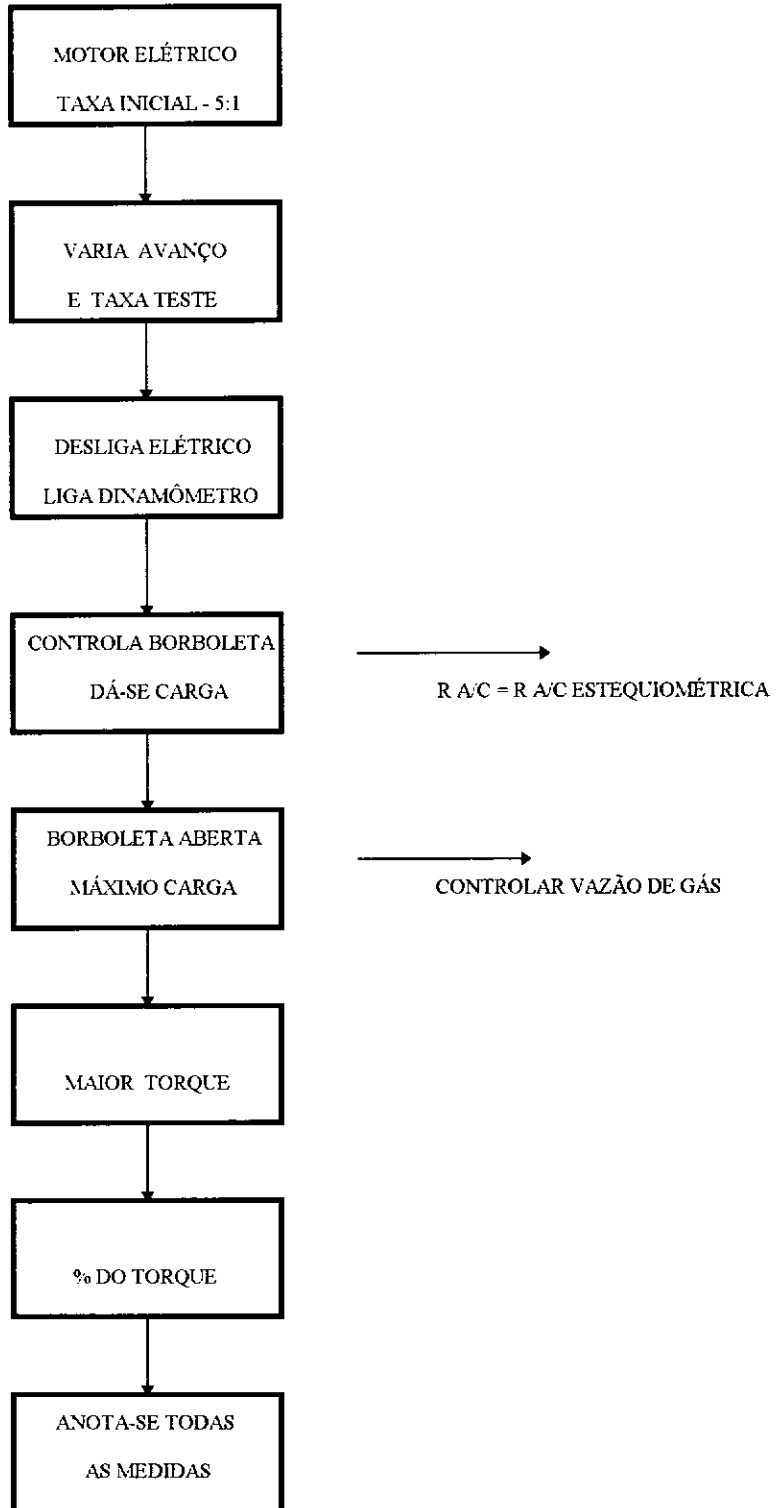
Os resultados destes testes podem ser vistos em tabelas no Apêndice E, assim como em gráficos no apêndice F.

#### **2) Segunda Versão**

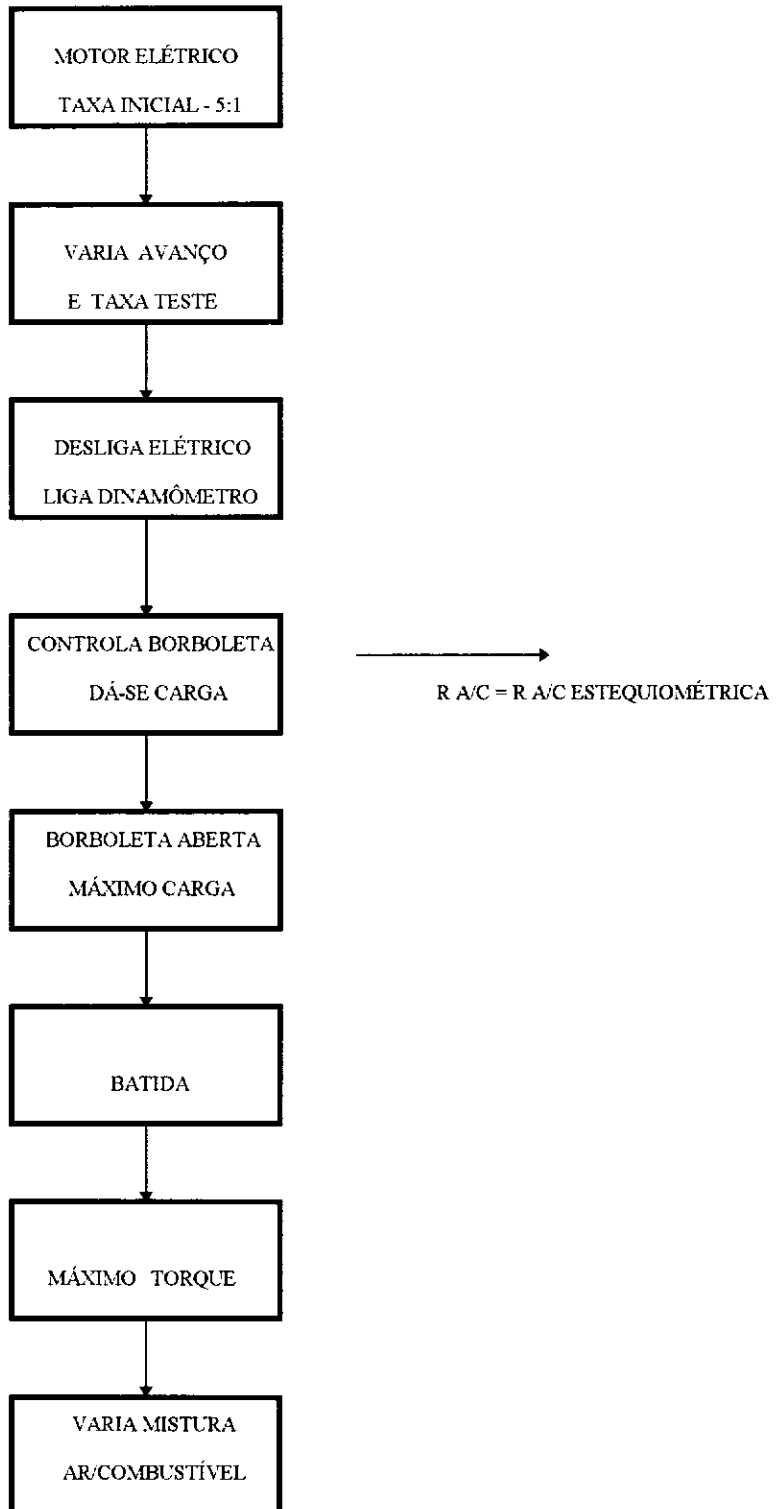
Este tipo de teste, tem como objetivo estudar o comportamento do torque próximo do seu valor máximo, em função do avanço de ignição. O limite para o valor máximo do ângulo de avanço de ignição é o limiar da condição de batida do motor. Após obtido este valor, passa-se a tentativa de obtenção do torque máximo, de tal forma que após atingida a condição de borboleta toda aberta a 900 rpm, variou-se o avanço de ignição até a sua obtenção na mistura ar - combustível existente. Com este valor ótimo de avanço obtido, passou-se a variar a mistura ar-combustível, afim de refinar a obtenção do torque máximo. Foi realizado para duas taxas de compressão (12:1 e 14:1). Este procedimento de teste pode ser observado no fluxograma à seguir.

Os resultados destes testes podem ser vistos em tabelas no apêndice E e em gráficos no apêndice F.

# INJEÇÃO CONTÍNUA ⇒ COLETOR DE ADMISSÃO DIRETO - PRIMEIRA VERSÃO



## INJEÇÃO CONTÍNUA - COLETOR DE ADMISSÃO DIRETO - SEGUNDA VERSÃO



### **Direcionado - Corrente Paralela**

Neste tipo de teste, utilizou-se o mesmo procedimento anterior (segunda versão), apenas direcionado o fluxo de gás natural, paralelo ao fluxo de ar admitido pelo motor, de tal forma a analisar a influência da direção na performance e emissões do motor.

Os resultados destes testes podem ser vistos, em tabelas no apêndice E e em gráficos no apêndice F.

### **Direcionado - Contra Corrente**

Neste tipo de teste, utiliza-se o mesmo procedimento anterior, apenas modificando a direção do fluxo de gás natural; sendo agora contrário ao fluxo de ar admitido pelo motor, de tal forma a analisar também a influência da direção na performance e emissões do motor.

Os resultados destes testes podem ser vistos, em tabelas no apêndice E e em gráficos no apêndice F.

### **Entrada do Coletor**

Neste tipo de teste, utiliza-se o mesmo procedimento anterior, porém modifica-se a posição de injeção, injetando-se na entrada do coletor de admissão de tal forma a obter uma mistura ar-combustível mais homogênea -corrente paralela, de tal forma analisar esta mudança na performance e emissões do motor.

Os resultados destes testes podem ser vistos, em tabelas no apêndice E e em gráficos no apêndice F.

## **D - Gasolina**

Neste tipo de teste, seleciona-se a cuba contendo gasolina e utiliza-se o giglê standard, que é apropriado para este tipo de combustível. Após o aquecimento do motor, altera-se a taxa de compressão para o valor desejado.

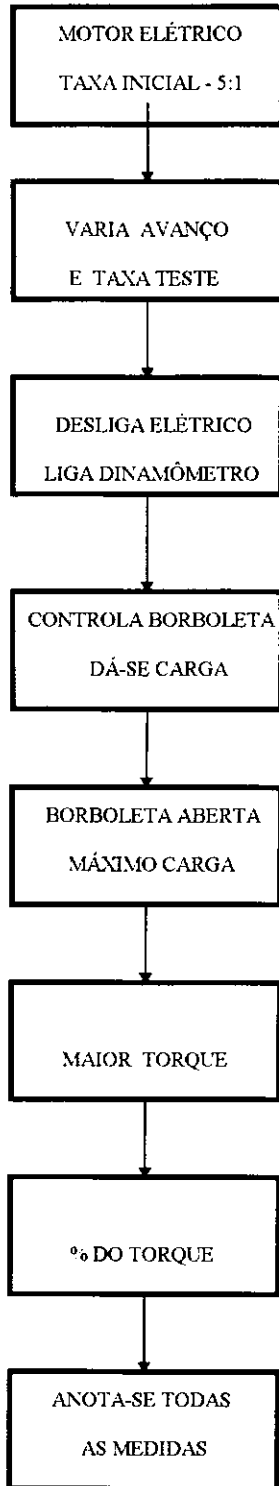
À partir de informações de Fiúza [5], Granado [6] e Junqueira [8], adotou-se os seguintes valores:

- 1) Taxa de Compressão: 8:1*
- 2) Avanço de Centelha : -3 e -6*

As cargas utilizadas são de 90%, 75%, 50%, 25% e 0%, sendo este controle realizado através da abertura da borboleta no coletor de admissão, mantendo-se a rotação constante (900 RPM) - ver fluxograma à seguir.

Os resultados destes testes podem ser vistos, em tabelas no apêndice E e em gráficos no apêndice F.

# GASOLINA



R A/C = R A/C ESTEQUIOMÉTRICA



## **E - Álcool**

Neste tipo de teste, seleciona-se a cuba contendo álcool e utiliza-se um gíglê com maior diâmetro (2,5 mm). O motor é pré-aquecido com gasolina comum até atingir a temperatura de funcionamento. Após altera-se a taxa de compressão para o valor desejado. Este procedimento de teste pode ser observado no fluxograma anterior.

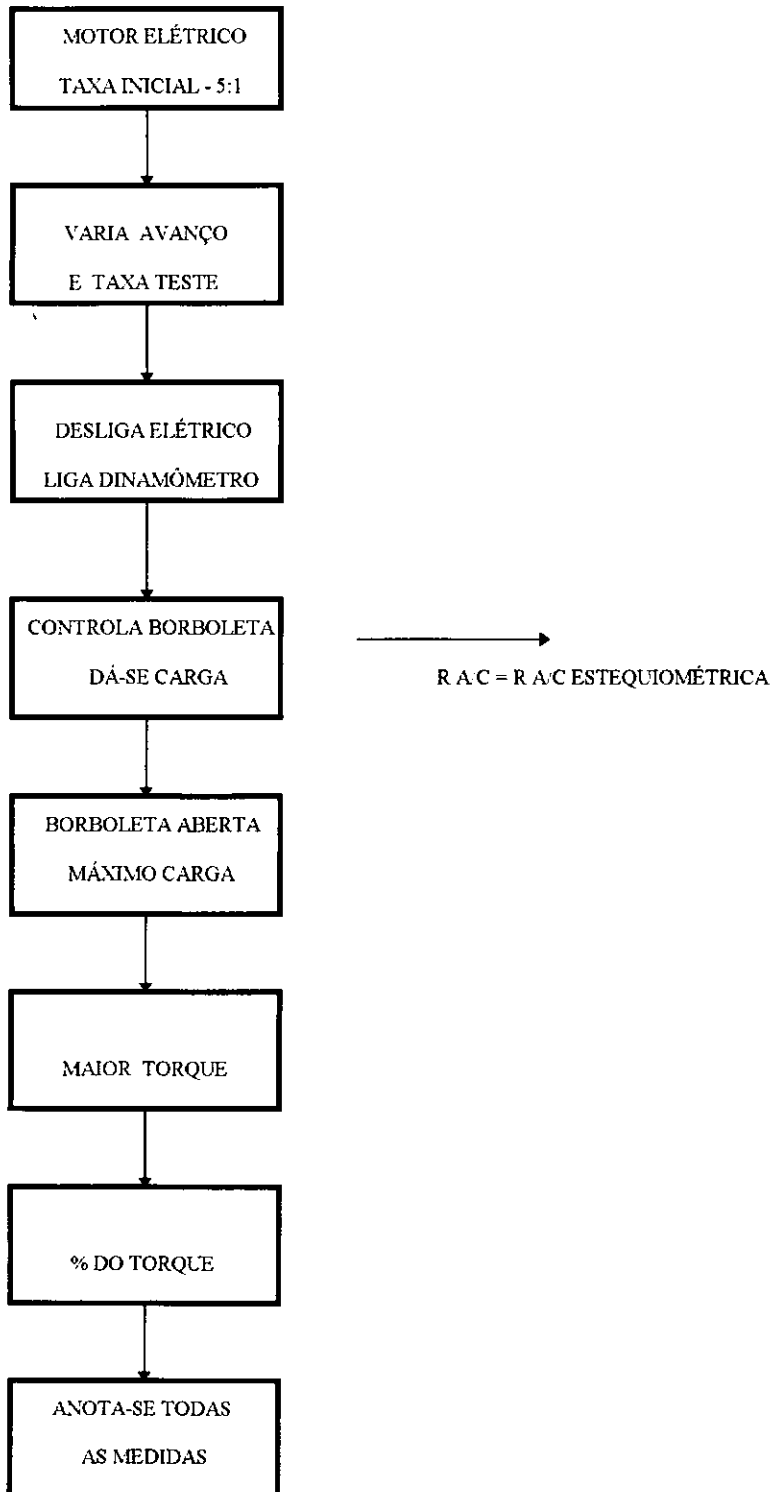
À partir de informações de Fiúza [5], Granado [6] e Junqueira [8], adotou-se os seguintes valores:

- 1) Taxa de Compressão: 12:1*
- 2) Avanço de Centelha : -3 e -6*

As cargas utilizadas são de 90%, 75%, 50%, 25% e 0%, sendo este controle realizado através da abertura da borboleta no coletor de admissão, mantendo-se a rotação constante (900 RPM) - ver fluxograma à seguir.

Os resultados destes testes podem ser vistos, em tabelas no apêndice E e em gráficos no apêndice F.

# ÁLCOOL



### III - Análise dos Resultados

#### III.1 - Injeção Contínua

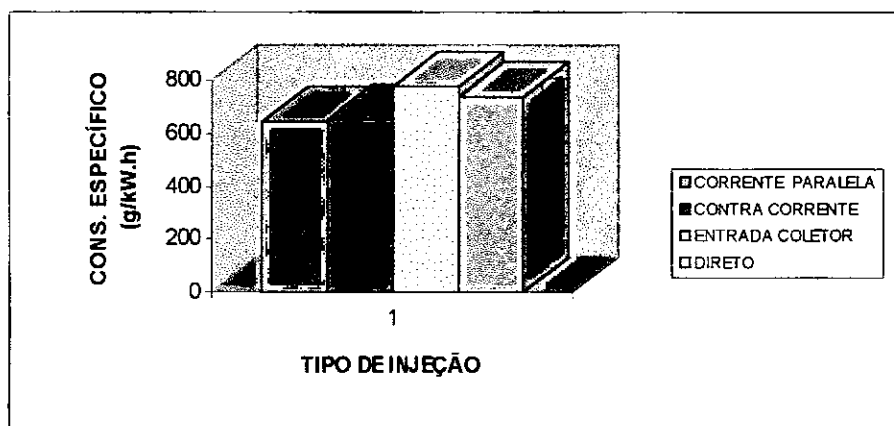
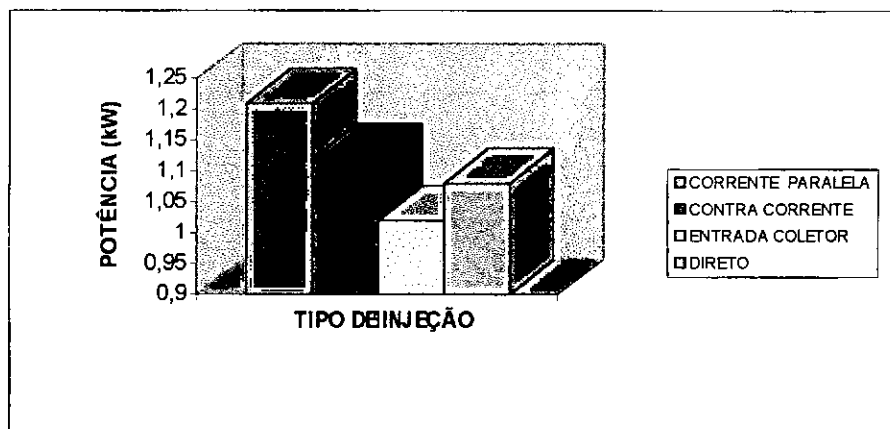
⇒ Taxa 12:1

##### A - Potência

Analisando as curvas de potência X avanço para todos os casos estudados, observou-se uma maior potência para a injeção - corrente paralela, como pode ser observado na tabela à seguir:

Tipo de Injeção	corrente paralela	contra-corrente	entr.coletor	direto
Avanço ( ° )	-17	-16	-21	-20
Potência (kW)	1.21	1.12	1.02	1.08
C.Espec. (g/kW.h)	647	654	779	739

Esta maior potência ocorreu para uma R A/C = 15.86, isto é, com a mistura ligeiramente rica (R A/C estequiométrica = 16.97), sendo coerente com o comportamento de qualquer combustível. Além disto, obteve-se para esta potência um menor consumo específico.



**FIGURA 48 - COMPARAÇÃO DOS DIVERSOS TIPOS DE INJEÇÃO - POTÊNCIA E CONSUMO ESPECÍFICO**

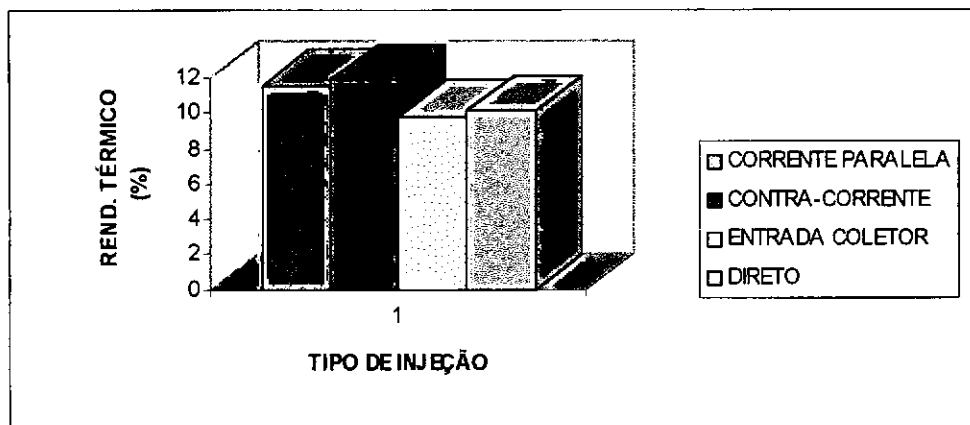
### B - Rendimento Térmico

As curvas de rendimento térmico apresentam valores médios (9-12%), isto se deve ao fato da existência de grandes perdas mecânicas que o motor CFR apresenta, por ser um motor robusto e super-dimensionado para as características de teste.

Na tabela à seguir, pode-se observar os valores de rendimento térmico para todos os tipos de injeção, sendo o maior valor obtido para a injeção - contra-corrente.

Tipo de Injeção	corrente paralela	contra-corrente	entr. coletor	direto
Avanço ( ° )	-17	-16	-21	-20
R. Termico (%)	11.54	11.87	9.85	10.11

\* Maior potência



**FIGURA 49 - COMPARAÇÃO DOS DIVERSOS TIPOS DE INJEÇÃO - RENDIMENTO TÉRMICO**

### C - Temperatura de Descarga

Como era de se esperar, para todos os tipos de injeção, obteve-se um aumento da temperatura de descarga com o aumento do avanço, indicando um maior aproveitamento do trabalho útil. Além disto, também pode ser observado uma pequena variação desta com a mistura, levando a acreditar na existência de combustão inadequada para misturas próximas da estequiométrica. Outro ponto importante a ser observado é que obteve-se a menor temperatura de descarga para o maior torque - ver gráfico apêndice F.

### D - Emissões

#### \* CO

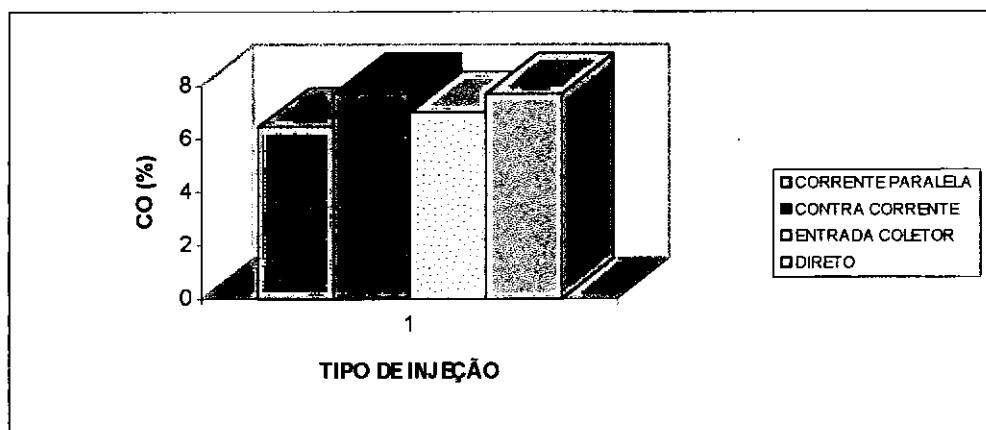
Os níveis de CO, para todos os tipos de injeção mostraram-se elevados (acima de 6%), isto ocorreu devido à combustão incompleta do gás natural, pois o motor CFR não foi operado com temperatura de câmara de combustão otimizada devido a:

\* Vela de ignição - não própria para gás natural, com grau térmico próprio para a gasolina;

\* Baixa turbulência - formato da câmara de combustão não adequado (formato plano).

Em termos comparativo, observou-se uma menor emissão de CO na maior potência para corrente paralela, devido à maior turbulência conseguida com este sistema.

Tipo de Injeção	corrente paralela	contra-corrente	entr. coletor	direto
Maior potência (kW)	1,21	1,08	1,02	1,12
CO (%)	6,41	7,67	7,00	7,70

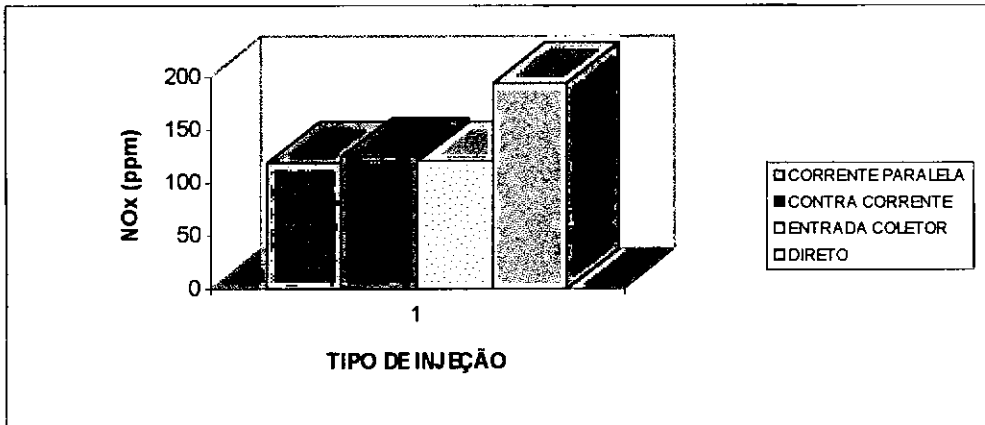


**FIGURA 50 - COMPARAÇÃO DOS DIVERSOS TIPOS DE INJEÇÃO - ÍNDICE DE CO**

\* NO<sub>x</sub>

Os níveis de NO<sub>x</sub> mostram-se baixos em comparação com os valores convencionais (< 50 ppm), isto deve-se ao fato da combustão incompleta. Em termos comparativos, observa-se uma menor emissão de NO<sub>x</sub> na maior potência para corrente paralela.

Tipo de Injeção	corrente paralela	contra-corrente	entr. coletor	direto
Maior potência (kW)	1,21	1,08	1,02	1,12
NO <sub>x</sub> (ppm)	11,00	7,00	10,00	15,00

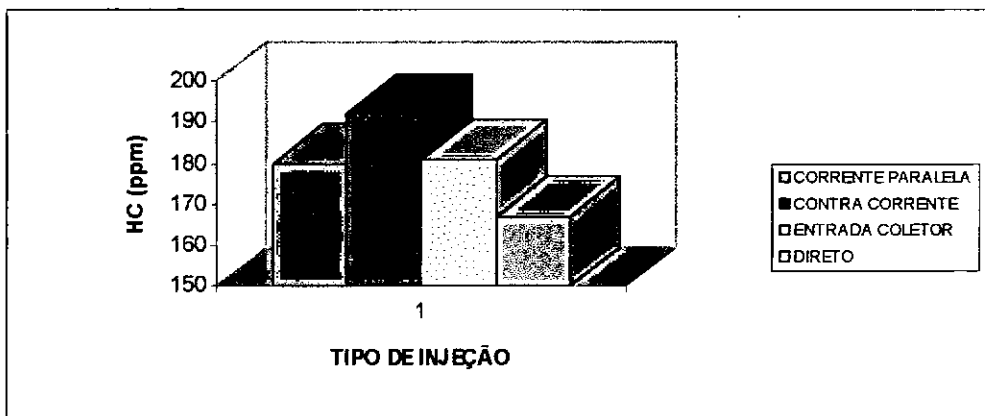


**FIGURA 51 - COMPARAÇÃO DOS DIVERSOS TIPOS DE INJEÇÃO - ÍNDICE DE NO<sub>x</sub>**

\* HC

Os níveis de hidrocarbonetos mostraram-se baixos, porém superiores para misturas mais ricas, sendo inferior em termos comparativos para o sistema de injeção - corrente paralela.

Tipo de Injeção	corrente paralela	contra-corrente	entr. coletor	direto
Maior potência (kW)	1,21	1,08	1,02	1,12
HC (ppm)	233,00	299,00	295,00	271,00



**FIGURA 52 - COMPARAÇÃO DOS DIVERSOS TIPOS DE INJEÇÃO - ÍNDICE DE HC**

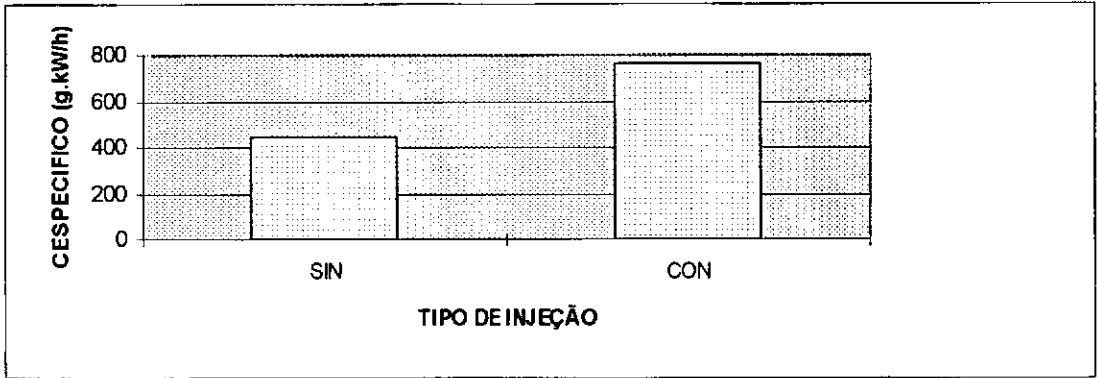
**⇒ Taxa 14:1**

A análise de resultados realizada para a taxa de compressão 12:1 pode ser repetida para a taxa 14:1, sendo variável apenas os valores numéricos, que podem ser observados nas tabelas - apêndice E.



### III.2 - Sincronizada - Coletor de Admissão X Contínua

Apesar das dificuldades existentes devido à baixa vazão do bico injetor, neste tipo de teste foi possível observar resultados surpreendentes, principalmente no que diz respeito ao consumo específico.

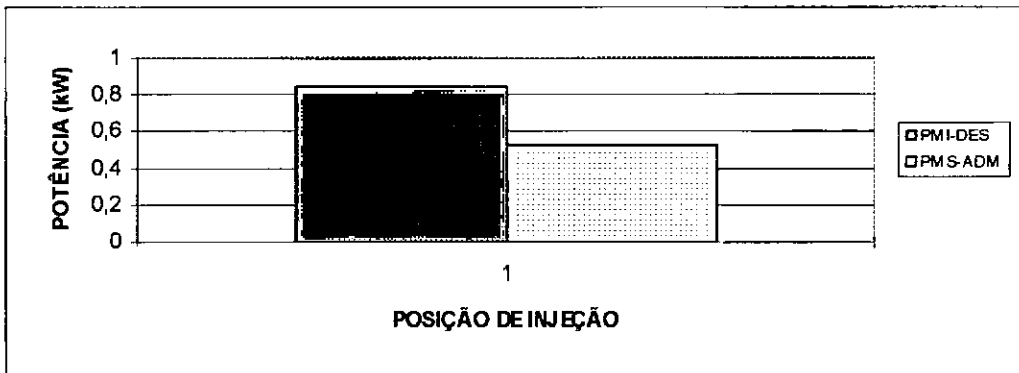


**FIGURA 53 - COMPARAÇÃO INJEÇÃO SINCRONIZADA x CONTÍNUA - CONSUMO ESPECÍFICO**

Em termos gerais, foi possível obter os seguintes resultados para uma mesma potência:

- \* *menor consumo específico;*
- \* *menor temperatura de descarga;*
- \* *maior rendimento térmico;*
- \* *menor emissão de HC;*
- \* *maior emissão de NOx.*

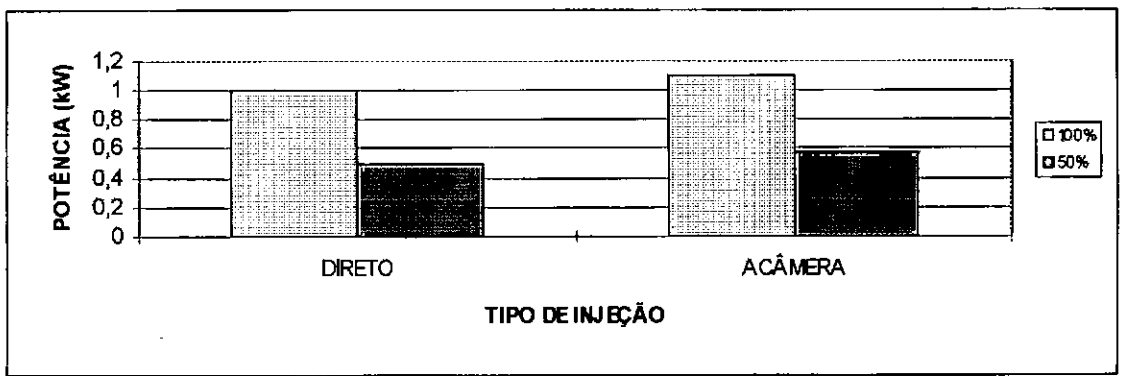
Além disso em termos de posição de injeção, isto é, momento exato em que o combustível foi injetado, foi conseguido uma maior potência e um menor consumo para a injeção no ponto morto inferior na descarga.



