MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA

Utilização de Óleo de Dendê in Natura em Diesel Geradores

Valéria Said de Barros Pimentel
DIAV/INT
Orientador: Prof. Carlos Rodrigues Belchior
COPPE/UFRJ

Introdução

- O aproveitamento energético de óleos vegetais foi discutido na década de 80, em duas concepções distintas. De um lado entendia-se o óleo vegetal como uma alternativa cuja utilização exigiria modificações nos motores diesel convencionais, enquanto por outro lado constituiria, tão somente, promissora matéria-prima a ser, necessariamente, transformada em um combustível tecnicamente equivalente ao óleo diesel.
- A considerável evolução pela qual passou o motor diesel, bem como, a otimização conhecida pelas técnicas de refino do petróleo, então abundante e barato, contribuíram em grande parte para que os óleos vegetais não encontrassem aproveitamento contínuo no campo prático. Principalmente quando confrontamos as características físico-químicas do óleo vegetal com o óleo diesel, podemos antecipar a ocorrência de problemas operacionais para uma eventual utilização prolongada.

Introdução

- As pesquisas sobre a utilização de óleos vegetais “in natura mencionam à ocorrência de acentuada formação de depósitos em bicos injetores, paredes de cilindros, cabeças de pistão, câmara de combustão e válvulas de escapamento dos motores, que nada mais representam do que uma conseqüência da alta viscosidade e da quase ausência de volatilidade desses óleos nas temperaturas normais de trabalho dos motores.
- Assim a introdução de pequenas interferências no óleo vegetal “in natura” , como aquecimento do mesmo para diminuição da viscosidade, bem como algumas modificações construtivas em motores comerciais ciclo Diesel, como aumento da taxa de compressão, aumento do débito da bomba injetora, mudança na temperatura do ar de admissão e alteração no avanço de injeção, podem resultar em um melhor desempenho do motor operando com óleo vegetal.

Geração de Energia em Comunidades Isoladas

Na região amazônica onde grandes usinas hidrelétricas e instalação de linhas de transmissão são difíceis a eletrificação de comunidades isoladas é feita através da utilização de diesel-geradores.

Porém, devido aos altos custos de derivados do petróleo e do seu transporte, o custo da energia elétrica torna-se proibitivo, prejudicando o desenvolvimento da região devido à falta de energia elétrica contínua e confiável.

Assim os óleos vegetais "in natura" apresentam se como uma alternativa natural, considerando dentre outros fatores, a possibilidade técnica de serem utilizados como combustíveis em diesel-geradores e a disponibilidade de grande variedade de espécies oleaginosas.

Vantagens do uso energético de óleos vegetais em motores

- Das vantagens ambientais no uso energético de óleos vegetais em motores, destacam-se a baixa emissão de SO2 (responsável pela chuva ácida) e a recuperação de áreas degradadas pela implantação de florestas de oleaginosas e o balanço de carbono emitido que provoca o efeito estufa.
- Entretanto, aspectos ambientais sobre a produção local, aliados à necessidade de eletrificação de comunidades isoladas, bem como a geração de empregos, permitindo a fixação do homem no campo, tornam-se fatores motivadores da utilização desse combustível.

Escolha do Óleo Vegetal

- No Brasil, as oleaginosas mais estudadas para substituição do diesel são a soja, o amendoim, a mamona, o babaçu e o dendê. Entretanto, para a implantação de um programa de geração de eletricidade a partir de óleos vegetais, deve se ter em mente o caráter regional, pelas características específicas das culturas das oleaginosas.
- O dendê, única cultura perene do grupo apresenta alta produtividade por área cultivada e ampla possibilidade de cultura em grande escala, principalmente na Amazônia. Além disso, apresenta calor específico próximo ao do diesel, além de apresentar um dos mais altos números de cetano das oleaginosas.

Propriedades do Óleo de Dendê e do Óleo Diesel

Características	**Óleo de Dendê**	**Óleo Diesel**
poder calorífico superior (kcal/kg)	9723	10860
poder calorífico inferior (kcal/kg)	9104	10150
densidade relativa 15/4 ^{O}C	0.915	0.832
índice de cetano calculado	42	45 min
viscosidade cinemática a 37,8 ^{o}C (Cst)	39.6 a 43.13	1.6 a 6.0
resíduo de carbono (% peso)	0.25	0.3
ponto de fulgor (^{o}C)	>260	#
ponto de fluidez (^{o}C)	8	(-3.3) (-6.1)
ponto de névoa (^{o}C)	19/9	19/9
enxofre em peso	0.05	1.30 máx
cinzas (% peso)	<0.01	0.02 máx

Fonte: CAEEB E CENPES

Características do Óleo de Dendê Utilizado na Pesquisa

Características	Método	Resultados
água e sedimentos, % volume	ASTM D 1796	zero
densidade rel. por densímetro digital a 20/4 ºC	ASTM D 4052	0.9102
Enxofre mg/kg	ASTM D 2622	<5
poder calorífico superior , kcal/kg	ASTM D 4809	9332.45
poder calorífico inferior , kcal/kg	ASTM D 4809	8733.98
ponto de fulgor ºC	ASTM D 93	>344
ponto de fluidez ºC	ASTM D 97	6.0
resíduo de carbono Rambostton, % massa	ASTM D 524	0.2
teor de cinzas, % massa	ASTM D 482	0.003
viscosidade a 20 ºC	ASTM D 445	88.77
viscosidade a 40 ºC	ASTM D 445	38.23
viscosidade a 60 ºC	ASTM D 445	20.07
viscosidade a 100 ºC	ASTM D 445	8.064
viscosidade a 80 ºC	CALCULADO*	12.17
viscosidade a 90 ºC	CALCULADO*	10.13

Fonte: DIPROD / SEMOT - CENPES
(*) Interpolação logaritmica baseada na norma ASTM D 455

Análise do Processo

A combustão de um motor diesel é extremamente complexa, dependendo de vários fatores, tais como:

- Características do combustível;
- Características do sistema de admissão de ar e combustível; e.
- Condições de operação do motor.

- Com relação as características físico-químicas do combustível fazendo uma comparação entre o óleo de dendê o óleo diesel é possível prever alguns problemas operacionais para sua utilização como combustível.
- Um dos maiores obstáculos na utilização de óleo vegetais como combustível, é a sua **alta viscosidade**, que causa obstrução no sistema de alimentação, filtros e bicos injetores, além de dificultar a atomização do jato de combustível. Por isso, os óleos vegetais "in natura" não devem ser utilizados nos motores à temperatura ambiente, devendo ser pré-aquecidos, a fim de se reduzir a sua viscosidade

Entretanto, a temperatura apropriada de aquecimento do óleo vegetal, bem como, o conhecimento do efeito dessa temperatura no sistema de alimentação do motor, no desempenho, na formação de depósito e nas emissões, ainda não tinham definidos. Para tal, foram realizados uma análise teórica e testes experimentais de longa duração que permitiram o estabelecimento da temperatura apropriada de aquecimento do óleo de dendê, bem como, a análise dos depósitos formados e das emissões de poluentes provenientes da combustão desse óleo.

O desenvolvimento do trabalho tem na seqüência um estudo da aplicação do óleo vegetal como combustível em um motor de pesquisa em condições laboratoriais. O objetivo desse teste era a obtenção dos parâmetros que indicassem as faixas apropriadas de operação e as alterações de projeto do motor a serem ajustadas a um desempenho desejado.

COPPE UFRJ

[redacted]

ADMISSÃO DE AR

Considerando-se que os parâmetros de desempenho do motor são função da vazão mássica de ar admitida por ciclo, tem-se:

$$P = \frac{\eta_f m_a N Q_{LHV}}{nr\left(\frac{A}{F}\right)}$$

onde

P = potência

ηf = eficiência térmica

ma = massa de ar

N = rpm

QLHV = poder calorífico

nr = número de rotações do eixo (motor de quatro tempos nr=2)

(A/F) = razão ar/ combustível

- Observa-se que o desempenho de um motor pode ser melhorado aumentando-se a massa específica do ar no cilindro.
- O aumento da massa específica do ar pode ser conseguido através de um sistema de **turbo-alimentação**, onde o ar é comprimido antes de ser admitido no interior do cilindro, ou variando-se a **temperatura de admissão** do ar, já que os motores de aspiração natural sempre recebem um suprimento de ar aproximadamente constante à pressão e temperatura atmosférica, independentemente da carga do motor.
- Considerando que nos óleos vegetais a cadeia de carbono é maior que a do diesel, necessitando de maiores temperaturas e pressões para se romperem e vaporizarem, a utilização de motores turboalimentados proporciona maior desempenho do que os aspirados, porque aumenta a pressão de admissão do ar e conseqüentemente, a pressão máxima de compressão e a pressão média indicada. Entretanto, buscando uma maior representatividade entre os diesel-geradores, na ocasião da escolha do motor do ensaio, optpu-se por motores de aspiração natural.

Injeção de Combustível

A quantidade de combustível injetado na câmara de combustão por ciclo influencia diretamente a potência do motor.

A quantidade de combustível injetada por segundo, é dada por:

$$Q_f = \frac{\pi d^2}{4} n V_f \left(\frac{\theta}{360}\right)\left(\frac{60}{N}\right)\left(\frac{ni}{60}\right)$$

onde:

Qf = volume de combustível injetado por segundo

($\pi d^2/4$ x n) = área de todos os orifícios

Vf = velocidade do jato de combustível

(θ /360 x 60/N) = tempo de uma injeção

(ni/60) = número de injeções por segundo para um orifício

Como a vazão de combustível é função da velocidade do jato do combustível, esta pode ser dada pela equação:

$$V_f = C_d [2(p_{inj} - p_{cil})/ \rho_f]0.5$$

onde:

C_d = coeficiente de descarga do orifício

p_{inj} = pressão de combustível dentro do injetor, N/m2

p_{cil} = pressão de carga dentro do cilindro, N/m2

ρ_f = densidade do combustível, kg/m3

Observa-se pelas equações acima que a densidade do óleo vegetal, sendo maior que a do diesel a temperatura ambiente (ρdendê = 0.9 e ρdiesel= 0.8), provoca uma velocidade do jato do óleo vegetal menor que a do diesel.

Jato de combustível

O jato de combustível tem forma de cone com um o ângulo α e penetração L. O ângulo α e a penetração L são funções das propriedades físico-químicas do combustível como a viscosidade e a densidade, bem como da densidade do ar, da pressão de injeção e da quantidade de combustível. A equação abaixo mostra a modelagem experimental do ângulo de injeção e da penetração para combustíveis a base de óleo vegetal:

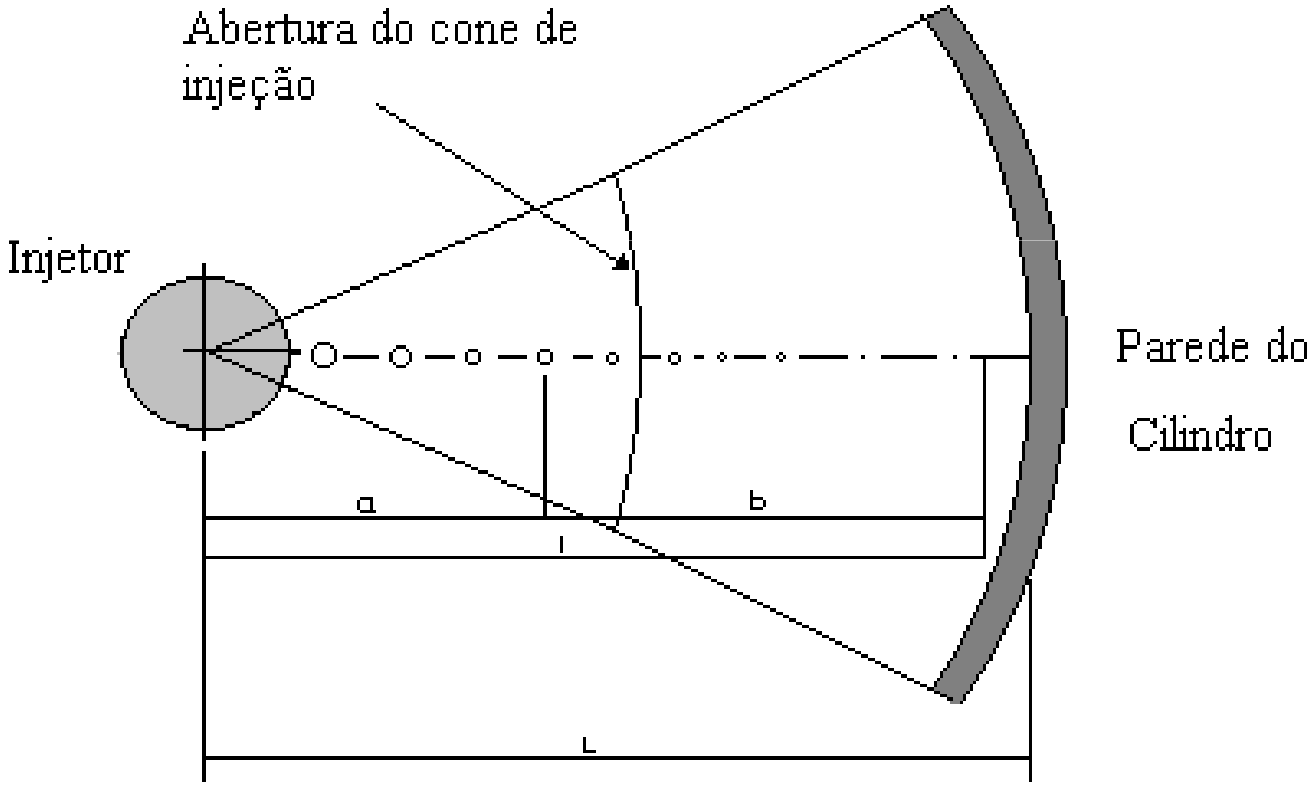
$$\alpha = 0.97\mu_f^{-0.03}\,\rho_f^{0.09}\,\rho_a^{0.14}\,\Delta p^{0.115}$$

$$L(t) = 0.461\,(\Delta p/\rho_a)^{0.25}\,\nu_f^{0.11}\,\tanh t^{\,0.715}$$

- Onde:
- μ_f = viscosidade dinâmica do combustível
- ρ_f = densidade do combustível
- ρ_a = densidade do ar,
- ν_f = viscosidade cinemática do combustível
- Δp =diferença entre a pressão de injeção e a pressão do ar no interior do cilindro
- *tanh t* = tangente hiperbólica de t no tempo t = 0.

- Baixas velocidades do combustível geram grandes gotículas, provocando uma alta penetração dentro da câmara. Velocidades da ordem de 400 m/s (diesel) geram gotículas pequenas que rapidamente se misturam e evaporam. Os óleos vegetais, devido a sua alta densidade, tendem a gerar, para as mesmas condições de operação, velocidades do jato menores e, conseqüentemente, gotículas maiores de combustível aumentando a penetração do jato.

Analisando a figura abaixo, pode-se observar que o ângulo α influencia os trechos a e b da trajetória das gotas de combustível, caracterizada pela distância L, do cone formado na injeção de combustível.



Condição para que não haja choque da partícula com a parede da câmara

- A condição para que não haja choque da partícula com a parede da câmara é a sua queima completa numa distância b menor que L. Essa condição pode ser buscada de 3 modos:
- diminuindo o atraso de ignição - trecho a;
- diminuindo o tempo para a queima completa - trecho b
- aumentando a distância L
- Para diminuirmos a penetração L do jato, para os óleos vegetais, deve-se aumentar a velocidade do jato, diminuindo a densidade do óleo através de um pré-aquecimento.