**FIGURA 54 - COMPARAÇÃO ENTRE POSIÇÃO DE INJEÇÃO - PMI x PMS**

### III.3 - Sincronizada Ante-Câmara X Direta

Na injeção diretamente na câmara de combustão utilizando uma ante-câmara, observou-se dificuldades também na baixa vazão fornecida pelo bico injetor, ficando impossibilitado desta funcionar sozinha, como já foi explicado em itens anteriores. Diante disto, apenas foi analisado a possibilidade ou não de aumento de potência em relação a injeção direta no coletor de admissão.

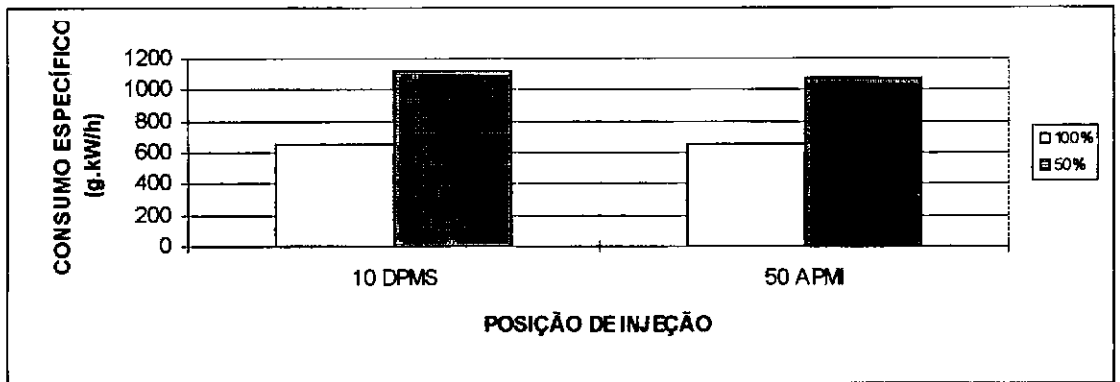
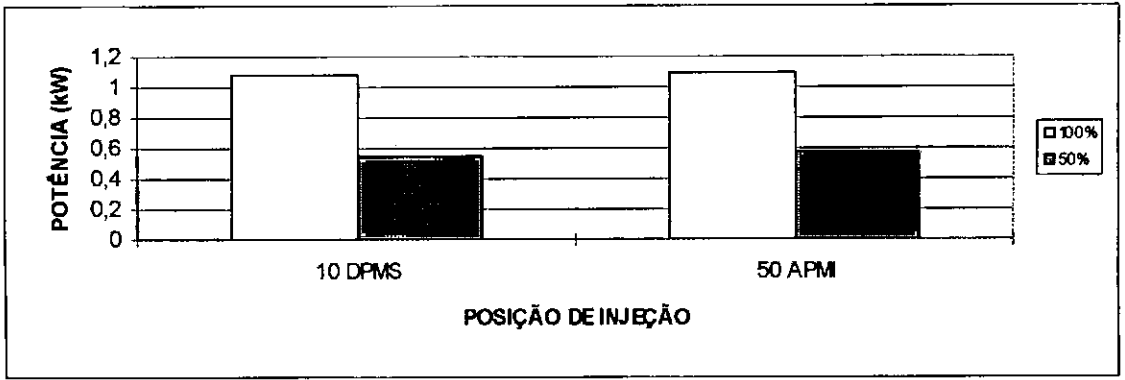


**FIGURA 55 - COMPARAÇÃO ENTRE INJEÇÃO DIRETA x ANTECÂMARA - POTÊNCIA**

Os resultados obtidos podem ser vistos em tabelas no apêndice E e em gráficos no apêndice F. Em termos gerais, foi possível observar:

- \* *um aumento de potência;*
- \* *um pequeno aumento do rendimento térmico;*
- \* *uma pequena redução da temperatura de descarga;*
- \* *uma menor emissão de HC e CO<sub>2</sub>;*
- \* *não variação na emissão de NO<sub>x</sub> e CO.*

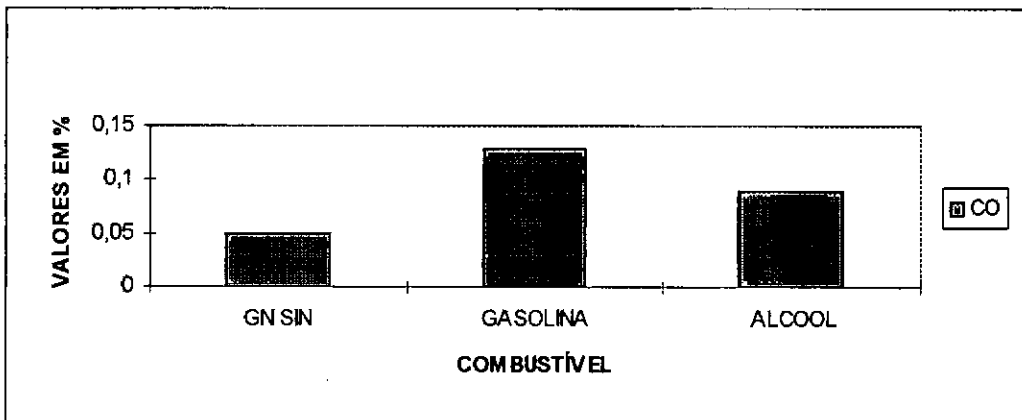
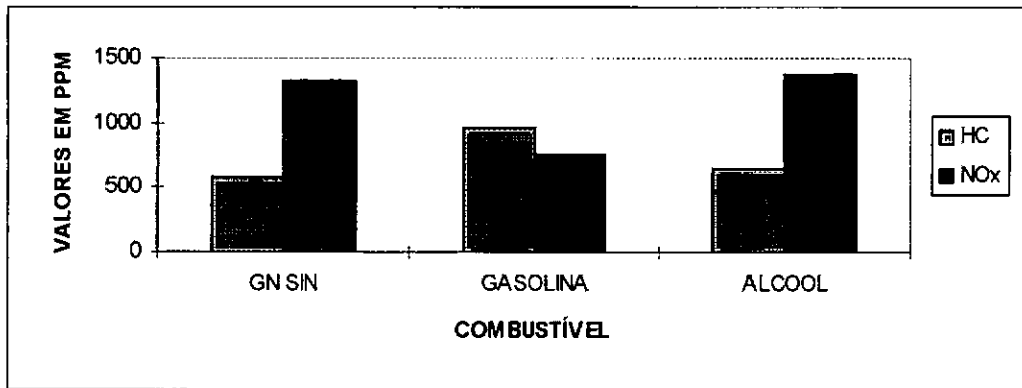
Em termos de posição de injeção, observou-se uma maior potência, um menor consumo específico e um maior rendimento térmico para a injeção 50° após o ponto morto superior na admissão. No que diz respeito à emissões não observou-se uma variação significativa, sendo os valores praticamente iguais.



**FIGURA 56 - COMPARAÇÃO ENTRE POSIÇÃO DE INJEÇÃO - PMI x PMS ⇒ POTÊNCIA E CONSUMO ESPECÍFICO**

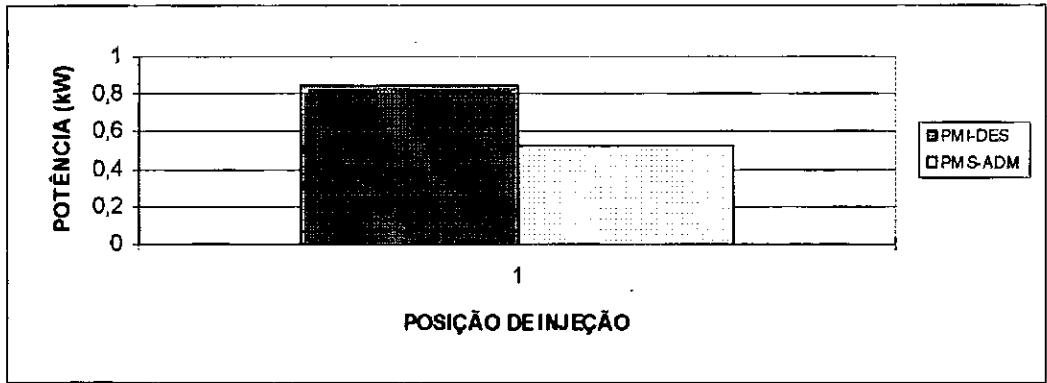
#### IV - Conclusões e Sugestões

1) Os resultados obtidos na avaliação do desempenho e das emissões de alguns poluentes do motor CFR-Octano para utilização de gás natural demonstra que a partir de dados de projeto e de operação, é possível obter uma redução significativa nos níveis de emissões de poluentes para uma mesma potência em comparação com outros combustíveis como álcool e gasolina, conforme pode ser observado nos gráficos a seguir:



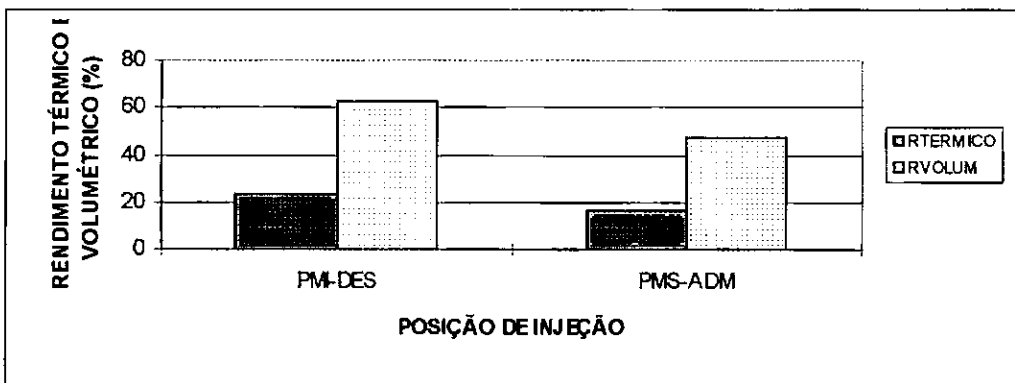
**FIGURA 57 - GASES DE ESCAPE**

2) Em relação ao sistema de injeção sincronizada no coletor de admissão, conclui-se que apesar das dificuldades de injeção devido à baixa vazão de combustível injetada, é um sistema bastante promissor pois como observado anteriormente para mesma potência obtivemos consumos específicos bem inferiores comparados com a injeção contínua, além de emissões também inferiores.



**FIGURA 58 - COMPARAÇÃO ENTRE POSIÇÃO DE INJEÇÃO - PMI x PMS ⇒ POTÊNCIA**

É importante sugerir portanto, que seja desenvolvido um bico injetor no qual consiga-se obter uma maior vazão afim de suprir as necessidades do motor. Além disto, é válido analisar mais profundamente a posição exata da injeção, pois como observado anteriormente possui influência bastante significativa na eficiência do mesmo.



**FIGURA 59 - COMPARAÇÃO ENTRE POSIÇÃO DE INJEÇÃO - PMI x PMS ⇒ RENDIMENTO TÉRMICO E VOLUMÉTRICO**

3) Para os vários sistemas de injeção contínua estudados ( contra corrente, corrente paralela, direto e entrada do coletor) conclui-se que o melhor sistema foi o corrente paralela, porém os resultados obtidos ficaram muito próximos um dos outros, tanto em termos de eficiência quanto em termos de emissões.

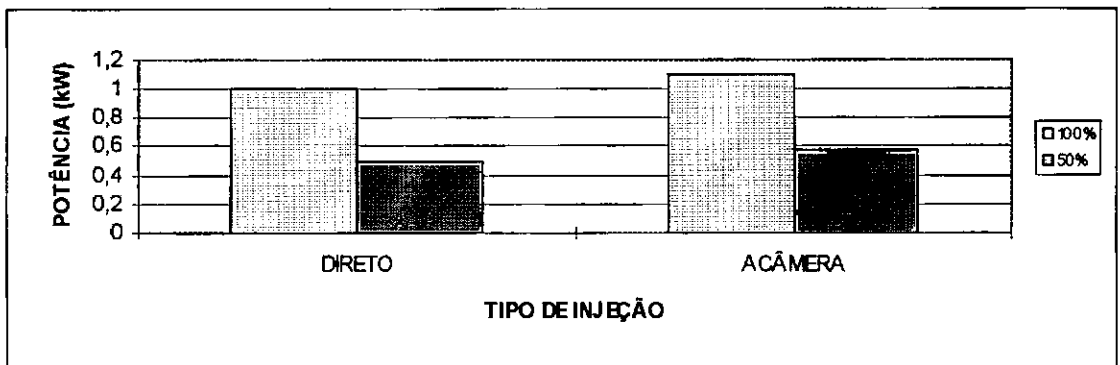
### Taxa de Compressão - 12:1

Tipo Injeção	Paralelo	Contra-corrente	Direto	Entrada Coletor
Avanço (°)	-17	-16	-20	-21
Potência (kW) (*)	1,21	1,12	1,08	1,02
Cons. Espec. (g/kW.h)	647.00	654.00	739.00	779.00
Rend. Térmico (%)	11.54	11.87	10.11	9.85
CO (%)	6.40	7.70	7.60	7.00
CO <sub>2</sub> (%)	7.20	6.40	6.10	6.00
No <sub>x</sub> (ppm)	6.70	15.00	7.00	10.00
HC (ppm)	233.00	271.00	299.00	295.00

#### (\*) Maior potência

Portanto é necessário que ocorra a otimização de toda instrumentação afim de se obter resultados mais precisos. Além de ser necessário a troca da vela de ignição, para uma de grau térmico superior afim de melhorar a combustão de tal forma a torná-la uma combustão completa.

4) Já para o sistema de injeção sincronizada na câmara de combustão utilizando uma ante-câmara, verificase que pode ser obtido um aumento de potência do motor com um menor consumo específico, além de uma redução de emissões de poluentes.



**FIGURA 60 - COMPARAÇÃO ENTRE INJEÇÃO DIRETA E ANTECÂMARA - POTÊNCIA**

É importante salientar, que com o desenvolvimento de um novo bico injetor haverá a possibilidade de suprir as necessidades do motor apenas com este tipo de injeção, podendo chegar portanto a melhores resultados.

De um modo geral, diante dos resultados obtidos, pode-se concluir que o gás natural é atualmente a melhor alternativa pois do ponto de vista ambiental, traz vantagens imediatas em termos de emissões de material particulado, contribuindo para a melhoria do ar nas cidades. Além disto, para o usuário a vantagem é apreciável em relação ao preço, pois foi estabelecido pelo Departamento Nacional de Combustíveis (DNC) o preço do m<sup>3</sup> de gás natural 20% inferior ao litro do álcool carburante. No que diz respeito à durabilidade do motor tem-se:

- \* o intervalo de troca de óleo pode ser triplicado;*
- \* as velas de ignição tem maior durabilidade;*
- \* o motor acumulará menos carvão, tanto nas válvulas de admissão como nos pistões e câmara de combustão.*

## V - Apêndice

### A - Procedimentos de Cálculos

#### \* Vazão

##### - Ar

$$m_{ar} = 1,4343 + 1,55032P - 0,02743P$$

onde:

$m_{ar}$  - vazão mássica de ar [kg/h]

P - depressão lida no manômetro inclinado [mmH<sub>2</sub>O]

A vazão de ar foi corrigida para temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido e pressão atmosférica [4].

##### - Combustível Líquido

$$m_c = (V \cdot \rho \cdot 3600) / t$$

onde:

m - vazão mássica de combustível [kg/h]

t - tempo de consumo [s]

V - volume de combustível entre as células fotoelétricas [l]

$\rho$  - massa específica do combustível à  $T_{amb}$  [kg/l]

##### - Combustível Gasoso

Conhecido:

d - diâmetro do orifício

D- diâmetro do tubo



T- temperatura do gás

$$\beta = d/D = 0.158730$$

$$C'.E = 0.5991 + (0.1118/D) + [0.3155+(0.4445/D)].(\beta+2\beta)$$

$$C'.E = 0.606416$$

$$B_m = (0.0132/D)-0.000192+[0.01648-(0.02946/D)].(\beta+4\beta)$$

$$B_m = 0.00066$$

$$A_m = 1000.[B_m/(C'.E)]$$

$$A_m = 1.088360$$

Aproximando C.E. $\beta$  por C'.E. $\beta$  :

$$C.E.\beta = 0.0166135$$

Obtendo os valores da pressão à montante (P1) e à jusante (P2), tem-se:

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

$$k = 1.296 \Rightarrow \text{gás natural}$$

$$\varepsilon = 1-(0.3707+0.3184\beta).[1-(P_1/P_2)]$$

$$\varepsilon = 0.99 \Rightarrow \text{coeficiente de expansão isoentrópica}$$

$$\rho = 0.7508 \text{ kg/m}^3$$

$$F_\alpha = 1 \Rightarrow \text{fator de dilatação térmica}$$

$$Q_m = 1.1107.C.E.\beta.\varepsilon.F_\alpha \sqrt{\Delta P.\rho}$$

onde:

$$Q_m - \text{vazão mássica teórica [kg/s]}$$

Cálculo do número de Reynolds:

$$R_D = (1,273 \cdot Q_m) / [(D \cdot \mu) / 1000]$$

$$\mu = 106,6042 \text{ } \mu\text{p}$$

$$Q_R = Q_m [1 + (A_m / R_D)] \quad [\text{kg/s}]$$

onde:

$Q_R$  - vazão mássica real [kg/s]

### **Pressão Média Efetiva**

É definida como a soma entre a pressão teórica para vencer as resistências passivas e a pressão necessária para produzir trabalho efetivo no motor.

$$PME = (900 \cdot N_e) / (V \cdot n)$$

onde:

PME - pressão média efetiva [kgf/cm]

n - rotação [rpm]

V - cilindrada do motor [l]

N - potência efetiva [CV]

### **Potência Efetiva**

É definida como a potência gerada no eixo do motor.

$$N_e = (2\pi \cdot T \cdot n) / 60$$

onde:

T - torque [N.m]

$n$  - rotação [RPM]

Corrigindo está potência pela norma ABNT MB-392, tem-se:

$$N_{er} = N_e \cdot (736/P_{atm}) \cdot \left[ \frac{(T_{bs} + 273.5)}{303} \right]$$

onde:

$P_{atm}$  - pressão atmosférica [mmHg]

$T_{bs}$  - temperatura de bulbo seco [°C]

### Relação Ar- Combustível

$$\text{Rel A/C} = m_{ar}/m_{comb}$$

onde:

$m_{ar}$  - vazão mássica de ar [kg/h]

$m_{comb}$  - vazão mássica de combustível [kg/h]

### Consumo Específico

$$C_{esp} = (m_{comb}/N_e) \cdot 1000$$

onde:

$C_{esp}$  - consumo específico de combustível [g/kW.h]

$m_{comb}$  - vazão mássica de combustível [g/h]

$N_e$  - potência efetiva [kW]

### **Rendimento Térmico**

$$\eta_t = [(3,6.10)/(C_{esp}.PCI)].100$$

onde:

$\eta_t$  - rendimento térmico [%]

$C_{esp}$  - consumo específico do combustível [g/Kw.h]

PCI - poder calorífico inferior [kJ/kg]

### **Rendimento Volumétrico**

$$\eta_v = (m_{ar}/m_t)$$

onde:

$m_{ar}$  - vazão mássica de ar [kg/h]

$m_t$  - vazão mássica teórica de ar que o motor aspira [kg/h]

$$m_t = (n.V_c.\rho_{ar}.60)/2000$$

onde:

$n$  - rotação [RPM]

$V_c$  - volume do cilindro [m<sup>3</sup>]

$\rho_{ar}$  - massa específica do ar à temperatura ambiente [kg/m<sup>3</sup>]

### **Ângulo a ser pintado no Disco de Acrílico**

Considerando o processo real, temos:

$$\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^k$$

$k = 1,32$  - gás natural

$P_1 = 1,03 \text{ kgf/cm}$

$P_2 = 3,00 \text{ kgf/cm}$

$V_2 = 174,78 \text{ cm} \Rightarrow \rho = 4,5:1$

$V_1 = 392,85 \text{ cm}$

$V_1 = V_{cil} + V_c$

$V_{cil} = 218,07 \text{ cm} \Rightarrow h = 4,07 \text{ cm}$

Para  $h = 4,07 \text{ cm}$ , termos um  $\theta = 64^\circ$ , devendo portanto pintar de preto fosco  $296^\circ$ .

## B - Análise dos Combustíveis

### Composição

#### - Gás Natural

A composição do gás natural foi fornecida pela Petrobrás.

Componentes	Composição Mássica (%)
Metano	77.14
Etano	18.42
Propano	1.880
Nitrogênio	1.410
Dióxido de Carbono	1.150

#### - Gasolina

A composição da gasolina foi obtida através de análise realizada pelo Departamento de Química da UFRJ. A composição encontrada foi:

Componentes	Composição Mássica (%)
Hexano	0,985
Heptano	1,035
Octano	74,291
Etanol	23,524
Impurezas	0,175

## - Álcool

A composição do álcool foi obtida através de análise realizada pelo Departamento de Química da UFRJ. A composição encontrada foi:

Componentes	Composição Mássica (%)
Etanol	96,042
Água	3,794
Impurezas	0,165

## Massa Específica

### - Ar

$$\rho_{\text{ar}} = P / (R \cdot T_{\text{amb}}) = (101,325 / [286,9 \cdot (273,5 + T_{\text{amb}})])$$

onde:

$T_{\text{amb}}$  - temperatura ambiente [C]

$\rho_{\text{ar}}$  - massa específica do ar [kg/m<sup>3</sup>]

### - Combustível Líquido

Para o cálculo da massa específica foram utilizados:

- Proveta: graduada com capacidade de 60 ml, com menor divisão de 1 ml.
- Balança : marca MARTE, aferida pelo INMETRO com menor divisão de 0.1 g.

### \* Gasolina

$$\rho_{\text{gasolina}} = m_{\text{gas}}/V$$

onde:

$m_{\text{gas}}$  - massa de gasolina [g]

$V$  - volume de gasolina [ml]

$$m_t = m_{\text{gas}} + m_p$$

$m_p$  - massa da proveta [g]

$m_t$  - massa total [g]

$$m_p = 59,70 \text{ g}$$

$$m_t = 75,18 \text{ g}$$

$$V = 20,00 \text{ ml}$$

$$m_{\text{gas}} = 15,48 \text{ g}$$

$$\Rightarrow \rho_{\text{gasolina}} = 15.48/20 = 0.774 \text{ kg/m}$$

### \* Álcool

$$\rho_{\text{alcohol}} = m_{\text{alc}}/V$$

onde:

$\rho_{\text{alc}}$  - massa de álcool [g]

$V$  - volume de álcool [ml ]

$$m_t = m_{\text{alc}} + m_b$$

$m_p$  - massa da proveta [g]



$m_t$  - massa total [g]

$$m_p = 59.70 \text{ g}$$

$$m_t = 76.42 \text{ g}$$

$$V = 20.00 \text{ ml}$$

$$m_{alc} = 16.72 \text{ g}$$

$$\Rightarrow \rho_{alcohol} = 16.72/20 = 0.836 \text{ kg/m}$$

## - Combustível Gasoso

### \* Gás Natural

A massa específica do gás natural, foi fornecida pela Petrobrás.

$$\rho_{gás \text{ natural}} = 0.7508 \text{ kg/m}$$

## Viscosidade Absoluta e Relação de Calores Específicos

### - Viscosidade Absoluta

$$\mu = \mu_0 \cdot [(273+T)/273] \cdot [(273+C_n)/(273+C_n+T)]$$

$$\mu = (n \cdot M \cdot T_c) / (\mu \cdot n \cdot M \cdot T_c)$$

onde:

$\mu$  - viscosidade absoluta do gás [ $\mu p$ ]

$\mu_0$  - viscosidade absoluta a 0 °C [ $\mu p$ ]

$C_n$  - número de Sutherland

$T$  - temperatura de teste [°C]

$T_c$  - temperatura crítica [°C]

$n$  - percentagem de cada constituinte

M - peso molecular

$$\Rightarrow \mu = 106,60 \mu\text{p}$$

### - Relação de Calores Específicos

$$k = C_{pm} / C_{vm}$$

$$C_{pm} = (\%CH_4/100).C_{pCH_4} + (\%C_2H_6/100).C_{pC_2H_6} + \dots$$

$$C_{vm} = (\%CH_4/100).C_{vCH_4} + (\%C_2H_6/100).C_{vC_2H_6} + \dots$$

onde:

$C_{pm}$  - calor específico a pressão constante na mistura

$C_{vm}$  - calor específico a volume constante na mistura

$$\Rightarrow K = 1,296$$

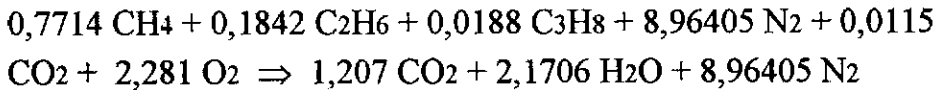
Os resultados obtidos podem ser vistos na tabela à seguir:

comp.	n	$\mu$	Cn	M	Tc	M.Tc	n.M.Tc	$\mu.n.M.Tc$	$C_{pm}$	$C_{vm}$
H4	0.868	100	164	16	190.7	3051	47.94	5201.23	0.528	0.403
C2H6	0.111	86	252	30	305.4	9162	10.59	998.65	0.427	0.361
C3H8	0.008	75	290	44	370.0	16280	0.982	80.997	0.389	0.342
CO2	0.005	138	254	44	304.0	13376	0.544	82.201	0.199	0.153
N2	0.009	166	105	28	126.0	3528	0.541	96.469	0.248	0.177

## Relação Ar - Combustível Estequiométrica

### - Gás Natural

Pela composição do gás natural e fazendo o balanço térmico, obtivemos a seguinte equação da combustão:



massa molecular do combustível = 19,201

massa molecular do ar = 11,245

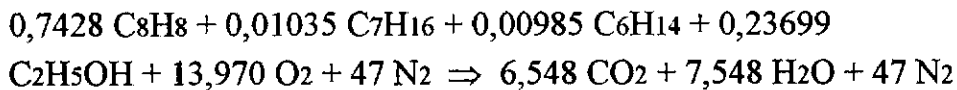
peso molecular do ar = 28,970

$$R_{A/C} = (11,245 \cdot 28,970)/19,201$$

$$\Rightarrow R_{A/C} = 16,97 \text{ kg ar/kg gás}$$

### - Gasolina

Pela composição da gasolina e fazendo o balanço térmico, obtivemos a seguinte equação da combustão:



massa molecular do ar = 60,910

massa molecular do combustível = 97,460

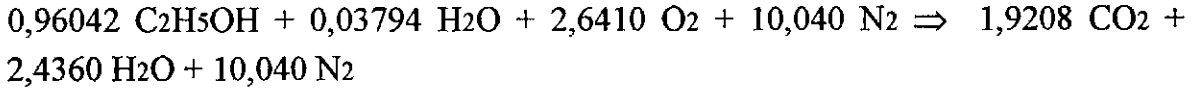
peso molecular do ar = 28,970

$$R_{A/C} = (28,97 \cdot 60,91)/97,46$$

$$\Rightarrow R_{A/C} = 18 \text{ kgar /kgcom}$$

### - Álcool

Pela composição do álcool e fazendo o balanço térmico, obtivemos a seguinte equação da combustão:



$$\text{massa molecular do combustível} = 44,179$$

$$\text{massa molecular do ar} = 28,970$$

$$\text{peso molecular do ar} = 28,970$$

$$R_{A/C} = (12,681 \cdot 28,97) / 44,179$$

$$\Rightarrow R_{A/C} = 8,32 \text{ kg ar/kg com}$$

### Poder Calorífico Inferior

Substância	Entalpia de Formação
CO <sub>2</sub>	- 393522 KJ/mol
H <sub>2</sub> O (l)	- 241827 KJ/mol
CH <sub>4</sub>	- 74873 KJ/mol
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	- 84667 KJ/mol
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	- 103847 KJ/mol
C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	- 196354 KJ/mol
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	- 147642 KJ/mol
C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	- 208447 KJ/mol
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	- 277783 KJ/mol

**- Álcool**

$$hrpo = [2(-393522) + 2,536(-241827)] - [(-277783) - 0,0395(-241827)]$$

$$hrpo = 1112,98 \text{ KJ/mol}$$

$$\text{massa molecular equivalente do combustível} = 46$$

$$\text{PCI} = 24195 \text{ KJ/kg}$$

**- Gasolina**

$$hrpo = [6,548.(-393710) + 7,548.(-241942)] - [0,7428.(-208447) + 0,01035.(-196354) + 0,00985.(-147642) + 0,23699.(-277783)]$$

$$hrpo = 4180 \text{ KJ/mol}$$

$$\text{massa molecular equivalente do combustível} = 97,46$$

$$\text{PCI} = 42888 \text{ KJ/kg}$$

**- Gás Natural**

$$hrpo = [1,207.(-393710) + 2,1706.(-241942)] - [0,7714.(-74873) + 0,1842.(-84667) + 0,0188.(-103847) + 0,0115.(-393522)]$$

$$hrpo = 795 \text{ KJ/mol}$$

$$\text{massa molecular equivalente do combustível} = 16,49$$

$$\text{PCI} = 48208 \text{ KJ/kg}$$

## C - Equipamento de Emissões

O equipamento de emissões utilizado para análise dos gases de escape do motor é o modelo ECO-6010, tendo como princípio de funcionamento absorção da radiação infra-vermelha, que é utilizada para determinar a concentração de gases poluentes. A absorção da radiação infra-vermelha, ocorre numa banda estreita de comprimentos de onda, sendo que cada gás possui um espectro de absorção característico. O processo consiste basicamente em submeter duas células à radiação infra-vermelha; uma célula de referência contendo um gás inerte, que deixa passar praticamente toda radiação nele incidente e uma célula contendo um filtro que só deixa passar a radiação que as moléculas do gás em estudo são capazes de absorver. Pela diferença entre a quantidade de radiação na célula de referência e a do gás em estudo, encontra-se a concentração do mesmo. É constituído de:

### 1) Conjunto Analisador Multigás - Modelo 626E

#### - Escalas

CO ⇒ 0 a 2 % e 0 a 10 %

CO<sub>2</sub> ⇒ 0 a 20 %

HC ⇒ 0 a 10000 ppm

O<sub>2</sub> ⇒ 0 a 25 %

#### - Aquecimento Controlado

- Verificação automática de vazamentos, controle de fluxo e eliminação de erros de altitude;
- Ajuste de zero e calibração de span, eletrônica e automática;
- Eliminação automática de condensado;
- Demais características técnicas, atendendo às normas;
- Califórnia BAR 90, USA, PTB/TUV, etc.

## **2) Conjunto de Controle e Medição**

- CPU 286 - 20 MHz
- Vídeo Colorido 14" VGA
- 3 1/2" Disk Drive
- Controle Remoto sem Fio
- Interface de Leituras:
  - \* 5 entradas analógicas de 0 a 5 VDC, canal de 1 a 5.
  - \* 1 entrada para medição de frequência (RPM, velocidade).
  - \* 1 entrada para medição de temperatura (termopar tipo 'J').
- Interfaces de Comunicação
  - \* 1 serial RS232C.
  - \* 1 paralela - impressora.

## **3) Software**

- Cálculos de CO corrigido e Lambda para trabalho com diversos combustíveis;
- Software completo para medição, testes especiais e arquivos de dados;
- Data Table para introdução e alteração de limites e variáveis.

## **4) Opcionais**

- Analisador de NO e NOx.

Houve a necessidade de introduzir um pequeno trocador de calor , afim de baixar a temperatura dos gases de escape que eram succionados pela mangueira coletora de gases, visando garantir duas condições:

- a) Manter a integridade física da mangueira de borracha.
- b) Garantir a não contaminação dos gases analisados.



**FIGURA 38 - EQUIPAMENTO DE EMISSÕES**



## D - Análise de Erros

### - Precisão dos Instrumentos

A precisão dos instrumentos, foi estabelecida considerando como parâmetro a menor divisão na qual era possível realizar a leitura, assim como o grau de repetibilidade e confiabilidade do aparelho.

equipamento	grandeza medida	unidade	precisão
barômetro	pressão	mm Hg	$\pm 0.5$
manômetro	depressão	mmH <sub>2</sub> O	$\pm 0.5$
termômetro	temperatura	°C	$\pm 1.0$
psicrômetro	temperatura	°F	$\pm 1.0$
termopar	voltagem	mV	$\pm 0.1$
cronômetro	tempo	s	$\pm 0.01$
escala graduada	avanço	°APMS	$\pm 1.0$
célula de carga	torque	lbf.ft	$\pm 0.2$
contagiros	rotação	rpm	$\pm 1.0$
proveta	volume	ml	$\pm 1.0$
balança	massa	g	$\pm 0.1$
transdutor	corrente	mA	$\pm 0.5$

### - Análise das Incertezas

O método utilizado para o cálculo das incertezas foi o dos mínimos quadrados, que apresenta como procedimento básico:

-Seja uma expressão do tipo:

$$x = f(y, z, w)$$

o erro no valor calculado de x será:

$$\frac{\partial x}{\partial y} = \frac{\partial f(y, z, w)}{\partial y}$$

$$\frac{\partial x}{\partial z} = \frac{\partial f(y, z, w)}{\partial z}$$

$$\frac{\partial x}{\partial w} = \frac{\partial f(y, z, w)}{\partial w}$$

$$\partial x = \left[ \frac{\partial x}{\partial y} \right]^2 + \left[ \frac{\partial x}{\partial z} \right]^2 + \left[ \frac{\partial x}{\partial w} \right]^2$$

À seguir será dado o valor da incerteza para cada parâmetro medido nos testes realizados:

**- Massa Específica do Combustível Líquido**

$$\partial \rho = \frac{1}{V_{prov}} (\partial m)^2 + \left( \frac{m \cdot \partial V_{prov}}{V_{prov}} \right)^2$$

onde

$$\hat{\sigma}_m = (\hat{\sigma}_{m_{bai}})^2 + (\hat{\sigma}_{m_{prov}})^2$$

**- Pressão Atmosférica**

$$\partial P_{atm} = \frac{101325}{760} \cdot P$$

**- Temperatura**

$$\partial T = \pm 1C$$

**- Vazão de Ar**

$$\hat{\sigma}_{m_{ar}} = 1,55032 \partial \Delta P - 0,05486 \Delta P \cdot \partial \Delta P$$

$$\hat{\sigma}_{m_{ar}} = \pm 0,5$$

$$\hat{\sigma}_{m_{ar}} = 0,77516 - 0,02753 \Delta P$$

**- Vazão de Combustível Líquido**

$$\hat{\sigma}_{m_c} = \frac{3600}{t} \left( \frac{V \cdot \rho \cdot \hat{\sigma}}{t} \right)^2 + (\rho \cdot \partial V)^2 + (V \cdot \partial \rho)^2$$

**- Vazão de Combustível Gasoso**

$$\partial \Delta P = 290,97i$$

$$\partial m_{gas} = \frac{0,0065086 \cdot \partial \Delta P}{\sqrt{\Delta P}}$$

**- Relação Ar- Combustível**

$$\partial R_{A/C} = \frac{1}{m_{com}} (\partial m_{ar})^2 + \left( \frac{m_{ar} \cdot \partial m_{com}}{m_{com}} \right)^2$$

**- Pressão Média Efetiva**

$$\partial P_{ME} = \frac{900}{V \cdot n} (\partial Ne)^2 + \left( \frac{Ne \cdot \partial V}{V} \right)^2 + \left( \frac{Ne \cdot \partial n}{n} \right)^2$$

**- Potência Efetiva**

$$\partial P_{efn} = \frac{2\pi}{60} (N \cdot \partial T)^2 + (T \cdot \partial N)^2$$

**- Consumo Específico**

$$\mathcal{A}_{esp} = \frac{1000}{P_{efet}} (\partial m_c)^2 + \left( \frac{m_c \cdot \partial P_{efet}}{P_{efet}} \right)^2$$

**- Rendimento Térmico**

$$\partial \eta_t = \frac{3,6 \cdot 10^6}{(C_{esp} \cdot PCI)^2} (PCI \cdot \mathcal{A}_{esp})^2 + (C_{esp} \cdot \partial PCI)^2$$

**- Rendimento Volumétrico**

$$\partial \eta_v = \frac{1}{m_t} (\partial m_{ar})^2 + \left( \frac{m_{ar} \cdot \partial m_t}{m_t} \right)^2$$

onde

$$\partial m_t = \frac{60}{2000} (V_c \cdot \rho_{ar} \cdot \partial n)^2 + (n \cdot \rho_{ar} \cdot \partial V_c)^2 + (V_c \cdot n \cdot \partial \rho_{ar})^2$$

**- Poder Calorífico Inferior**

$$\partial PCI = \left[ \frac{\partial \Delta H_{com}}{V_o} \right]^2 + \left[ \frac{\Delta H_{com} \cdot \partial V_o}{V_o^2} \right]^2$$

onde

$$\partial V_o = \frac{273}{760[273 + T_4]} [m_{com} \cdot \partial \rho_{com}]^2 + [\partial m_{com} \cdot \rho_{com}]^2 + \left[ \frac{m_{com} \cdot \rho_{com}}{273 + T_4} \right]^2$$

**E - Tabelas**

- E.1 - Corrente Paralela
- E.2 - Contra-Corrente
- E.3 - Entrada do Coletor
- E.4 - Direto
- E.5 - Sincronizada - Coletor de Admissão
- E.6 - Sincronizada - Antecâmara
- E.7 - Gasolina
- E.8 - Álcool

TESTE CFR - GAS NATURAL							
INJECAO CONTINUA - CORRENTE PARALELA							
	PCI (KJ/kg):	48208			Taxa Comp. :	12:1	
	Tbs ( C ) :	27.8			Rel.A/C est :	16.97	
	Tbu ( C ) :	24.4			comb (kg/m <sup>3</sup> ):	0.7508	
	Tpo (mV) :	1.00			ar (kg/m <sup>3</sup> ):	1.1672	
	Teste	1	2	3	4	5	
1	Avanco ( )	-25	-20	-17	-14	-11	
2	Ptambor (mmHO)	8.30	8.30	8.30	8.30	8.30	
3	P (mA)	16.50	16.50	16.50	16.50	16.50	
4	Tesc (mV)	14.00	14.40	15.10	16.00	16.60	
5	Tadm (mV)	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	
6	Torque (N.m)	12.61	13.56	13.96	13.15	12.20	
7	Rotacao (rpm)	900	900	900	900	900	
8	Condicao	batida	-	MBT	-	-	
GASES DE ESCAPE							
9	HC (ppm)	274.00	265.00	233.00	267.00	276.00	
10	CO (%)	7.47	7.56	6.41	5.91	5.97	
11	CO <sub>2</sub> (%)	6.50	6.40	7.20	7.40	7.40	
12	O <sub>2</sub> (%)	0.80	0.80	0.70	0.90	1.20	
13	NO <sub>x</sub> (ppm)	11.00	59.00	6.70	9.80	14.60	

RESULTADOS						
1	Mar (kg/h)	12.41	12.41	12.41	12.41	12.41
2	Mcomb (kg/h)	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78
3	PME (kgf/cm <sup>2</sup> )	2.55	2.61	2.69	2.61	2.35
4	Pot.Efet.(kW)	1.15	1.17	1.21	1.17	1.06
5	Rel. A/C	15.86	15.86	15.86	15.86	15.86
6	Rend.Term. (%)	10.94	11.21	11.54	11.20	10.09
7	Rend.Volum.(%)	64.38	64.38	64.38	64.38	64.38
8	CEsp. (g/Kw.h)	682.47	666.19	647.10	666.55	740.45
9	Tesc ( C )	350.00	360.00	377.50	400.00	415.00
10	Tadm ( C )	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
11	Tgas ( C )	25	25	25	25	25

TESTE CFR - GAS NATURAL							
INJECAO CONTINUA - CORRENTE PARALELA							
	PCI (KJ/kg):	48208			Taxa Comp. :	12:1	
	Tbs ( C ) :	27.8			Rel.A/C est :	16.97	
	Tbu ( C ) :	24.4			comb (kg/m3):	0.7508	
	Tpo (mV) :	1			ar (kg/m3):	1.1672	
	Teste	6	7	8	9	10	
1	Avanco ( )	-17	-17	-17	-17	-17	
2	Ptambor (mmHO)	8.80	6.00	9.20	9.00	9.40	
3	P (mA)	10.40	14.50	5.80	8.50	7.00	
4	Tesc (mV)	15.10	14.50	15.30	16.60	15.50	
5	Tadm (mV)	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	
6	Torque (N.m)	13.96	6.10	3.12	12.47	11.52	
7	Rotacao (rpm)	900	900	900	900	900	
8	Condicao	MBT	rica	pobre	-	-	
GASES DE ESCAPE							
9	HC (ppm)	233.00	1414.00	397.00	169.00	322.00	
10	CO (%)	6.41	8.99	9.00	2.50	8.03	
11	CO2(%)	7.20	3.90	6.30	9.80	6.10	
12	O2(%)	0.80	3.20	10.60	0.80	0.90	
13	NOx (ppm)	11.00	11.00	6.00	6.00	14.00	

RESULTADOS						
1	Mar (kg/h)	12.95	9.75	13.38	13.17	13.58
2	Mcomb (kg/h)	0.56	0.72	0.28	0.46	0.37
3	PME (kgf/cm2)	2.69	1.17	0.60	2.47	2.22
4	Pot.Efet.(kW)	1.21	0.53	0.27	1.11	1.00
5	Rel. A/C	15.86	13.61	47.36	28.45	36.37
6	Rend.Term. (%)	11.54	5.51	6.88	17.96	19.95
7	Rend.Volum.(%)	64.38	50.57	69.38	68.29	70.46
8	CEsp. (g/Kw.h)	682.47	1355.19	1085.00	415.68	374.26
9	Tesc ( C )	350.00	362.50	382.50	415.00	387.50
10	Tadm ( C )	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
11	Tgas ( C )	25	25	25	25	25



TESTE CFR - GAS NATURAL						
INJECAO CONTINUA - CORRENTE PARALELA						
	PCI (KJ/kg):	48208		Taxa Comp. :	14:1	
	Tbs ( C ) :	27.8		Rel.A/C est :	16.97	
	Tbu ( C ) :	24.4		comb (kg/m3):	0.7508	
	Tpo (mV) :	1.00		ar (kg/m3):	1.1672	
	Teste	11	12	13	14	15
1	Avanco ( )	-17	-20	-14	-11	-7
2	Ptambor (mmH0)	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50
3	P (mA)	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00
4	Tesc (mV)	16.60	17.40	18.20	18.70	18.90
5	Tadm (mV)	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82
6	Torque (N.m)	12.88	13.04	11.53	10.67	9.00
7	Rotacao (rpm)	900	900	900	900	900
8	Condicao	MBT	batida	-	-	-
GASES DE ESCAPE						
9	HC (ppm)	180.00	564.00	689.00	345.00	435.00
10	CO (%)	3.50	3.78	4.89	3.67	3.33
11	CO2(%)	8.40	7.90	7.70	8.40	8.20
12	O2(%)	0.70	0.60	0.80	0.70	0.70
13	NOx (ppm)	119.00	134.00	112.00	123.00	143.00
RESULTADOS						
1	Mar (kg/h)	9.13	9.13	9.13	9.13	9.13
2	Mcomb (kg/h)	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58
3	PME (kgf/cm2)	2.60	2.51	2.22	2.12	1.73
4	Pot.Efet.(kW)	1.17	1.13	1.00	0.95	0.78
5	Rel. A/C	15.69	15.69	15.69	15.69	15.69
6	Rend.Term. (%)	9.96	14.50	12.82	12.23	10.01
7	Rend.Volum.(%)	47.36	47.36	47.36	47.36	47.36
8	CEsp. (g/Kw.h)	750.00	515.13	582.59	610.85	746.36
9	Tesc ( C )	372.50	435.00	455.00	467.50	472.50
10	Tadm ( C )	20.50	20.50	20.50	20.50	20.50
11	Tgas ( C )	25	25	25	25	25

TESTE CFR – GAS NATURAL						
INJECAO CONTINUA – CORRENTE PARALELA						
	PCI (KJ/kg):	48208		Taxa Comp. :	14:1	
	Tbs ( C ) :	27.8		Rel.A/C est :	16.97	
	Tbu ( C ) :	24.4		comb (kg/m3):	0.7508	
	Tpo (mV) :	1.00		ar (kg/m3):	1.1672	
	Teste	16	17	18	19	20
1	Avanco ( )	-17	-17	-17	-17	-17
2	Ptambor (mmHO)	5.50	6.00	7.50	6.40	6.00
3	P (mA)	11.00	18.00	5.00	8.00	6.30
4	Tesc (mV)	14.90	14.50	12.60	15.80	14.50
5	Tadm (mV)	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82
6	Torque (N.m)	12.88	4.07	1.36	8.13	6.78
7	Rotacao (rpm)	900	900	900	900	900
8	Condicao	MBT	rica	pobre	-	-
GASES DE ESCAPE						
9	HC (ppm)	253.00	2003.00	981.00	205.00	226.00
10	CO (%)	6.31	8.17	7.57	6.04	5.74
11	CO2(%)	7.20	3.50	4.70	7.40	7.60
12	O2(%)	0.80	4.40	12.80	0.80	0.90
13	NOx (ppm)	120.00	137.00	112.00	122.00	105.00

RESULTADOS						
1	Mc (kg/h)	9.13	9.75	11.52	10.23	9.75
2	Mcomb (kg/h)	0.58	0.83	0.20	0.44	0.32
3	PME (kgf/cm2)	2.60	0.78	0.26	2.07	1.62
4	Pot.Efet.(kW)	1.17	0.35	0.12	0.93	0.73
5	Rel. A/C	15.69	11.76	57.63	23.52	30.13
6	Rend.Term. (%)	9.96	3.18	4.40	15.96	16.85
7	Rend.Volum.(%)	47.36	50.57	59.75	53.08	50.57
8	CEsp. (g/Kw.h)	750.00	2350.96	1696.38	467.83	443.18
9	Tesc ( C )	372.50	362.50	315.00	395.00	362.50
10	Tadm ( C )	20.50	20.50	20.50	20.50	20.50
11	Tgas ( C )	25	25	25	25	25

TESTE CFR - GAS NATURAL							
INJECAO CONTINUA - CONTRA CORRENTE							
	PCI (KJ/kg):	48208			Taxa Comp. :	12:1	
	Tbs ( C ) :	27.8			Rel.A/C est :	16.97	
	Tbu ( C ) :	24.4			comb (kg/m3):	0.7508	
	Tpo (mV) :	1.00			ar (kg/m3):	1.1672	
	Teste	1	2	3	4	5	
1	Avanco ( )	-16	-25	-20	-11	-7	
2	Ptambar (mmHO)	8.80	8.80	8.80	8.80	8.80	
3	P (mA)	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	
4	Tesc (mV)	16.10	15.00	15.20	17.60	19.60	
5	Tadm (mV)	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	
6	Torque (N.m)	11.80	11.52	12.47	9.08	5.42	
7	Rotacao (rpm)	900	900	900	900	900	
8	Condicao	-	batida	BMT	-	-	
GASES DE ESCAPE							
9	HC (ppm)	305.00	288.00	299.00	358.00	510.00	
10	CO (%)	7.68	6.73	7.67	7.77	7.67	
11	CO2(%)	6.10	6.70	6.10	5.90	5.70	
12	O2(%)	0.90	0.90	0.80	1.00	1.40	
13	NOx (ppm)	12.00	61.00	7.00	10.00	15.00	

RESULTADOS						
1	Mar (kg/h)	12.95	12.95	12.95	12.95	12.95
2	Mcomb (kg/h)	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
3	PME (kgf/cm2)	2.38	2.22	2.40	1.80	1.04
4	Pot.Efet.(kW)	1.07	1.00	1.08	0.81	0.47
5	Rel. A/C	16.22	16.22	16.22	16.22	16.22
6	Rend.Term. (%)	10.04	9.34	10.11	7.58	4.39
7	Rend.Volum.(%)	67.19	67.19	67.19	67.19	67.19
8	CEsp. (g/Kw.h)	743.99	799.94	738.99	984.75	1700.23
9	Tesc ( C )	402.50	375.00	380.00	440.00	490.00
10	Tadm ( C )	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
11	Tgas ( C )	25	25	25	25	25

TESTE CFR - GAS NATURAL							
INJECAO CONTINUA - CONTRA CORRENTE							
	PCI (KJ/kg):	48208			Taxa Comp. :	12:1	
	Tbs ( C ) :	27.8			Rel.A/C est :	16.97	
	Tbu ( C ) :	24.4			comb (kg/m3):	0.7508	
	Tpo (mV) :	1.00			ar (kg/m3):	1.1672	
	Teste	6	7	8	9	10	
1	Avanco ( )	-20	-20	-20	-20	-20	
2	Ptambor (mmHO)	8.80	9.90	9.00	9.00	8.90	
3	P (mA)	17.00	5.20	19.30	10.00	7.00	
4	Tesc (mV)	15.20	14.60	15.70	16.50	14.50	
5	Tadm (mV)	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	
6	Torque (N.m)	11.80	3.66	10.17	7.50	10.85	
7	Rotacao (rpm)	900	900	900	900	900	
8	Condicao	MBT	falha	rica	-	-	
GASES DE ESCAPE							
9	HC (ppm)	305.00	407.00	392.00	254.00	106.00	
10	CO (%)	7.68	0.07	9.10	3.63	0.03	
11	CO2(%)	6.10	6.10	5.20	8.80	9.20	
12	O2(%)	0.90	10.10	0.90	1.00	4.60	
13	NOx (ppm)	12.00	12.00	7.00	7.00	15.00	

RESULTADOS						
1	Mar (kg/h)	12.95	14.09	13.17	13.17	13.06
2	Mcomb (kg/h)	0.80	0.22	0.87	0.54	0.37
3	PME (kgf/cm2)	2.38	0.70	1.96	2.02	2.09
4	Pot.Efet.(kW)	1.07	0.32	0.88	0.91	0.94
5	Rel. A/C	16.22	43.09	15.18	24.89	34.96
6	Rend.Term. (%)	10.04	10.60	7.59	12.66	18.79
7	Rend.Volum.(%)	67.19	73.11	68.29	69.38	67.74
8	CEsp. (g/Kw.h)	743.99	704.54	984.16	590.00	397.37
9	Tesc ( C )	380.00	365.00	392.50	412.50	362.50
10	Tadm ( C )	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
11	Tgas ( C )	25	25	25	25	25

TESTE CFR – GAS NATURAL							
INJECAO CONTINUA – CONTRA CORRENTE							
	PCI (KJ/kg):	48208			Taxa Comp. :	14:1	
	Tbs ( C ) :	27.8			Rel.A/C est :	16.97	
	Tbu ( C ) :	24.4			comb (kg/m3):	0.7508	
	Tpo (mV) :	1.00			ar (kg/m3):	1.1672	
	Teste	11	12	13	14	15	
1	Avanco ( )	-14	-14	-14	-14	-14	
2	Ptambor (mmHO)	6.00	6.80	5.20	6.20	6.50	
3	P (mA)	11.50	6.50	14.00	13.00	9.00	
4	Tesc (mV)	15.70	15.60	14.50	17.20	16.70	
5	Tadm (mV)	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	
6	Torque (N.m)	14.23	2.03	4.75	8.81	9.00	
7	Rotacao (rpm)	900	900	900	900.00	900	
8	Condicao	MBT	falha	rica	-	-	
GASES DE ESCAPE							
9	HC (ppm)	192.00	595.00	1702.00	356.00	302.00	
10	CO (%)	4.00	0.09	7.71	7.75	7.01	
11	CO2(%)	8.60	5.90	3.90	6.00	6.50	
12	O2(%)	0.80	10.80	4.00	1.00	0.90	
13	NOx (ppm)	124.00	142.00	114.00	124.00	110.00	

RESULTADOS						
1	Mar (kg/h)	9.75	10.71	8.75	9.99	10.35
2	Mcomb (kg/h)	0.60	0.34	0.70	0.66	0.49
3	PME (kgf/cm2)	2.88	0.39	0.91	1.75	1.93
4	Pot.Efet.(kW)	1.29	0.18	0.41	0.79	0.87
5	Rel. A/C	16.17	31.63	12.53	15.09	21.17
6	Rend.Term. (%)	16.03	3.88	4.40	8.87	13.29
7	Rend.Volum.(%)	50.57	55.54	45.41	51.83	53.70
8	CEsp. (g/Kw.h)	465.94	1925.12	1697.60	841.57	562.02
9	Tesc ( C )	392.50	390.00	362.50	430.00	417.50
10	Tadm ( C )	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
11	Tgas ( C )	25	25	25	25	25

TESTE CFR - GAS NATURAL							
INJECAO CONTINUA - CONTRA CORRENTE							
	PCI (KJ/kg):	48208			Taxa Comp. :	14:1	
	Tbs ( C ) :	27.8			Rel.A/C est :	16.97	
	Tbu ( C ) :	24.4			comb (kg/m <sup>3</sup> ):	0.7508	
	Tpo (mV) :	1.00			ar (kg/m <sup>3</sup> ):	1.1672	
	Teste	16	17	18	18	20	
1	Avanco ( )	-14	-17	-11	-8	-5	
2	Ptambor (mmHO)	6.00	6.00	6.00	6.00	-	
3	P (mA)	11.50	11.50	11.50	11.50	-	
4	Tesc (mV)	15.70	15.10	17.10	17.60	-	
5	Tadm (mV)	0.80	0.80	0.80	0.80	-	
6	Torque (N.m)	14.23	13.56	12.20	11.25	-	
7	Rotacao (rpm)	900	900	900	900	-	
8	Condicao	MBT	batida	-	-	n centel.	
GASES DE ESCAPE							
9	HC (ppm)	192.00	186.00	166.00	160.00	-	
10	CO (%)	4.00	4.61	5.16	4.00	-	
11	CO2(%)	8.60	8.10	7.80	8.60	-	
12	O2(%)	0.80	0.80	0.80	0.80	-	
13	NOx (ppm)	124.00	142.00	114.00	124.00	-	

RESULTADOS						
1	Mar (kg/h)	9.75	9.75	9.75	9.75	-
2	Mcomb (kg/h)	0.60	0.60	0.60	0.60	-
3	PME (kgf/cm <sup>2</sup> )	2.88	2.61	2.35	2.23	-
4	Pot.Efet.(kW)	1.29	1.17	1.06	1.00	-
5	Rel. A/C	16.17	16.17	16.17	16.17	-
6	Rend.Term. (%)	14.95	14.55	13.09	12.44	-
7	Rend.Volum.(%)	50.57	50.57	50.57	50.57	-
8	CEsp. (g/Kw.h)	515.00	513.26	570.47	600.27	-
9	Tesc ( C)	392.50	377.50	427.50	440.00	-
10	Tadm ( C)	20.00	20.00	20.00	20.00	-
11	Tgas ( C)	25	25	25	25	25

TESTE CFR - GAS NATURAL							
INJECAO CONTINUA - ENTRADA COLETOR							
	PCI (KJ/kg):	48208			Taxa Comp. :	12:1	
	Tbs ( C ) :	26.1			Rel.A/C est :	16.97	
	Tbu ( C ) :	21.4			comb (kg/m <sup>3</sup> ):	0.7508	
	Tpo (mV) :	1.00			ar (kg/m <sup>3</sup> ):	1.1672	
	Teste	1	2	3	4	5	
1	Avanco ( )	-21	-25	-17	-11	-7	
2	Ptambor (mmHO)	8.50	8.50	8.60	8.70	8.50	
3	P (mA)	15.86	16.07	16.07	16.07	16.10	
4	Tesc (mV)	14.80	14.20	15.20	15.70	15.90	
5	Tadm (mV)	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	
6	Torque (N.m)	11.25	10.85	10.60	9.80	9.50	
7	Rotacao (rpm)	900	900	900	900	900	
8	Condicao	MBT	batida	-	-	-	
GASES DE ESCAPE							
9	HC (ppm)	295.00	278.00	298.00	324.00	495.00	
10	CO (%)	7.00	6.73	7.50	7.67	7.47	
11	CO <sub>2</sub> (%)	6.00	6.50	6.00	5.70	5.50	
12	O <sub>2</sub> (%)	0.80	0.80	0.70	0.90	1.20	
13	NOx (ppm)	10.00	57.00	6.00	8.00	13.00	

RESULTADOS						
1	Mar (kg/h)	12.63	12.63	12.74	12.85	12.63
2	Mcomb (kg/h)	0.76	0.77	0.77	0.77	0.77
3	PME (kgf/cm <sup>2</sup> )	2.27	2.04	2.09	1.94	1.83
4	Pot.Efet.(kW)	1.02	0.92	0.94	0.87	0.82
5	Rel. A/C	16.58	16.43	16.57	16.71	16.41
6	Rend.Term. (%)	9.85	8.94	9.13	8.50	7.98
7	Rend.Volum.(%)	65.51	65.51	66.07	66.63	65.51
8	CEsp. (g/Kw.h)	779.00	835.65	817.87	878.64	935.31
9	Tesc ( C)	370.00	355.00	380.00	392.50	397.50
10	Tadm ( C)	21.75	21.75	21.75	21.75	21.75
11	Tgas ( C)	25	25	25	25	25

TESTE CFR - GAS NATURAL							
INJECAO CONTINUA - ENTRADA COLETOR							
	PCI (KJ/kg):	48208			Taxa Comp. :	12:1	
	Tbs ( C ) :	26.1			Rel.A/C est :	16.97	
	Tbu ( C ) :	21.4			comb (kg/m <sup>3</sup> ):	0.7508	
	Tpo (mV) :	1			ar (kg/m <sup>3</sup> ):	1.1672	
	Teste	6	7	8	9	10	
1	Avanco ( )	-21	-21	-21	-21	-21	
2	Ptambor (mmHO)	8.50	8.00	8.20	6.00	8.00	
3	P (mA)	15.86	18.26	5.86	8.32	7.53	
4	Tesc (mV)	14.80	14.20	14.70	14.60	15.20	
5	Tadm (mV)	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	
6	Torque (N.m)	11.25	2.70	2.00	6.16	8.22	
7	Rotacao (rpm)	900	900	900	900	900	
8	Condicao	MBT	rica	pobre	-	-	
GASES DE ESCAPE							
9	HC (ppm)	295.00	288.00	299.00	358.00	510.00	
10	CO (%)	7.00	6.73	7.67	7.77	7.67	
11	CO <sub>2</sub> (%)	6.00	6.70	6.10	5.90	5.70	
12	O <sub>2</sub> (%)	0.80	0.90	0.80	1.00	1.40	
13	NO <sub>x</sub> (ppm)	10.00	61.00	7.00	10.00	15.00	

RESULTADOS						
1	Mar (kg/h)	12.63	12.08	12.30	9.75	12.08
2	Mcomb (kg/h)	0.76	0.84	0.29	0.45	0.41
3	PME (kgf/cm <sup>2</sup> )	2.27	0.52	0.39	1.22	1.58
4	Pot.Efet.(kW)	1.02	0.23	0.17	0.55	0.71
5	Rel. A/C	16.58	14.44	42.76	21.52	29.66
6	Rend.Term. (%)	10.00	2.90	4.50	9.07	13.06
7	Rend.Volum.(%)	65.51	62.67	63.81	50.57	62.67
8	CEsp. (g/Kw.h)	746.92	2577.07	1660.36	823.69	571.97
9	Tesc ( C)	370.00	355.00	367.50	365.00	380.00
10	Tadm ( C)	21.75	21.75	21.75	21.75	21.75
11	Tgas ( C)	25	25	25	25	25



TESTE CFR - GAS NATURAL							
INJECAO CONTINUA - ENTRADA COLETOR							
	PCI (KJ/kg):	48208			Taxa Comp. :	14:1	
	Tbs ( C ) :	26.1			Rel.A/C est :	16.97	
	Tbu ( C ) :	21.4			comb (kg/m <sup>3</sup> ):	0.7508	
	Tpo (mV) :	1			ar (kg/m <sup>3</sup> ):	1.1672	
	Teste	11	12	13	14	15	
1	Avanco ( )	-22	-25	-18	-12	-8	
2	Ptambor (mmHO)	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	
3	P (mA)	16.00	16.10	16.10	16.00	16.10	
4	Tesc (mV)	15.50	15.40	15.80	16.00	16.30	
5	Tadm (mV)	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	
6	Torque (N.m)	11.60	11.06	10.01	6.63	5.90	
7	Rotacao (rpm)	900	900	900	900	900	
8	Condicao	MBT	batida	-	-	-	
GASES DE ESCAPE							
9	HC (ppm)	281.00	287.00	295.00	356.00	504.00	
10	CO (%)	8.90	6.45	7.37	7.75	7.63	
11	CO <sub>2</sub> (%)	5.20	6.40	6.00	5.80	5.40	
12	O <sub>2</sub> (%)	0.80	0.80	0.70	0.90	1.35	
13	NO <sub>x</sub> (ppm)	120.00	135.00	109.00	113.00	135.00	

RESULTADOS						
1	Mar (kg/h)	11.52	11.52	11.52	11.52	11.52
2	Mcomb (kg/h)	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77
3	PME (kgf/cm <sup>2</sup> )	2.34	2.13	1.93	1.32	1.14
4	Pot.Efet.(kW)	1.05	0.96	0.87	0.59	0.51
5	Rel. A/C	15.03	14.96	14.96	15.03	14.96
6	Rend.Term. (%)	10.25	9.30	8.41	5.77	4.96
7	Rend.Volum.(%)	59.75	59.75	59.75	59.75	59.75
8	CEsp. (g/Kw.h)	728.72	803.39	887.66	1294.91	1506.01
9	Tesc ( C)	387.50	385.00	395.00	400.00	407.50
10	Tadm ( C)	22.25	22.25	22.25	22.25	22.25
11	Tgas ( C)	25	25	25	25	25

TESTE CFR - GAS NATURAL							
INJECAO CONTINUA - ENTRADA COLETOR							
	PCI (KJ/kg):	48208			Taxa Comp. :	14:1	
	Tbs ( C ) :	26.1			Rel.A/C est :	16.97	
	Tbu ( C ) :	21.4			comb (kg/m3):	0.7508	
	Tpo (mV) :	1			ar (kg/m3):	1.1672	
	Teste	16	17	18	19	20	
1	Avanco ( )	-22	-22	-22	-22	-22	
2	Ptambor (mmHO)	7.50	7.00	7.00	6.00	7.50	
3	P (mA)	16.00	18.50	5.50	7.54	6.53	
4	Tesc (mV)	15.50	15.60	15.70	16.00	16.30	
5	Tadm (mV)	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	
6	Torque (N.m)	11.60	3.42	2.00	6.63	5.90	
7	Rotacao (rpm)	900	900	900	900	900	
8	Condicao	MBT	rica	pobre	-	-	
GASES DE ESCAPE							
9	HC (ppm)	281.00	285.00	275.00	358.00	435.00	
10	CO (%)	8.90	7.59	8.67	7.77	7.34	
11	CO2(%)	5.20	6.00	5.30	5.90	6.40	
12	O2(%)	0.80	9.90	0.80	1.00	1.40	
13	NOx (ppm)	12.00	59.00	6.00	10.00	14.00	

RESULTADOS						
1	Mar (kg/h)	11.52	10.94	10.94	9.75	11.52
2	Mcomb (kg/h)	0.77	0.84	0.25	0.41	0.34
3	PME (kgf/cm2)	2.34	0.66	0.39	1.32	1.14
4	Pot.Efet.(kW)	1.05	0.30	0.17	0.59	0.51
5	Rel. A/C	15.03	12.97	42.97	23.90	33.80
6	Rend.Term. (%)	10.25	2.62	5.08	10.84	11.20
7	Rend.Volum.(%)	59.75	56.76	56.76	50.57	59.75
8	CEsp. (g/Kw.h)	728.72	2848.00	1469.63	689.10	666.67
9	Tesc ( C )	387.50	390.00	392.50	400.00	407.50
10	Tadm ( C )	22.25	22.25	22.25	22.25	22.25
11	Tgas ( C )	25	25	25	25	25

TESTE CFR - GAS NATURAL						
INJECAO CONTINUA-DIRETO						
	PCI (KJ/kg):	48208		Taxa Comp. :	12:1	
	Tbs ( C ) :	27.8		Rel.A/C est :	16.97	
	Tbu ( C ) :	24.4		comb (kg/m3):	0.7508	
	Tpo (mV) :	1.00		ar (kg/m3):	1.1672	
	Teste	1	2	3	4	5
1	Avanco ( )	-16	-19	-13	-10	-7
2	Ptambor (mmH0)	7.50	7.00	8.50	8.50	8.50
3	P (mA)	13.80	13.80	13.80	13.80	13.80
4	Tesc (mV)	16.30	15.50	17.30	17.60	17.90
5	Tadm (mV)	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
6	Torque (N.m)	12.31	11.02	11.76	12.13	11.94
7	Rotacao (rpm)	900	900	900	900	900
8	Condicao	MBT	batida	-	-	-
GASES DE ESCAPE						
9	HC (ppm)	271.00	298.00	202.00	227.00	210.00
10	CO (%)	7.70	7.10	4.14	4.48	4.12
11	CO2(%)	6.40	6.70	7.70	7.50	7.30
12	O2(%)	0.60	0.70	0.70	0.80	0.85
13	NOx (ppm)	15.00	30.00	223.00	152.00	130.00

RESULTADOS						
1	Mar (kg/h)	11.52	10.94	12.63	12.63	12.63
2	Mcomb (kg/h)	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69
3	PME (kgf/cm2)	2.49	2.12	2.40	2.29	2.27
4	Pot.Efet.(kW)	1.12	0.95	1.08	1.03	1.02
5	Rel. A/C	16.66	15.83	18.27	18.27	18.27
6	Rend.Term. (%)	11.87	10.31	11.66	11.12	11.02
7	Rend.Volum.(%)	59.75	56.76	65.51	65.51	65.51
8	CEsp. (g/Kw.h)	653.70	724.22	640.19	671.27	677.85
9	Tesc ( C )	407.50	387.50	432.50	440.00	447.50
10	Tadm ( C )	24.75	24.75	24.75	24.75	24.75
11	Tgas ( C )	25	25	25	25	25

TESTE CFR - GAS NATURAL						
INJECAO CONTINUA-DIRETO						
	PCI (KJ/kg):	48208		Taxa Comp. :	12:1	
	Tbs ( C ) :	27.8		Rel.A/C est :	16.97	
	Tbu ( C ) :	24.4		comb (kg/m3):	0.7508	
	Tpo (mV) :	1.00		ar (kg/m3):	1.1672	
	Teste	6	7	8	9	10
1	Avanco ( )	-16	-16	-16	-16	-16
2	Ptambor (mmHO)	7.50	8.50	8.00	8.00	8.80
3	P (mA)	13.80	7.00	16.40	11.00	9.00
4	Tesc (mV)	15.50	16.30	17.30	17.00	15.00
5	Tadm (mV)	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
6	Torque (N.m)	12.31	6.07	9.74	10.66	11.00
7	Rotacao (rpm)	900	900	900	900	900
8	Condicao	MBT	falha	rica	-	-
GASES DE ESCAPE						
9	HC (ppm)	271.00	150.00	340.00	320.00	283.00
10	CO (%)	7.70	0.07	8.34	7.92	7.80
11	CO2(%)	6.40	7.50	5.90	6.30	7.00
12	O2(%)	0.60	8.20	0.80	0.80	0.80
13	NOx (ppm)	15.00	30.00	223.00	152.00	130.00