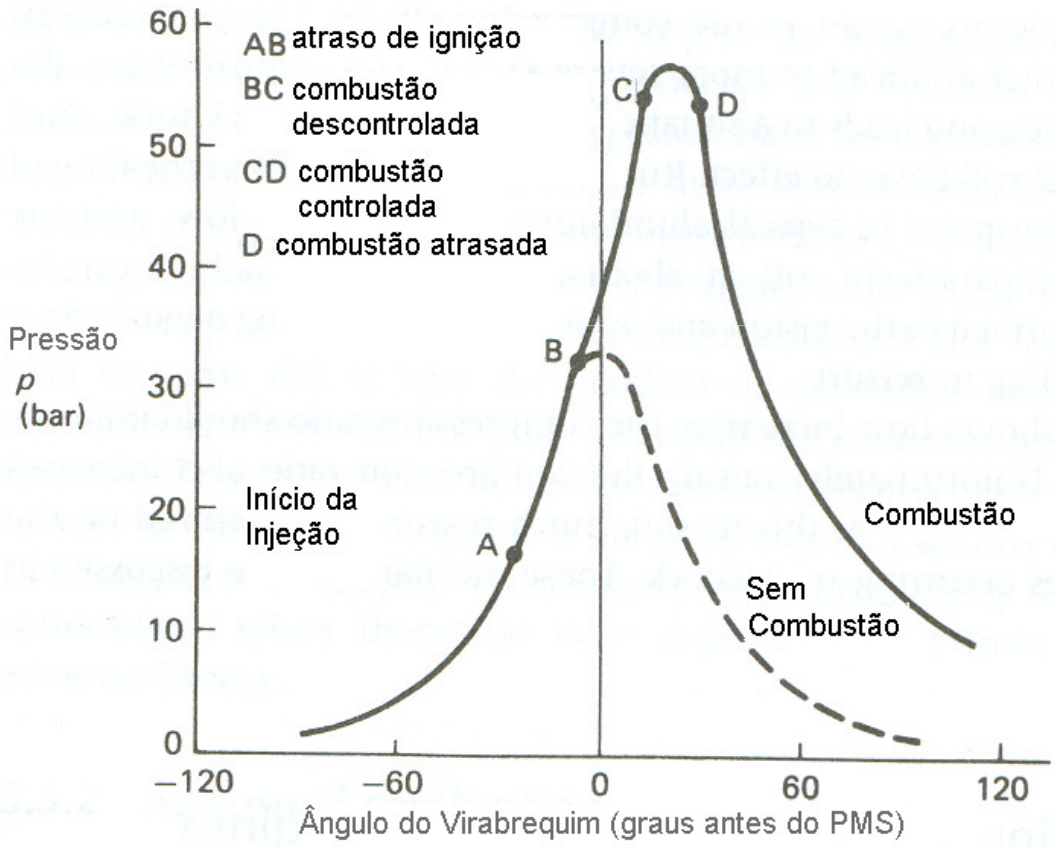
Combustão

A combustão da mistura combustível-ar dentro do cilindro é um dos processos que controlam a potência, o desempenho e as emissões do motor Diesel.

A combustão nos motores Diesel ocorre em 4 fases distintas:

- período de atraso de ignição
- período de rápida combustão
- período de combustão controlada
- período de pós queima

Fases da Combustão



Atraso de Ignição

- O atraso de ignição no motor Diesel foi definido como o intervalo de tempo (ou ângulo do eixo de manivela) entre o início da injeção e o começo da combustão.
- O início da injeção é determinado pelo levantamento da agulha do bico injetor.
- O início da combustão é usualmente identificado com o aumento da taxa de liberação de calor, com o aumento da taxa de elevação de pressão.

Estágios do Atraso de Ignição

O atraso de ignição pode ser dividido em dois estágios:

- atraso físico
- atraso químico

Processo Físico

Os processos físicos do atraso de ignição são:

- a atomização do jato do combustível líquido;
- a vaporização das gotas do combustível;
- a mistura do vapor de combustível com o ar;
- aquecimento do combustível até a temperatura de ignição.

Processo Químico

Os processos químicos são:

- as reações de pre-combustão entre o combustível, ar, e gases residuais.

Esses processos são afetados:

- pelo projeto do motor,
- variáveis de operação e
- características do combustível.

Fatores que Afetam o Período de Atraso de Ignição

- **Razão de compressão** - o aumento da razão de compressão influencia na pressão e temperatura do ar. Para motores operando com óleo vegetal, o aumento na taxa de compressão resulta num maior contato entre as moléculas do ar e do combustível, reduzindo o tempo de reação e conseqüentemente, o atraso de ignição.
- **Velocidade do motor** - com o aumento da velocidade angular do motor, as perdas de temperatura durante a compressão diminuem, aumentando a temperatura e a pressão do ar e reduzindo o atraso de ignição. Os diesel-geradores operam com rotações constantes.

Fatores que Afetam o Período de Atraso de Ignição

- **Potência** - com o aumento da potência, a razão ar-combustível diminui, a temperatura de operação aumenta, diminuindo o período de atraso.
- **Atomização** - Uma melhor atomização reduz o atraso de ignição. A atomização de óleos vegetais é prejudicada com a maior viscosidade e a menor volatilidade desses óleos, favorecendo um aumento no atraso de ignição.
- **Avanço de injeção** - a quantidade de combustível injetado por ciclo é constante. Aumentando-se o avanço de injeção, o combustível encontrará o ar no interior do cilindro com pressão e temperatura menores, aumentando o atraso de ignição.

Fatores que Afetam o Período de Atraso de Ignição

- **Temperatura de admissão** – o aumento da temperatura de admissão produz um aumento na temperatura do ar comprimido, melhorando a vaporização do combustível e provocando uma redução no atraso de ignição. Entretanto, esse aumento de temperatura do ar provoca uma redução em sua densidade, reduzindo a eficiência volumétrica e, com isso, a potência.
- **Pressão de admissão** - O aumento da pressão de admissão aumenta a pressão e temperatura do ar comprimido, reduzindo a temperatura de auto-ignição e, conseqüentemente, reduzindo o período de atraso.

Fatores que Afetam o Período de Atraso de Ignição

Qualidade do combustível – Para combustíveis com baixo número de cetano, o atraso de ignição é longo e a maior parte do combustível é injetada antes da ignição ocorrer, o que resulta em taxas de queima rápida muito altas, uma vez que a combustão irá começar com grandes picos de pressão. Sob essas condições extremas, quando a auto ignição da maior parte do combustível já ocorreu, surge um som de batida audível, a chamada batida diesel.

- Para combustíveis com número de cetano mais baixo, como é o caso de óleos vegetais, o atraso de ignição é longo, fazendo com que a ignição ocorra tarde, a ponto de se processar durante o tempo de expansão, apagando o processo de queima, resultando em combustão incompleta, reduzindo a potência, e provocando baixa eficiência de conversão de combustível.
- . Combustíveis com número de cetano variando entre 40 e 55 proporcionam pequeno atraso de ignição. Para combustíveis com número de cetano inferior a 38 há um aumento considerável no atraso de ignição.

Combustão Descontrolada

- É a fase em que o aumento de pressão é rápido.
- período de combustão descontrolada é contado a partir do final do período de atraso à ignição (ponto de ignição *b*) até o ponto *c*, mostrados no diagrama indicador Diesel $p\theta$ na do gráfico de fases de combustão.
- quanto mais longo o atraso, maior e mais rápido será o aumento da pressão.
- Como o atraso de ignição dos óleos vegetais é maior do que o óleo diesel, o período de combustão descontrolada desses óleos terá maior a duração e mais rápido será o aumento da pressão.

Combustão Controlada

- período de combustão descontrolada (rápida combustão) é seguido pelo terceiro estágio, a combustão controlada.
- A temperatura e a pressão no segundo estágio são bastante altas.
- as partículas de combustível, injetadas durante o segundo estágio, entram em combustão mais rapidamente, com reduzido atraso de ignição a medida que encontram o oxigênio necessário, e qualquer aumento posterior da pressão será controlado pela taxa de injeção.

Combustão Atrasada

- A combustão não cessa com o término do processo de injeção.
- As partículas de combustível, não queimadas e parcialmente queimadas, deixadas na câmara de combustão, iniciam a combustão assim que entram em contato com o oxigênio.
- Geralmente este período começa a partir do final do período de injeção, indicado como ponto *d* no diagrama indicador $p\theta$ no gráfico, e prossegue até uma parte do ciclo de expansão.

Emissões

Com oxigênio suficiente, o combustível pode ser completamente oxidado:

Em um combustível a base de hidrocarbonetos, o carbono é convertido em CO_2 e o hidrogênio em H_2O.

As proporções estequiométricas são definidas pela equação:

$$C_aH_b + (a + b/4)(O_2 + 3.773N_2) = a\ CO_2 + (b/2)\ H_2O + 3.773(a + b/4)\ N_2$$

Emissões

- Infelizmente, a combustão perfeita, sob condições estequiométricas, é raramente obtida nos motores Diesel.
- Para uma combustão não estequiométricas as proporções para combustíveis são:

$$CH_\alpha + n(O_2 + kN_2) =$$

$$= A\ CO_2 + B\ CO + D\ H_2 + E\ H_2O + F\ O_2 + G\ N_2 + X\ CH_\alpha + Particulado$$

•Para uma combustão não estequiométrica as proporções para combustíveis oxigenados são:

$$CH\alpha O\beta + g(O2 + kN2) =$$
$$A\ CO2 + B\ CO + D\ H2 + E\ H2O +$$
$$F\ O2 + G\ N2 + X\ CH\alpha O\beta + Particulado$$

Emissões

- A emissão de hidrocarbonetos para óleo diesel tem a forma $CH\alpha$,. No caso de óleos vegetais, essa emissão toma a forma de $CH\alpha O\beta$.
- Como os óleos vegetais são mais viscosos que o óleo diesel, a qualidade do spray do combustível tenderá a diminuir, aumentando o tamanho das gotas e, conseqüentemente, produzindo maiores quantidades de HC.

- Na medida em que o motor diesel trabalha em mistura pobre, as emissões de CO são bem menores do que nos motores de ignição por centelha. Entretanto, devido à heterogeneidade da mistura, bem como deficiências locais de oxigênio, níveis de temperatura ou tempos de residência insuficientes para completar a combustão em forma de CO2, causam emissões de CO. Como a mistura ar/óleo vegetal é mais heterogênea do que o com o diesel devido à dificuldade de atomização citada anteriormente, a emissão de CO deverá ser maior do que com diesel.

Emissões

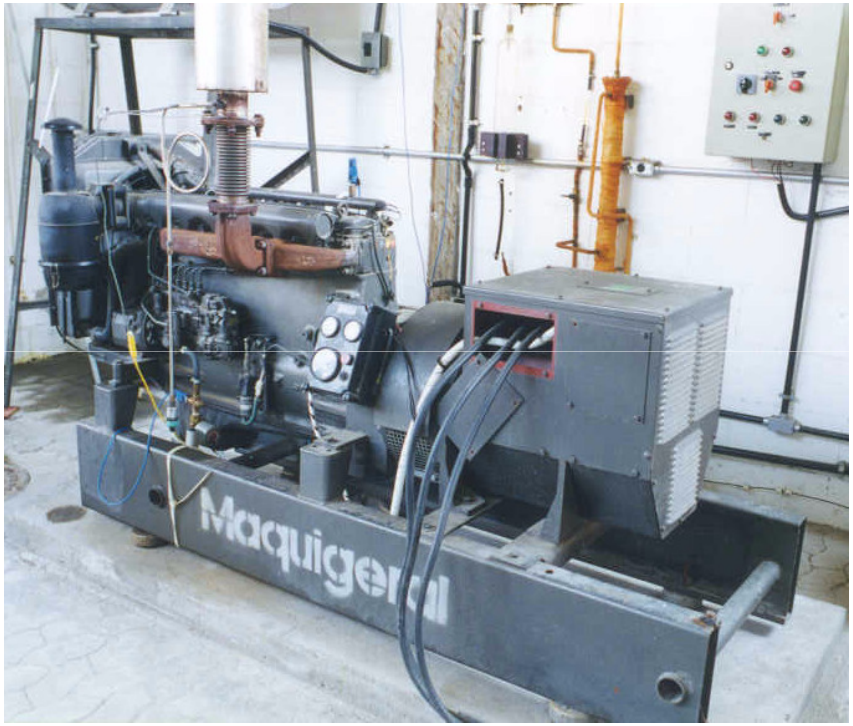
- A formação de NO é governada pela temperatura máxima de combustão.
- As concentrações de óxido de nitrogênio (NO_x) também aumentam com a relação ar/combustível comum. No caso da combustão de óleos vegetais onde o consumo específico é maior que o diesel, para a mesma potência, haverá maior tendência à formação de NO_x.

Emissões

- Um dos produtos de uma combustão incompleta é o material particulado. Este é composto de um material carbônico (fuligem) gerado durante a combustão.
- A composição dessas partículas depende das condições de trabalho do motor, em particular da temperatura de exaustão.
- As partículas de fuligem são primariamente oriundas do carbono contido no combustível e dependem do tipo de combustível, número de carbonos nas moléculas e da razão carbono/hidrogênio (C/H). No caso de combustíveis oxigenados, como os óleos vegetais especialmente “in natura”, a tendência à formação de particulado aumenta, devido à sua molécula apresentar um grande número de carbono.

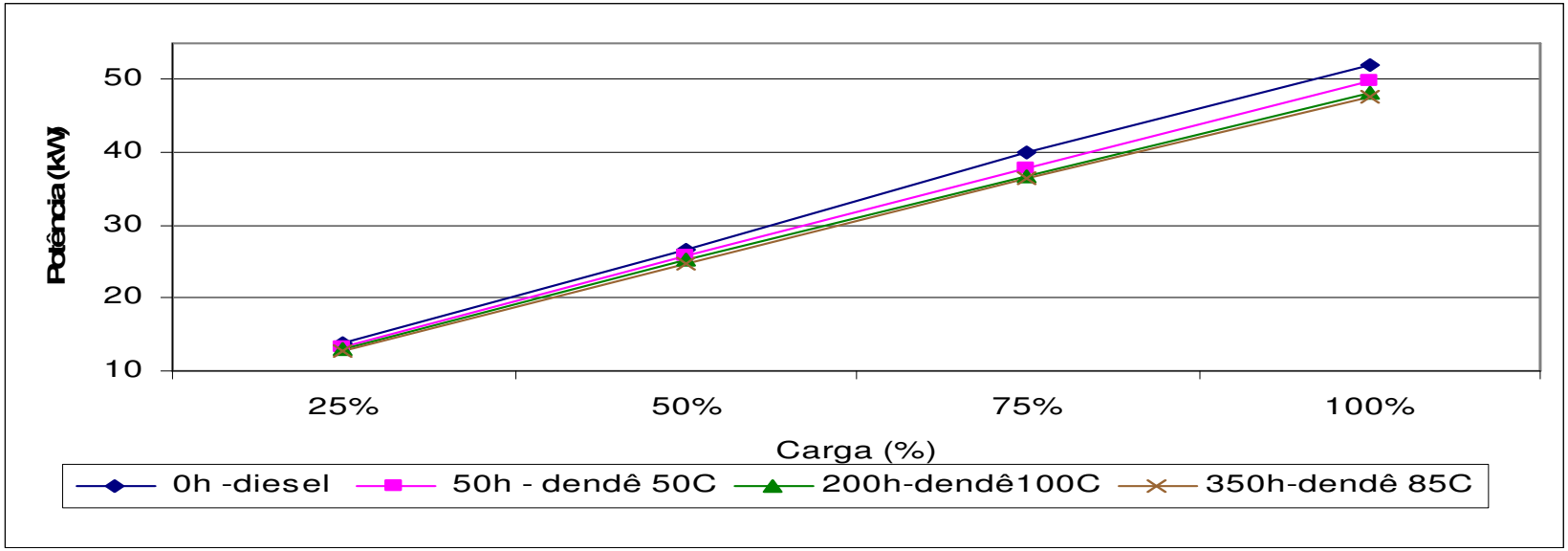
Desenvolvimento Experimental Durabilidade

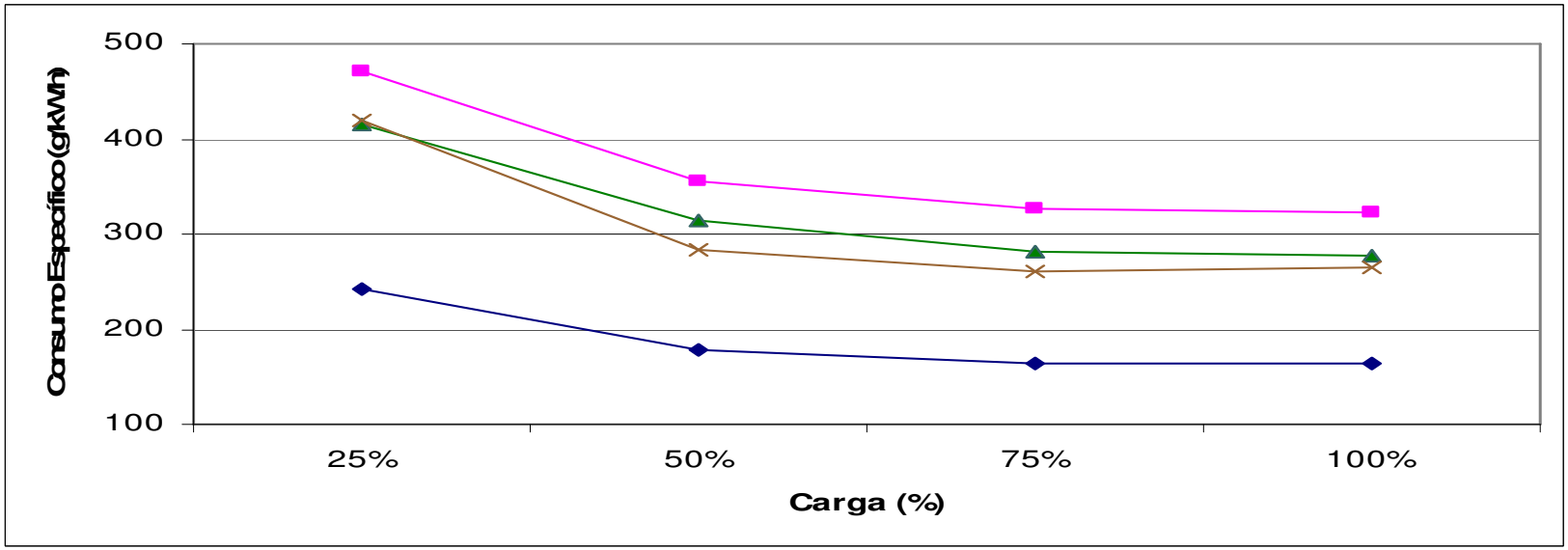
- Diesel-gerador de injeção direta.
- Motor MWM 229 seis cilindros - potência nominal de 66 kW.
- Gerador elétrico WEG do tipo BTA.
- Sistema de Aquecimento de óleo de vegetal.
- Medição de potência, temperatura, consumo, emissões.