RESULTADOS						
1	Mar (kg/h)	11.52	12.63	12.08	12.08	12.95
2	Mcomb (kg/h)	0.69	0.37	0.78	0.58	0.49
3	PME (kgf/cm2)	2.49	1.17	1.88	2.12	2.12
4	Pot.Efet.(kW)	1.12	0.53	0.84	0.95	0.95
5	Rel. A/C	16.66	43.81	15.50	20.76	26.49
6	Rend.Term. (%)	11.87	10.51	8.08	12.21	14.55
7	Rend.Volum.(%)	59.75	65.51	62.67	62.67	67.19
8	CEsp. (g/Kw.h)	653.70	710.30	923.69	611.42	513.10
9	Tesc ( C )	407.50	407.50	432.50	425.00	375.00
10	Tadm ( C )	24.75	24.75	24.75	24.75	24.75
11	Tgas ( C )	25	25	25	25	25

TESTE CFR - GAS NATURAL						
INJECAO CONTINUA-DIRETO						
	PCI (KJ/kg):	48208		Taxa Comp. :	14:1	
	Tbs ( C ) :	27.8		Rel.A/C est :	16.97	
	Tbu ( C ) :	24.4		comb (kg/m3):	0.7508	
	Tpo (mV) :	1.00		ar (kg/m3):	1.1672	
	Teste	11	12	13	14	15
1	Avanco ( )	-12	-14	-9	-6	-3
2	Ptambor (mmHO)	8.50	8.50	8.50	8.50	-
3	P (mA)	15.20	15.20	15.20	15.20	-
4	Tesc (mV)	17.30	16.60	18.00	18.60	-
5	Tadm (mV)	0.99	0.99	0.99	0.99	-
6	Torque (N.m)	13.23	12.13	12.31	11.76	-
7	Rotacao (rpm)	900	900	900	900	-
8	Condicao	MBT	batida	-	-	n centel
GASES DE ESCAPE						
9	HC (ppm)	167.00	123.00	186.00	132.00	-
10	CO (%)	2.66	1.40	1.61	1.35	-
11	CO2(%)	9.80	10.60	10.40	10.70	-
12	O2(%)	0.70	0.60	0.80	0.70	-
13	NOx (ppm)	195.00	255.00	213.00	230.00	-

RESULTADOS						
1	Mar (kg/h)	12.63	12.63	12.63	12.63	-
2	Mcomb (kg/h)	0.74	0.74	0.74	0.74	-
3	PME (kgf/cm2)	2.67	2.34	2.37	2.27	-
4	Pot.Efet.(kW)	1.20	1.05	1.07	1.02	-
5	Rel. A/C	17.07	17.07	17.07	17.07	-
6	Rend.Term. (%)	12.14	11.60	11.76	11.59	-
7	Rend.Volum.(%)	65.51	65.51	65.51	65.51	-
8	CEsp. (g/Kw.h)	615.16	704.28	685.00	725.58	-
9	Tesc ( C )	432.50	415.00	450.00	465.00	-
10	Tadm ( C )	24.75	24.75	24.75	24.75	-
11	Tgas ( C )	25	25	25	25	-

TESTE CFR - GAS NATURAL						
INJECAO CONTINUA-DIRETO						
	PCI (KJ/kg):	48208			Taxa Comp. :	14:1
	Tbs ( C ) :	27.8			Rel.A/C est :	16.97
	Tbu ( C ) :	24.4			comb (kg/m3):	0.7508
	Tpo (mV) :	1.00			ar (kg/m3):	1.1672
	Teste	16	17	18	19	20
1	Avanco ( )	-12	-12	-12	-12	-12
2	Ptambor (mmHO)	8.50	8.50	8.00	8.00	8.50
3	P (mA)	15.20	5.81	17.30	7.00	9.50
4	Tesc (mV)	16.60	16.20	16.50	16.00	16.30
5	Tadm (mV)	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
6	Torque (N.m)	11.55	2.02	3.85	7.50	9.89
7	Rotacao (rpm)	900	900	900	900	900
8	Condicao	MBT	falha	rica	-	-
GASES DE ESCAPE						
9	HC (ppm)	167.00	328.00	204.00	320.00	283.00
10	CO (%)	2.66	5.30	6.61	7.92	7.80
11	CO2(%)	9.80	6.80	7.20	6.30	7.00
12	O2(%)	0.70	9.70	0.70	0.80	0.80
13	NOx (ppm)	195.00	345.00	223.00	152.00	130.00

RESULTADOS						
1	Mar (kg/h)	12.63	12.63	12.08	12.08	12.63
2	Mcomb (kg/h)	0.74	0.28	0.81	0.37	0.51
3	PME (kgf/cm2)	2.33	0.39	0.74	1.49	1.90
4	Pot.Efet.(kW)	1.05	0.17	0.33	0.67	0.86
5	Rel. A/C	17.07	44.58	14.96	32.34	24.58
6	Rend.Term. (%)	12.14	4.61	3.08	13.39	12.45
7	Rend.Volum.(%)	65.51	65.51	62.67	62.67	65.51
8	CEsp. (g/Kw.h)	615.16	1619.01	2421.46	557.79	599.66
9	Tesc ( C )	415.00	405.00	412.50	400.00	407.50
10	Tadm ( C )	24.75	24.75	24.75	24.75	24.75
11	Tgas ( C )	25	25	25	25	25

TESTE CFR - GAS NATURAL							
INJECAO CONTINUA							
	PCI (KJ/kg):	48208			Taxa Comp. :	12:1	
	Tbs ( C ) :	27.8			Rel.A/C est :	16.97	
	Tbu ( C ) :	24.4			comb (kg/m <sup>3</sup> ):	0.7508	
	Tpo (mV) :	1.00			ar (kg/m <sup>3</sup> ):	1.1672	
	Teste	1	2	3	4	5	
1	Avanco ( )	-12	-12	-12	-12	-12	
2	Ptambor (mmHO)	3.00	5.00	6.00	6.50	8.00	
3	P (mA)	7.80	10.10	10.80	12.80	13.10	
4	Tesc (mV)	18.30	18.60	18.30	16.80	16.60	
5	Tadm (mV)	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	
6	Torque (N.m)	0.00	2.88	5.76	8.64	11.52	
7	Rotacao (rpm)	900	900	900	900	900	
8	Carga (%)	0	25	50	75	100	
GASES DE ESCAPE							
9	HC (ppm)	1593.00	558.00	274.00	336.00	258.00	
10	CO (%)	5.37	7.88	6.27	7.62	5.46	
11	CO2(%)	4.90	5.70	7.00	6.00	7.60	
12	O2(%)	5.30	1.10	0.80	0.80	0.80	
13	NOx (ppm)	22.00	30.00	70.00	53.00	84.00	

RESULTADOS						
1	Mar (kg/h)	5.84	8.50	9.75	10.35	12.08
2	Mcomb (kg/h)	0.42	0.54	0.57	0.65	0.67
3	PME (kgf/cm <sup>2</sup> )	-	0.55	1.11	1.71	2.22
4	Pot.Efet.(kW)	-	0.25	0.50	0.77	1.00
5	Rel. A/C	13.79	15.68	17.00	15.82	18.15
6	Rend.Term. (%)	-	3.44	6.50	8.80	11.19
7	Rend.Volum.(%)	30.28	44.09	50.57	53.70	62.67
8	CEsp. (g/Kw.h)	-	2172.62	1148.92	848.33	667.06
9	Tesc ( C )	457.50	415.00	457.50	420.00	465.00
10	Tadm ( C )	17.50	17.50	17.50	17.50	17.50
11	Tgas ( C )	25	25	25	25	25

TESTE CFR - GAS NATURAL						
	PCI (KJ/kg):	48208			Taxa Comp. :	12:1
	Tbs ( C ) :	27.8			Rel.A/C est :	16.97
	Tbu ( C ) :	24.4			comb (kg/m <sup>3</sup> ):	0.7508
	Tpo (mV) :	1.00			ar (kg/m <sup>3</sup> ):	1.1672
	Teste	6	7	8	9	10
1	Avanco ( )	-9	-9	-9	-9	-9
2	Ptambor (mmH0)	5.00	6.00	7.00	8.00	8.00
3	P (mA)	9.50	11.90	12.80	14.00	14.50
4	Tesc (mV)	20.50	19.30	18.40	18.20	17.00
5	Tadm (mV)	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
6	Torque (N.m)	0.00	2.71	5.42	8.13	10.85
7	Rotacao (rpm)	900	900	900	900	900
8	Carga (%)	0	25	50	75	100
GASES DE ESCAPE						
9	HC (ppm)	408.00	483.00	319.00	289.00	287.00
10	CO (%)	6.86	7.60	7.21	6.56	6.21
11	CO2(%)	6.40	5.80	6.40	6.80	7.00
12	O2(%)	1.50	1.50	1.00	1.00	1.00
13	NOx (ppm)	22.00	5.00	10.00	15.00	25.00

RESULTADOS						
1	Mar (kg/h)	8.50	9.75	10.94	12.08	12.08
2	Mcomb (kg/h)	0.51	0.62	0.65	0.70	0.72
3	PME (kgf/cm <sup>2</sup> )	-	0.52	1.04	1.61	2.09
4	Pot.Efet.(kW)	-	0.23	0.47	0.73	0.94
5	Rel. A/C	16.54	15.74	16.72	17.29	16.87
6	Rend.Term. (%)	-	2.83	5.36	7.76	9.80
7	Rend.Volum.(%)	44.09	50.57	56.76	62.67	62.67
8	CEsp. (g/Kw.h)	-	2637.58	1393.71	962.37	761.91
9	Tesc ( C )	512.50	482.50	460.00	455.00	425.00
10	Tadm ( C )	17.50	17.50	17.50	17.50	17.50
11	Tgas ( C )	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00



TESTE CFR – GAS NATURAL						
INJECAO CONTINUA						
	PCI (KJ/kg):	48208		Taxa Comp. :	14:1	
	Tbs ( C ) :	27.8		Rel.A/C est :	16.97	
	Tbu ( C ) :	24.4		comb (kg/m <sup>3</sup> ):	0.7508	
	Tpo (mV) :	1.00		ar (kg/m <sup>3</sup> ):	1.1672	
	Teste	11	12	13	14	15
1	Avanco ( )	-12	-12	-12	-12	-12
2	Ptambor (mmHO)	4.50	5.00	6.00	6.50	8.00
3	P (mA)	8.80	9.70	10.80	11.40	13.50
4	Tesc (mV)	18.20	17.40	17.00	16.50	15.90
5	Tadm (mV)	0.70	0.70	0.80	0.80	0.80
6	Torque (N.m)	0.00	3.00	5.97	8.95	11.93
7	Rotacao (rpm)	900	900	900	900	900
8	Carga (%)	0	25	50	75	100
GASES DE ESCAPE						
9	HC (ppm)	328.00	579.00	260.00	225.00	249.00
10	CO (%)	6.59	6.55	6.69	5.59	5.30
11	CO <sub>2</sub> (%)	6.70	6.30	6.80	7.50	7.70
12	O <sub>2</sub> (%)	1.20	2.10	0.80	0.80	0.80
13	NO <sub>x</sub> (ppm)	22.00	12.00	7.00	43.00	94.00

RESULTADOS						
1	Mar (kg/h)	7.86	8.50	9.75	10.35	12.08
2	Mcomb (kg/h)	0.48	0.52	0.57	0.60	0.68
3	PME (kgf/cm <sup>2</sup> )	-	0.58	1.15	1.78	2.30
4	Pot.Efet.(kW)	-	0.26	0.52	0.80	1.03
5	Rel. A/C	16.41	16.24	17.00	17.29	17.75
6	Rend.Term. (%)	-	3.71	6.74	9.97	11.34
7	Rend.Volum.(%)	40.75	44.09	50.57	53.70	62.67
8	CEsp. (g/Kw.h)	-	2013.80	1108.51	749.35	658.44
9	Tesc ( C)	455.00	435.00	425.00	412.50	397.50
10	Tadm ( C)	17.50	17.50	20.00	20.00	20.00
11	Tgas ( C)	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00

TESTE CFR - GAS NATURAL							
INJECAO CONTINUA							
	PCI (kJ/kg):	48208			Taxa Comp. :	14:1	
	Tbs ( C ) :	27.8			Rel.A/C est :	16.97	
	Tbu ( C ) :	24.4			comb (kg/m3):	0.7508	
	Tpo (mV) :	1.00			ar (kg/m3):	1.1672	
	Teste	16	17	18	19	20	
1	Avanco ( )	-9	-9	-9	-9	-9	
2	Pfambor (mmHO)	4.00	4.50	5.00	6.00	8.00	
3	P (mA)	7.50	7.70	8.50	10.50	13.50	
4	Tesc (mV)	18.70	19.00	17.70	16.60	17.40	
5	Tadm (mV)	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	
6	Torque (N.m)	0.00	2.13	5.76	8.64	11.52	
7	Rotacao (rpm)	900	900	900	900	900	
8	Carga (%)	0	25	50	75	100	
GASES DE ESCAPE							
9	HC (ppm)	645.00	137.00	195.00	215.00	204.00	
10	CO (%)	5.83	1.34	3.30	4.56	4.42	
11	CO2(%)	6.60	10.40	9.00	8.20	8.30	
12	O2(%)	3.60	0.70	0.80	0.80	0.80	
13	NOx (ppm)	187.00	280.00	261.00	193.00	219.00	

RESULTADOS						
1	Mar (kg/h)	7.20	7.86	8.50	9.75	12.08
2	Mcomb (kg/h)	0.41	0.42	0.46	0.56	0.68
3	PME (kgf/cm2)	-	0.41	1.11	1.71	2.22
4	Pot.Efet.(kW)	-	0.18	0.50	0.77	1.00
5	Rel. A/C	17.75	17.40	17.75	18.37	18.81
6	Rend.Term. (%)	-	3.30	8.05	10.28	10.95
7	Rend.Volum.(%)	37.33	40.75	44.09	50.57	62.67
8	CEsp. (g/Kw.h)	-	2262.90	927.46	726.12	681.88
9	Tesc ( C )	467.50	475.00	442.50	415.00	435.00
10	Tadm ( C )	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
11	Tgas ( C )	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00

TESTE CFR - GAS NATURAL							
INJECÃO SINCRONIZADA - COLETOR							
	PCI (KJ/kg):	48208			Taxa Comp. :	12:1	
	Tbs ( C ) :	28.90			Rel.A/C est :	16.97	
	Tbu ( C ) :	24.40			comb (kg/m <sup>3</sup> ):	0.7508	
	Tpo (mV) :	1.10			ar (kg/m <sup>3</sup> ):	1.1672	
	Teste	1	2	3	4	5	
1	Avanco ( )	-12	-12	-12	-12	-12	
2	Ptambor (mmH <sub>0</sub> )	2.50	3.00	3.00	3.50	6.00	
3	P (mA)	5.00	5.01	5.09	5.02	5.08	
4	Tesc (mV)	17.20	17.40	17.40	17.10	16.40	
5	Tadm (mV)	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	
6	Poslnj ( )	PMS-ADM	PMS-ADM	PMS-ADM	PMS-ADM	PMS-ADM	
7	AngAber ( )	120	120	120	120	120	
8	Torque (N.m)	0.00	1.08	2.17	3.25	4.34	
9	Rotacao (rpm)	900	900	900	900	900	
10	Carga (%)	0	25	50	75	100	
GASES DE ESCAPE							
11	HC (ppm)	569.00	383.00	69.00	69.00	15.00	
12	CO (%)	5.74	2.57	1.73	1.64	0.04	
13	CO <sub>2</sub> (%)	6.70	9.00	9.90	10.00	9.20	
14	O <sub>2</sub> (%)	1.00	1.00	1.00	1.10	4.20	
15	NO <sub>x</sub> (ppm)	39.00	200.00	222.00	447.00	495.00	

RESULTADOS						
1	Mar (kg/h)	5.14	5.84	5.84	6.52	9.75
2	Mcomb (kg/h)	0.200	0.201	0.211	0.202	0.210
3	PME (kgf/cm <sup>2</sup> )	-	0.21	0.42	0.64	0.84
4	Pot.Efet.(kW)	-	0.09	0.19	0.29	0.38
5	Rel. A/C	25.71	29.03	27.70	32.24	46.51
6	Rend.Term. (%)	-	3.47	6.66	10.71	13.40
7	Rend.Volum.(%)	26.65	30.28	30.28	33.84	50.57
8	CEsp. (g/Kw.h)	-	2149.45	1121.21	697.32	557.45
9	Tesc ( C )	430.00	435.00	435.00	427.50	410.00
10	Tadm ( C )	25.00	25.00	25.00	25.00	24.75
11	Tgas ( C )	27.50	27.50	27.50	27.50	27.50
12	Tabertura (s)	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022
13	Poshjecao	PMS-ADM	PMS-ADM	PMS-ADM	PMS-ADM	PMS-ADM

TESTE CFR - GAS NATURAL						
INJECAO SINCRONIZADA - COLETOR						
PCI (KJ/kg):	48208			Taxa Comp. :	12:1	
Tbs ( C ) :	28.90			Rel.A/C est :	16.97	
Tbu ( C ) :	24.40			comb (kg/m <sup>3</sup> ):	0.7508	
Tpo (mV) :	1.10			ar (kg/m <sup>3</sup> ):	1.1672	
Teste	6	7	8	9	10	
1	Avanco ( )	-9	-9	-9	-9	-9
2	Ptambor (mmHO)	2.50	3.00	3.50	4.50	5.50
3	P (mA)	5.27	5.28	5.23	5.34	5.31
4	Tesc (mV)	18.10	17.20	17.10	17.10	17.20
5	Tadm (mV)	1.02	1.02	1.02	1.01	1.01
6	Poslnj ( )	PMS-ADM	PMS-ADM	PMS-ADM	PMS-ADM	PMS-ADM
7	AngAber ( )	180	180	180	180	180
8	Torque (N.m)	0.00	1.53	3.05	4.61	6.10
9	Rofacao (rpm)	900	900	900	900	900
10	Carga (%)	0	25	50	75	100
GASES DE ESCAPE						
11	HC (ppm)	240.00	147.00	514.00	212.00	116.00
12	CO (%)	5.71	5.91	4.48	4.09	0.45
13	CO <sub>2</sub> (%)	7.10	7.10	7.40	8.20	10.40
14	O <sub>2</sub> (%)	1.20	1.00	1.60	1.50	1.80
15	NO <sub>x</sub> (ppm)	3.00	40.00	120.00	190.00	869.00

RESULTADOS						
1	Mar (kg/h)	5.14	5.84	6.52	7.86	9.13
2	Mcomb (kg/h)	0.231	0.232	0.227	0.238	0.235
3	PME (kgf/cm <sup>2</sup> )	-	0.29	0.59	0.91	1.17
4	Pot.Efet.(kW)	-	0.13	0.26	0.41	0.53
5	Rel. A/C	22.24	25.15	28.78	32.94	38.80
6	Rend.Term. (%)	-	4.26	8.70	12.89	16.77
7	Rend.Volum.(%)	26.65	30.28	33.84	40.75	47.36
8	CEsp. (g/Kw.h)	-	1751.33	858.00	579.40	445.31
9	Tesc ( C )	452.50	430.00	427.50	427.50	430.00
10	Tadm ( C )	25.50	25.50	25.50	25.25	25.25
11	Tgas ( C )	27.50	27.50	27.50	27.50	27.50
12	Tabertura (s)	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033
13	Poslnjecao	PMS-ADM	PMS-ADM	PMS-ADM	PMS-ADM	PMS-ADM

TESTE CFR - GAS NATURAL							
INJECAO SINCRONIZADA - COLETOR							
	PCI (KJ/kg):	48208			Taxa Comp. :	12:1	
	Tbs ( C ) :	28.90			Rel.A/C est :	16.97	
	Tbu ( C ) :	24.40			comb (kg/m3):	0.7508	
	Tpo (mV) :	1.10			ar (kg/m3):	1.1672	
	Teste	11	12	13	14	15	
1	Avanca ( )	-12	-12	-12	-12	-12	
2	Ptambor (mmHO)	2.00	2.50	3.00	3.50	4.50	
3	P (mA)	5.11	5.16	5.21	5.25	5.34	
4	Tesc (mV)	17.60	17.10	17.60	17.20	17.70	
5	Tadm (mV)	1.04	1.04	1.04	1.04	1.05	
6	Posinj ( )	PMI-ADM	PMI-ADM	PMI-ADM	PMI-ADM	PMI-ADM	
7	AngAber ( )	120	120	120	120	120	
8	Torque (N.m)	0.00	1.22	2.37	3.57	4.75	
9	Rotacao (rpm)	900	900	900	900	900	
10	Carga (%)	0	25	50	75	100	
GASES DE ESCAPE							
11	HC (ppm)	188.00	400.00	100.00	90.00	73.00	
12	CO (%)	5.92	4.00	3.80	3.56	0.35	
13	CO2(%)	7.00	7.90	8.60	8.80	10.60	
14	O2(%)	1.00	1.00	0.80	1.00	1.40	
15	NOx (ppm)	11.00	138.00	176.00	609.00	571.00	

RESULTADOS						
1	Mar (kg/h)	4.43	5.14	5.84	6.52	7.86
2	Mcomb (kg/h)	0.21	0.22	0.22	0.23	0.24
3	PME (kgf/cm2)	-	0.23	0.46	0.71	0.91
4	Pot.Efet.(kW)	-	0.11	0.21	0.32	0.41
5	Rel. A/C	20.76	23.48	26.01	28.50	32.94
6	Rend.Term. (%)	-	3.61	6.83	10.40	12.89
7	Rend.Volum.(%)	22.95	26.65	30.28	33.84	40.75
8	CEsp. (g/Kw.h)	-	2071.02	1093.44	718.11	579.54
9	Tesc ( C )	440.00	427.50	440.00	430.00	442.50
10	Tadm ( C )	26.00	26.00	26.00	26.00	26.25
11	Tgas ( C )	27.50	27.50	27.50	27.50	27.50
12	Tabertura (s)	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022
13	Posinjecao	PMI-ADM	PMI-ADM	PMI-ADM	PMI-ADM	PMI-ADM

TESTE CFR - GAS NATURAL							
INJECAO SINCRONIZADA - COLETOR							
	PCI (KJ/kg):	48208			Taxa Comp. :	12:1	
	Tbs ( C ) :	28.90			Rel.A/C est :	16.97	
	Tbu ( C ) :	24.40			comb (kg/m3):	0.7508	
	Tpo (mV) :	1.10			ar (kg/m3):	1.1672	
	Teste	16	17	18	19	20	
1	Avanco ( )	-12	-12	-12	-12	-12	
2	Ptambor (mmHO)	3.00	3.50	4.00	5.50	6.00	
3	P (mA)	5.26	5.33	5.35	5.41	5.50	
4	Tesc (mV)	18.30	17.40	16.60	17.20	17.20	
5	Tadm (mV)	1.03	1.03	1.03	1.04	1.03	
6	Posnjl ( )	PMI-ADM	PMI-ADM	PMI-ADM	PMI-ADM	PMI-ADM	
7	AngAber ( )	180	180	180	180	180	
8	Torque (N.m)	0.00	2.37	4.74	7.12	9.50	
9	Rotacao (rpm)	900	900	900	900	900	
10	Carga (%)	0	25	50	75	100	
GASES DE ESCAPE							
11	HC (ppm)	333.00	200.00	125.00	226.00	104.00	
12	CO (%)	6.66	5.79	4.01	0.56	0.71	
13	CO2(%)	6.30	7.10	8.40	10.00	10.40	
14	O2(%)	1.50	1.00	1.00	2.30	1.50	
15	NOx (ppm)	19.00	103.00	168.00	1581.00	1419.00	

RESULTADOS						
1	Mar (kg/h)	5.84	6.52	7.20	9.13	9.75
2	Mcomb (kg/h)	0.230	0.237	0.240	0.246	0.255
3	PME (kgf/cm2)	-	0.46	0.91	1.41	1.83
4	Pot.Efef.(kW)	-	0.21	0.41	0.64	0.82
5	Rel. A/C	25.39	27.48	30.05	37.17	38.29
6	Rend.Term. (%)	-	6.46	12.80	19.32	24.14
7	Rend.Volum.(%)	30.28	33.84	37.33	47.36	50.57
8	CEsp. (g/Kw.h)	-	1156.42	583.30	386.47	309.40
9	Tesc ( C )	457.50	435.00	415.00	430.00	430.00
10	Tadm ( C )	25.75	25.75	25.75	26.00	25.75
11	Tgas ( C )	27.50	27.50	27.50	27.50	27.50
12	Tabertura (s)	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033
13	Posnlecao	PMI-ADM	PMI-ADM	PMI-ADM	PMI-ADM	PMI-ADM

TESTE CFR - GAS NATURAL						
INJECÃO SINCRONIZADA - COLETOR						
	PCI (KJ/kg):	48208		Taxa Comp. :	12:1	
	Tbs ( C ) :	28.90		Rel.A/C est :	16.97	
	Tbu ( C ) :	24.40		comb (kg/m <sup>3</sup> ):	0.7508	
	Tpo (mV) :	1.10		ar (kg/m <sup>3</sup> ):	1.1672	
	Teste	21	22	23	24	25
1	Avanco ( )	-9	-9	-9	-9	-9
2	Ptambor (mmH <sub>0</sub> )	2.50	3.00	3.50	4.00	5.50
3	P (mA)	5.13	5.14	5.16	5.18	5.17
4	Tesc (mV)	18.00	17.80	17.70	17.50	16.50
5	Tadm (mV)	1.02	1.02	1.02	1.03	1.02
6	Poslnj ( )	PMI-DES	PMI-DES	PMI-DES	PMI-DES	PMI-DES
7	AngAber ( )	120	120	120	120	120
8	Torque (N.m)	0.00	1.42	2.85	4.27	5.70
9	Rotacao (rpm)	900	900	900	900	900
10	Carga (%)	0	25	50	75	100
GASES DE ESCAPE						
11	HC (ppm)	127.00	112.00	100.00	42.00	72.00
12	CO (%)	4.92	2.90	2.99	0.14	0.05
13	CO <sub>2</sub> (%)	7.80	9.20	9.10	10.60	9.80
14	O <sub>2</sub> (%)	1.10	1.10	1.00	2.00	3.40
15	NO <sub>x</sub> (ppm)	76.00	94.00	552.00	713.00	580.00

RESULTADOS						
1	Mar (kg/h)	5.14	5.84	6.52	7.20	9.13
2	Mcomb (kg/h)	0.215	0.217	0.219	0.221	0.220
3	PME (kgf/cm <sup>2</sup> )	-	0.27	0.55	0.85	1.10
4	Pot.Efet.(kW)	-	0.12	0.25	0.38	0.49
5	Rel. A/C	23.85	26.95	29.81	32.54	41.50
6	Rend.Term. (%)	-	4.24	8.42	12.87	16.76
7	Rend.Volum.(%)	26.65	30.28	33.84	37.33	47.36
8	CEsp. (g/Kw.h)	-	1760.74	886.54	580.08	445.57
9	Tesc ( C )	450.00	445.00	442.50	437.50	412.50
10	Tadm ( C )	25.50	25.50	25.50	25.75	25.50
11	Tgas ( C )	27.50	27.50	27.50	27.50	27.50
12	Tabertura (s)	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022
13	Poslnjecao	PMI-DES	PMI-DES	PMI-DES	PMI-DES	PMI-DES

TESTE CFR - GAS NATURAL						
INJECAO SINCRONIZADA - COLETOR						
	PCI (KJ/kg):	48208		Taxa Comp. :	12:1	
	Tbs ( C ) :	28.90		Rel.A/C est :	16.97	
	Tbu ( C ) :	24.40		comb (kg/m3):	0.7508	
	Tpo (mV) :	1.10		ar (kg/m3):	1.1672	
	Teste	26	27	28	29	30
1	Avanco ( )	-9	-9	-9	-9	-9
2	Ptambor (mmHO)	3.50	4.00	4.50	5.50	8.00
3	P (mA)	5.63	5.61	5.62	5.63	5.66
4	Tesc (mV)	18.70	18.00	17.40	18.10	17.20
5	Tadm (mV)	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
6	Poslnj ( )	PMI-DES	PMI-DES	PMI-DES	PMI-DES	PMI-DES
7	AngAber ( )	180	180	180	180	180
8	Torque (N.m)	0.00	2.44	4.88	7.32	9.76
9	Rotacao (rpm)	900	900	900	900	900
10	Carga (%)	0	25	50	75	100
GASES DE ESCAPE						
11	HC (ppm)	744.00	180.00	252.00	145.00	92.00
12	CO (%)	6.08	5.94	4.90	2.28	0.05
13	CO2(%)	6.30	7.10	7.70	9.20	9.90
14	O2(%)	2.30	1.00	0.80	1.50	2.90
15	NOx (ppm)	27.00	45.00	220.00	954.00	1327.00

RESULTADOS						
1	Mar (kg/h)	6.52	7.20	7.86	9.13	12.08
2	Mcomb (kg/h)	0.267	0.265	0.266	0.267	0.270
3	PME (kgf/cm2)	-	0.47	0.94	1.45	1.88
4	Pot.Efet.(kW)	-	0.21	0.42	0.65	0.85
5	Rel. A/C	24.43	27.14	29.52	34.19	44.77
6	Rend.Term. (%)	-	5.95	11.86	18.28	23.40
7	Rend.Volum.(%)	33.84	37.33	40.75	47.36	62.67
8	CEsp. (g/Kw.h)	-	1254.45	629.44	408.59	319.12
9	Tesc ( C )	467.50	450.00	435.00	452.50	430.00
10	Tadm ( C )	25.50	25.50	25.50	25.50	25.50
11	Tgas ( C )	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5
12	Tabertura (s)	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033
13	Poslnjecao	PMI-DES	PMI-DES	PMI-DES	PMI-DES	PMI-DES



TESTE CFR - GAS NATURAL							
INJECAO SINCRONIZADA - COLETOR							
	PCI (KJ/kg):	48208			Taxa Comp. :	12:1	
	Tbs ( C ) :	28.90			Rel.A/C est :	16.97	
	Tbu ( C ) :	24.40			comb (kg/m3):	0.7508	
	Tpo (mV) :	1.10			ar (kg/m3):	1.1672	
	Teste	31	32	33	34	35	
1	Avanco ( )	-12	-12	-12	-12	-12	
2	Ptambor (mmHO)	2.00	2.50	3.00	3.50	5.00	
3	P (mA)	5.02	5.16	5.18	5.20	5.25	
4	Tesc (mV)	17.50	17.20	17.20	17.50	16.50	
5	Tadm (mV)	1.04	1.05	1.04	1.04	1.04	
6	Poslnj ( )	PMI-DES	PMI-DES	PMI-DES	PMI-DES	PMI-DES	
7	AngAber ( )	120	120	120	120	120	
8	Torque (N.m)	0.00	1.36	2.71	4.07	5.42	
9	Rotacao (rpm)	900	900	900	900	900	
10	Carga (%)	0	25	50	75	100	
GASES DE ESCAPE							
11	HC (ppm)	279.00	157.00	94.00	458.00	366.00	
12	CO (%)	5.77	5.55	2.36	2.59	0.06	
13	CO2(%)	7.00	7.30	9.50	8.90	9.50	
14	O2(%)	1.20	0.80	1.00	1.10	3.20	
15	NOx (ppm)	16.00	112.00	121.00	494.00	917.00	

RESULTADOS						
1	Mar (kg/h)	4.43	5.14	5.84	6.52	8.50
2	Mcomb (kg/h)	0.202	0.219	0.221	0.223	0.229
3	PME (kgf/cm2)	-	0.26	0.52	0.81	1.04
4	Pot.Efet.(kW)	-	0.12	0.23	0.36	0.47
5	Rel. A/C	21.87	23.48	26.40	29.21	37.14
6	Rend.Term. (%)	-	4.02	7.93	12.15	15.32
7	Rend.Volum.(%)	22.95	26.65	30.28	33.84	44.09
8	CEsp. (g/Kw.h)	-	1857.82	941.98	614.75	487.48
9	Tesc ( C )	437.50	430.00	430.00	437.50	412.50
10	Tadm ( C )	26.00	26.25	26.00	26.00	26.00
11	Tgas ( C )	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5
12	Tabertura (s)	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022
13	Poslnjecao	PMI-DES	PMI-DES	PMI-DES	PMI-DES	PMI-DES

TESTE CFR - GAS NATURAL							
INJECAO SINCRONIZADA - COLETOR							
	PCI (KJ/kg):	48208			Taxa Comp. :	12:1	
	Tbs ( C ) :	28.90			Rel.A/C est :	16.97	
	Tbu ( C ) :	24.40			comb (kg/m <sup>3</sup> ):	0.7508	
	Tpo (mV) :	1.10			ar (kg/m <sup>3</sup> ):	1.1672	
	Teste	36	37	38	39	40	
1	Avanco ( )	-12	-12	-12	-12	-12	
2	Ptambor (mmHO)	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	
3	P (mA)	5.40	5.38	5.36	5.38	5.40	
4	Tesc (mV)	18.20	17.00	16.90	16.90	16.90	
5	Tadm (mV)	1.04	1.04	1.05	1.04	1.05	
6	Poslnj ( )	PMI-DES	PMI-DES	PMI-DES	PMI-DES	PMI-DES	
7	AngAber ( )	180	180	180	180	180	
8	Torque (N.m)	0.00	2.03	4.07	6.10	8.13	
9	Rotacao (rpm)	900	900	900	900	900	
10	Carga (%)	0	25	50	75	100	
GASES DE ESCAPE							
11	HC (ppm)	230.00	356.00	137.00	102.00	84.00	
12	CO (%)	6.26	6.65	4.51	3.01	1.22	
13	CO2(%)	6.70	6.30	8.00	9.00	10.20	
14	O2(%)	1.10	1.40	1.00	1.10	1.00	
15	NOx (ppm)	2.00	10.00	97.00	226.00	946.00	

RESULTADOS						
1	Mar (kg/h)	6.52	7.20	7.86	8.50	9.13
2	Mcomb (kg/h)	0.245	0.243	0.241	0.243	0.245
3	PME (kgf/cm <sup>2</sup> )	-	0.39	0.78	1.21	1.57
4	Pot.Efet.(kW)	-	0.18	0.35	0.54	0.70
5	Rel. A/C	26.67	29.66	32.65	35.03	37.32
6	Rend.Term. (%)	-	5.41	10.95	16.76	21.50
7	Rend.Volum.(%)	33.84	37.33	40.75	44.09	47.36
8	CEsp. (g/Kw.h)	-	1379.59	682.26	445.47	347.38
9	Tesc ( C )	455.00	425.00	422.50	422.50	422.50
10	Tadm ( C )	26.00	26.00	26.25	26.00	26.25
11	Tgas ( C )	27.50	27.50	27.50	27.50	27.50
12	Tabertura (s)	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033
13	Poslnjecao	PMI-DES	PMI-DES	PMI-DES	PMI-DES	PMI-DES

TESTE CFR - GAS NATURAL							
INJECAO SINCRONIZADA - ANTE-CAMERA							
	PCI (KJ/kg):	48208			Taxa Comp. :	12:1	
	Tbs ( C ) :	28.30			Rel.A/C est :	16.97	
	Tbu ( C ) :	25.00			comb (kg/m3):	0.7508	
	Tpo (mV) :	1.00			ar (kg/m3):	1.1672	
	Teste	1	2	3	4	5	
1	Avanco ( )	-12	-12	-12	-12	-12	
2	Ptambor (mmH0)	3.00	5.00	6.00	6.50	8.00	
3	Pgn col(mA)	7.80	10.10	10.80	12.80	13.10	
4	Tesc (mV)	17.80	18.00	17.90	17.20	17.00	
5	Tadm (mV)	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	
6	Poslnj ( )	10	10	10	10	10	
7	AngAber ( )	180	180	180	180	180	
8	Pgn ac (mA)	0.9	1	1.08	1.2	1.31	
9	Torque (N.m)	0.00	3.17	6.34	9.30	12.50	
10	Rotacao (rpm)	900	900	900	900	900	
11	Carga (%)	0	25	50	75	100	
GASES DE ESCAPE							
11	HC (ppm)	1430.00	500.00	230.00	300.00	240.00	
12	CO (%)	5.00	7.30	6.00	7.30	5.20	
13	CO2(%)	4.30	5.00	6.20	5.30	6.90	
14	O2(%)	0.50	0.84	0.75	0.65	0.53	
15	NOx (ppm)	23.00	25.00	63.00	49.00	75.00	

RESULTADOS						
1	Mar (kg/h)	5.84	8.50	9.75	10.35	12.08
2	Mcomb (kg/h)	0.473	0.586	0.618	0.699	0.713
3	PME (kaf/cm2)	-	0.61	1.22	1.85	2.41
4	Pot.Efet.(kW)	-	0.27	0.55	0.83	1.08
5	Rel. A/C	12.33	14.50	15.76	14.82	16.94
6	Rend.Term. (%)	-	3.50	6.63	8.88	11.34
7	Rend.Volum.(%)	30.28	44.09	50.57	53.70	62.67
8	CEsp. (g/Kw.h)	-	2134.53	1125.96	841.30	658.44
9	Tesc ( C )	445.00	450.00	447.50	430.00	425.00
10	Tadm ( C )	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
11	Tgas ( C )	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
12	Tabertura (s)	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033
13	Poslnjecao	10	10	10	10	10

TESTE CFR - GAS NATURAL						
INJECAO SINCRONIZADA - ANTE-CAMERA						
	PCI (KJ/kg):	48208		Taxa Comp. :	12:1	
	Tbs ( C ) :	28.30		Rel.A/C est :	16.97	
	Tbu ( C ) :	25.00		comb (kg/m <sup>3</sup> ):	0.7508	
	Tpo (mV) :	1.00		ar (kg/m <sup>3</sup> ):	1.1672	
	Teste	6	7	8	9	10
1	Avanco ( )	-12	-12	-12	-12	-12
2	Ptambor (mmHO)	3.00	5.00	6.00	6.50	8.00
3	Pgn col(mA)	7.80	10.10	10.80	12.80	13.10
4	Tesc (mV)	18.00	17.90	17.70	17.60	17.80
5	Tadm (mV)	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
6	Poslnj ( )	50	50	50	50	50
7	AngAber ( )	180	180	180	180	180
8	Pgn ac (mA)	0.7	0.95	1.06	1.17	1.28
9	Torque (N.m)	0.00	3.32	6.70	9.60	12.70
10	Rotacao (rpm)	900	900	900	900	900
11	Carga (%)	0	25	50	75	100
GASES DE ESCAPE						
11	HC (ppm)	1433.00	502.00	247.00	302.00	232.00
12	CO (%)	5.27	7.50	6.10	7.50	5.30
13	CO2(%)	4.70	5.50	6.90	5.90	7.40
14	O2(%)	1.00	0.90	0.70	0.60	0.50
15	NOx (ppm)	24.00	27.00	67.00	51.00	79.00

RESULTADOS						
1	Mar (kg/h)	5.84	8.50	9.75	10.35	12.08
2	Mcomb (kg/h)	0.463	0.584	0.618	0.698	0.712
3	PME (kgf/cm <sup>2</sup> )	-	0.64	1.29	1.90	2.45
4	Pot.Efet.(kW)	-	0.29	0.58	0.86	1.10
5	Rel. A/C	12.62	14.55	15.78	14.84	16.97
6	Rend.Term. (%)	-	3.68	7.02	9.18	11.54
7	Rend.Volum.(%)	30.28	44.09	50.57	53.70	62.67
8	CEsp. (g/Kw.h)	-	2030.70	1064.07	813.76	647.12
9	Tesc ( C )	450.00	447.50	442.50	440.00	445.00
10	Tadm ( C )	21.25	21.25	21.25	21.25	21.25
11	Tgas ( C )	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
12	Tabertura (s)	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033
13	Poslnjecao	10	10	10	10	10

## TESTE CFR - GASOLINA

Hcuba = 1.4 mm

Dgicleur = 2.25 mm

PCI (KJ/kg): 40768

Tbs (C) : 27.2

Tbu (C) : 25.3

Patm (mmHg): 758.2

Taxa : 8:1

Rel.A/C est: 15.2

comb : 0.7740 kg/m<sup>3</sup>ar : 1.1672 kg/m<sup>3</sup>

Teste	1	2	3	4	5
1 Avanco ( )	-3	-3	-3	-3	-3
2 P <sub>tam</sub> (mmH <sub>2</sub> O)	6.00	7.00	7.50	8.00	8.50
3 Tempo (s)	59.00	49.00	47.00	45.00	43.00
4 Rotacao (rpm)	900	900	900	900	900
5 Tesc (mV)	21.90	21.40	21.50	21.60	21.70
6 Tadm (mV)	0.94	0.95	0.96	0.98	1.00
7 Torque (N.m)	0.00	3.05	6.11	9.15	12.20
8 Carga (%)	0	25	50	75	100

## GASES DE ESCAPE

9 HC (ppm)	572.00	675.50	484.00	648.00	603.00
10 CO (%)	0.12	0.07	0.08	0.13	0.16
11 CO <sub>2</sub> (%)	10.40	11.50	12.60	13.65	13.75
12 O <sub>2</sub> (%)	6.90	4.55	3.25	1.65	1.90
13 NO <sub>x</sub> (ppm)	66.50	186.50	618.00	1377.00	1745.00

## RESULTADOS

1 PME (kgf/cm <sup>2</sup> )	-	0.62	1.24	-	2.47
2 POT.EFET. (W)	-	277.74	556.39	833.22	1110.95
3 REL. A/C	14.31	13.68	13.97	14.17	14.29
4 RENDTERM (%)	-	2.36	4.53	6.50	8.28
5 RENDVOLU (%)	64.08	73.77	78.50	83.17	87.76
6 CESP (g/Kw.h)	-	3741.64	1947.24	1358.08	1065.93
7 Mcomb (g/s)	0.24	0.29	0.30	0.31	0.33
8 Mar (g/s)	3.43	3.95	4.20	4.45	4.70
9 Tesc (C)	547.50	535.00	537.50	540.00	542.50
10 Tadm (C)	23.50	23.75	24.00	24.50	25.00

TESTE CFR – GASOLINA						
Hcuba = 1.4 mm						
Dgicleur = 2.25 mm						
PCI (KJ/kg): 40768			Taxa : 8:1			
Tbs (C) : 27.2			Rel.A/C est: 15.2			
Tbu (C) : 25.3			comb : 0.7740 kg/m <sup>3</sup>			
Patm (mmHg): 758.2			ar : 1.1672 kg/m <sup>3</sup>			
	Teste	6	7	8	9	10
1	Avanco ( )	-6	-6	-6	-6	-6
2	Ptam (mmH O)	5.50	6.00	6.50	8.00	9.00
3	Tempo (s)	66.00	51.00	47.00	45.00	41.00
4	Rotacao (rpm)	900	900	900	900	900
5	Tesc (mV)	21.10	20.50	20.60	20.70	21.10
6	Tadm (mV)	0.96	0.94	0.95	0.96	0.97
7	Torque (N.m)	0.00	2.71	5.42	8.13	10.85
8	Carga (%)	0	25	50	75	100
GASES DE ESCAPE						
9	HC (ppm)	447.50	350.00	456.00	587.00	716.00
10	CO (%)	0.12	0.10	0.07	0.06	0.05
11	CO <sub>2</sub> (%)	10.50	11.30	12.15	12.95	13.65
12	O <sub>2</sub> (%)	6.45	5.00	3.90	2.85	1.75
13	NO <sub>x</sub> (ppm)	31.00	128.50	354.00	1156.00	1927.00

RESULTADOS						
1	PME (kgf/cm <sup>2</sup> )	-	0.55	1.10	-	2.20
2	POT.EFET. (W)	-	246.78	493.56	740.33	988.02
3	REL. A/C	14.78	12.27	12.37	14.17	14.32
4	RENDTERM (%)	-	2.18	4.02	5.78	7.02
5	RENDVOLU (%)	59.13	64.08	68.96	83.17	92.28
6	CESP (g/Kw.h)	-	4045.93	2195.13	1528.46	1257.03
7	Mcomb (g/s)	0.21	0.28	0.30	0.31	0.34
8	Mar (g/s)	3.17	3.43	3.69	4.45	4.94
9	Tesc (C)	527.50	512.50	515.00	517.50	527.50
10	Tadm (C)	24.00	23.50	23.75	24.00	24.25

TESTE CFR - ALCOOL						
Hcuba = 0.6 mm						
Dgicleur = 2.50 mm						
PCI (KJ/kg): 29665			Taxa : 12:1			
Tbs (C) : 28.3			Rel.A/C est: 9.0			
Tbu (C) : 25.6			comb : 0.8360 kg/m3			
Patm (mmHg): 758.2			ar : 1.1672 kg/m3			
Teste	1	2	3	4	5	
1 Avanco ( )	-6	-6	-6	-6	-6	
2 Ptam (mmH O)	2.50	4.50	5.50	7.00	9.00	
3 Tempo (s)	100.00	55.00	46.00	39.00	28.00	
4 Rotacao (rpm)	900	900	900	900	900	
5 Tesc (mV)	16.50	18.50	18.20	18.10	17.50	
6 Tadm (mV)	0.95	0.96	0.95	0.94	0.93	
7 Torque (N.m)	0.00	3.57	7.12	10.68	14.24	
8 Carga (%)	0	25	50	75	100	
GASES DE ESCAPE						
9 HC (ppm)	1067.00	350.00	207.00	960.00	525.00	
10 CO (%)	5.13	4.15	0.13	0.09	0.06	
11 CO2 (%)	12.95	12.60	11.80	11.90	11.70	
12 O2 (%)	0.80	1.10	3.25	4.35	5.00	
13 NOx (ppm)	240.00	352.00	206.00	350.00	386.00	

RESULTADOS						
1	PME (kgf/cm2)	-	0.72	1.44	2.17	2.89
2	POT.EFET. (W)	-	325.69	649.55	974.32	1299.09
3	REL. A/C	10.58	10.21	10.30	10.89	9.78
4	RENDTERM (%)	-	3.11	5.18	6.59	6.31
5	RENDVOLU (%)	27.95	49.02	59.13	73.77	92.28
6	CESP (g/Kw.h)	-	2842.71	1704.22	1340.07	1399.89
7	Mcomb (g/s)	0.14	0.26	0.31	0.36	0.51
8	Mar (g/s)	1.50	2.63	3.17	3.95	4.94
9	Tesc (C)	412.50	462.50	455.00	452.50	437.50
10	Tadm (C)	23.75	24.00	23.75	23.50	23.25

TESTE CFR - ALCOOL						
Hcuba = 0.6 mm						
Dgicleur = 2.50 mm						
PCI (KJ/kg):		29665		Taxa :		12:1
Tbs (C) :		28.3		Rel.A/C est:		9.0
Tbu (C) :		25.6		comb :		0.8360 kg/m <sup>3</sup>
Patm (mmHg):		758.2		ar :		1.1672 kg/m <sup>3</sup>
	Teste	6	7	8	9	10
1	Avanco ( )	-3	-3	-3	-3	-3
2	Ptam (mmH O)	4.50	5.50	6.00	7.00	7.50
3	Tempo (s)	53.00	43.00	41.00	40.00	39.00
4	Rotacao (rpm)	900	900	900	900	900
5	Tesc (mV)	21.70	22.50	23.00	23.10	23.20
6	Tadm (mV)	0.90	0.90	0.91	0.92	0.93
7	Torque (N.m)	0.00	2.56	5.12	7.67	10.24
8	Carga (%)	0	25	50	75	100
GASES DE ESCAPE						
9	HC (ppm)	397.00	514.50	520.50	586.00	597.00
10	CO (%)	2.50	2.40	0.42	0.08	0.05
11	CO <sub>2</sub> (%)	13.30	12.75	13.75	13.85	14.00
12	O <sub>2</sub> (%)	1.10	0.60	1.80	1.90	2.70
13	NO <sub>x</sub> (ppm)	31.00	128.50	354.00	1156.00	1927.00

RESULTADOS						
1	PME (kgf/cm <sup>2</sup> )	-	0.52	1.04	-	2.08
2	POT.EFET. (W)	-	233.54	467.09	699.72	934.18
3	REL. A/C	9.84	9.63	9.95	11.17	11.59
4	RENDTERM (%)	-	1.74	3.32	4.85	6.32
5	RENDVOLU (%)	49.02	59.13	64.08	73.77	78.50
6	CESP (g/Kw.h)	-	5070.55	2658.95	1819.32	1397.65
7	Mcomb (g/s)	0.27	0.33	0.34	0.35	0.36
8	Mar (g/s)	2.63	3.17	3.43	3.95	4.20
9	Tesc (C)	542.50	562.50	575.00	577.50	580.00
10	Tadm (C)	22.50	22.50	22.75	23.00	23.25

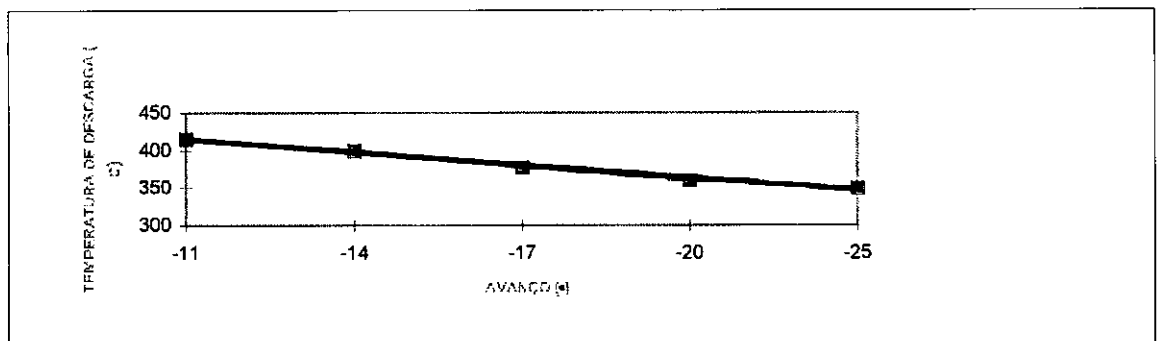
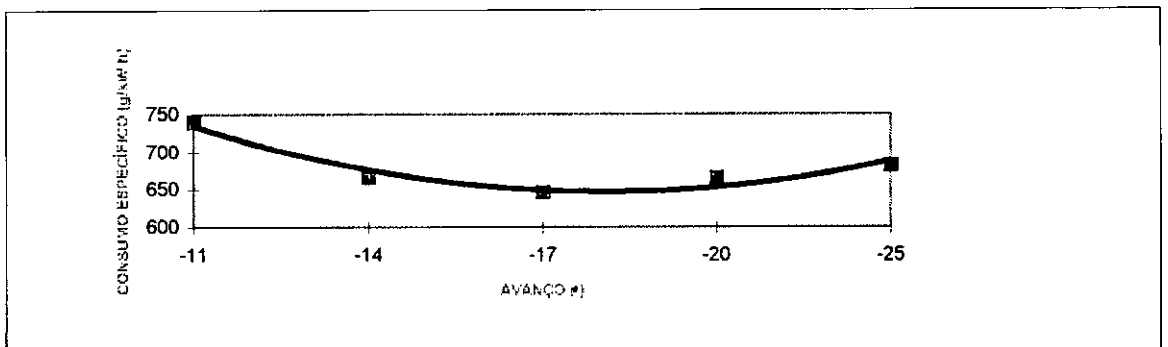
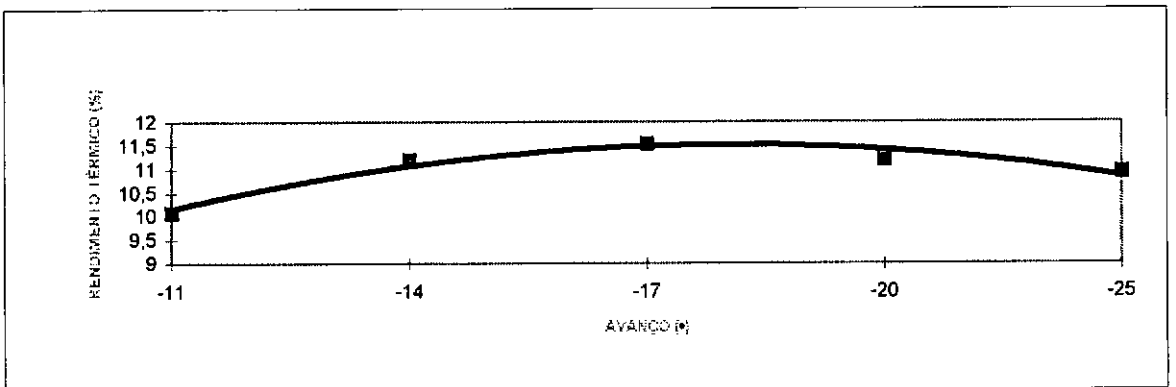
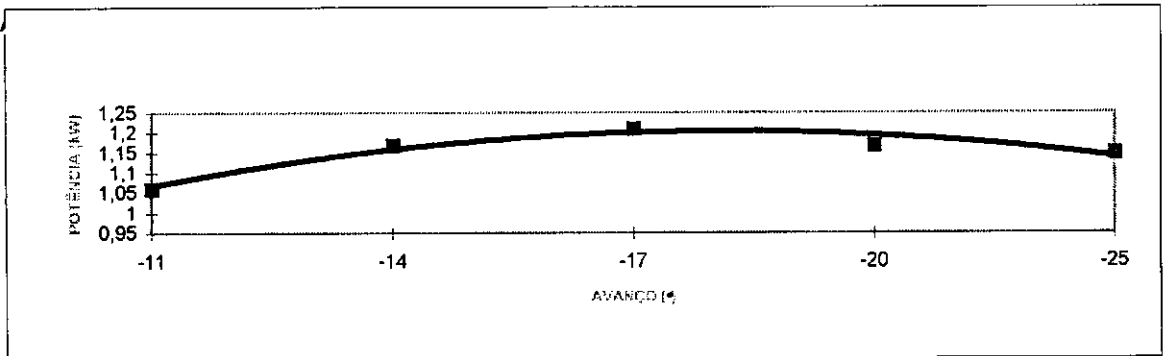


**F - Gráficos**

- F.1 - Corrente Paralela
- F.2 - Contra-Corrente
- F.3 - Entrada do Coletor
- F.4 - Direto
- F.5 - Sincronizada - Coletor de Admissão
- F.6 - Sincronizada - Antecâmara
- F.7 - Gasolina
- F.8 - Álcool

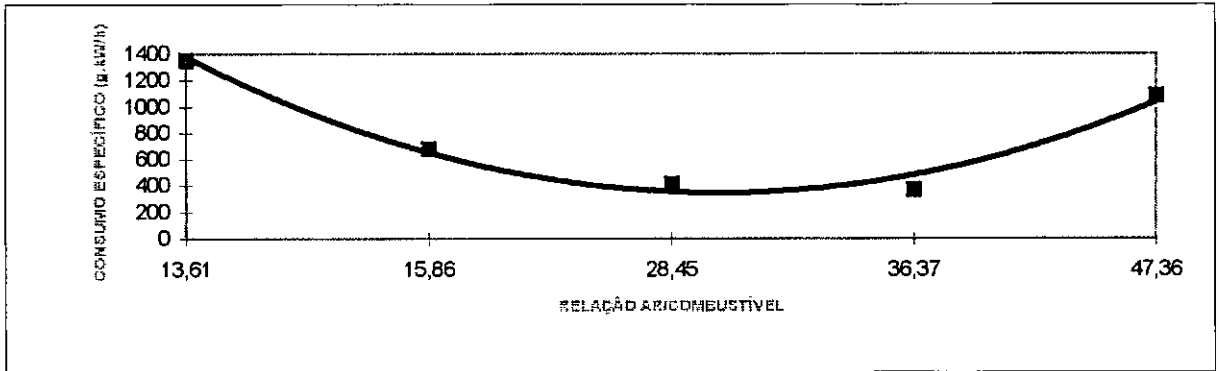
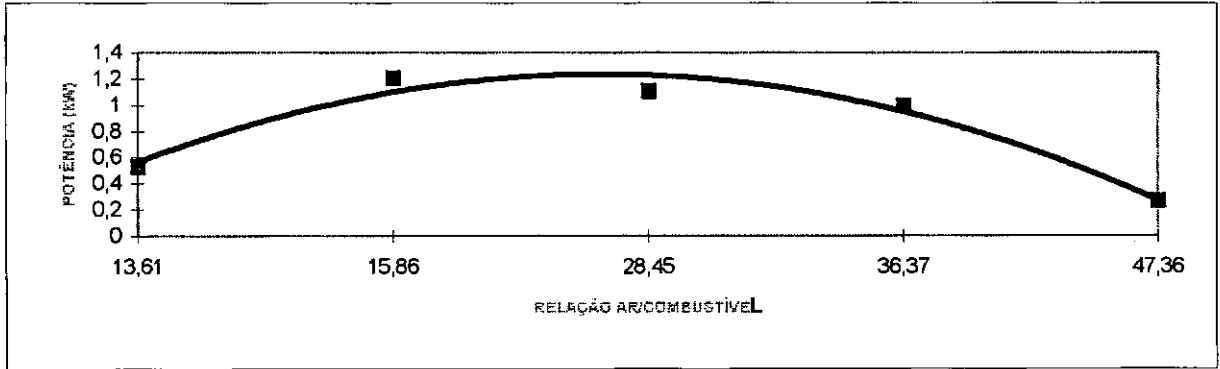
# GÁS NATURAL - CORRENTE PARALELA

TAXA - 12:1                      R A/C - 15,86



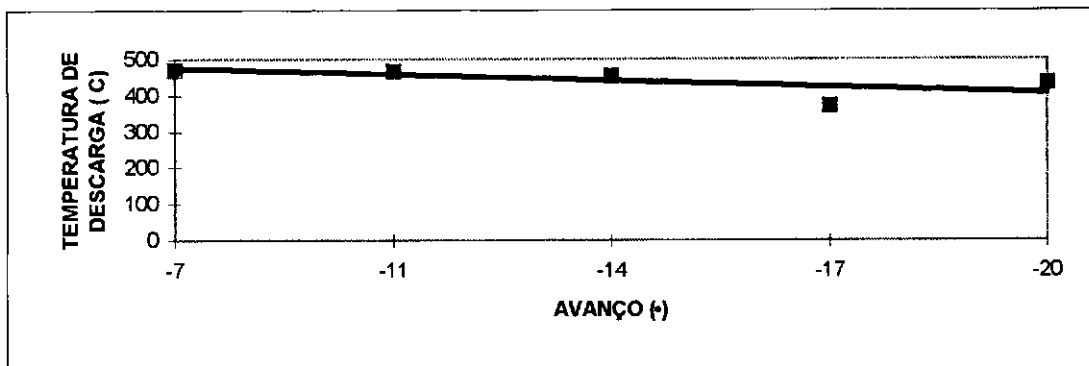
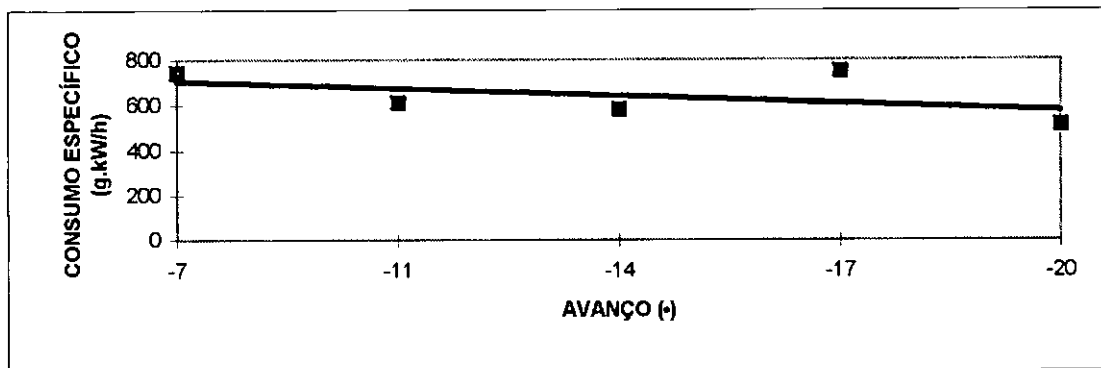
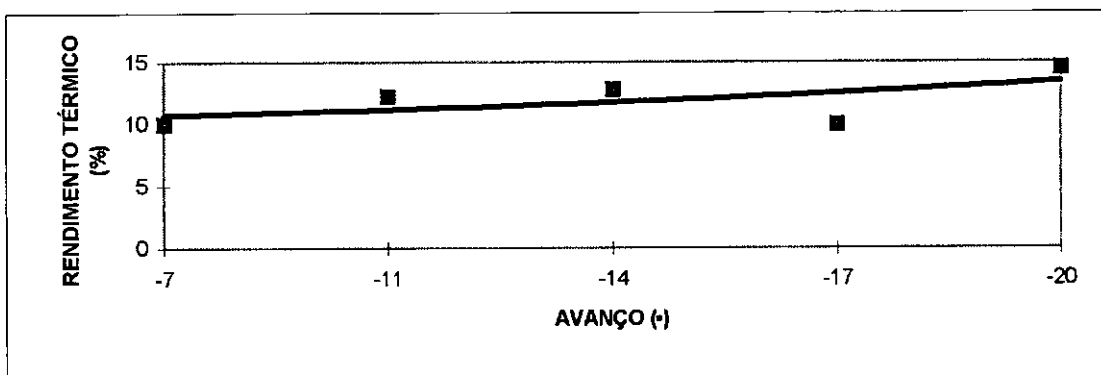
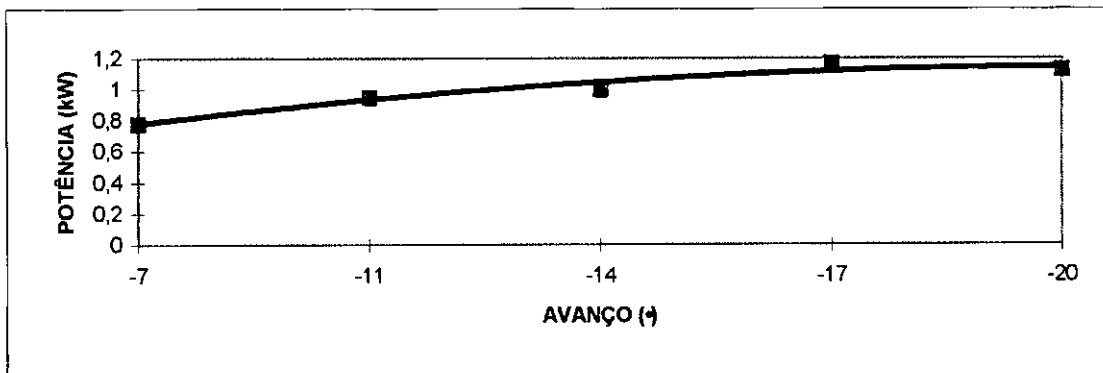
TAXA - 12:1

AVANÇO - 15,86



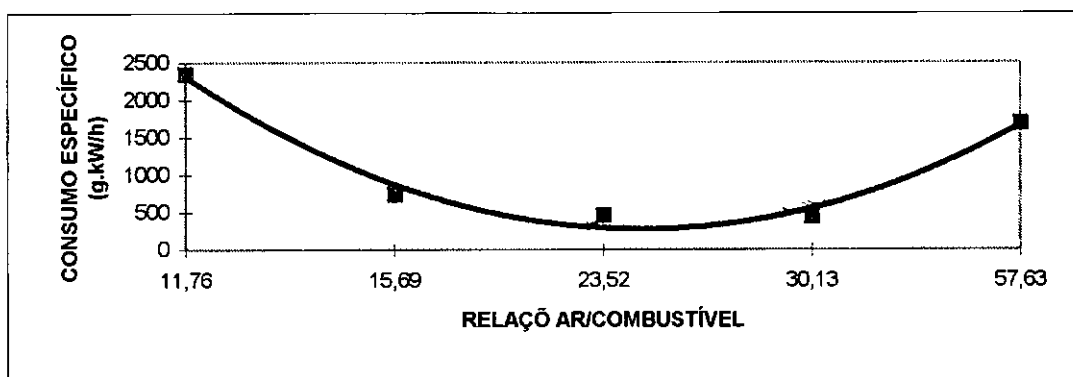
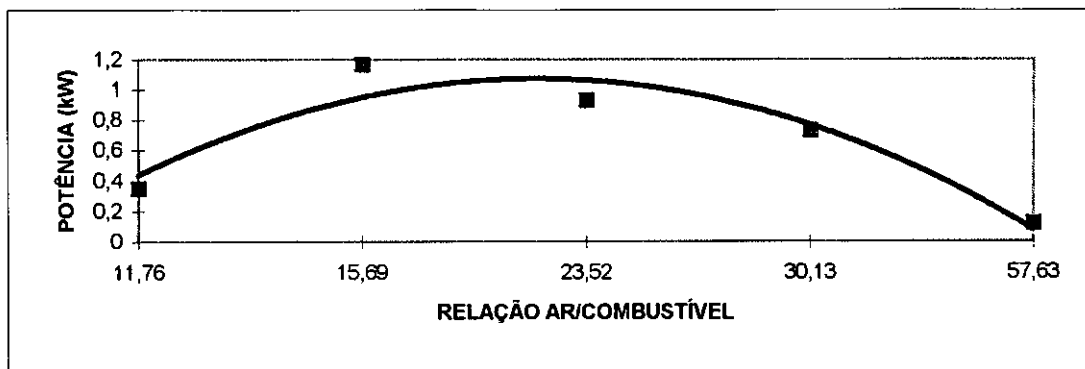
# GÁS NATURAL - CORRENTE PARALELA