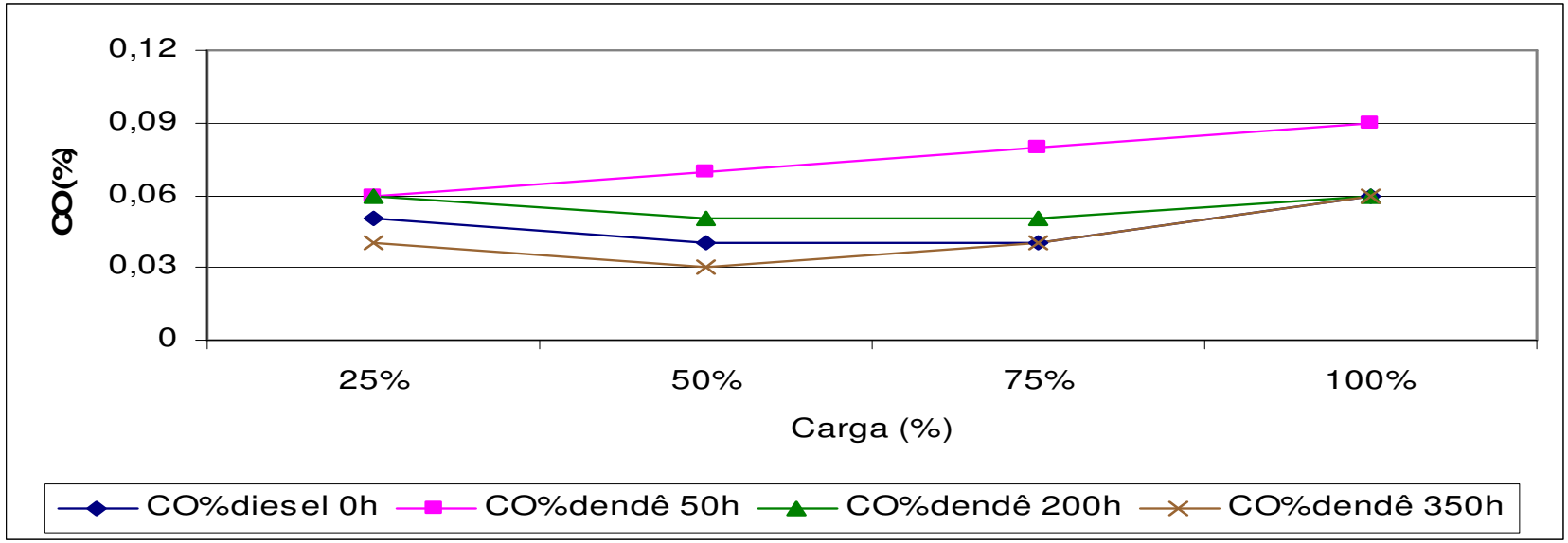


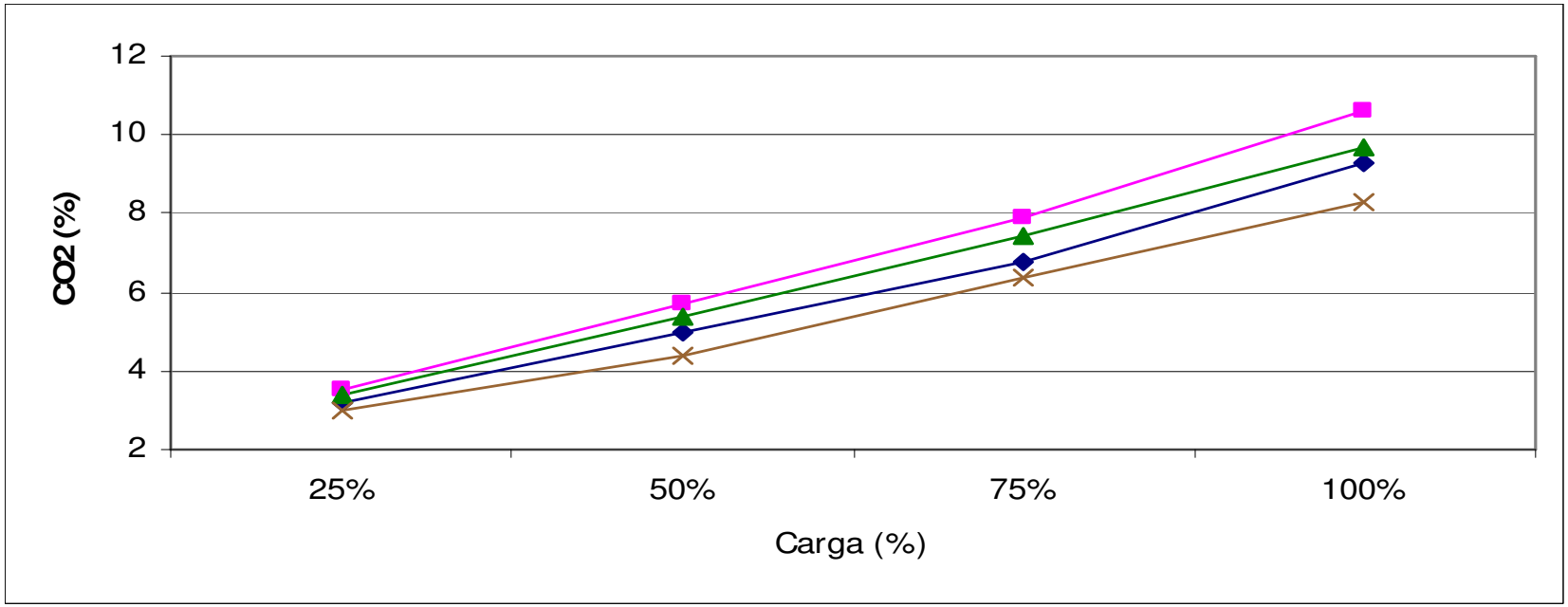
Procedimento de teste

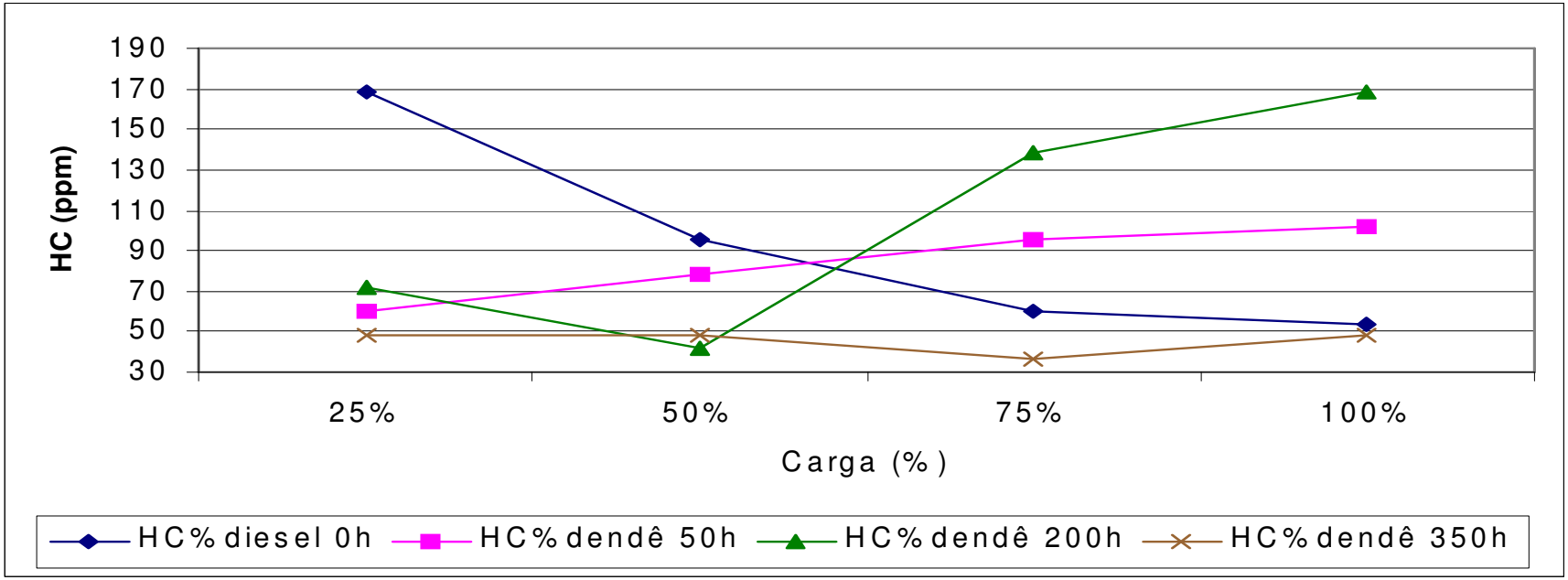
- Após o aquecimento com óleo diesel, iniciava-se o ciclo de teste com óleo vegetal seguindo o seguinte critério:
  - 30 minutos com 25% de carga
  - 1 hora com 50% de carga
  - 1 hora com 75% de carga
  - 1 hora com 100% de carga
- Término 30 min com óleo diesel
- Óleo vegetal aquecido a 50°C, 100°C e 85°C

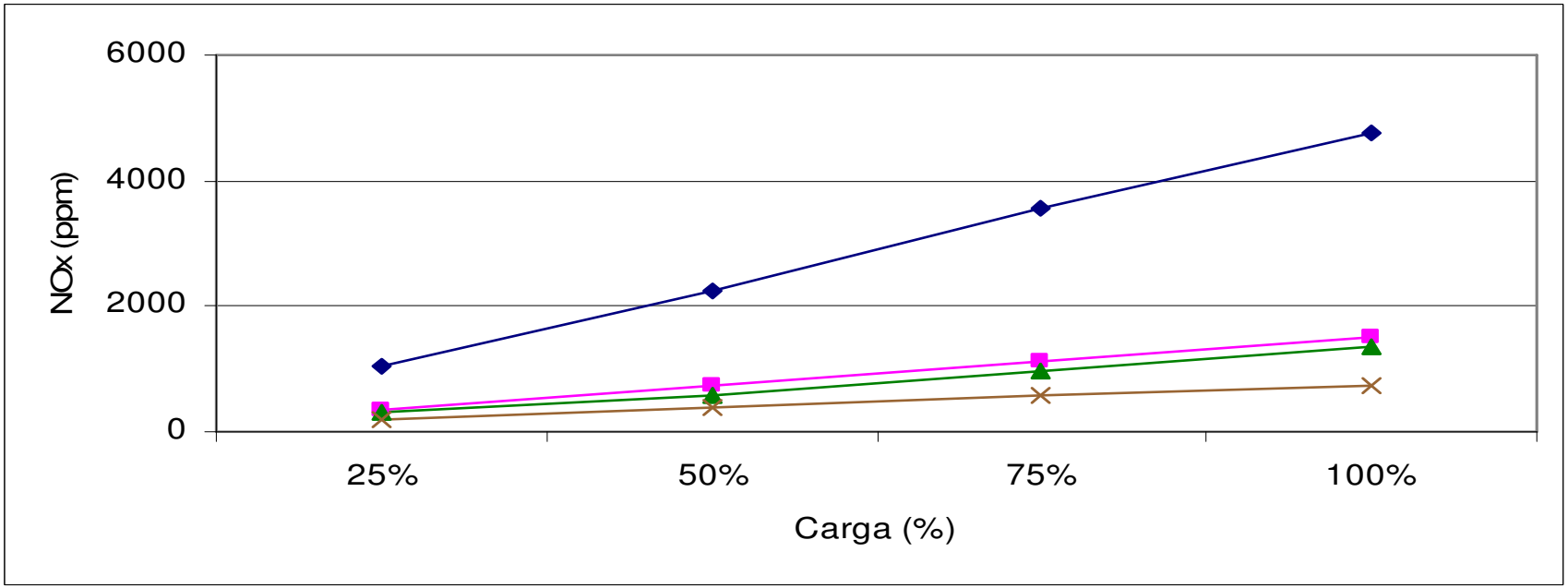

Potência (kW)
50
40
30
20
10
25%
50%
75%
100%
Carga (%)
0h -diesel
50h - dendê 50C
200h-dendê100C
350h-dendê 85C


Consumo Específico (g/kWh)
500
400
300
200
100
25%
50%
75%
100%
Carga (%)

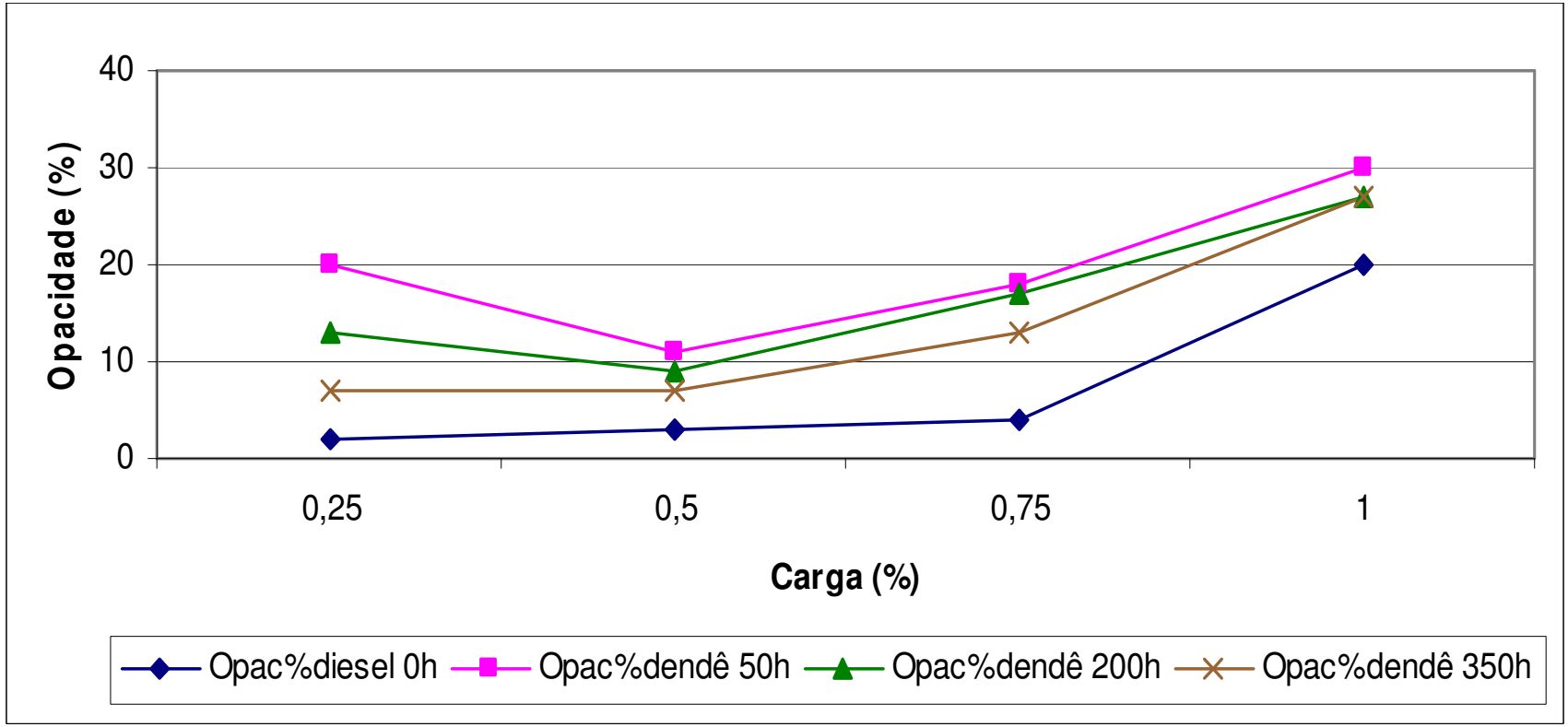

0,12
0,09
0,06
0,03
0
CO(%)
25%
50%
75%
100%
Carga (%)
CO%diesel 0h
CO%dendê 50h
CO%dendê 200h
CO%dendê 350h

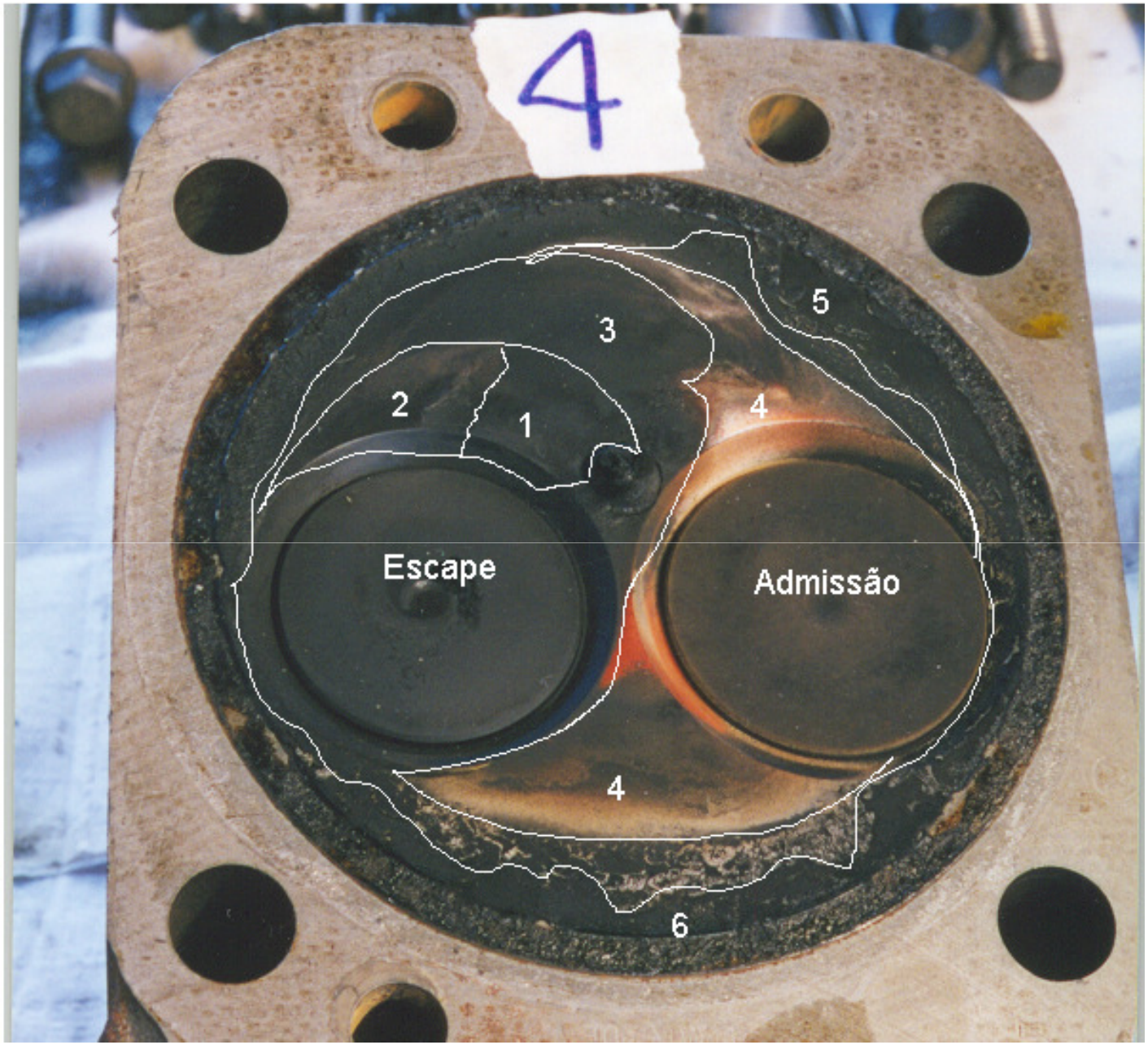

12
10
8
6
4
2
CO2 (%)
25%
50%
75%
100%
Carga (%)

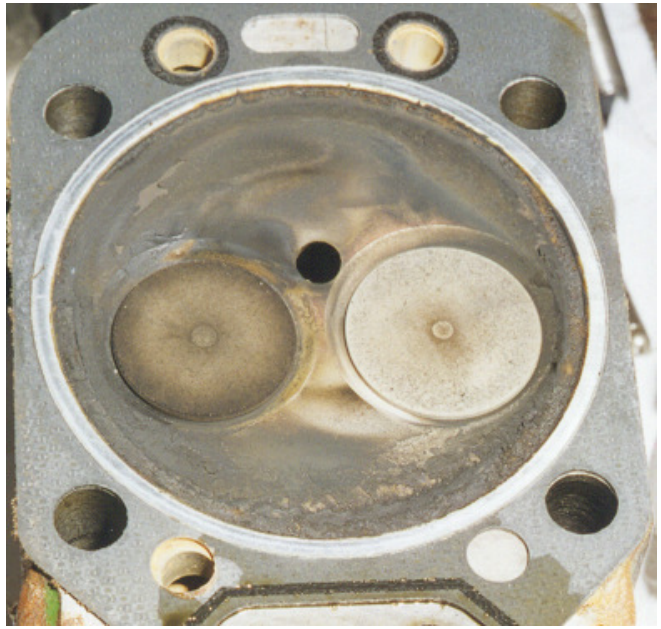

190
170
150
130
110
90
70
50
30
HC (ppm)
25%
50%
75%
100%
Carga (%)
HC% diesel 0h
HC% dendê 50h
HC% dendê 200h
HC% dendê 350h


6000
4000
2000
0
NOx (ppm)
25%
50%
75%
100%
Carga (%)

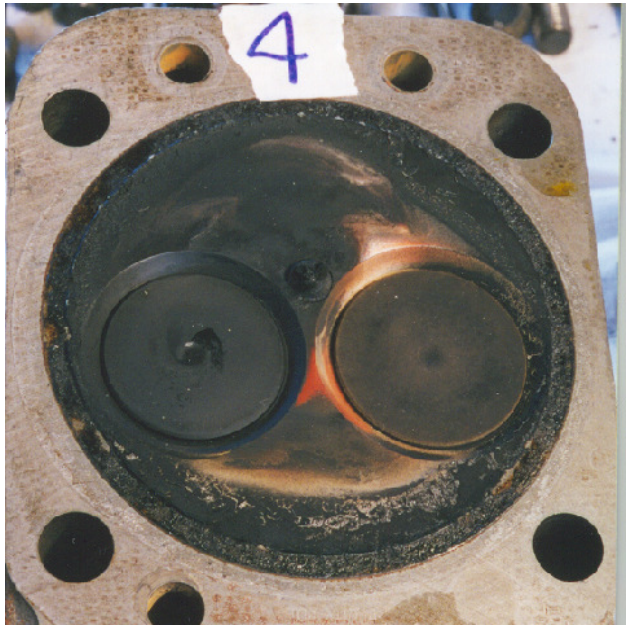
Opacidade vs % Carga



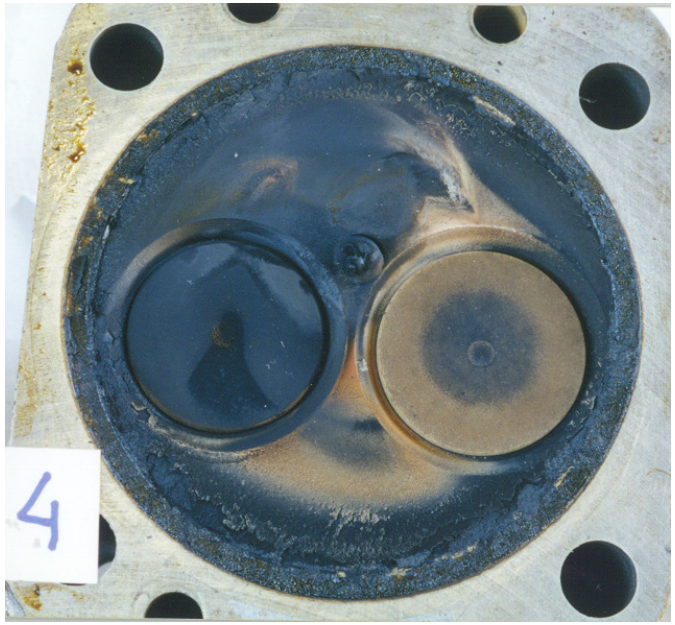

4
5
3
2
1
4
Escape
Admissão
4
6



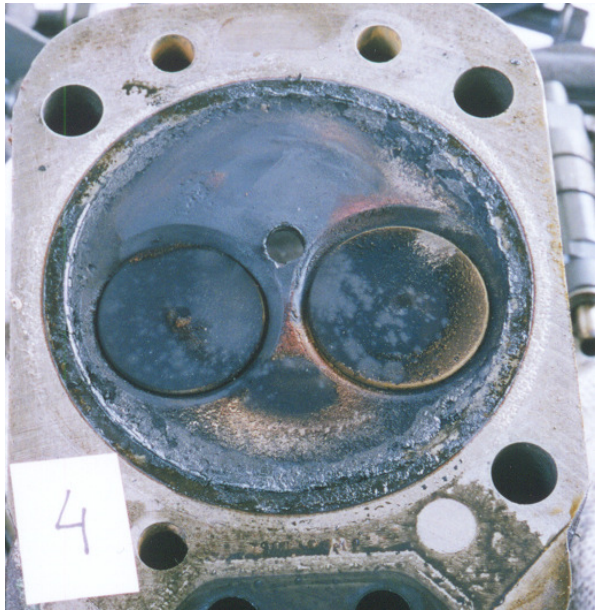
Após 50 horas óleo diesel



Após 50 horas óleo de dendê
50 ° C



Após 350 horas óleo de dendê
100 ° C



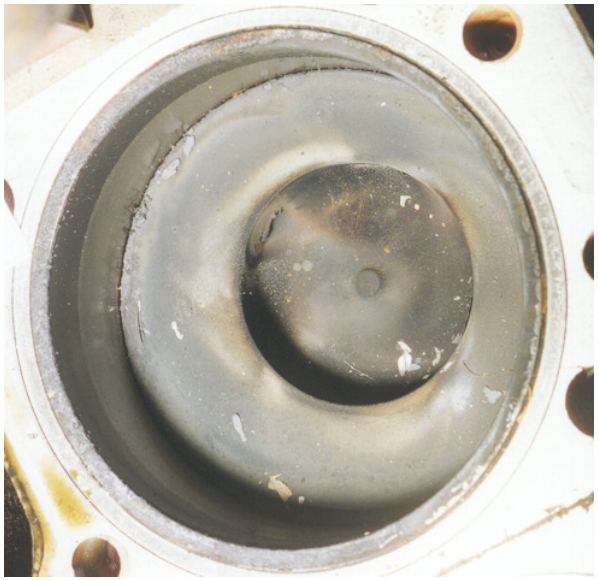
Após 350 horas óleo de dendê
85 ° C

Bicos Injetores óleo diesel

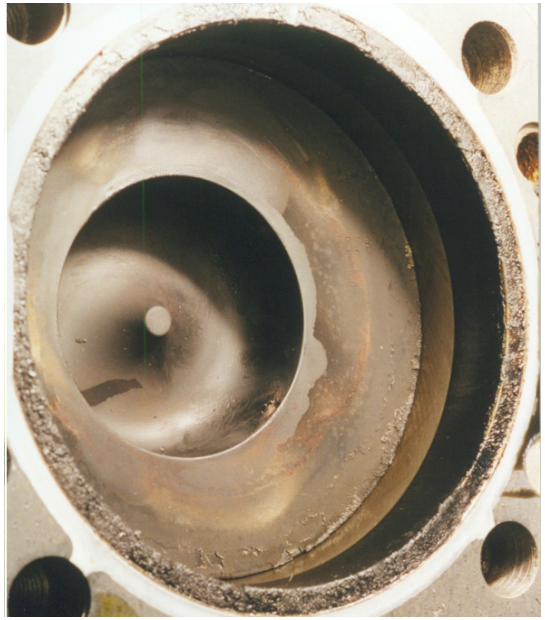
Bicos Injetores óleo de dendê a 50º C

Bicos Injetores óleo de dendê a 100º C

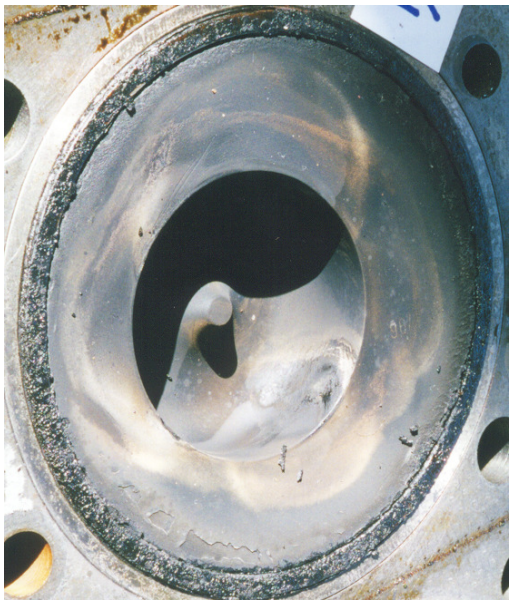
Bicos Injetores óleo de dendê a 85º C



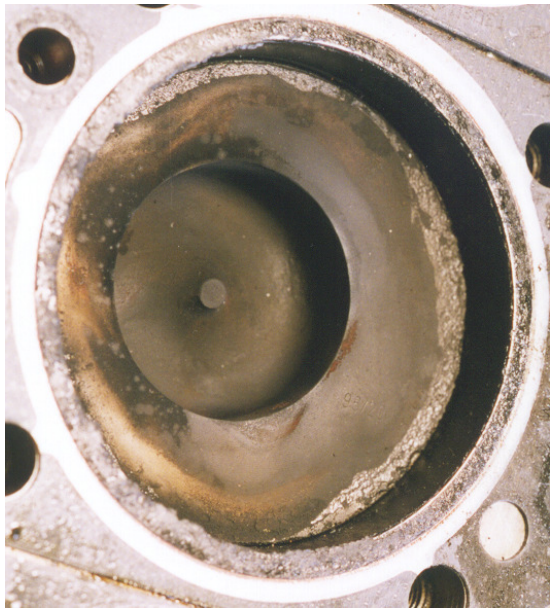
Câmara Toroidal óleo diesel



Câmara Toroidal óleo de dendê 50 ℃



Câmara Toroidal óleo de dendê 100 ℃



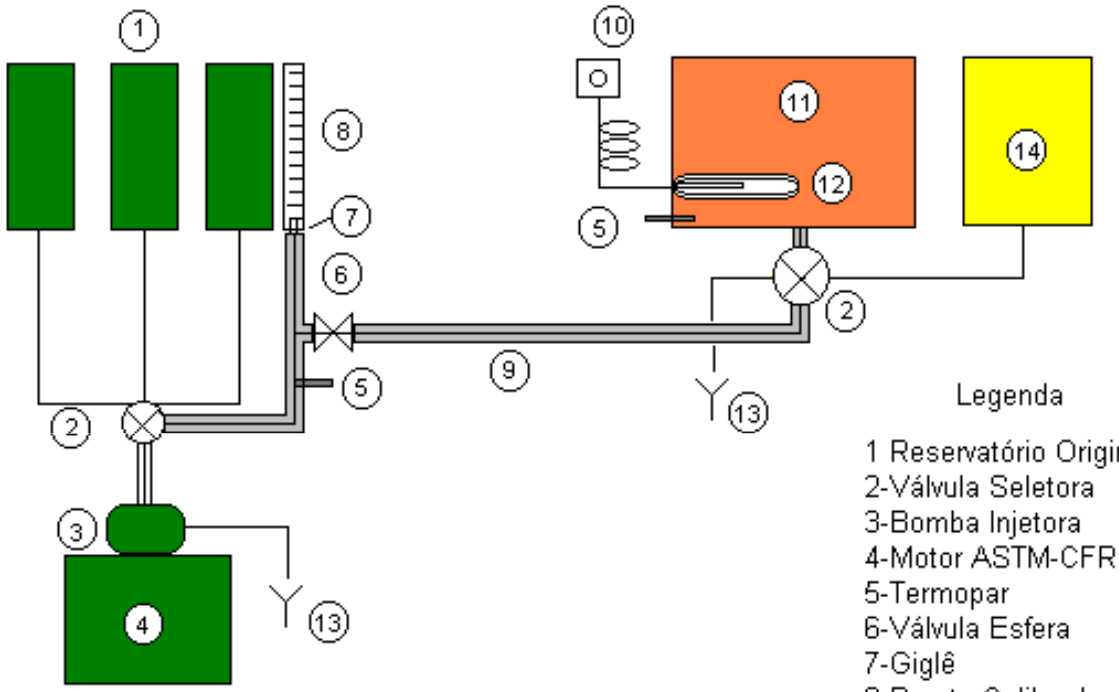
Câmara Toroidal óleo de dendê 85 ℃

Ensaios em Motor CFR- Cetano

- O objetivo do teste em um motor ASTM CFR Cetano foi analisar, de maneira mais controlada, o efeito sobre a combustão do óleo de dendê em motores diesel e, conseqüentemente, sobre as emissões e o desempenho do motor da:
- taxa de compressão,
- débito de combustível,
- avanço de injeção e
- temperatura do ar de admissão,