TAXA - 14:1                      R A/C - 15,69



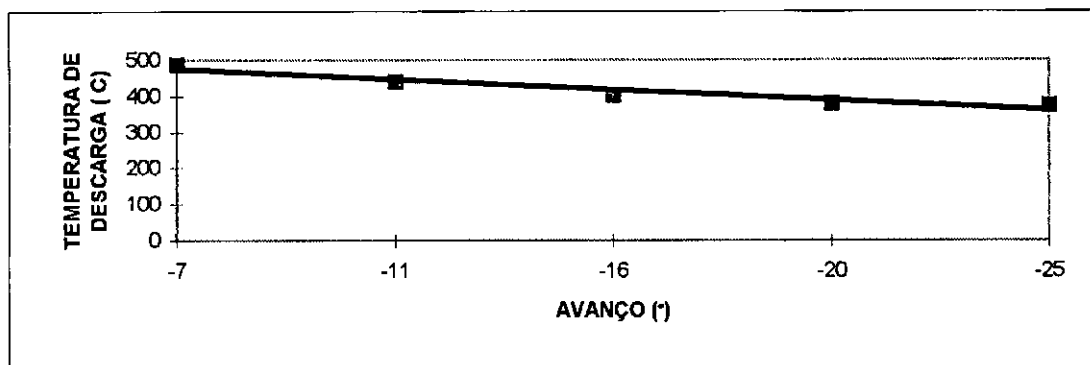
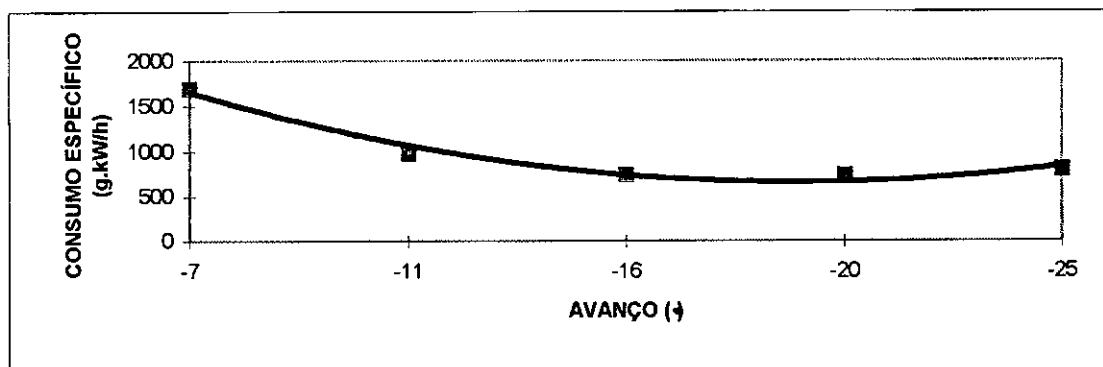
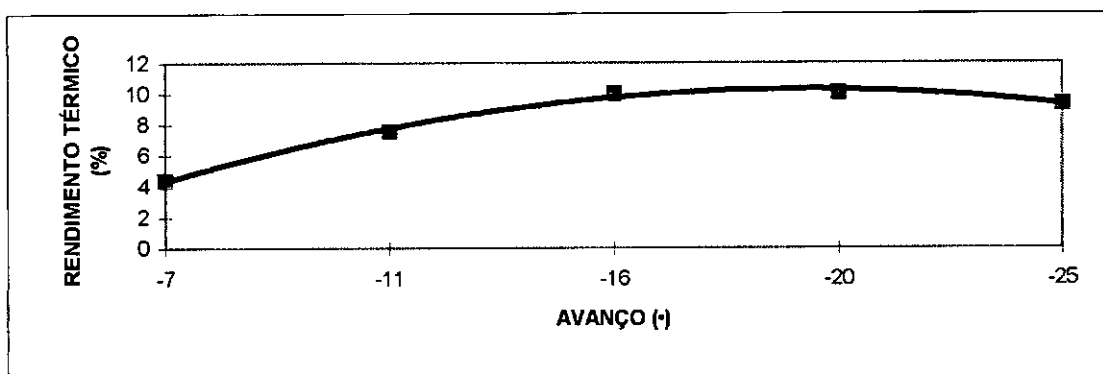
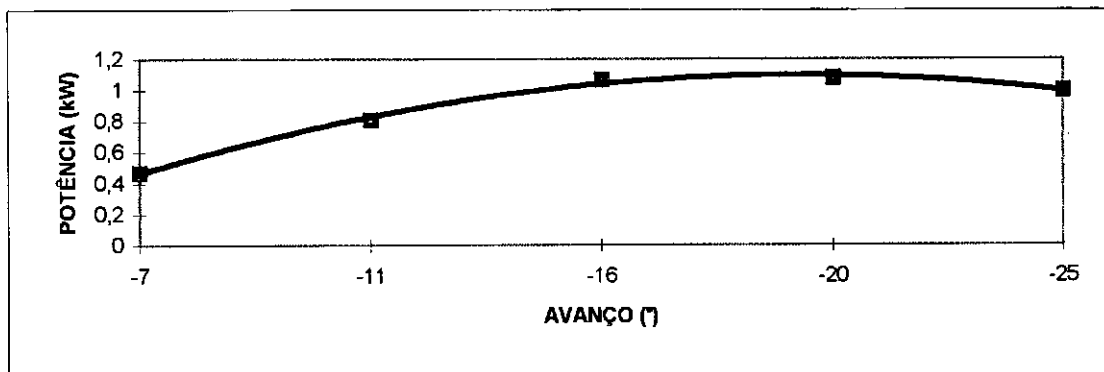
TAXA - 14:1

AVANÇO - - 17



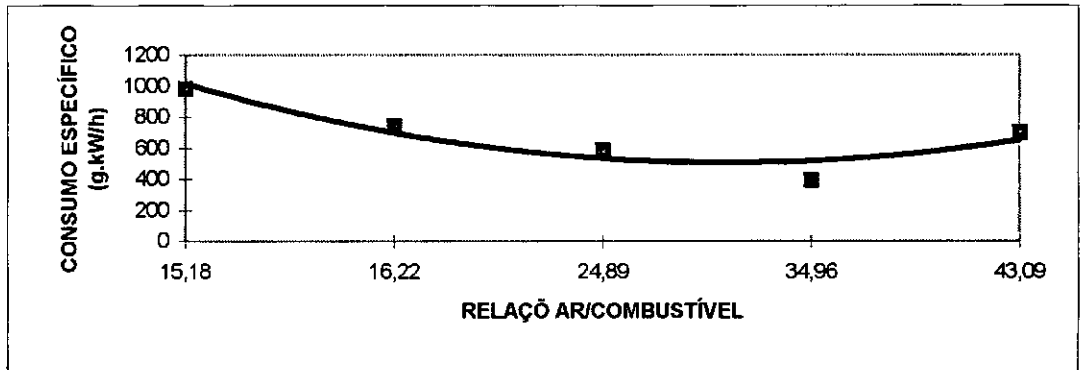
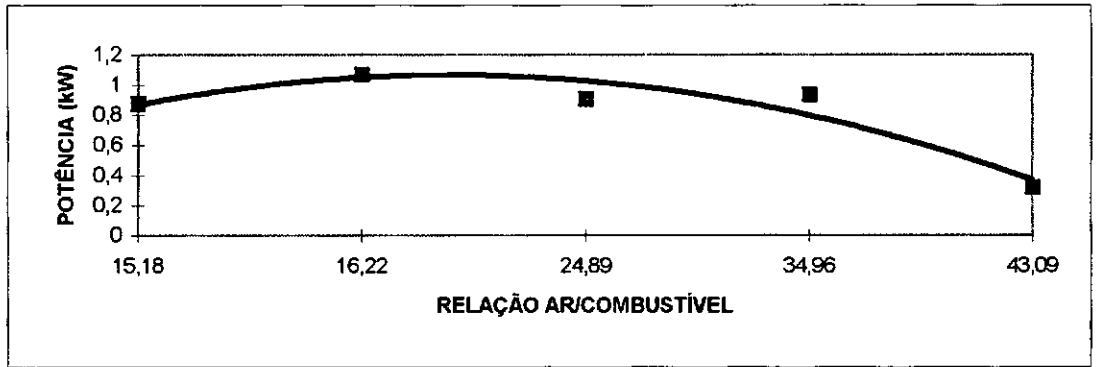
# GÁS NATURAL - CONTRA-CORRENTE

TAXA - 12:1                      R A/C - 16,22



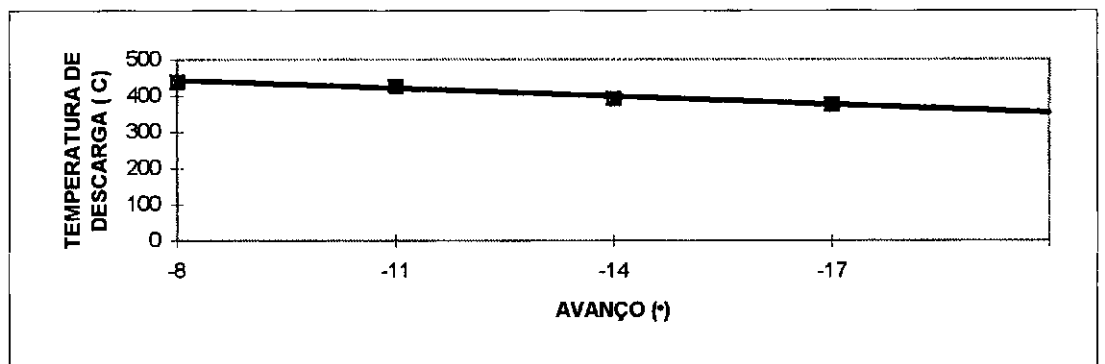
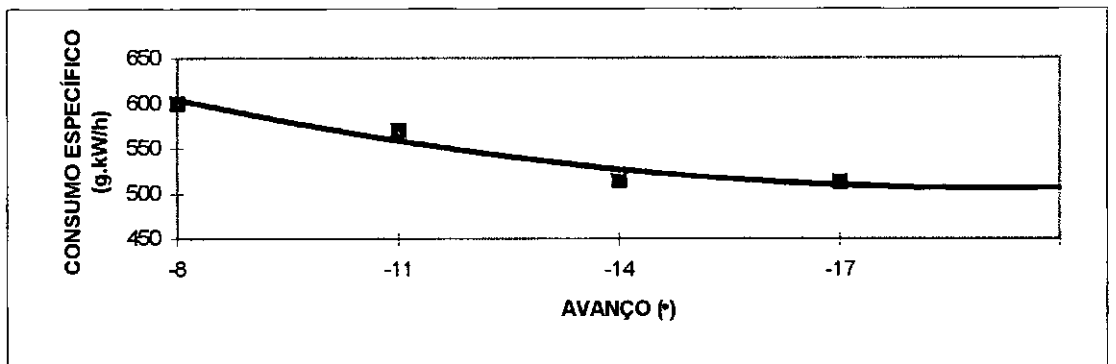
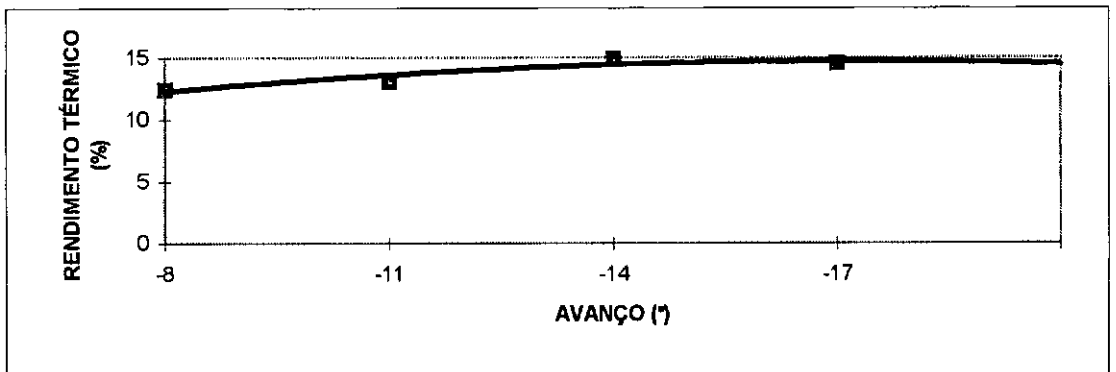
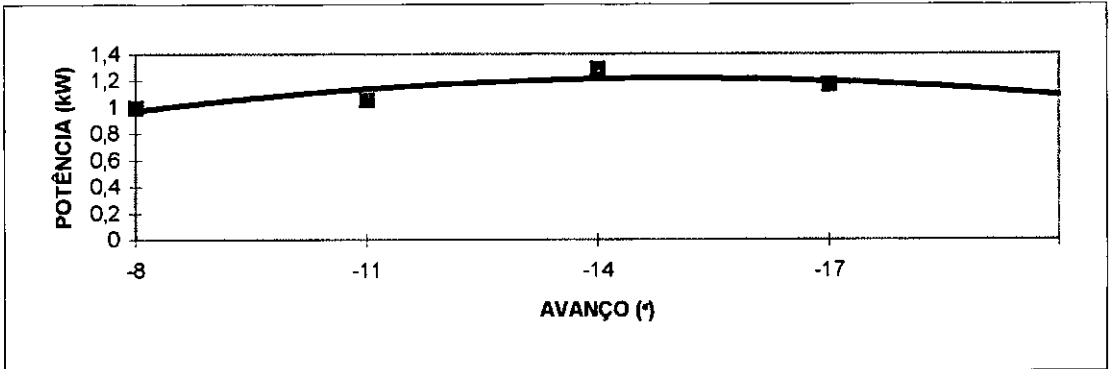
TAXA - 12:1

AVANÇO - - 20



# GÁS NATURAL - CONTRA-CORRENTE

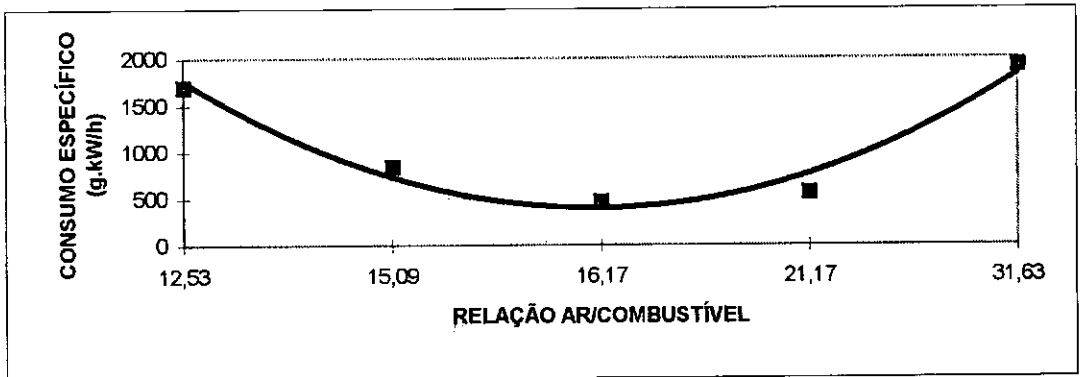
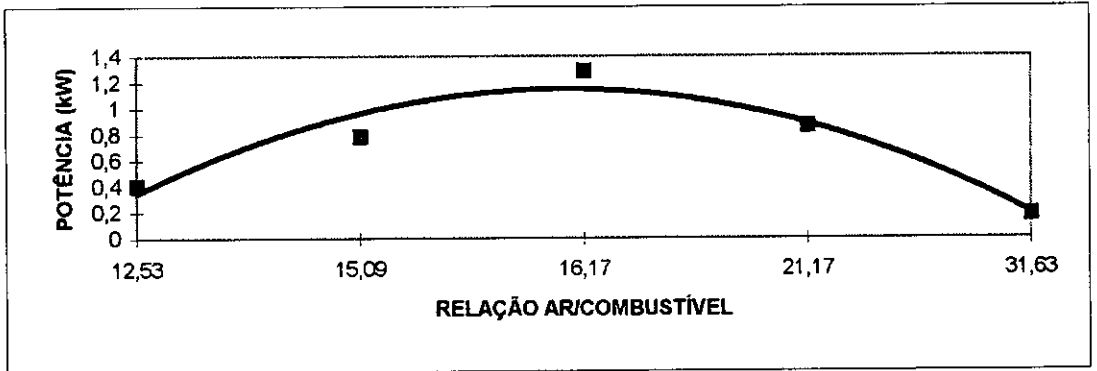
TAXA - 14:1                      R A/C - 16,17





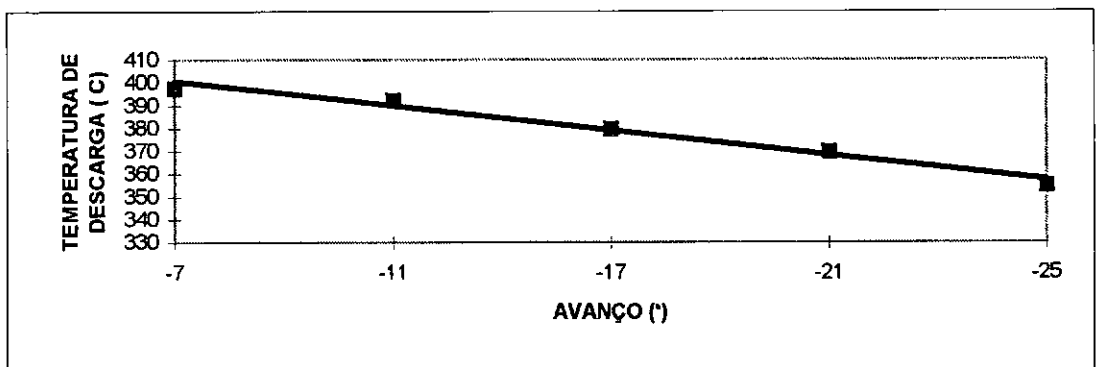
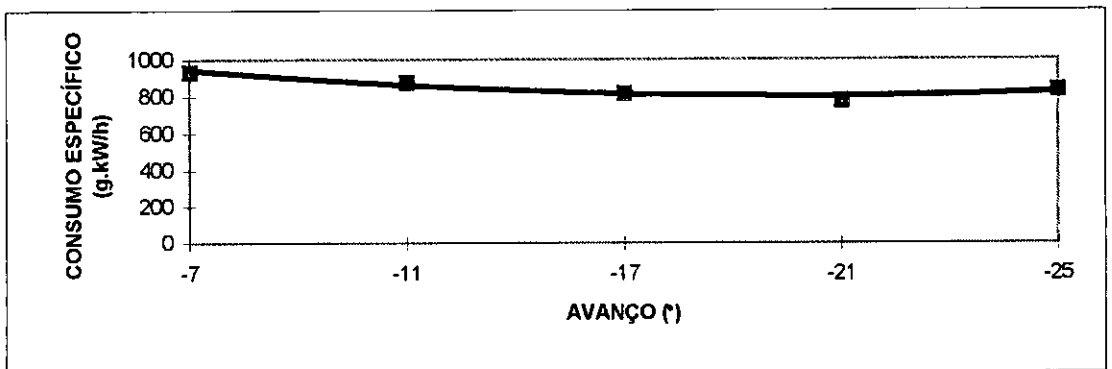
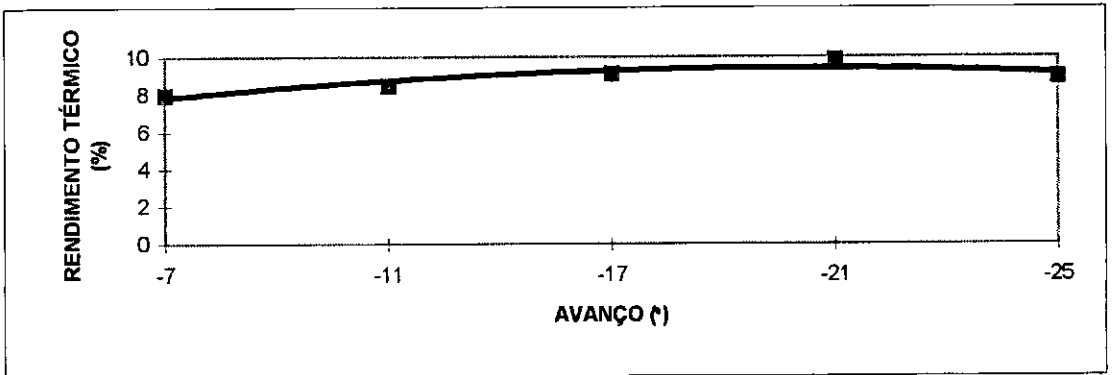
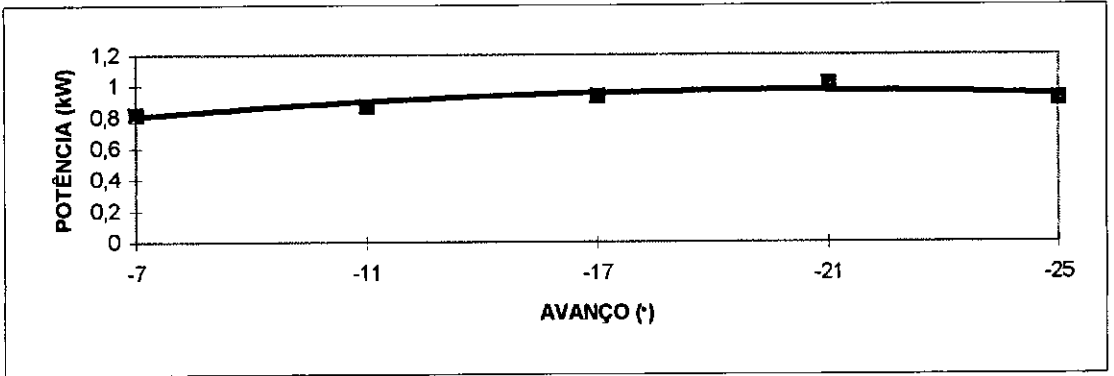
TAXA - 14:1

AVANÇO - - 14



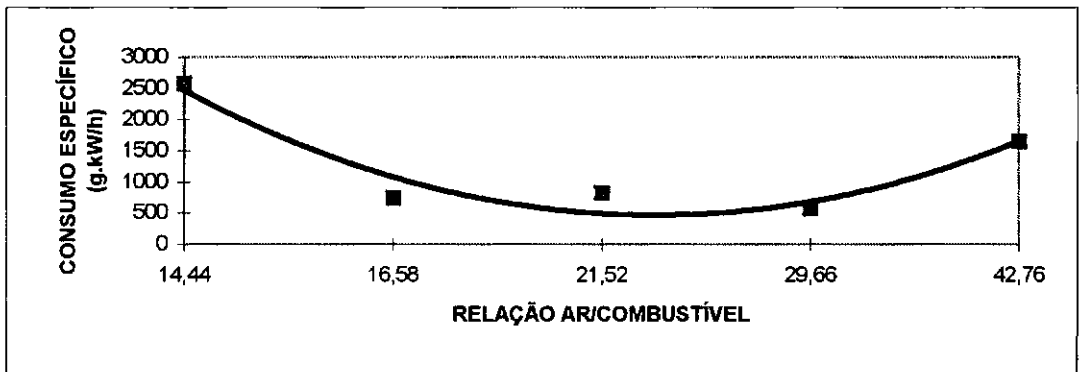
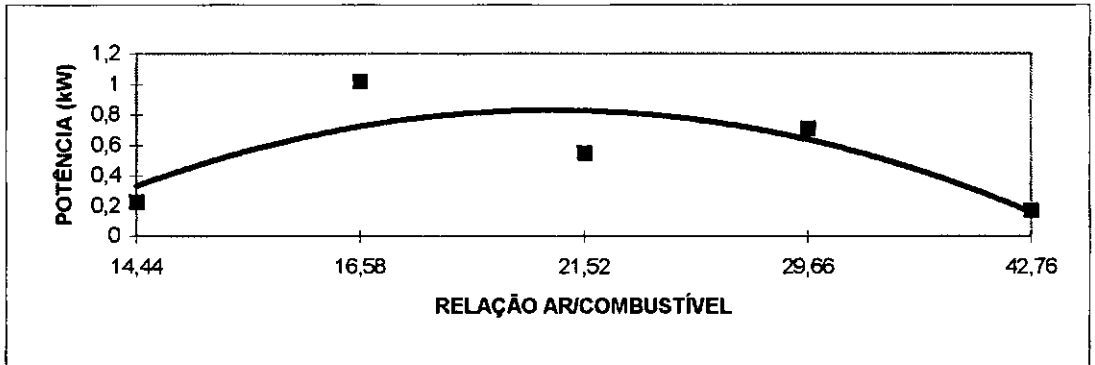
# GÁS NATURAL - ENTRADA DO COLETOR

TAXA - 12:1 R A/C - 16,58



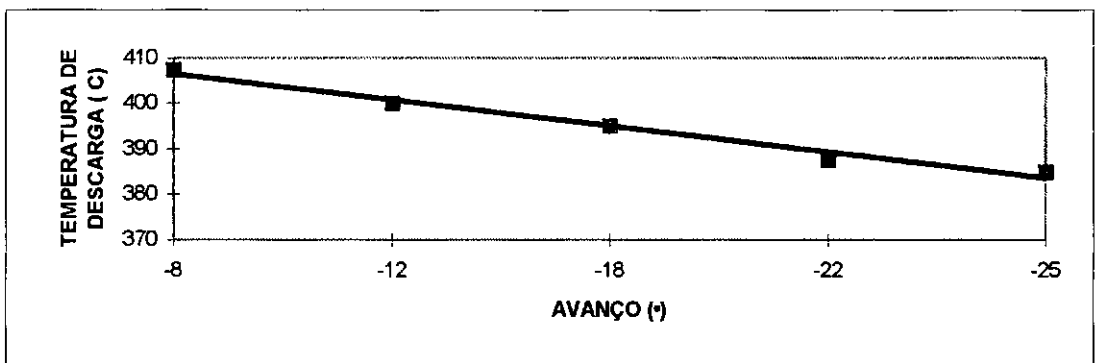
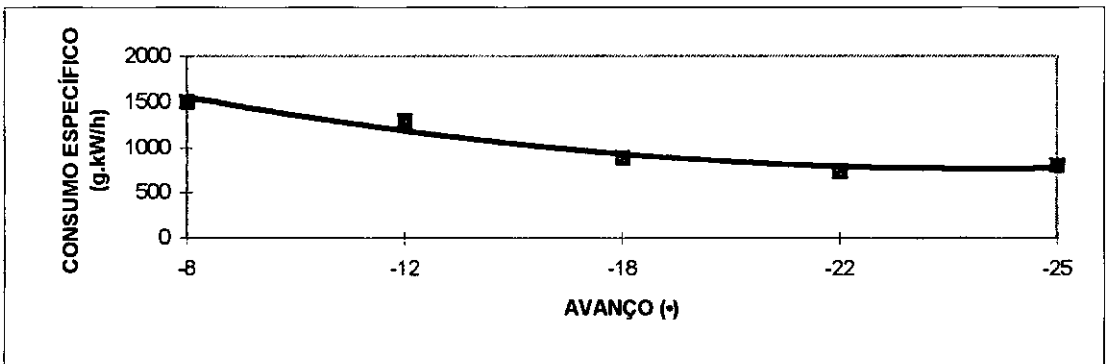
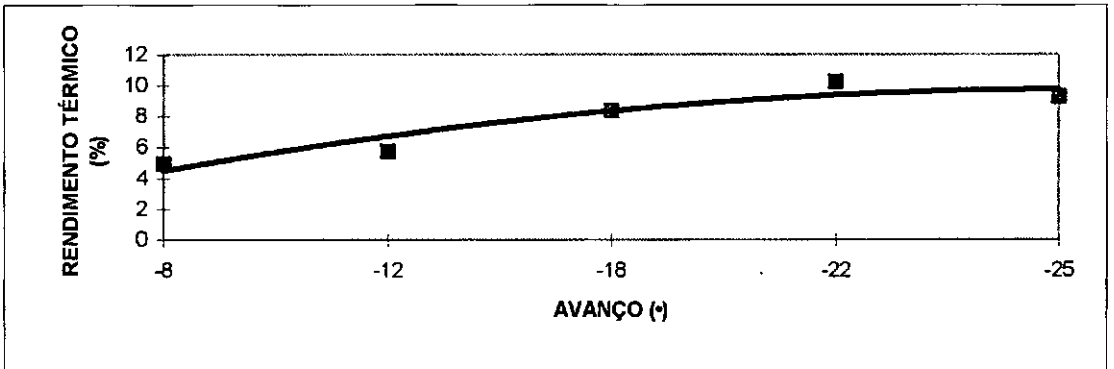
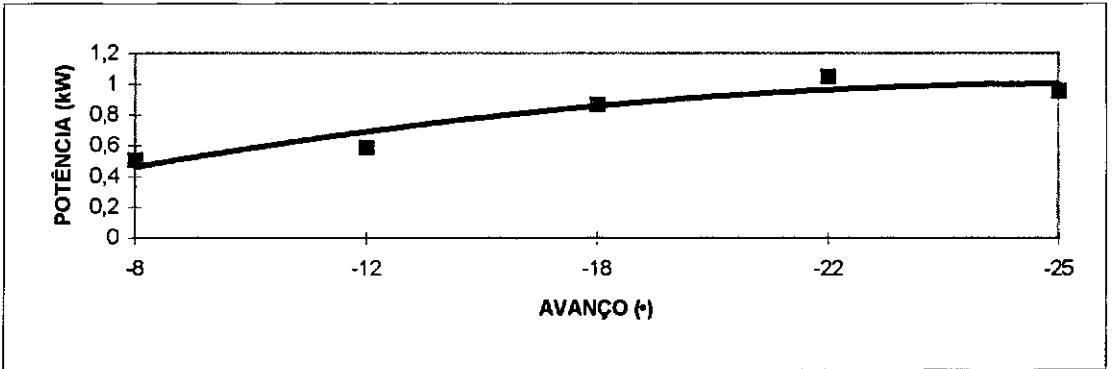
TAXA - 12:1

AVANÇO - - 21



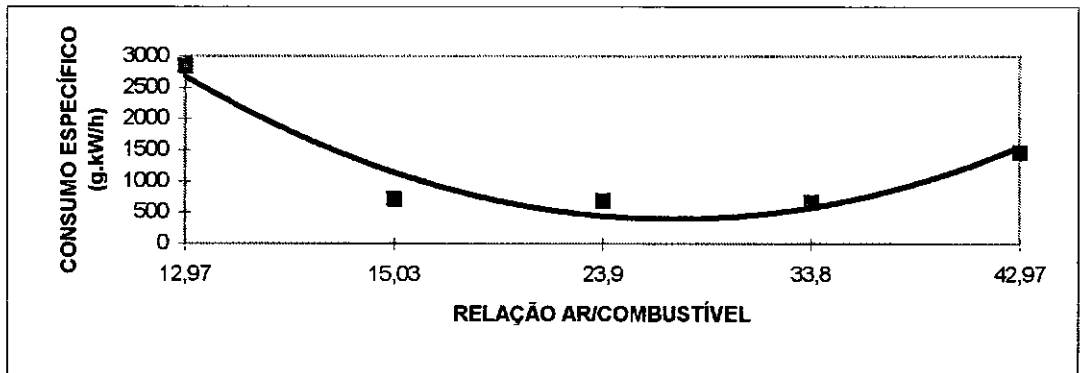
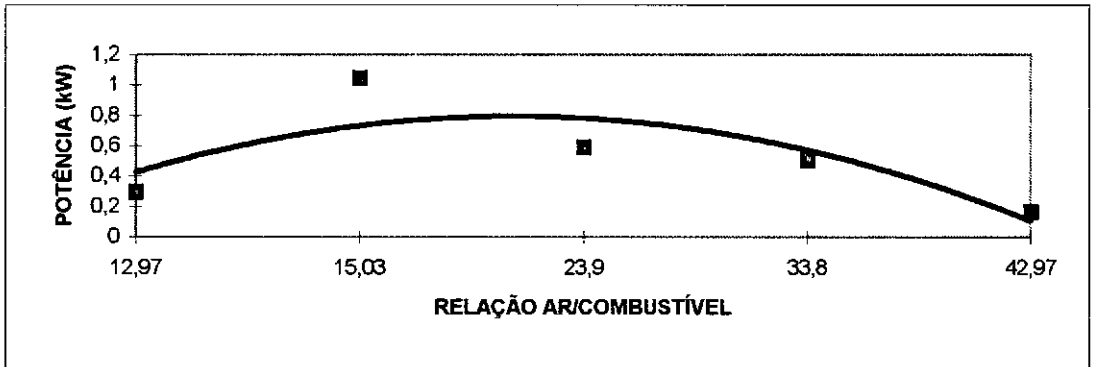
# GÁS NATURAL - ENTRADA DO COLETOR

TAXA - 14:1 R A/C - 14,96



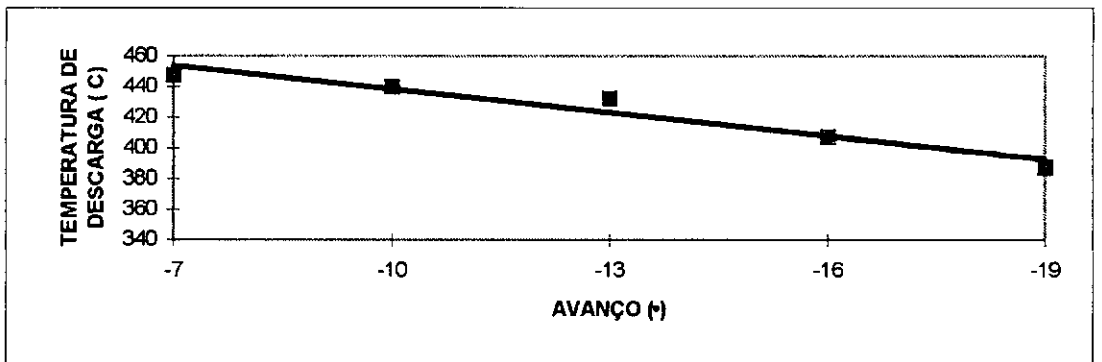
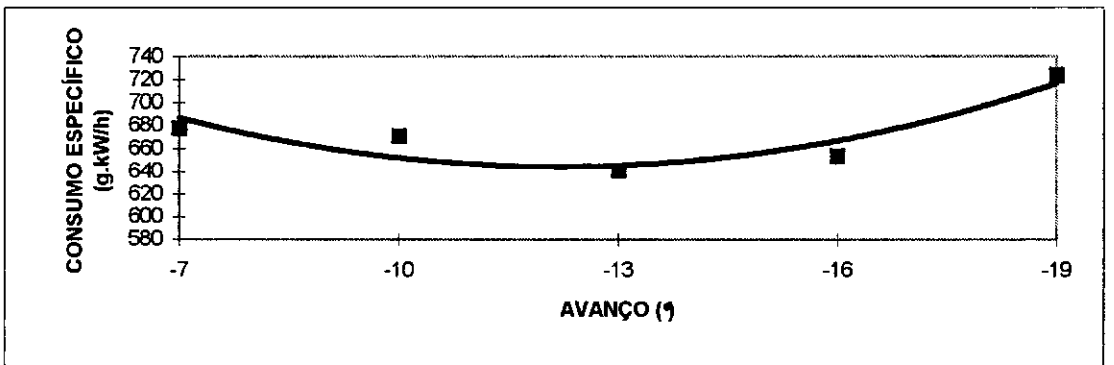
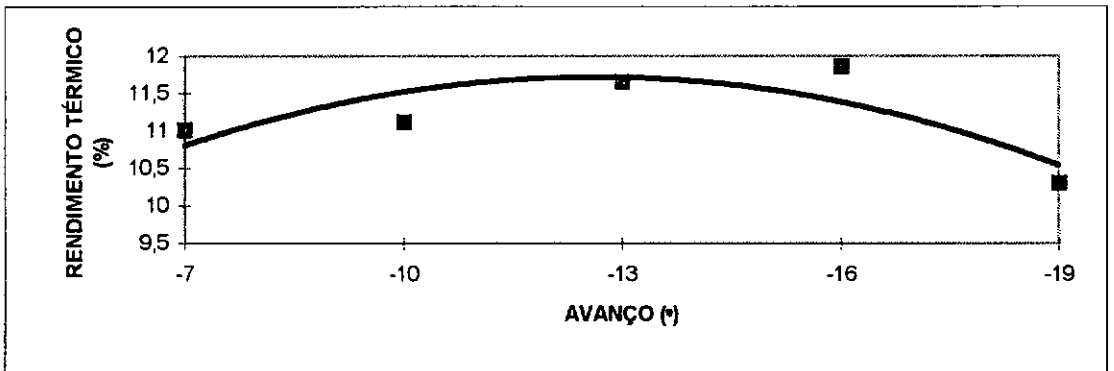
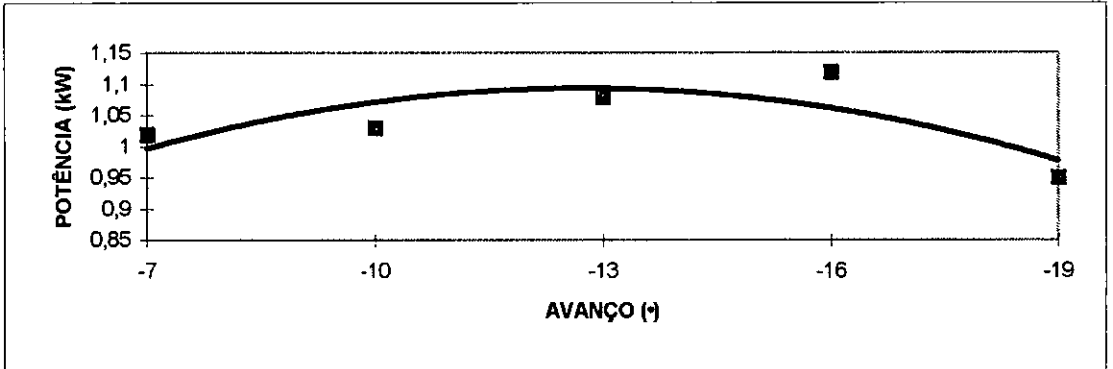
TAXA - 14:1

AVANÇO - - 22



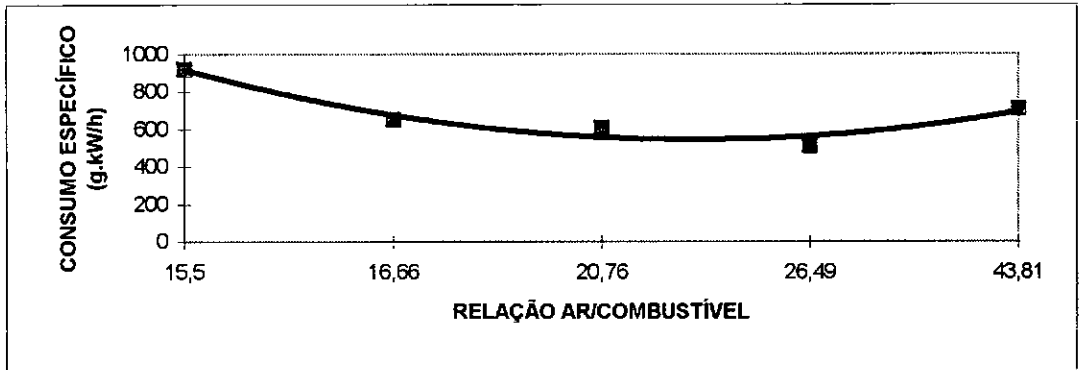
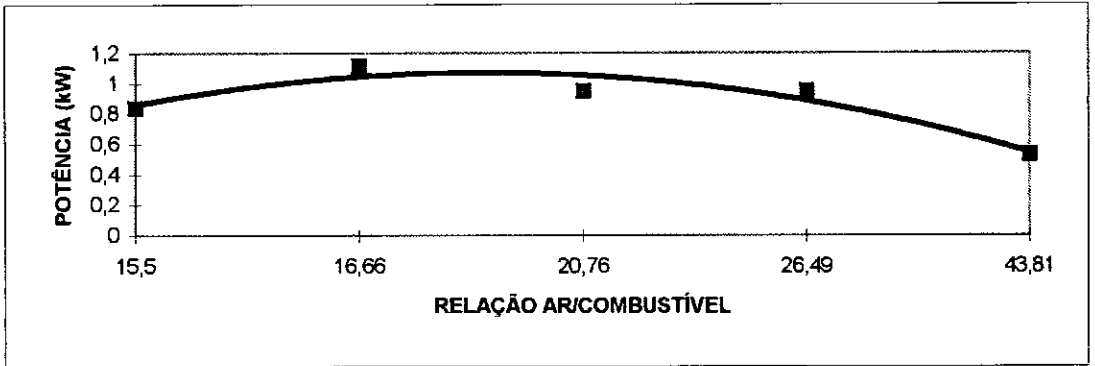
# GÁS NATURAL - DIRETO

TAXA - 12:1                      R A/C - 16,66

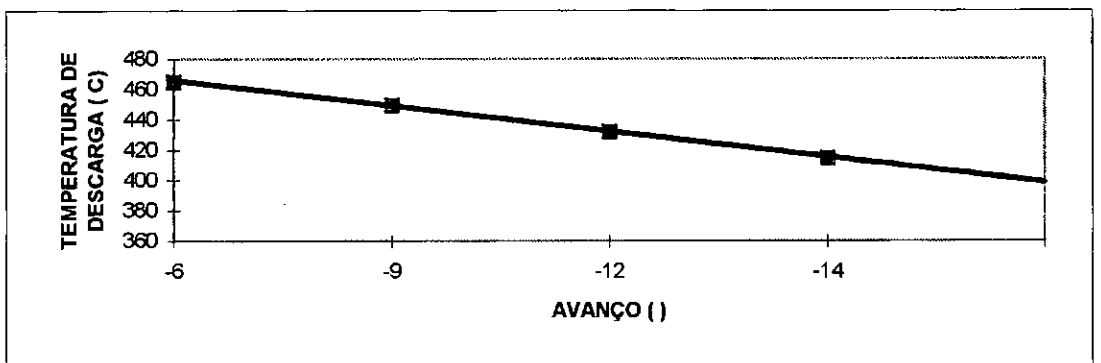
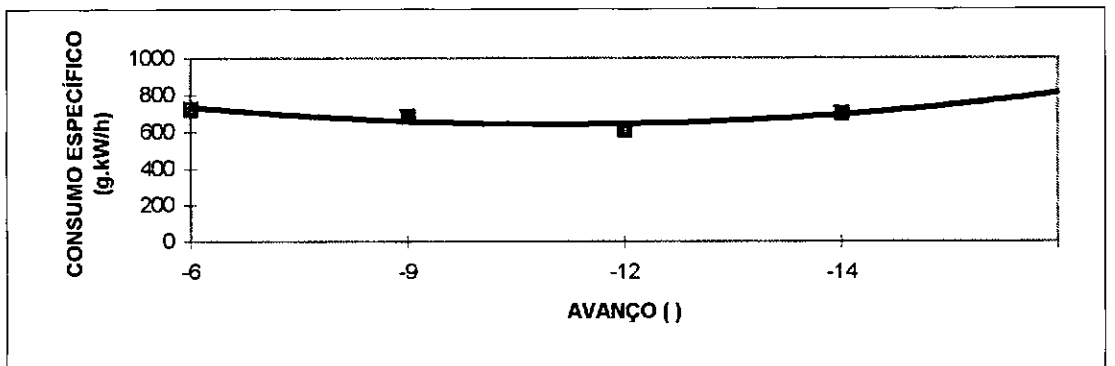
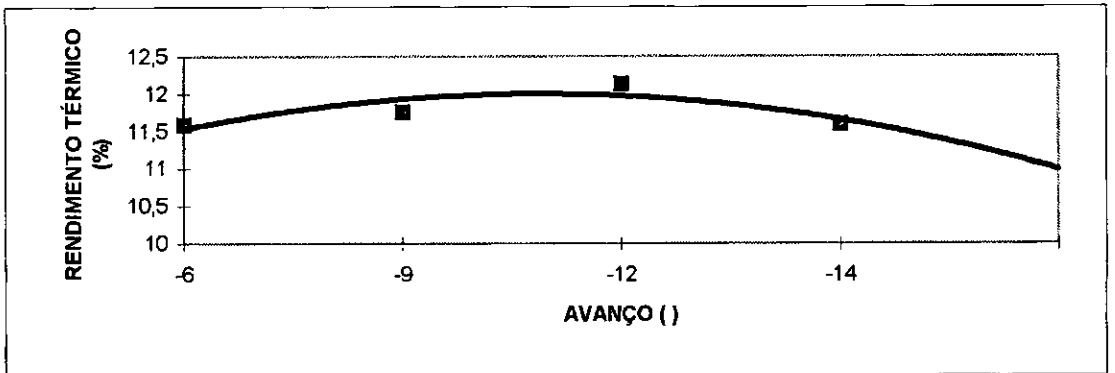
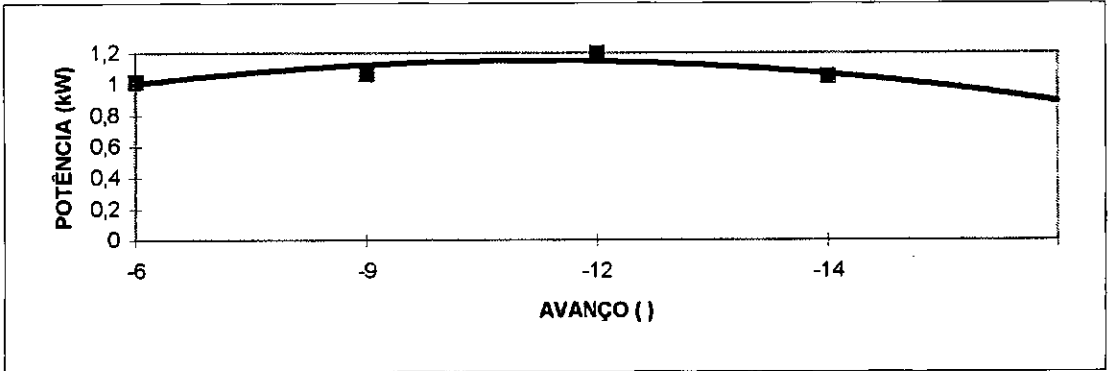


TAXA - 12:1

AVANÇO - - 16



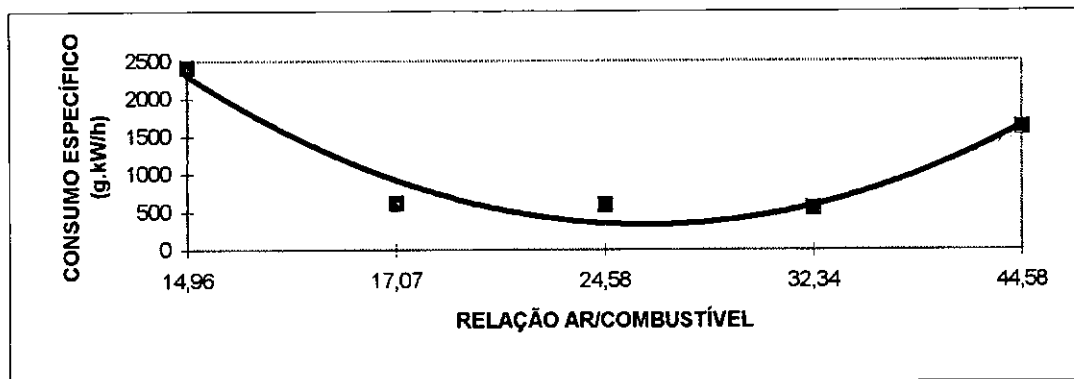
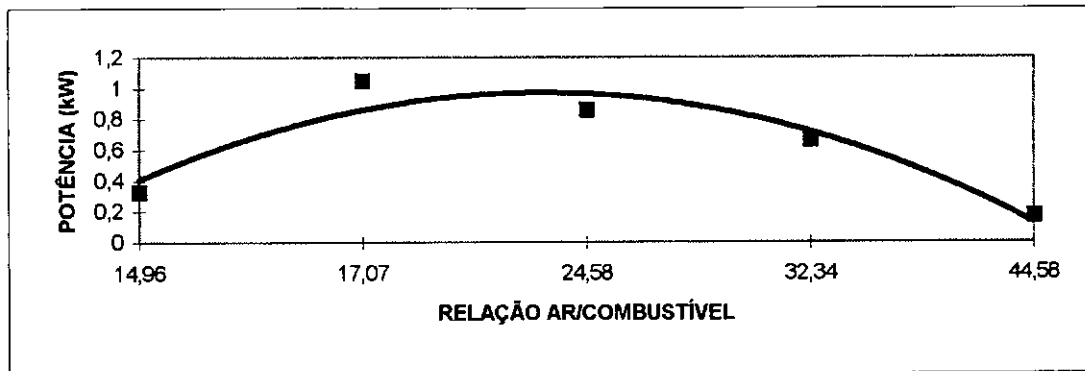
GÁS NATURAL - DIRETO  
TAXA - 14:1 R A/C - 17,07





TAXA - 14:1

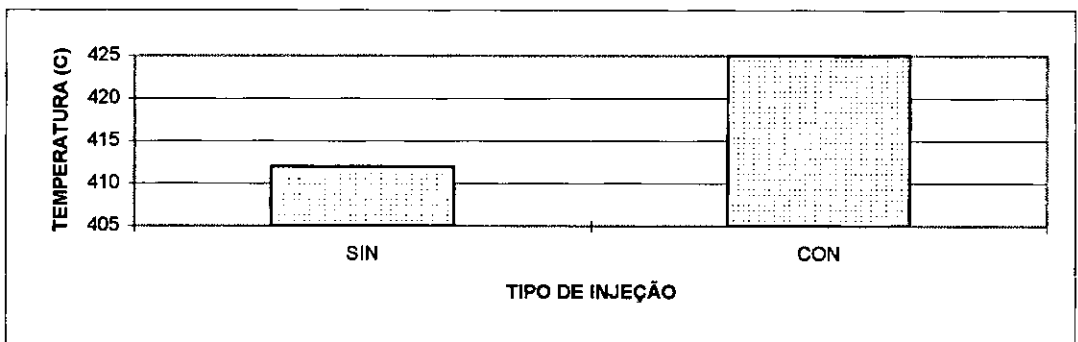
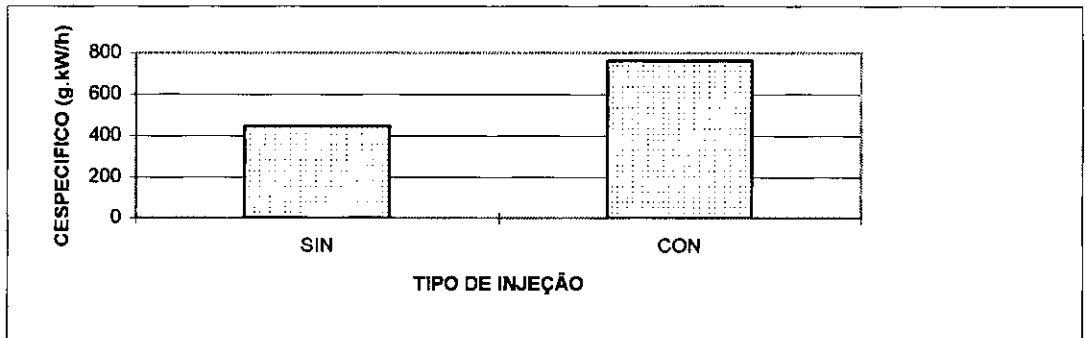
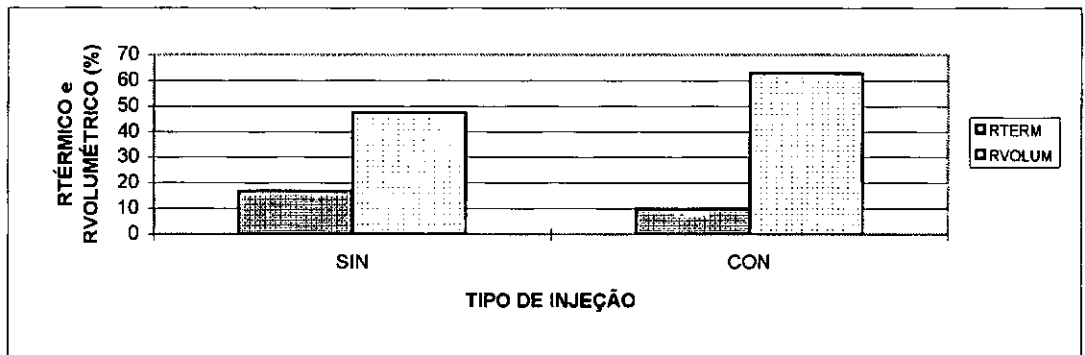
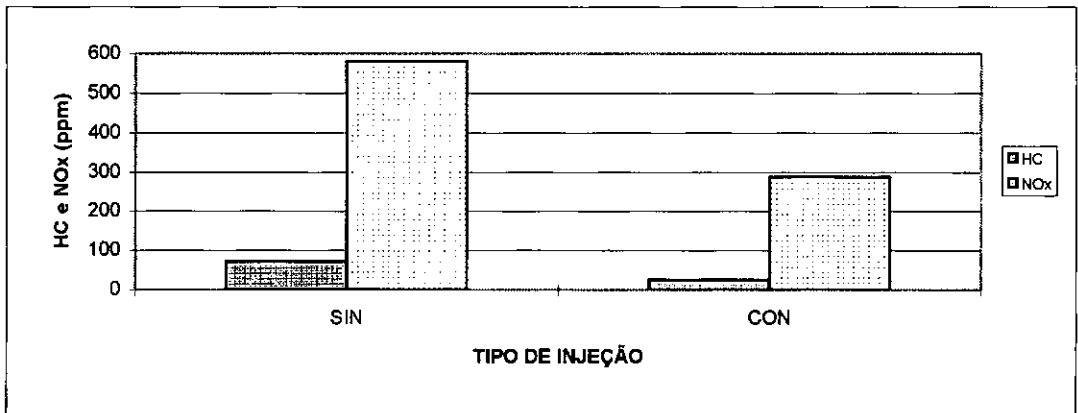
AVANÇO - - 12



## GÁS NATURAL - MESMA POTÊNCIA

DIRETA x SINCRONIZADA

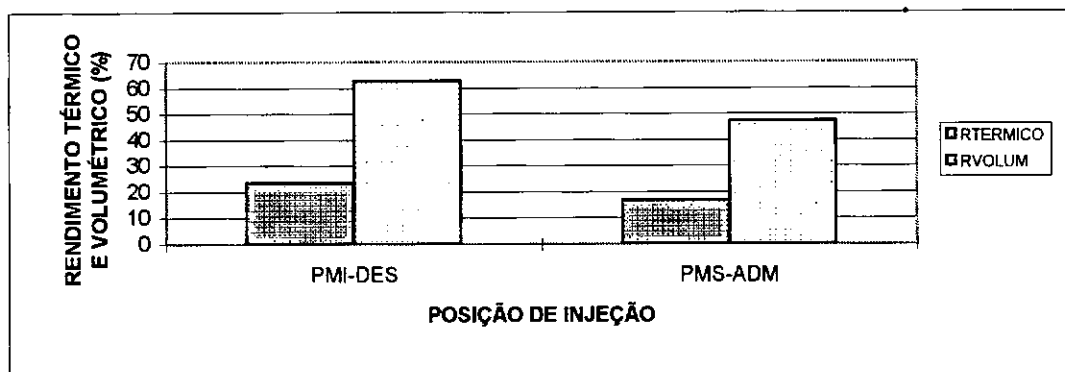
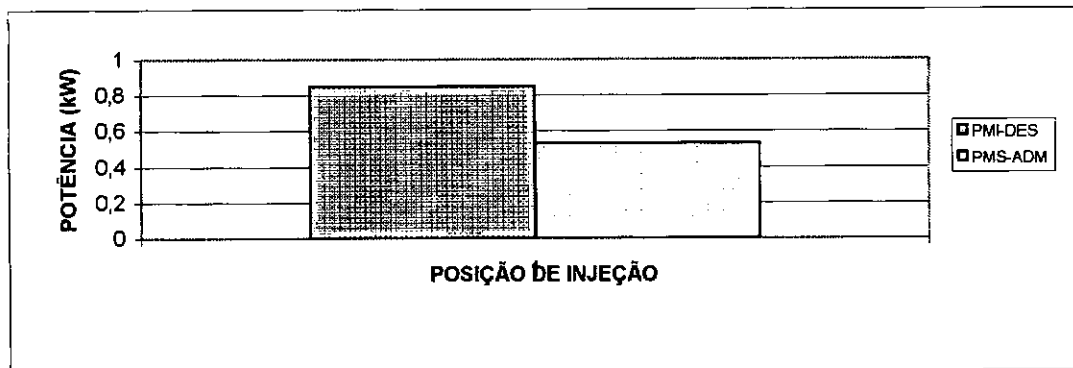
TAXA - 12:1 AVANÇO - 9



# GÁS NATURAL - POSIÇÃO DE INJEÇÃO

SINCRONIZADA

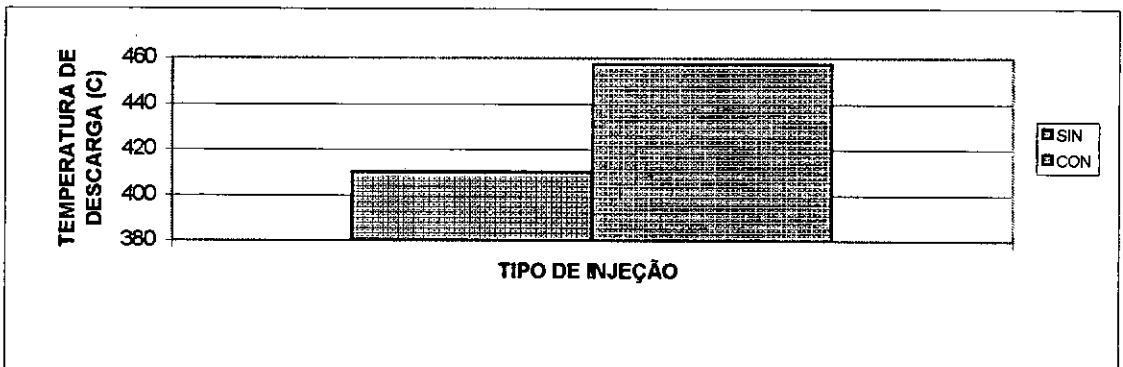
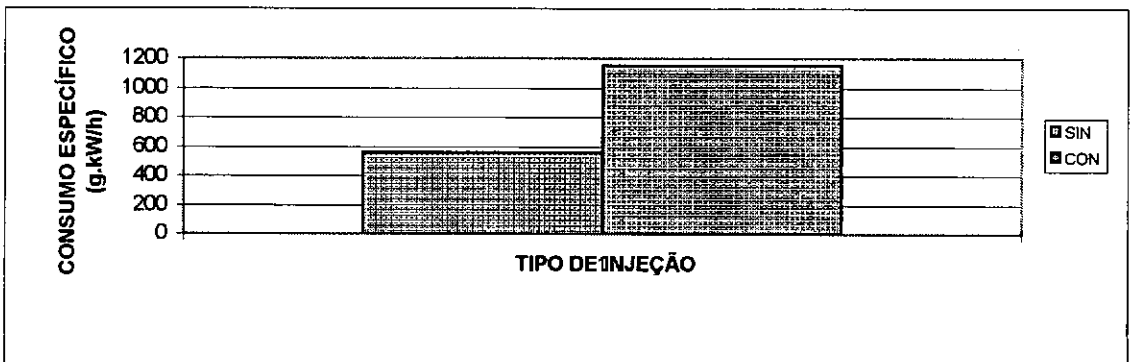
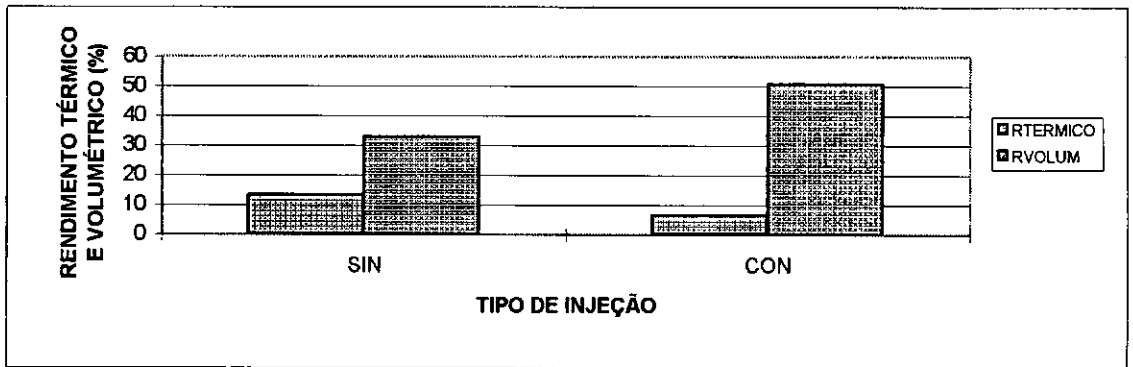
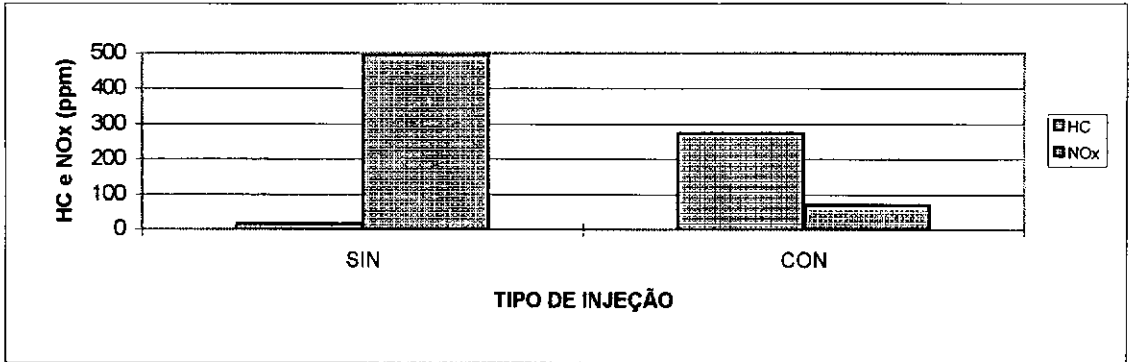
TAXA - 12:1 AVANÇO - -9



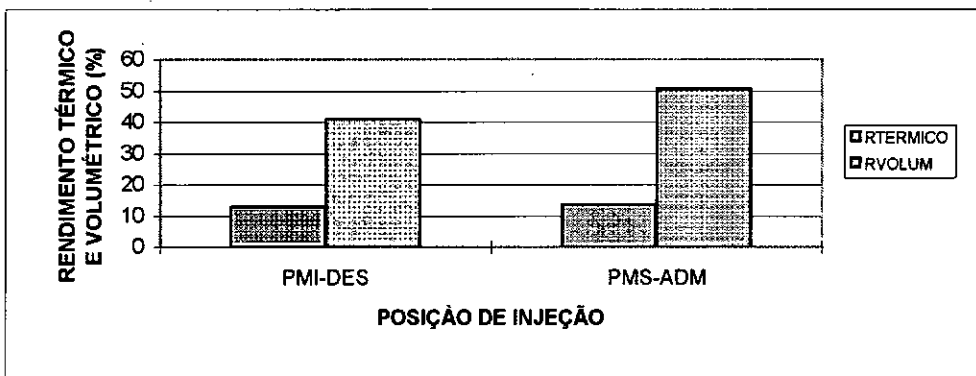
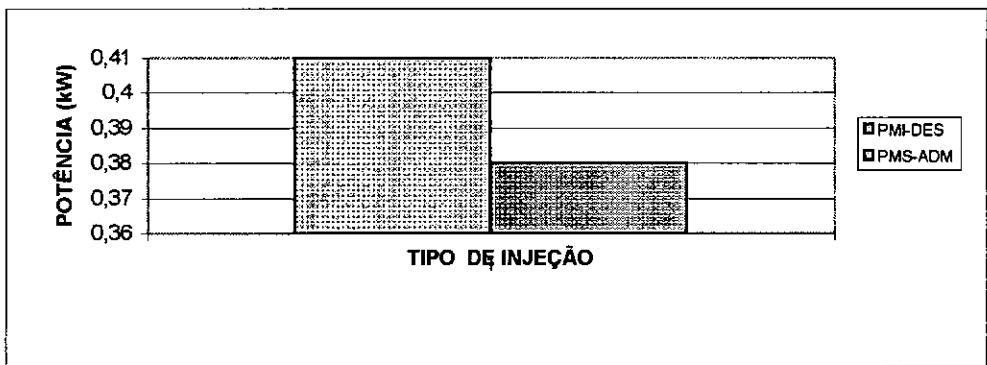
## GÁS NATURAL - MESMA POTÊNCIA

### DIRETA x SINCRONIZADA

#### TAXA - 12:1 AVANÇO - -9

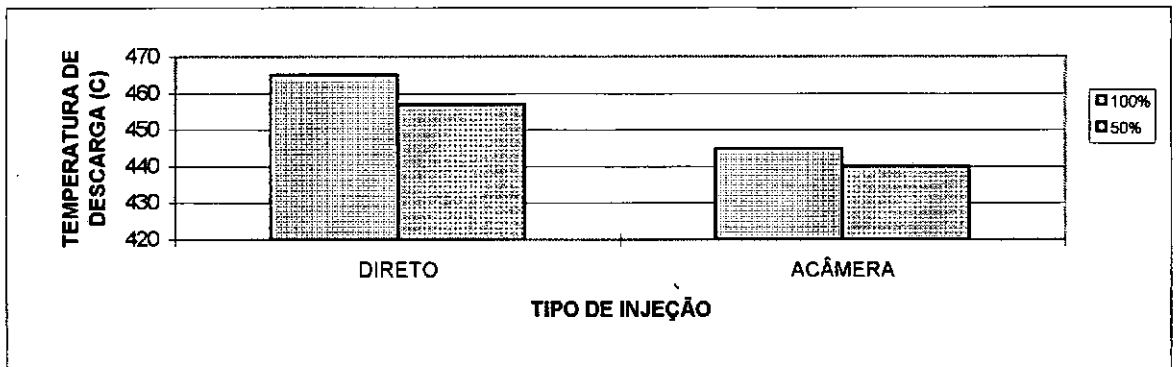
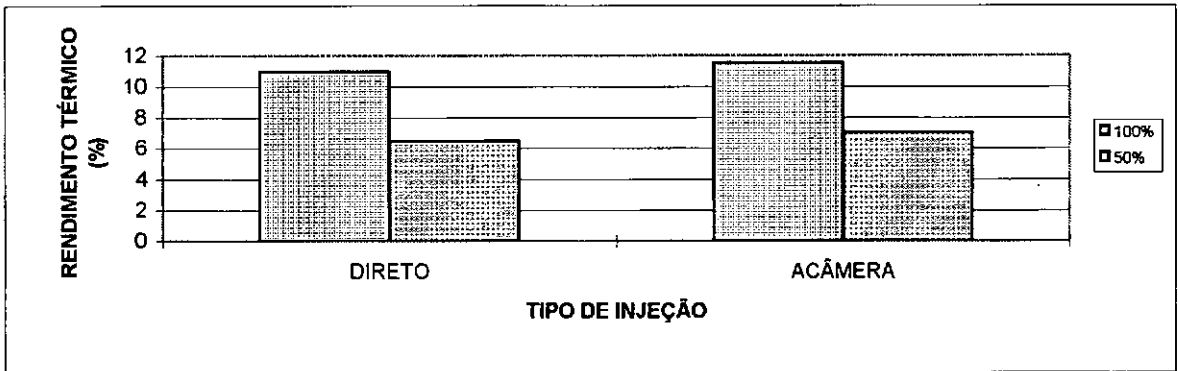
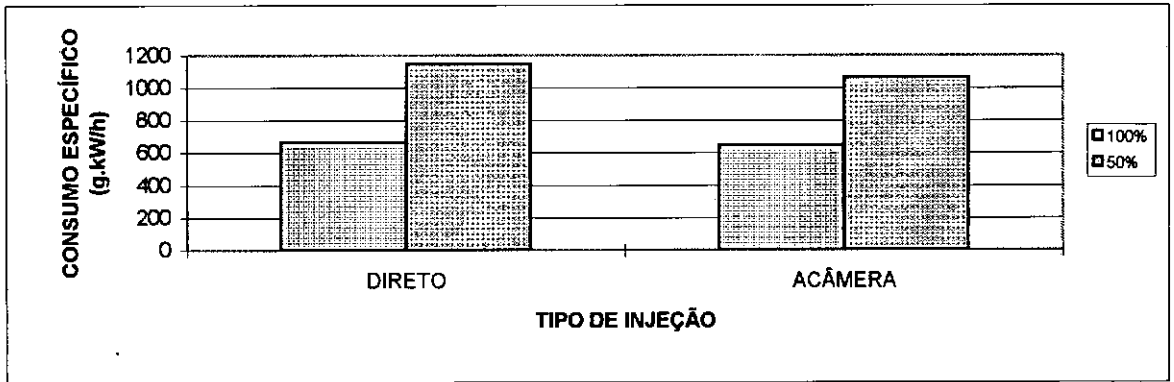
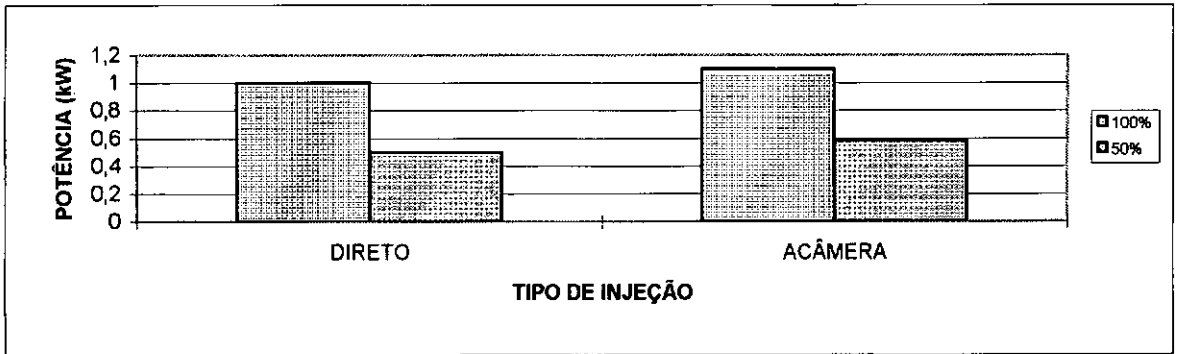