- Com base nos melhores resultados dos testes de durabilidade/ desempenho do motor MWM com o óleo de dendê 85º C, os testes no motor ASTM CFR cetano foram realizados somente com dendê aquecido a 85º C, devido ser um motor mais sensível às características do combustível

CRF- Cetano

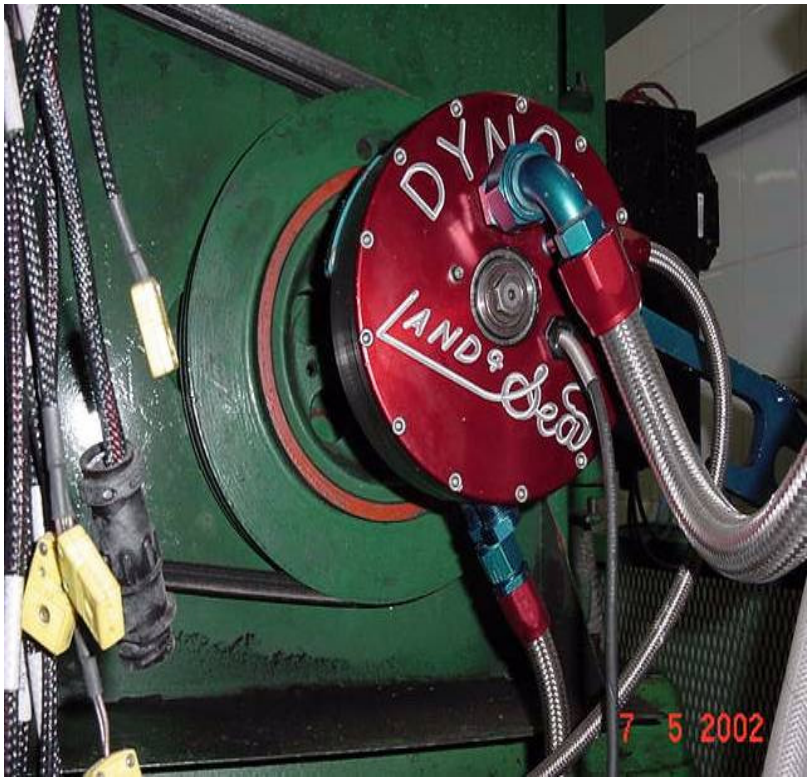


Legenda

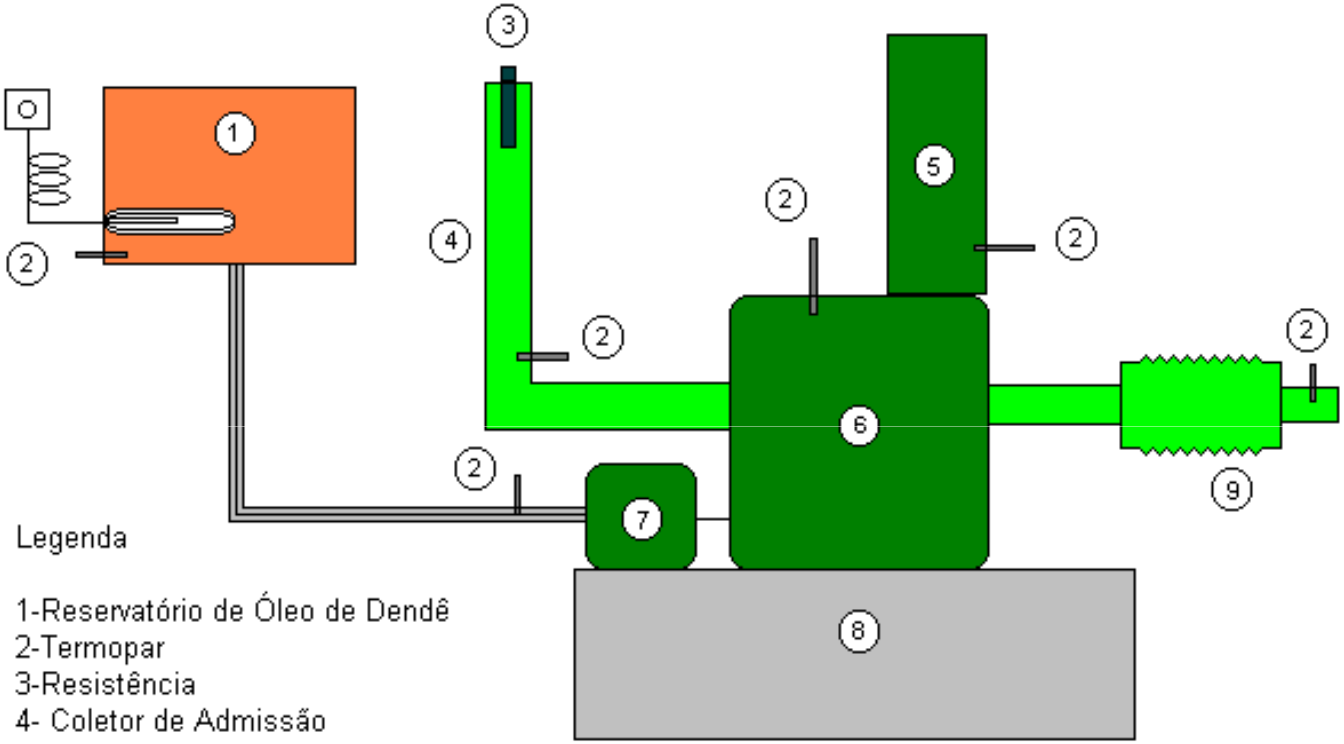
1 Reservatório Originais (cubas)
2-Válvula Seletora
3-Bomba Injetora
4-Motor ASTM-CFR
5-Termopar
6-Válvula Esfera
7-Giglê
8-Bureta Calibrada
9-Isolamento Térmico
10-Termostato
11-Resenvatório de Óleo de Dendê
12-Resistência Elétrica
13-Dreno
14-Reservatório de Óleo Diesel

Medição de Potência

Para determinação da potência efetiva produzida pelo motor, foi empregado um dinamômetro hidráulico da marca Land & Sea Inc. com capacidade para 20 kW e rotações até 100 revoluções por segundo, foi projetado para ser instalado diretamente no eixo do motor. Este dinamômetro é conectado a um microcomputador através de um módulo de aquisição de dados, permitindo o registro de dados em tempo real.



Medição de Temperatura

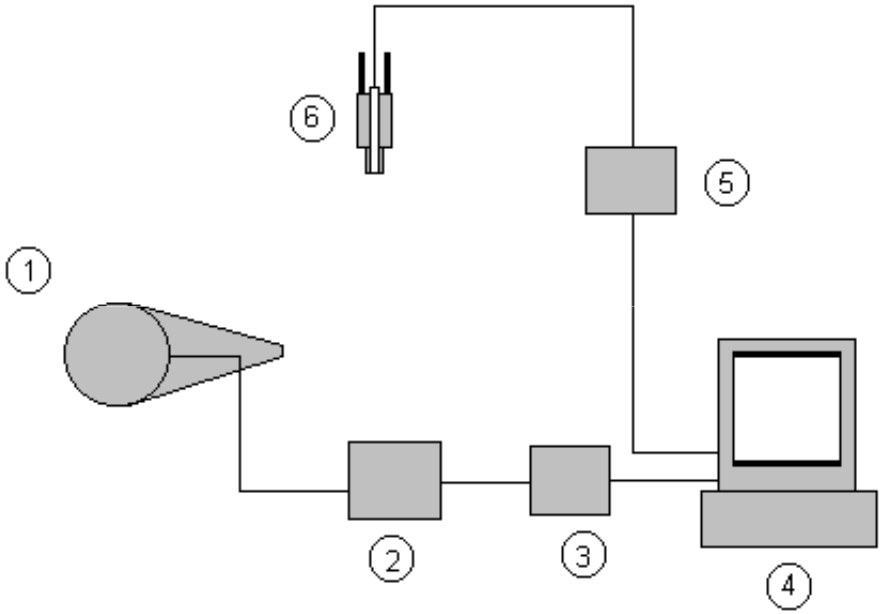


Legenda

1-Reservatório de Óleo de Dendê
2-Termopar
3-Resistência
4- Coletor de Admissão
5-Trocador de Calor
6-Motor ASTM-CFR
7-Bomba Injetora
8-Base
9-Coletor de Escape

Medição do Atraso de Ignição

Medição do Ângulo do Eixo de Manivela



Legenda

1- Medidor do ângulo do Virabrequim
Angle encoder 364 AVL

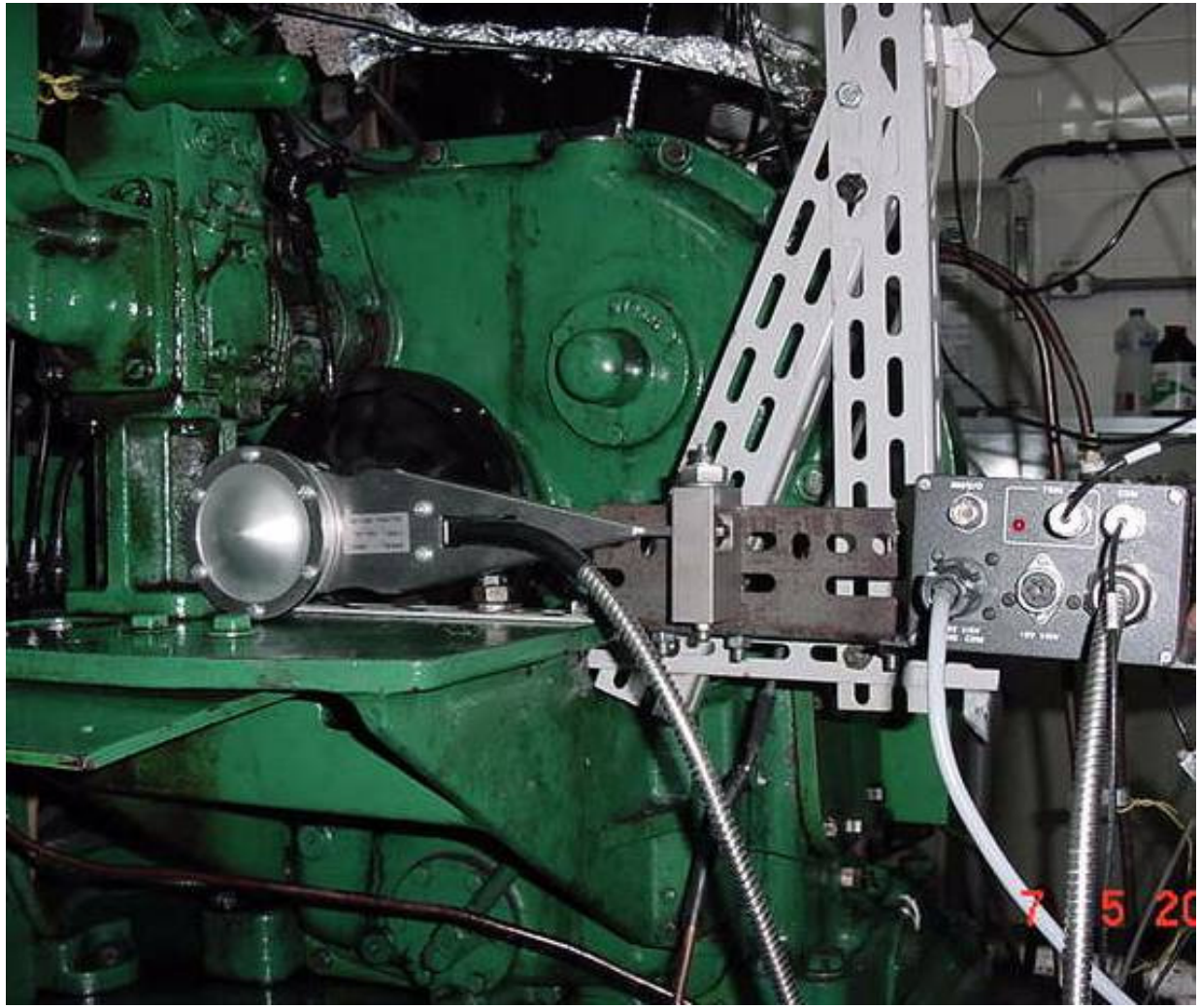
2-Convertedor de pulso

3-Fonte AVL

4-Micro Computador

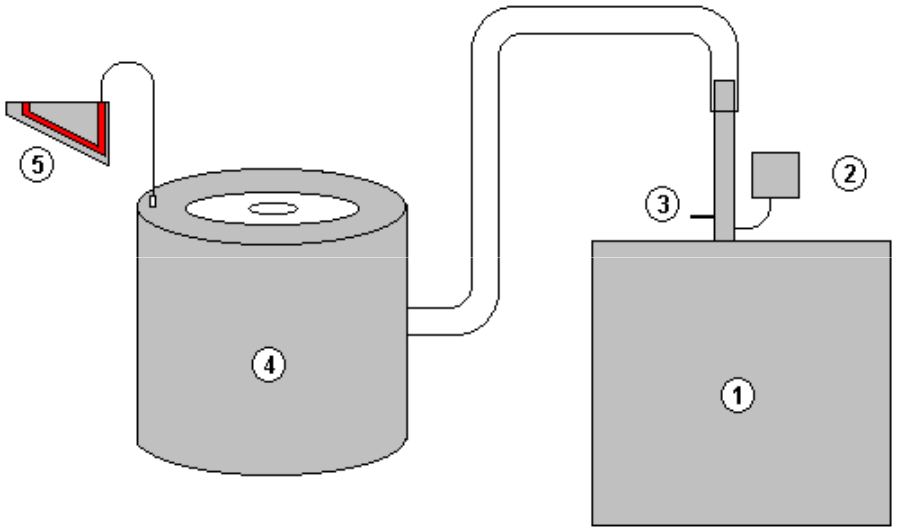
5-Amplificador de Carga Kistler

6- Transdutor de Pressão Piezoeletrico


7 5 20

Medição de Vazão de ar de admissão

Sistema de Admissão de Ar



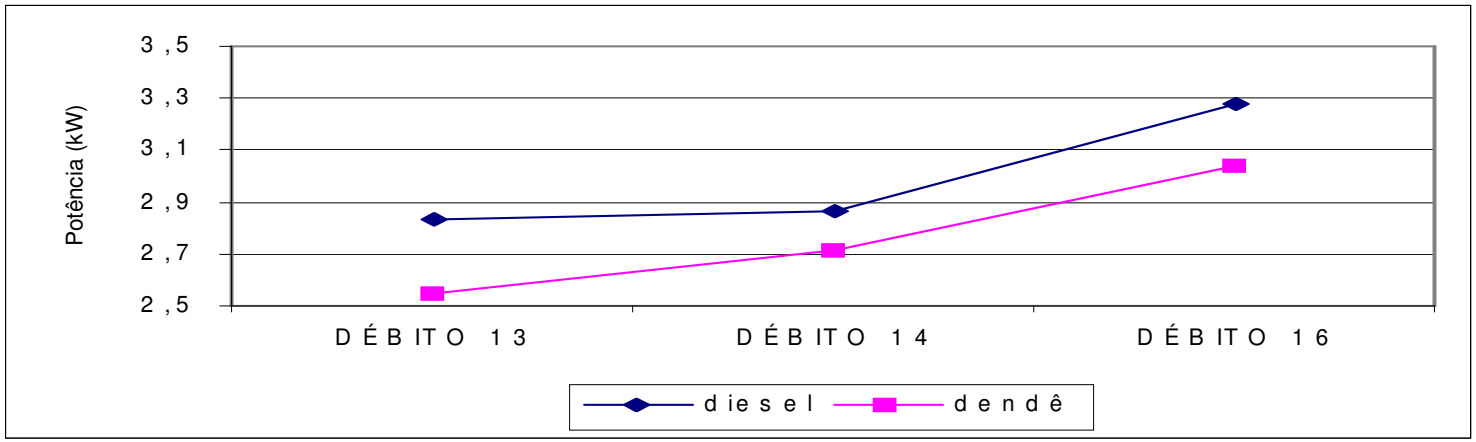
Legenda

1- motor ASTM-CFR
2- medidor de pressão (vácuo)
3- termopar
4- medidor de vazão (tambor)
5- manômetro