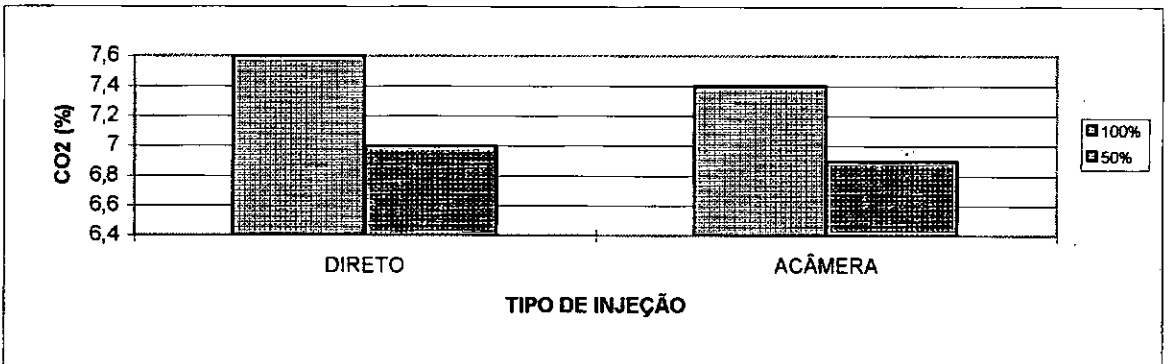
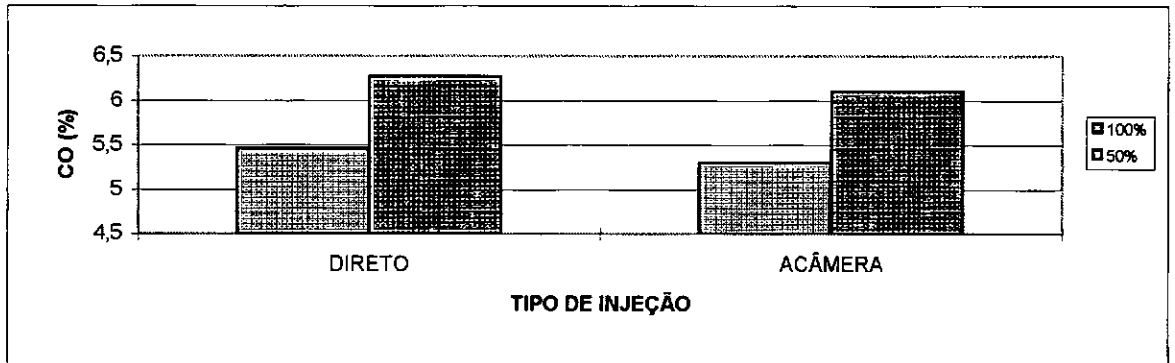
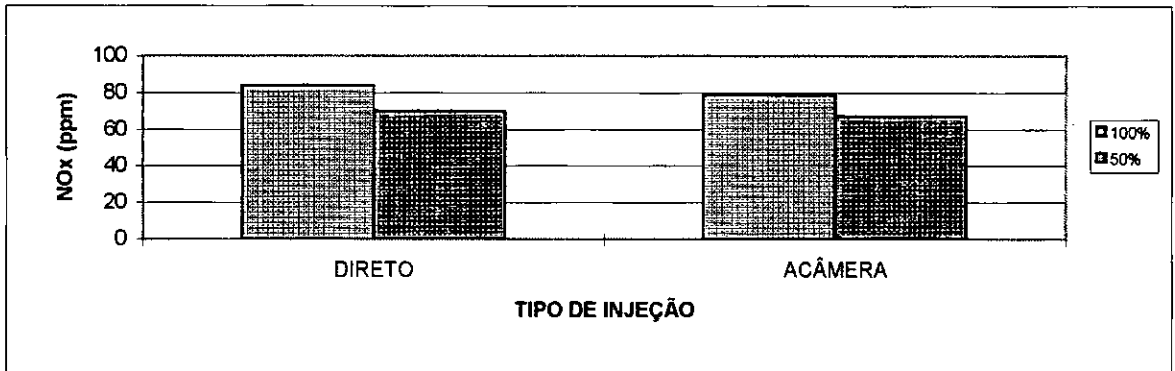
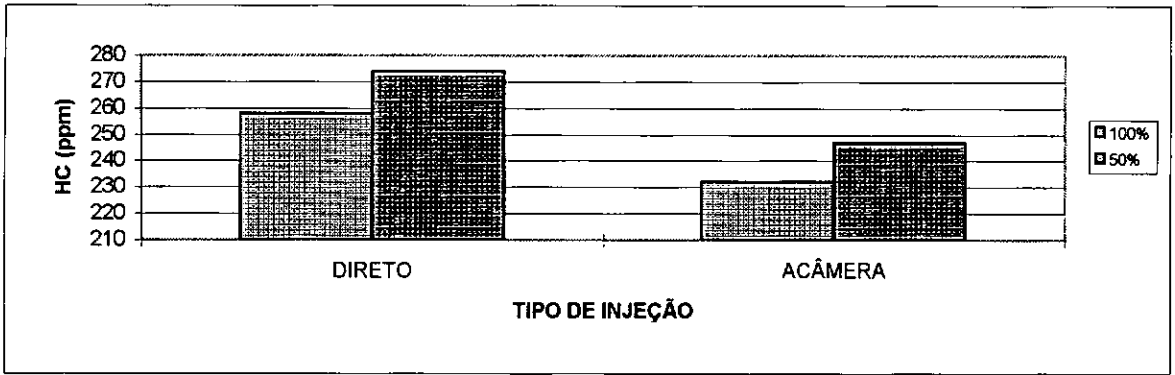
**GÁS NATURAL - POSIÇÃO DE INJEÇÃO**  
SINCRONIZADA  
TAXA - 12:1 AVANÇO - -12



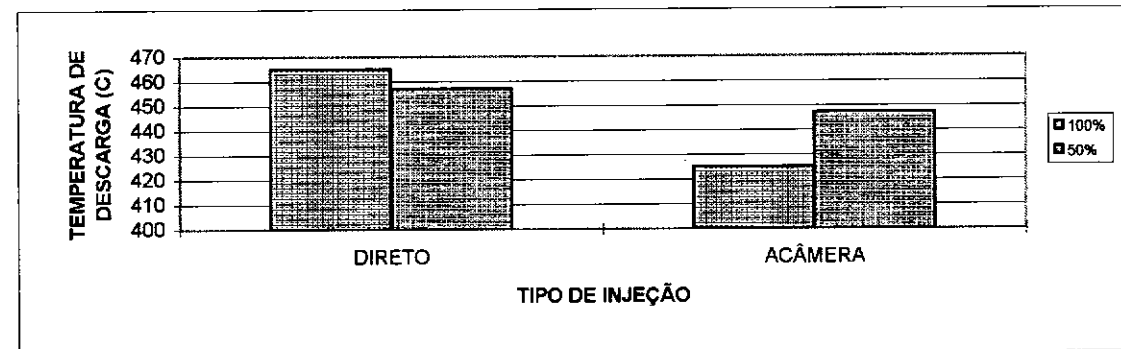
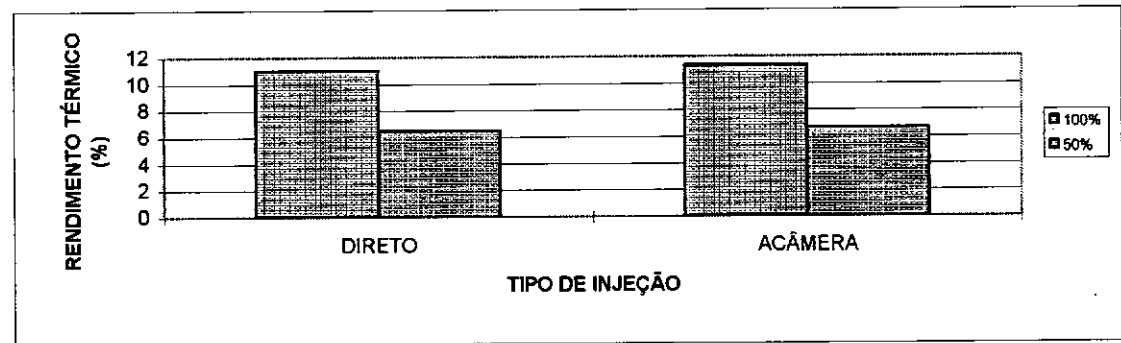
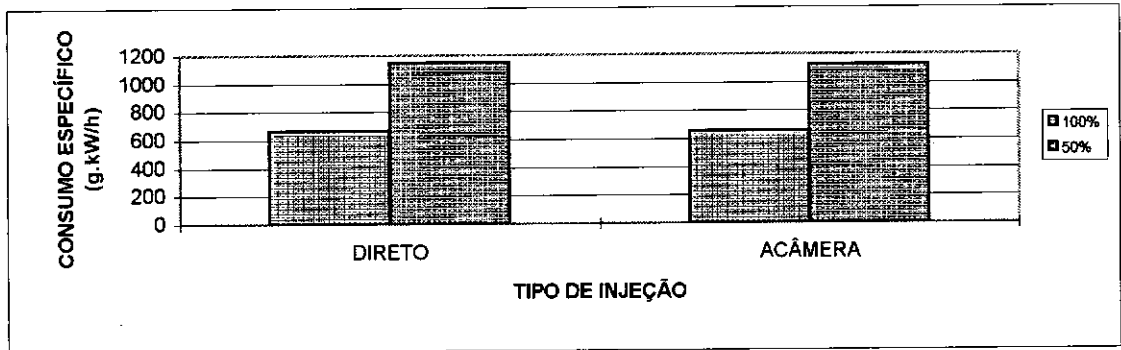
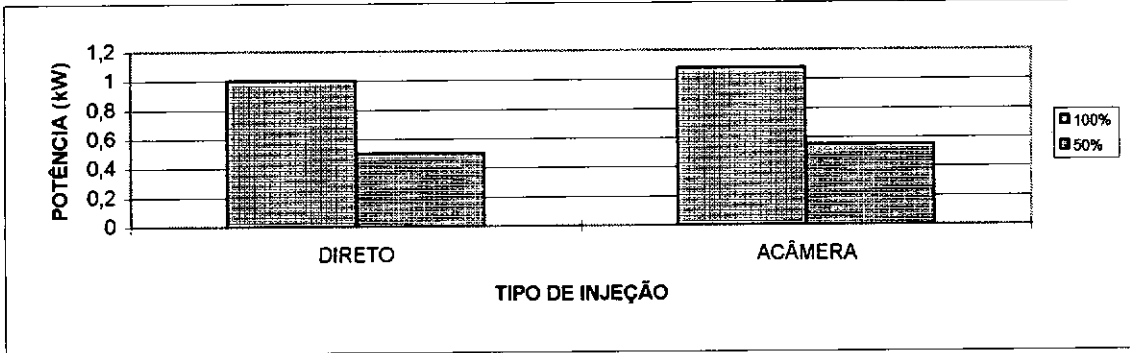
## GÁS NATURAL - DIRETA x ANTE-CÂMERA

### POSIÇÃO DE INJEÇÃO - 50 APOS PMS

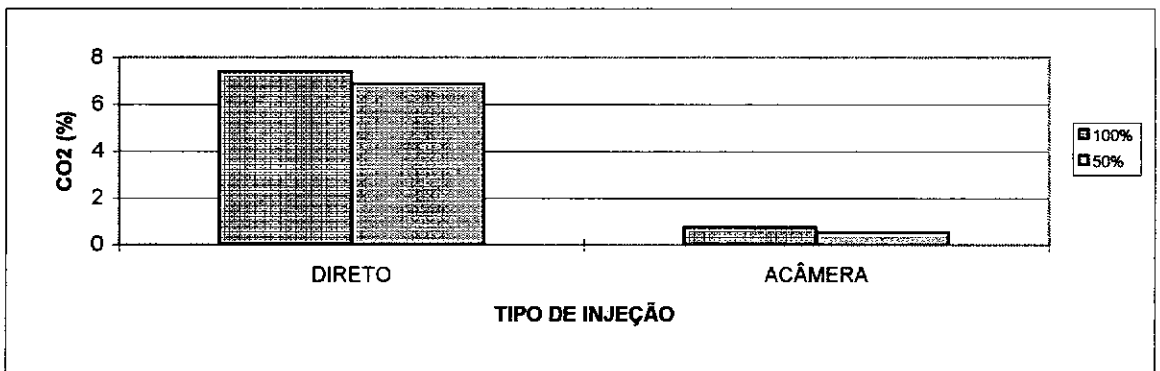
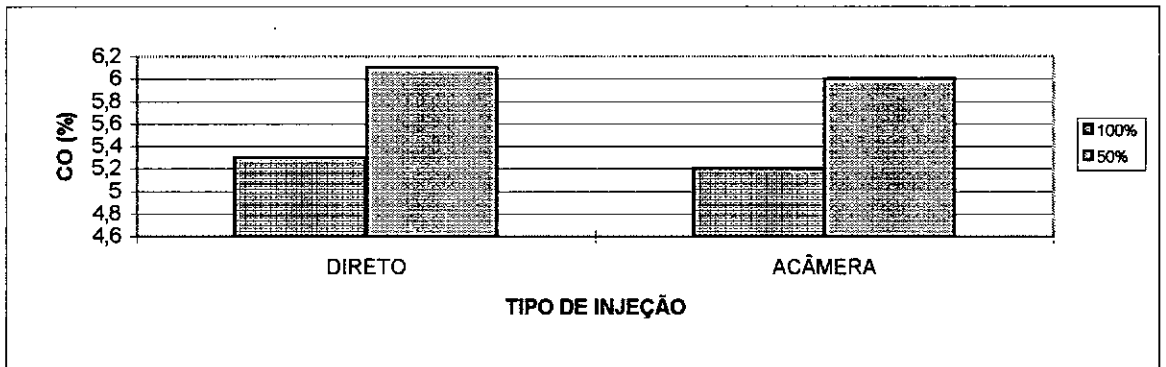
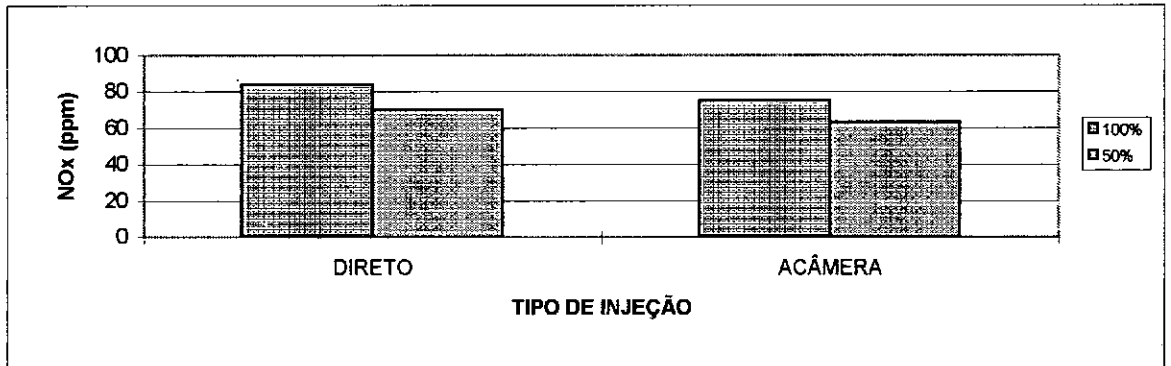
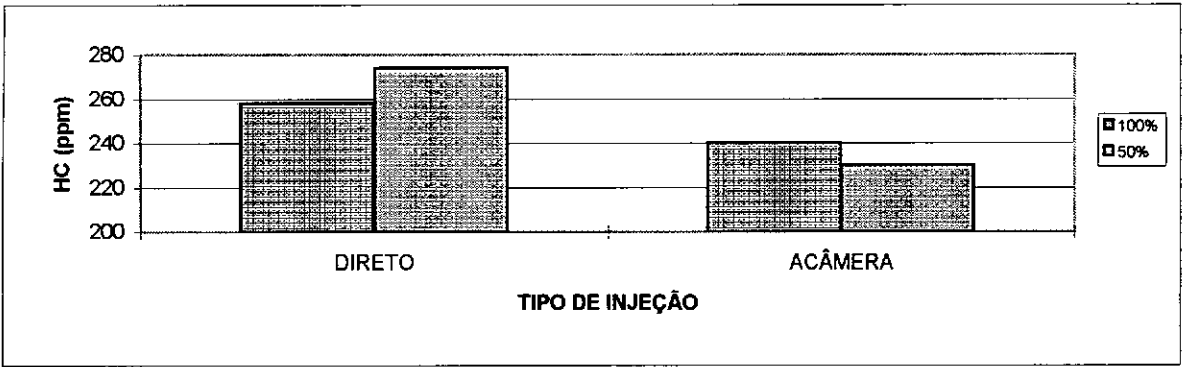




**GÁS NATURAL - DIRETA x ANTE-CÂMERA**  
**POSIÇÃO DE INJEÇÃO - 10 APÓS PMS**  
**TAXA - 12:1 AVANÇO - -12**

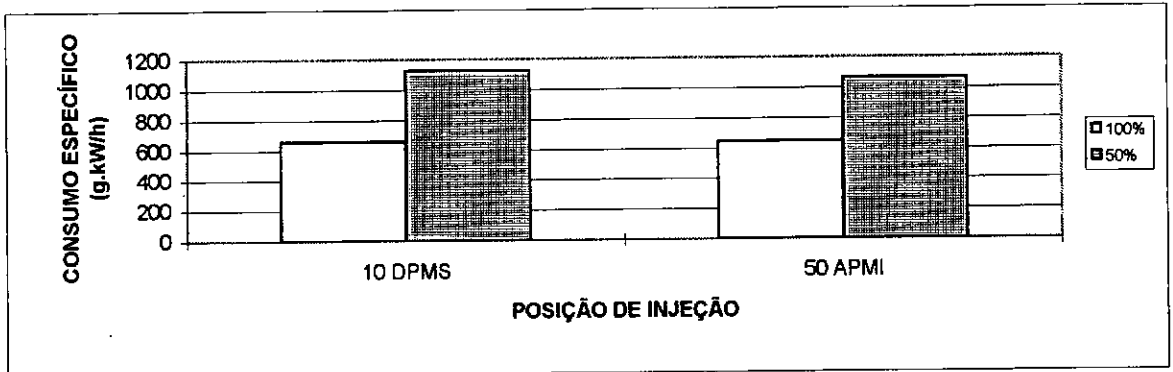
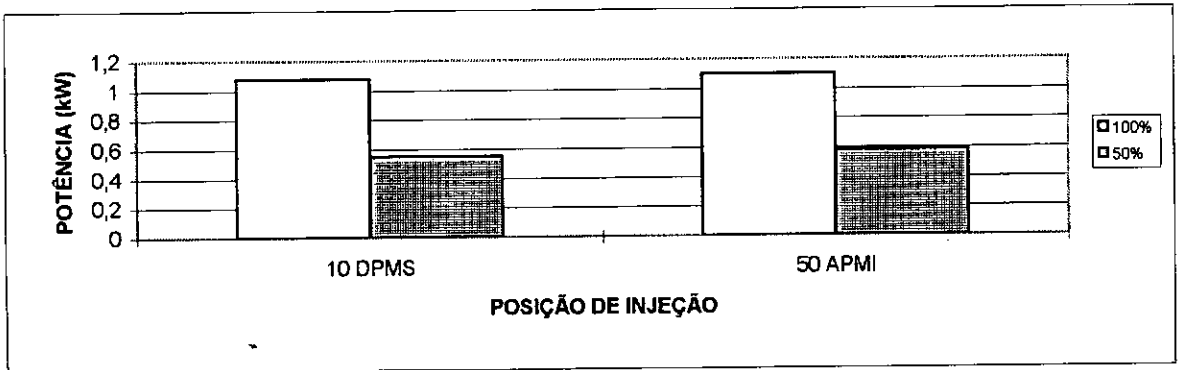






## GÁS NATURAL - POSIÇÃO DE INJEÇÃO

10 DEPOIS PMS x 50 APÓS PMI



**G - Programas**

G.1 - Dimensionamento da Placa de Orifício

G.2 - Cálculo da Vazão de Ar

```

*****
CALCULO DE PLACAS DE ORIFICIO DE PEQUENOS DIAMETROS
*****
ENTRADA DE DADOS
*****
PRINT *, 'ESTIMATIVA DO DIAMETRO DO ORIFICIO'
PRINT *, ' '
PRINT *, 'ENTRE COM OS DADOS DE VAZAO:'
PRINT *, 'DIAMETRO DO TUBO (mm):'
READ *, DT
IF ((DT.GT.40).OR.(DT.LT.13)) THEN CALL FIM(1)
ENDIF
PRINT *, 'VAZAO MAXIMA (kg/s):'
READ *, Q
PRINT *, 'ALTURA MANOMETRICA (Pa):'
READ *, H
PRINT *, ' '
PRINT *, 'ENTRE COM OS DADOS DO GAS:'
PRINT *, 'DENSIDADE DO GAS (kg/m3):'
READ *, DENS
PRINT *, 'VISCOSIDADE DO GAS (Pa.s):'
READ *, VISC
PRINT *, ' '
PRINT *, 'ENTRE COM A PRECISAO DESEJADA:'
READ *, ERRO
PRINT *, ' '
*****
CALCULO DE CEB2
*****
CEB2=Q/(1.1107D0*(DT/1000D0)**2*(DENS*H)**.5)
PRINT *, 'CEB2= ', CEB2
*****
CALCULO DO NUMERO DE REYNOLDS
*****
RE=1.273D0*Q/(DT*VISC/1000D0)
PRINT *, 'RE= ', RE
IF (RE.LT.1000) THEN CALL FIM(2)
ENDIF
*****
APROXIMACAO PELO METODO DA BISSECCAO
*****
A=0.1
B=0.8
K=0
10 IF ((B-A).GT.ERRO) THEN
    K=K+1
    IF (K.GT.1000) THEN
        CALL FIM(3)
    ENDIF
    M=Y(A, CEB2, RE, DT)

    X=(A+B)/2
    IF (M*Y(X, CEB2, RE, DT).GT.0) THEN
        A=X
    ELSE
        B=X
    ENDIF
    GOTO 10
ENDIF
*****
CALCULO DO DIAMETRO
*****
X=(A+B)/2
K=K+1

```

```

D=X*DT
PRINT *, ' '
PRINT *, 'DIAMETRO DO ORIFICIO= ', D, ' mm'
END

```

183

```

DOUBLE PRECISION FUNCTION Y(BETA,CEB2,RE,DT)
DOUBLE PRECISION CE,BM,BETA,RE,CEB2,DT
CE = .5991D0 + .1118D0/DT+(.3155D0 +.4445D0/DT)*(BETA**4 +
# 2*BETA**16)
BM = .0132D0/DT - .000192D0 +(.01648D0 - .02946D0/DT)
# *(BETA**4 + 4 *BETA**16)
Y = (CE+BM*(1E6/RE)**.5)*BETA**2-CEB2
END

```

```

SUBROUTINE FIM(NERR)
INTEGER NERR
IF (NERR.EQ.1) THEN
PRINT *, '<ERRO 1> DIAMETRO DO TUBO FORA DA ESPECIFICACAO'
ELSE IF (NERR.EQ.2) THEN
PRINT *, '<ERRO 2> N. REYNOLDS <= 1000'
PRINT *, 'VAZAO BAIXA OU D MUITO GRANDE'
ELSE IF (NERR.EQ.3) THEN
PRINT *, '<ERRO 3> A FUNCAO NAO CONVERGIU'
ENDIF
STOP
END

```

```

*****
CALCULO DE VAZAO DE AR UTILIZANDO TAMBOR
*****

```

```

PROGRAM CAL_VAZAO
INTEGER I,J
OPEN(3,FILE='DADOS.DAT',STATUS='UNKNOWN')
OPEN(4,FILE='SAIDA.DAT',STATUS='UNKNOWN')
READ(3,*)I
DO 100 J=1,I
READ(3,*)P,d,TT,PT
IF (d.EQ.0.5) THEN
W_TAMBOR = (-0.859599*(P**4))+(6.91429*(P**3))
- (21.0751*(P**2))+(37.7048*P)+0.9165
ELSE
W_TAMBOR = (-3.84318*(P**4))+(26.9292*(P**3))
- (69.8969*(P**2))+(100.917*P)-0.5715
END IF

```

```

CALL CAL_RKP
CALL CAL_RKT
W_TAMBOR = W_TAMBOR * RKP * RKT
WRITE(4,15)W_TAMBOR
15 FORMAT (F9.3)
PRINT *, '*****'
PRINT *, 'VAZAO DE AR'
PRINT *, '*****'
PRINT 200,WTAMBOR
200 FORMAT (T5,'WTAMBOR= ',F8.5)
100 CONTINUE
CLOSE (3)
CLOSE (4)
END

```

```

*****
FATOR DE CORRECAO PARA PRESSAO

```

\*\*\*\*\*184\*\*\*\*\*

```
SUBROUTINE CAL_RKP
RKP = (20.6897*PT)+9.1931
RETURN
END
```

\*\*\*\*\*  
FATOR DE CORRECAO PARA TEMPERATURA  
\*\*\*\*\*

```
SUBROUTINE CAL_RKT
RKT = (-592.783*TT)+660.876
RETURN
END
```

## **VI - Bibliografia**

- [1] Associação Brasileira de Engenharia Automotiva - AEA, Gás Natural, Brasil, 1992.
- [2] ASTM Manual for Rating Motor, Diesel and Aviation Fuels - ASTM, Estados Unidos, 1972.
- [3] M - 5000 Air Fuel Meter, Go Power Systems.
- [4] The Meriam Laminar Flow Meter - Model 50MC2, The Meriam Instruments Company, Cleveland, 1990.
- [5] Fiúza, Sávio B., Estudo Experimental do Poder Anti-Detonante do Álcool e da Gasolina em Motor CFR-Octano, Projeto Final, UFRJ, Rio de Janeiro, 1990.
- [6] Granado, A. C., Fonseca, D. C. e Moreira, M. F., Comparação de Desempenho em Motor CFR entre Gás Natural, Gasolina e Álcool, Projeto Final, UFRJ, Rio de Janeiro, 1991.
- [7] Duarte, E. M. e Castro R. T., Sistema de Medição de Consumo de Gás, Projeto Final de Curso, UFRJ, Rio de Janeiro, 1993.
- [8] Junqueira, P., Análise das Emissões e do Desempenho de um Motor Monocilíndrico Tipo CFR utilizando Etanol Hidratado como Combustível, Tese de Mestrado, PUC, Rio de Janeiro, 1988.
- [9] Delmée, G. J., Manual de Medição de Vazão, Segunda Edição, Editora Edgard Blucher, 1989.
- [10] Souza, R., Instrumentação E Controle, Primeira Edição, UFRJ, Rio de Janeiro, 1994.
- [11] IOPE, Catálogo de Termometria, São Paulo, 1985.

- [12] Barreto, M. R., Utilização de Gás Natural Comprimido em Motores Aspirados do Ciclo Otto, BR Distribuidora, Rio de Janeiro, 1989.
- [13] Sistema de Análise de Gases Compactos, NAPRO, São Paulo, 1994.
- [14] Measurement Uncertainty - ASME, New York, 1985.
- [15] Injeção Eletrônica de Combustível, LE-Jetronic, Bosch, São Paulo, 1993.
- [16] Sistema de Injeção Múltipla de Combustível MPFI, General Motors, São Paulo, 1992.
- [17] Maxson, J.A. e Oppenheim A.K., Pulsed Jet Combustion, University of California, Vigésimo Terceiro Symposium on Combustion, 1990.
- [18] Holman, J., Experimental Methods for Engineers, Primeira Edição, Mc Grall Hill Book Company, 1989.
- [19] Heywood, J. , Internal Combustion Engine Fundamental, Segunda Edição, Mc Grall Hill Book Company, 1988.
- [20] Van Wylen, G. J., Fundamentals Of Classical Thermodynamics, Terceira Edição, Jonh Wiley & Sons, 1989.
- [21] Karim, G. A. e Klat, S. R., The Measurement of the Mass Flow Rate of Different Gases Using a Choked Nozzle, Mechanical Engineering Department, Imperial College, London, 1984.
- [22] Eghbali, B., Natural Gas as a Vehicular Fuel, Abadan Institute of Technology, Iran, 1985.
- [23] Karim, G. A. e Klat S. R., The Knock and Autoignition Characteristics of some Gaseous Fuels and their Mixtures, Mechanical Engineering Department, Imperial College, London, 1965.



- [24] Jones, A. L. e Evans R. L., Comparison of Burning Rates in a Natural Gas Fueled Spark Ignition Engine, Mechanical Engineering Department, University of British Columbia, Canada, 1985.
- [25] Beck, N.J., Johnson, W.P. e Petersen P.W., Optimized E.F.I. for Natural Gas Fueled Engines, BKM, Inc., 1993.
- [26] Beck, N.P., Johnson, W.P. e Patterson S.H., Electronic Fuel Injection for Two Stroke Cycle Gasoline Engines, BKM, Inc, 1986.
- [27] Goulburn, J.R., Blair G.P. e Donohoe, M., A Natural Gas Fired Two Stroke Engine designed for High Thermal Efficiency and Low Environmental Impact, Mechanical Engineering Department, The Queen's University of Belfast, UK, 1993.
- [28] Johnson, W.P., Beck, N.J., Petersen P.W. e Klopp G., Electronic Fuel Injection for Dual Fuel Diesel Methane, SAE Technical Paper Series, Future Transportation Technology Conference and Exposition, Canada, 1989.
- [29] Beaty, K.D., Egnell R. e Ekelund M, Development of a Low Emission Volvo 9.6 Liter Natural Gas Fueled Bus Engine, SAE Technical Paper Series, Conference and Exposition, California, USA, 1992.
- [30] Snyder W.E., Wright M.R. e Dexter S.G., A Natural Gas Engine Combustion Rig with High Speed Photography, Transactions of the ASME, Vol. 110, 1988.
- [31] Noble A.D. e Beaumont A.J., Control System for a Low Emissions Natural Gas Engine for Urban Vehicles, Ricardo Consulting Engineers, Ltd., 1991.
- [32] Motor Brasileiro à Gás Natural, CTA-IPD-PMO, 1990.
- [33] Fernandes, L.C., Estudo de Viabilidade da Utilização de Gás Natural em Motores Dois Tempos - Ciclo Otto, Terceiro Seminário Internacional sobre Gás Natural, IBP, 1992.

- [34] Ventura L.M., Utilização de Gás Natural e Biogás como Combustível para Veículos Comerciais, Mercedes Benz do Brasil S/A, 1992.
- [35] Programa de Utilização de Gás Natural Comprimido no Transporte Coletivo, Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, 1991.
- [36] Penido, P., Os Motores de Combustão Interna, Editora Leni, Belo Horizonte, 1983.
- [37] Pacitti T., Programação e Métodos Computacionais 2, Livros Técnicos e Científicos Editora S/A, Rio de Janeiro, 1977.
- [38] Renzetti, R.B., Autocad Manual de Referência, Mc Grall Hill do Brasil Ltda, São Paulo, 1990.
- [39] Kuo, K.K., Principles of Combustion, John Wiley & Sons, New York, 1978.
- [40] Obert, E.F., Motores de Combustão Interna, Editora Globo, Porto Alegre, 1971.