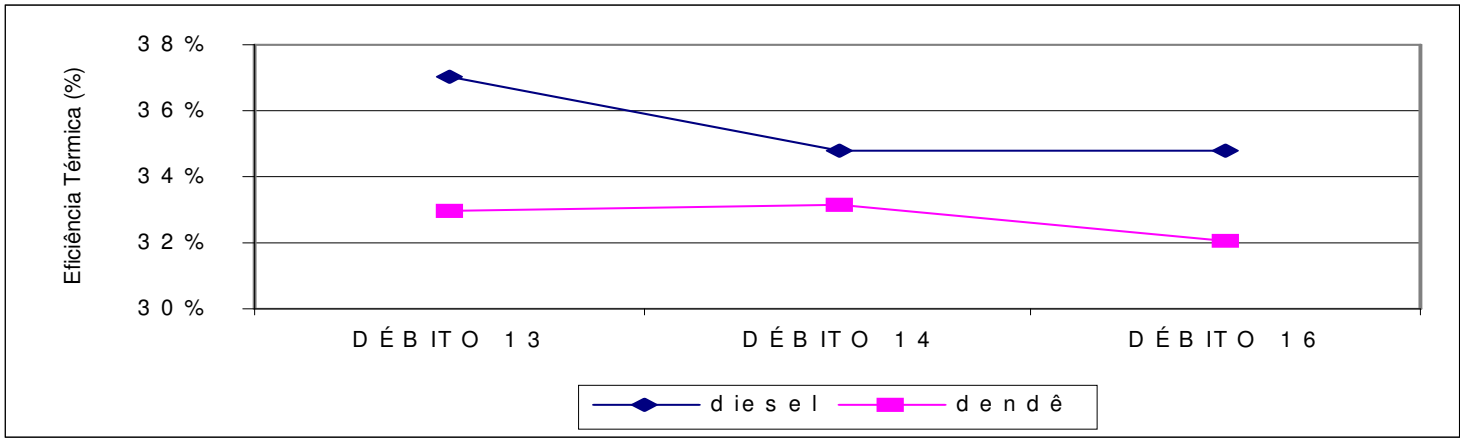
Condições de teste

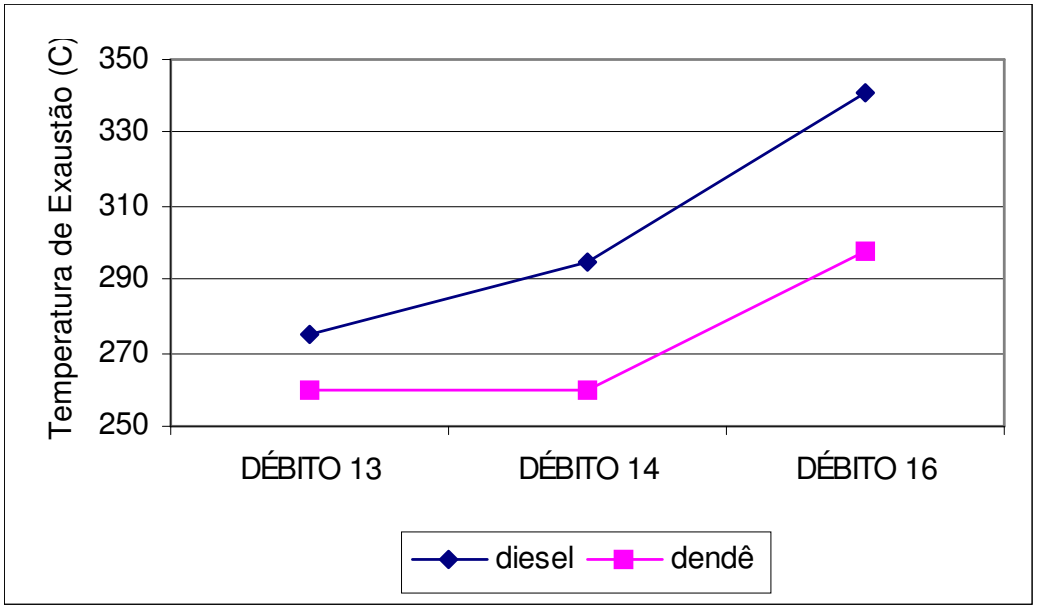
- avanço de injeção: 11, 13 e 15 graus antes do PMS. Essa faixa de avanço de injeção corresponde à faixa usual de operação dos motores diesel;
- débito de combustível: 13, 14 e 16 ml/min. Inicialmente foram definidas faixas maiores de variação de débito de combustível, entretanto, foram constatados problemas de depósito no pistão da pré-câmara alterando, inclusive, a taxa de compressão.
- taxa de compressão: 11.91:1, 12.39:1 e 13.86:1. Inicialmente, também, foram definidas faixas maiores de variação de taxa de compressão, entretanto, foi observado que com taxas maiores, a combustão desses combustíveis gerava uma sobre carga no motor síncrono e com taxas menores não ocorria a combustão. Dessa forma optou por faixas menores de taxa de compressão.
- temperatura do ar de admissão: 30º C, 45º C e 66º C. Essas temperaturas foram escolhidas por representaram a média da temperatura ambiente de certas regiões do país (Sudeste (30º C), Norte (45º C)). A temperatura de 66º C é a temperatura utilizada no método de determinação do número de cetano.

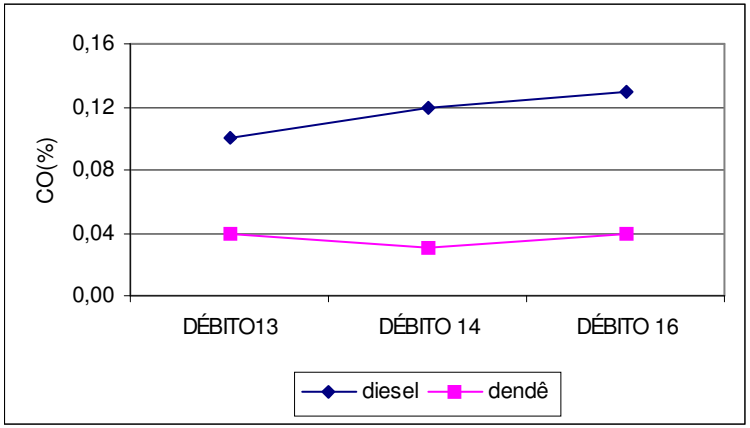
Potência em função do débito de combustível

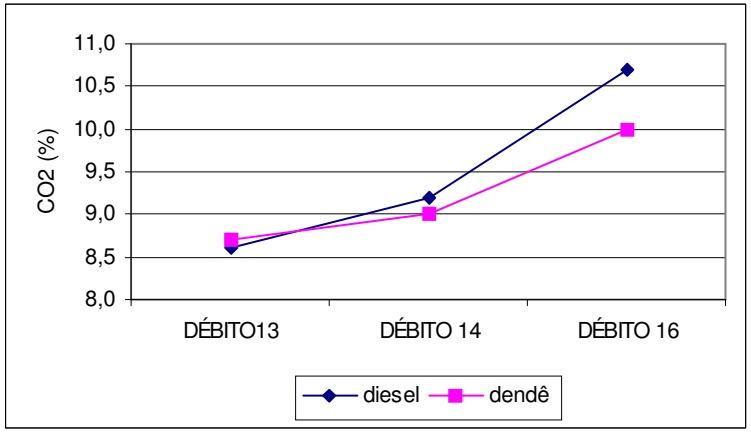


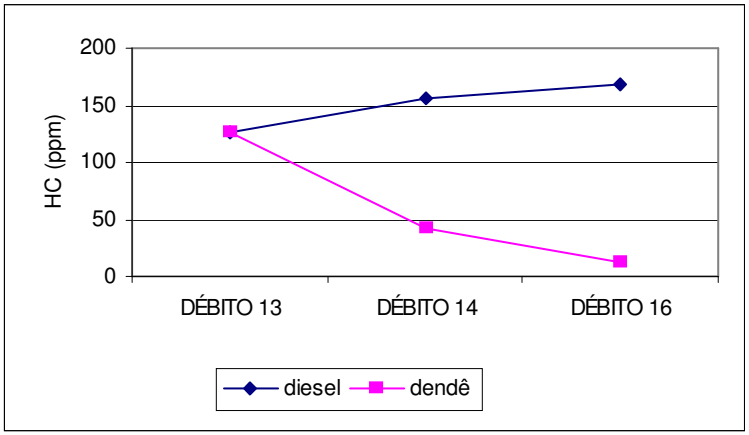
Consumo específico em função do débito de combustível

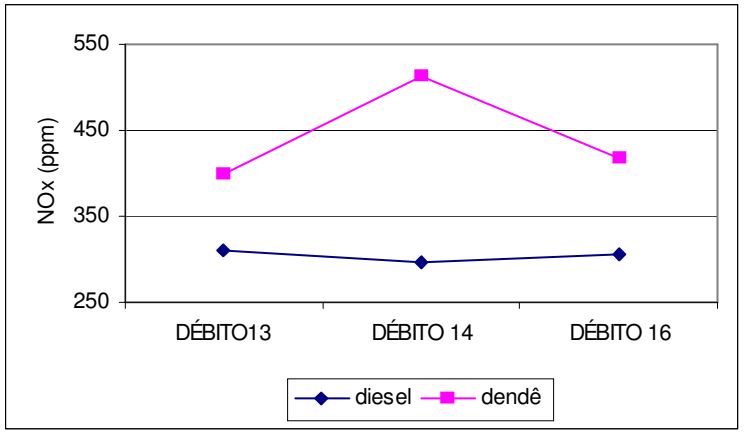


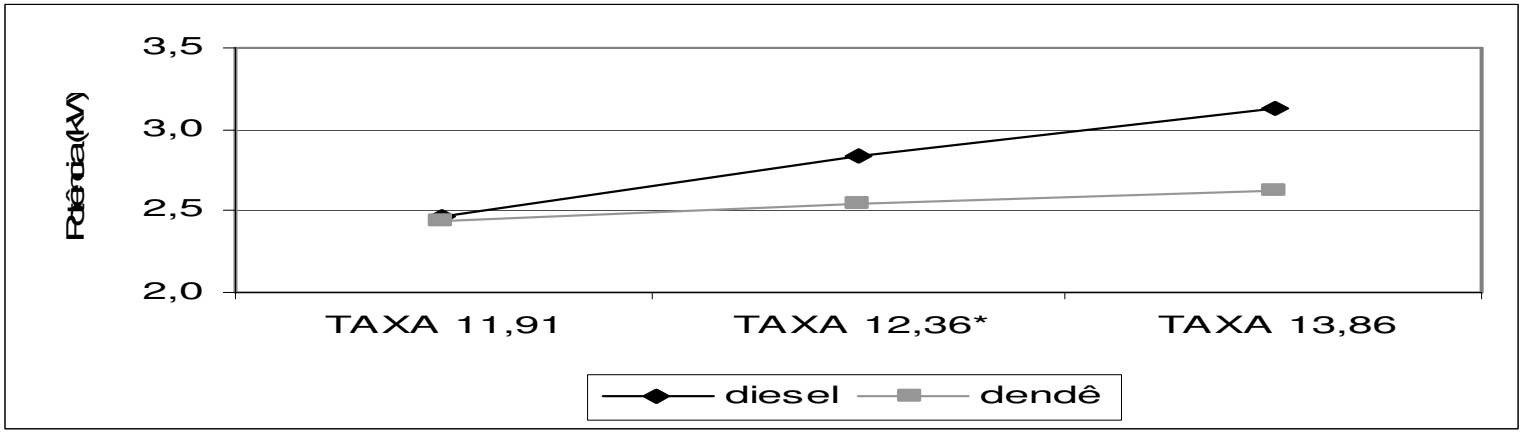

Temperatura de Exaustão (C)
350
330
310
290
270
250
DÉBITO 13
DÉBITO 14
DÉBITO 16
diesel
dendê

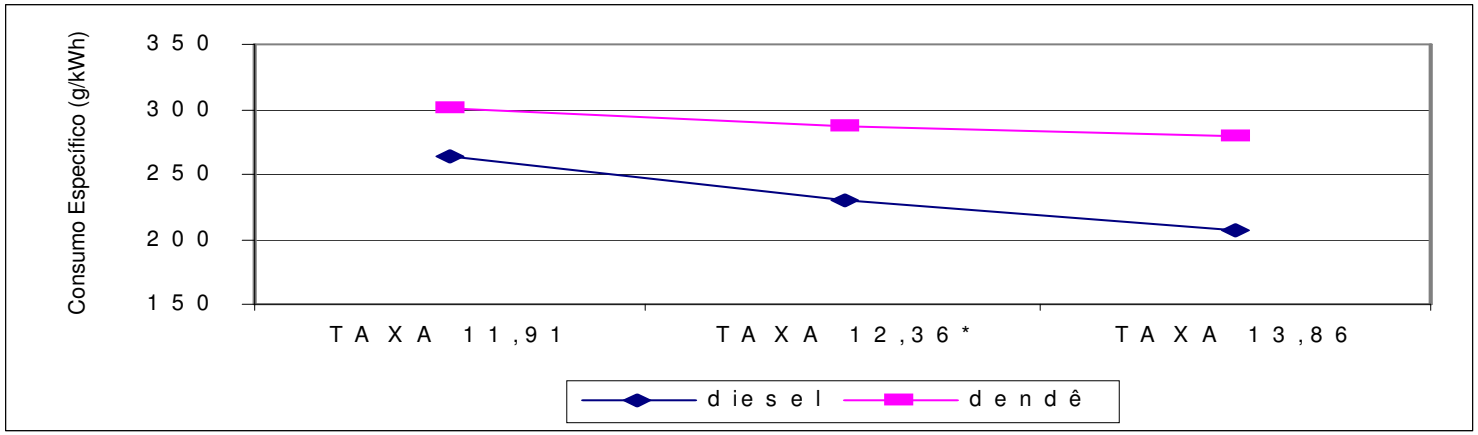

0,16
0,12
0,08
0,04
0,00
CO(%)
DÉBITO13
DÉBITO 14
DÉBITO 16
diesel
dendê

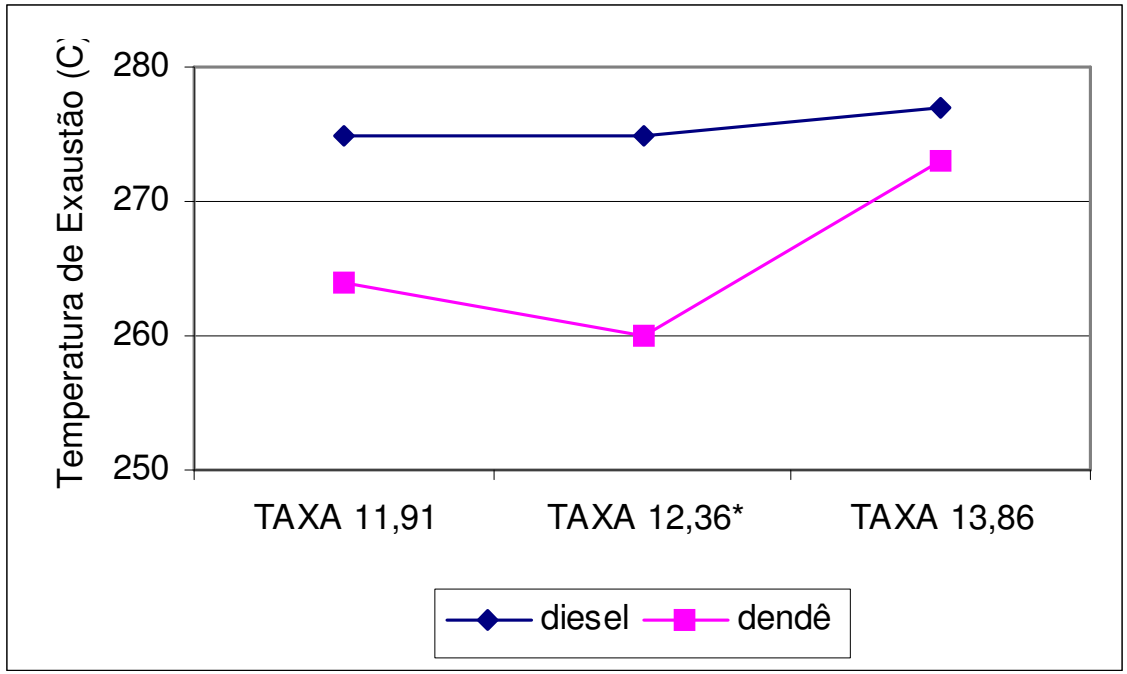

11,0
10,5
10,0
9,5
9,0
8,5
8,0
CO2 (%)
DÉBITO13
DÉBITO 14
DÉBITO 16
diesel
dendê

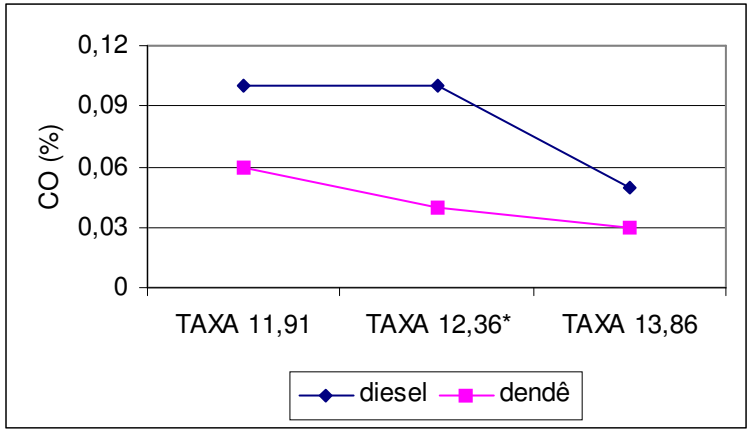

200
150
100
50
0
HC (ppm)
DÉBITO 13
DÉBITO 14
DÉBITO 16
diesel
dendê

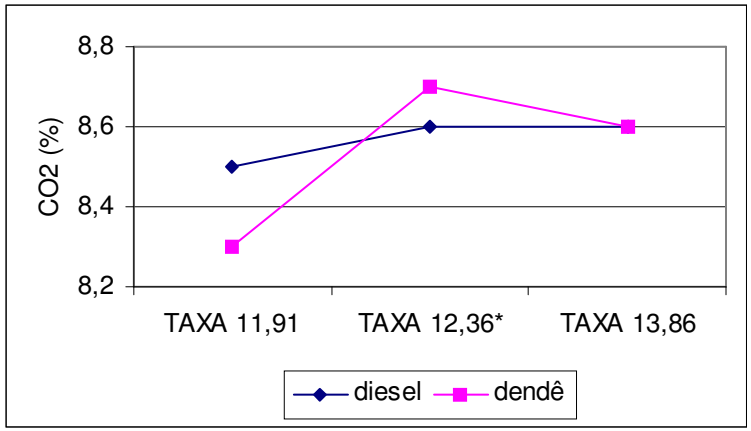

550
450
350
250
NOx (ppm)
DÉBITO13
DÉBITO 14
DÉBITO 16
diesel
dendê

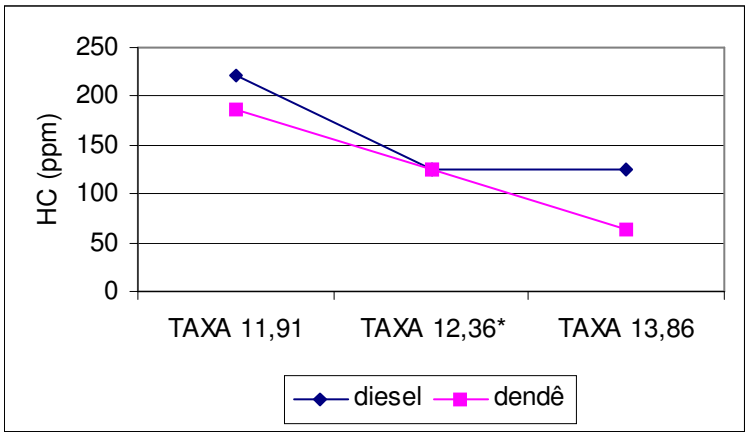

3,5
3,0
2,5
2,0
TAXA 11,91
TAXA 12,36*
TAXA 13,86
diesel
dendê

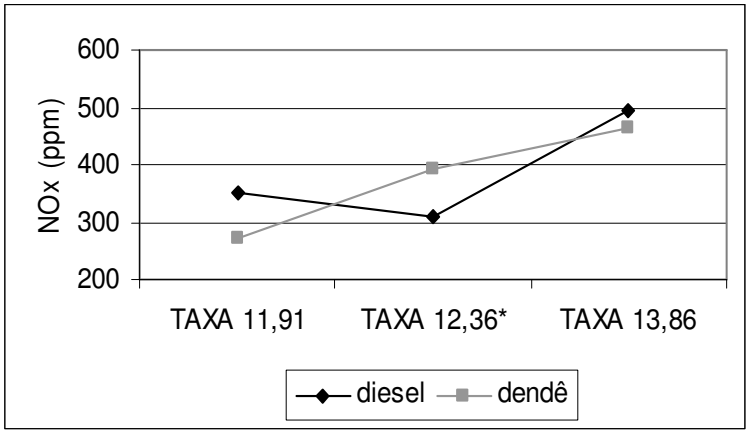

Consumo Específico (g/kWh)
350
300
250
200
150
TAXA 11,91
TAXA 12,36*
TAXA 13,86
diesel
dendê

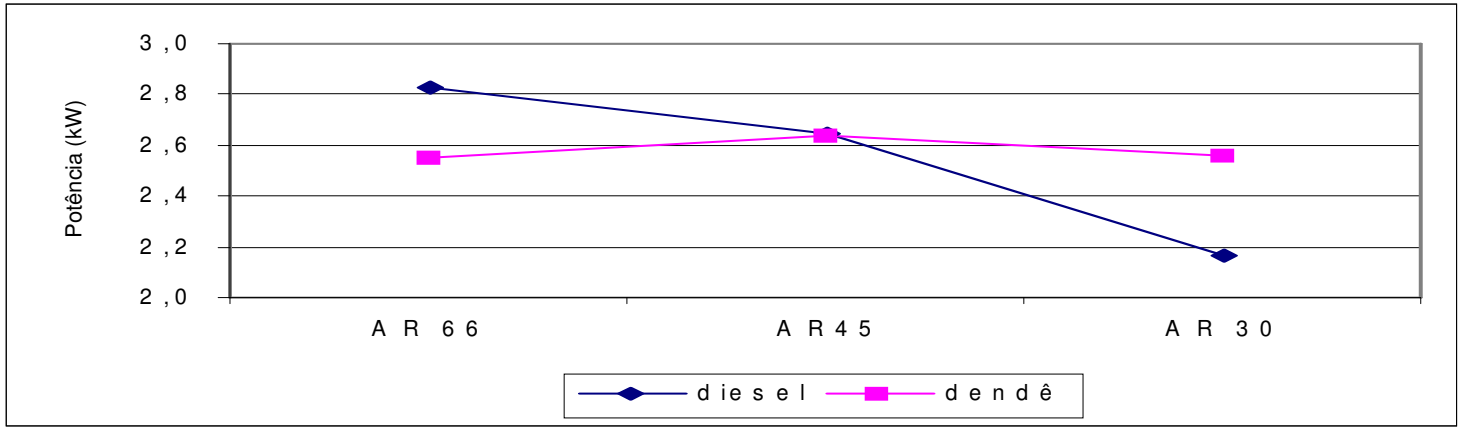

Temperatura de Exaustão (C)
280
270
260
250
TAXA 11,91
TAXA 12,36*
TAXA 13,86
diesel
dendê

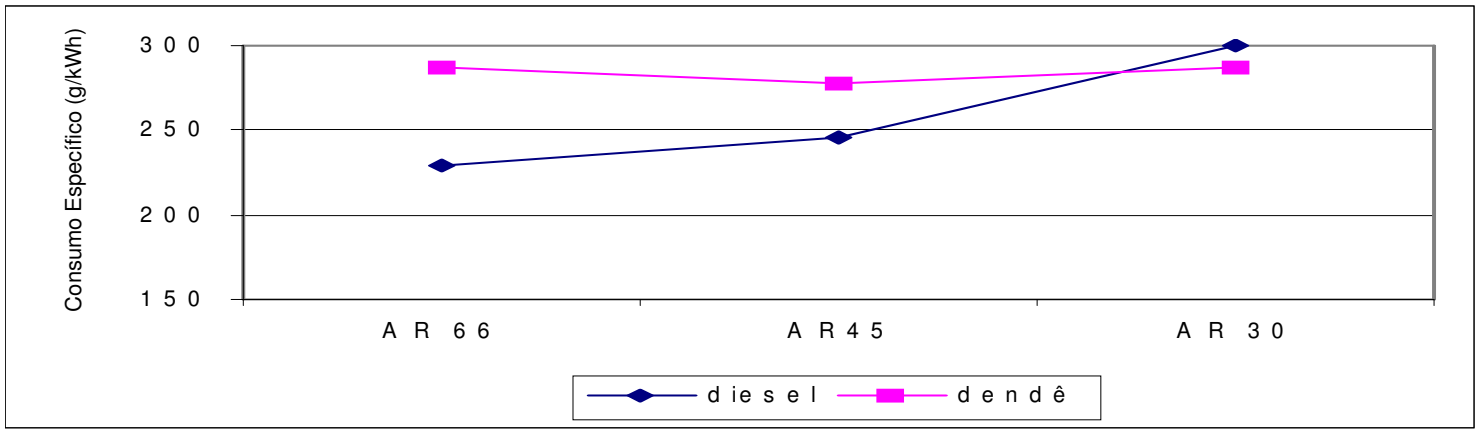

0,12
0,09
0,06
0,03
0
CO (%)
TAXA 11,91
TAXA 12,36*
TAXA 13,86
diesel
dendê

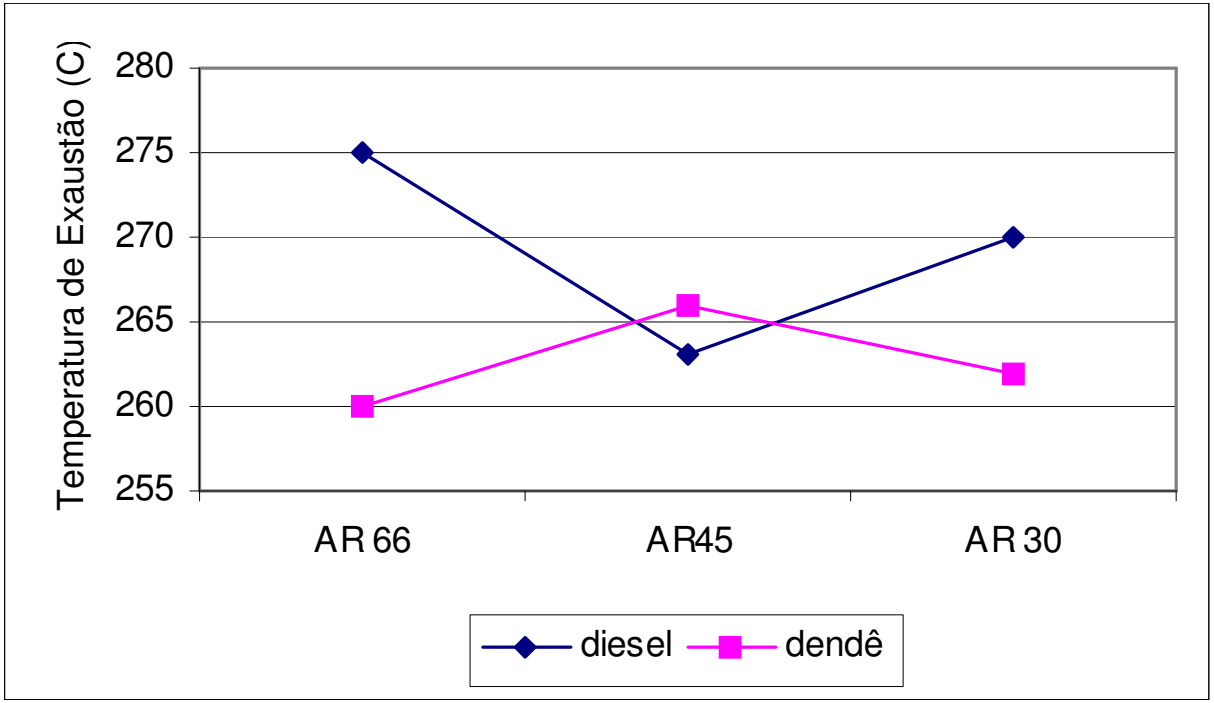

8,8
8,6
8,4
8,2
CO2 (%)
TAXA 11,91
TAXA 12,36*
TAXA 13,86
diesel
dendê

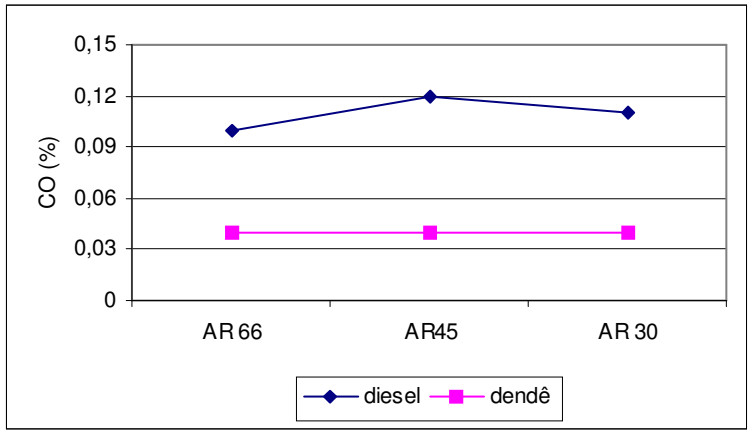

250
200
150
100
50
0
HC (ppm)
TAXA 11,91
TAXA 12,36*
TAXA 13,86
diesel
dendê

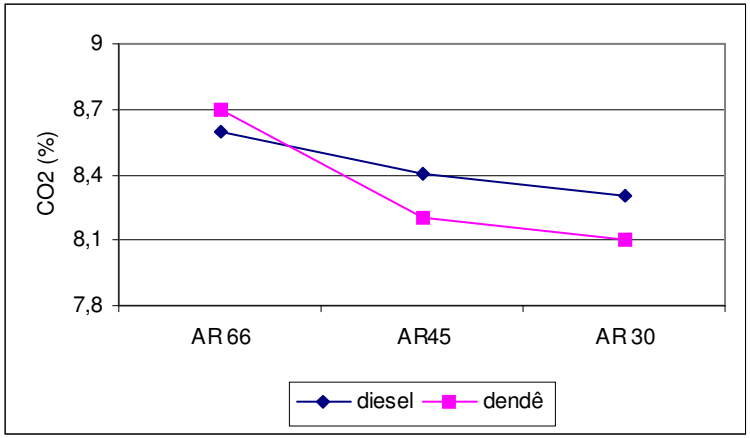

600
500
400
300
200
NOx (ppm)
TAXA 11,91
TAXA 12,36*
TAXA 13,86
diesel
dendê

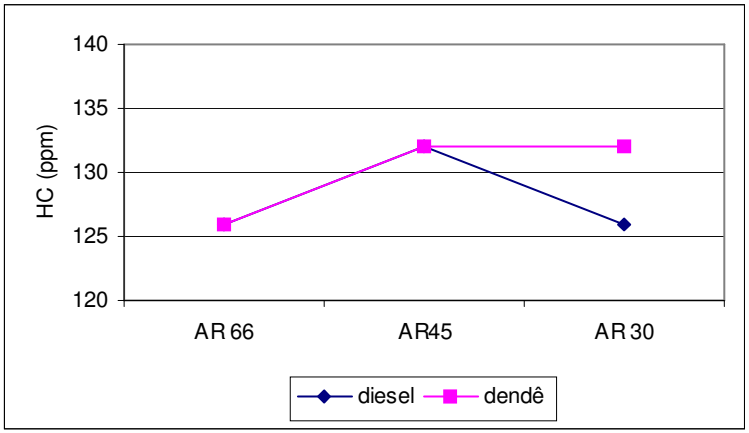

Potência (kW)
3,0
2,8
2,6
2,4
2,2
2,0
AR 66
AR45
AR 30
diesel
dendê

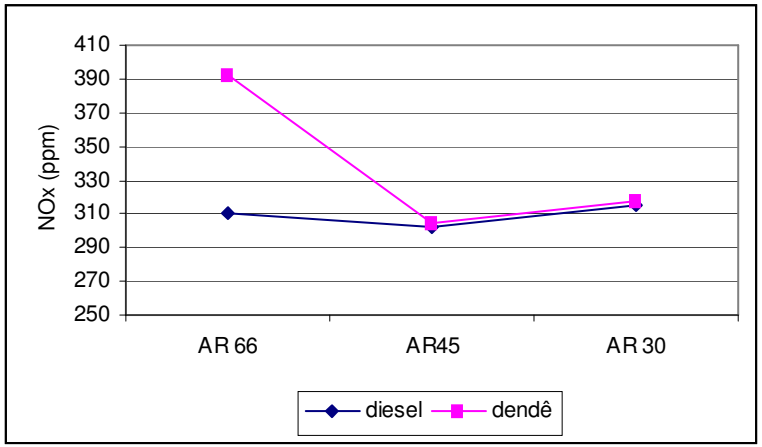

Consumo Específico (g/kWh)
300
250
200
150
AR 66
AR45
AR 30
diesel
dendê

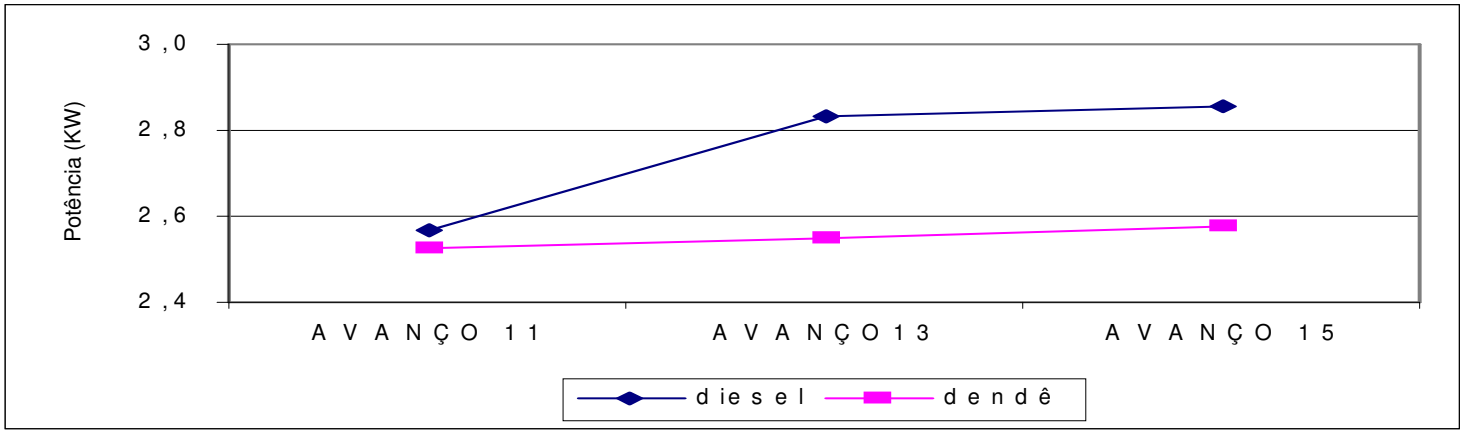

Temperatura de Exaustão (C)
280
275
270
265
260
255
AR 66
AR45
AR 30
diesel
dendê

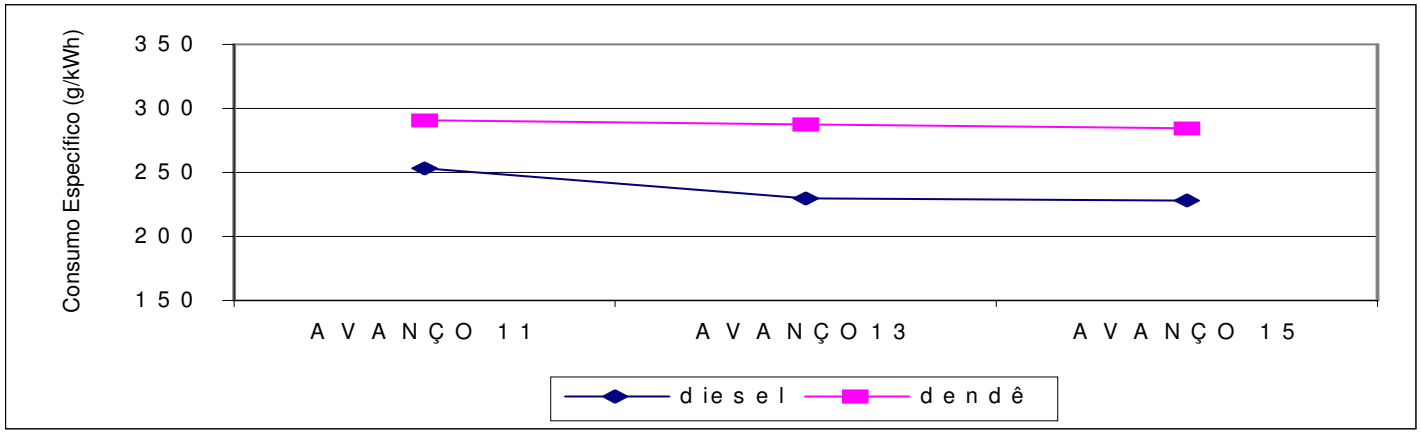

0,15
0,12
0,09
0,06
0,03
0
CO (%)
AR 66
AR45
AR 30
diesel
dendê

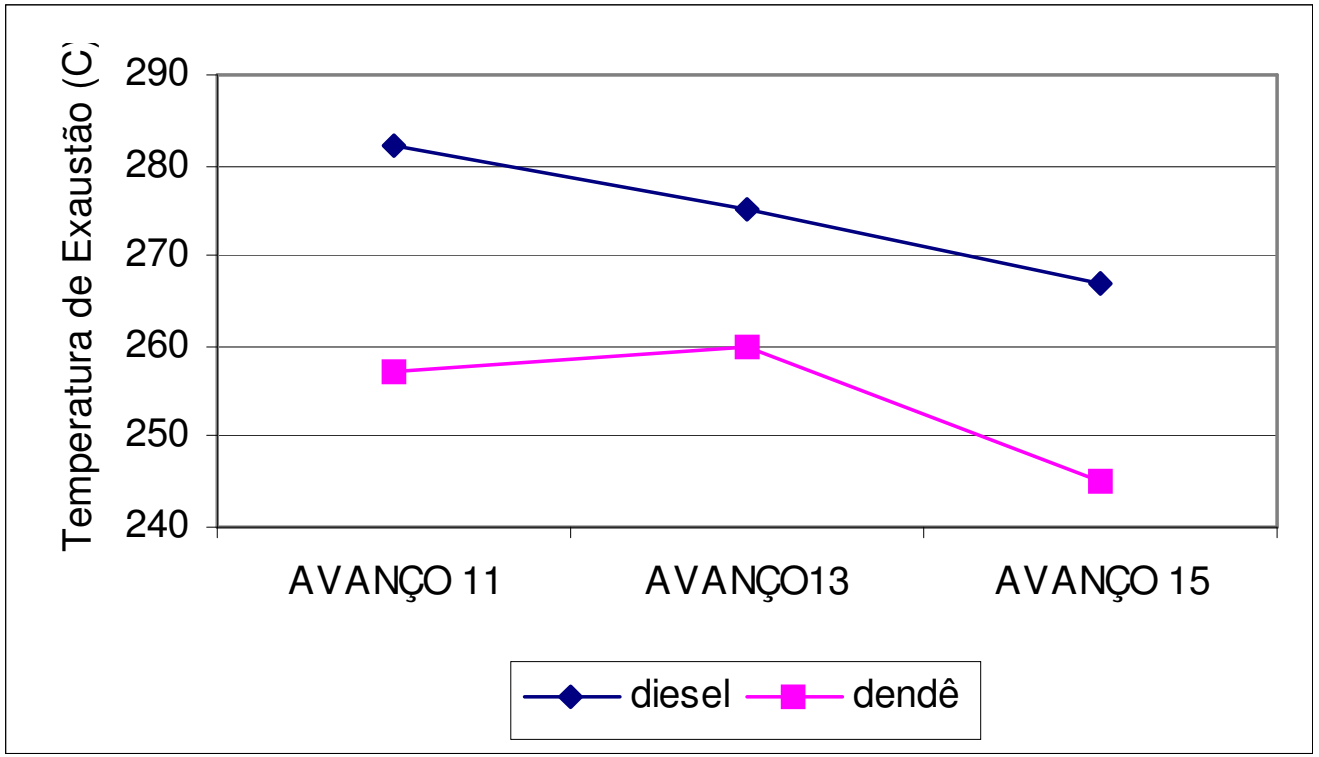

9
8,7
8,4
8,1
7,8
CO2 (%)
AR 66
AR45
AR 30
diesel
dendê

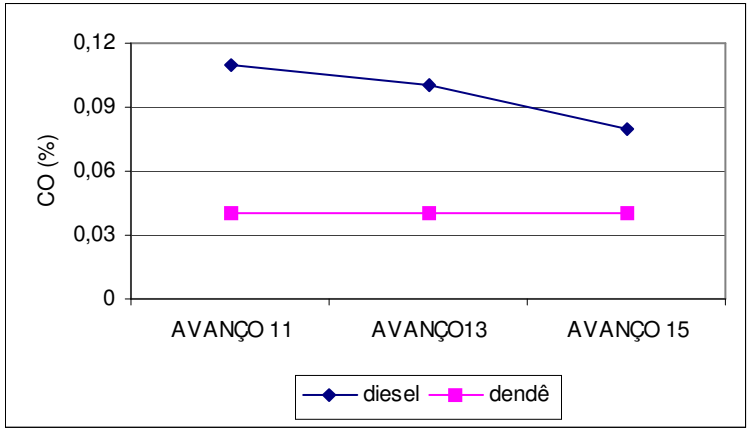

140
135
130
125
120
HC (ppm)
AR 66
AR45
AR 30
diesel
dendê

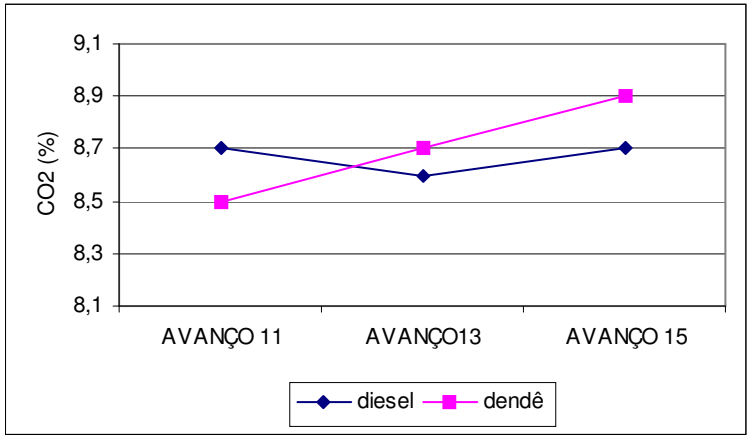

410
390
370
350
330
310
290
270
250
NOx (ppm)
AR 66
AR45
AR 30
diesel
dendê

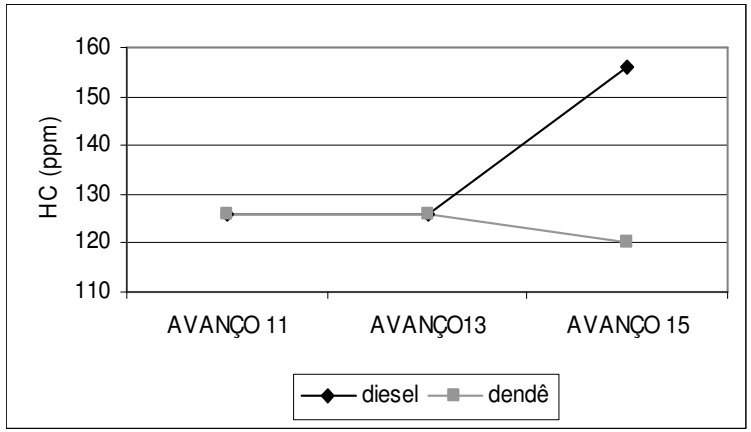

Potência (KW)
3,0
2,8
2,6
2,4
AVANÇO 11
AVANÇO13
AVANÇO 15
diesel
dendê

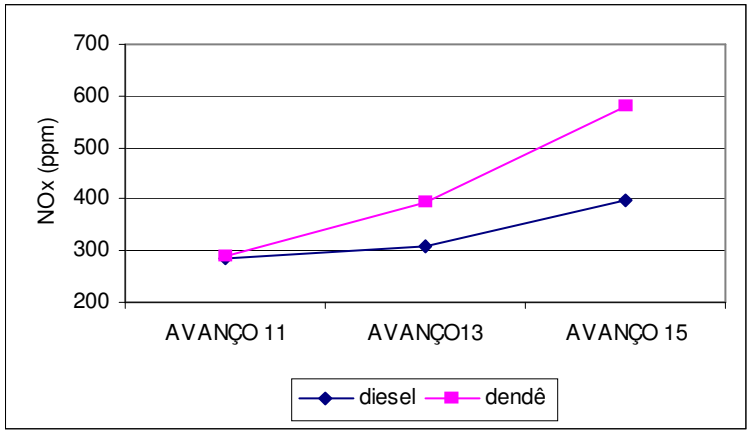

Consumo Específico (g/kWh)
350
300
250
200
150
AVANÇO 11
AVANÇO13
AVANÇO 15
diesel
dendê


Temperatura de Exaustão (C)
290
280
270
260
250
240
AVANÇO 11
AVANÇO13
AVANÇO 15
diesel
dendê


0,12
0,09
0,06
0,03
0
CO (%)
AVANÇO 11
AVANÇO13
AVANÇO 15
diesel
dendê


9,1
8,9
8,7
8,5
8,3
8,1
CO2 (%)
AVANÇO 11
AVANÇO13
AVANÇO 15
diesel
dendê


160
150
140
130
120
110
HC (ppm)
AVANÇO 11
AVANÇO13
AVANÇO 15
diesel
dendê


700
600
500
400
300
200
NOx (ppm)
AVANÇO 11
AVANÇO13
AVANÇO 15
diesel
dendê

Conclusão

- A utilização do óleo vegetal, em particular o óleo dendê que foi objeto da pesquisa, apresenta-se como uma das solução viáveis em substituição aos derivados de petróleo como combustíveis para diesel-geradores em comunidades isoladas .
- São necessárias adaptações de projeto no motor para um funcionamento regular e compatível com o motor operando com óleo diesel.
- Como a viscosidade do óleo de dendê “in natura” à temperatura ambiente é muito alta é necessário aquecer o óleo de dendê a uma temperatura próxima dos 85° C, o que resulta em melhores condições de operação do motor.
- Observou-se que a coloração do depósito formado pela combustão do óleo de dendê próximo às válvulas é alaranjada, diferente da do diesel que tem coloração acinzentada.

Conclusão

- Verificou-se uma perda de potência de 4% ao final das 350 horas de teste com óleo de dendê, e queda de 8% em relação ao diesel.
- As emissões de CO, com o motor operando com óleo de dendê a 85º C, apresentam valores próximos aos do diesel sob carga de 75 e 100%. Nas cargas de 25 e 50% as emissões de CO são menores que as do diesel.
- As emissões de hidrocarbonetos (HC), apresentam uma queda progressiva com o aumento de carga e com o motor operando com óleo de dendê a 85º C (350 h) apresentam valores inferiores do que as do diesel.
- As emissões de NOx com o motor operando com diesel foram maiores do que quando operando com óleo de dendê.
- Os percentuais de opacidade foram menores com o óleo de dendê aquecido a 85° C do que com dendê a 50°C e a 100° C, confirmando o melhor desempenho do motor operando com o óleo aquecido a essa temperatura.
- Quanto ao aspecto de manutenção o prazo de troca/manutenção dos bicos injetores deve ser de 350 horas quando começaram a apresentar problemas.

Conclusão

- Os testes no motor ASTM-CFR Cetano, realizados com o óleo de dendê a 85°C, foram muito importantes para indicar algumas modificações de projeto e operação do motor necessários a um desempenho similar ao do diesel.
- O aumento da temperatura do ar de admissão, teve maior influência sobre o atraso de ignição do óleo diesel do que no atraso do óleo de dendê. Este fato levou a menores variações na potência do motor operando com este combustível, com o aumento da temperatura do ar de admissão, com poucas variações nas emissões.

Conclusão

- O aumento da taxa de compressão, do avanço de injeção e do débito de combustível promoveram um aumento na potência do motor.
- Algumas das alterações de projeto e operação implementadas no trabalho experimental não só afetaram o desempenho do motor mas também modificaram alguns dos valores de emissões esperados, muitas vezes confirmando a vantagem em se utilizar o óleo vegetal em relação ao óleo diesel.
- O aumento do avanço de injeção neste motor ASTM CFR Cetano, devido às sua características de operação, promove um aumento nas emissões de NOx CO2 e a diminuição nas emissões de CO.
- O aumento na taxa de compressão fez aumentar o desempenho do motor no que se refere a potência e eficiência térmica e diminuir as emissões de CO2, HC, CO, aumentando-se a emissão de NOx, para os dois combustíveis.

Conclusão

- Quanto ao aspecto de manutenção pode-se prever que uma análise periódica do óleo lubrificante mostra-se necessária. Ficou caracterizada a necessidade de uma rotina de troca do óleo com espaço de tempo a cada 100 horas de funcionamento ao invés de 200 horas como previsto no manual, devido a sua contaminação acentuada.
- De acordo os resultados dos testes, o prazo de manutenção dos bicos injetores deve ser de 350 horas quando começaram a apresentar problemas.

Obrigada!

valeria.pimentel@int.gov.br