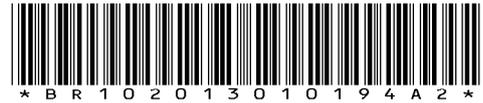




República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e do Comércio Exterior
Instituto Nacional de Propriedade Industrial

(21) BR 10 2013 010194-0 A2



(22) Data de Depósito: 26/04/2013

(43) Data da Publicação: 16/06/2015
(RPI 2319)

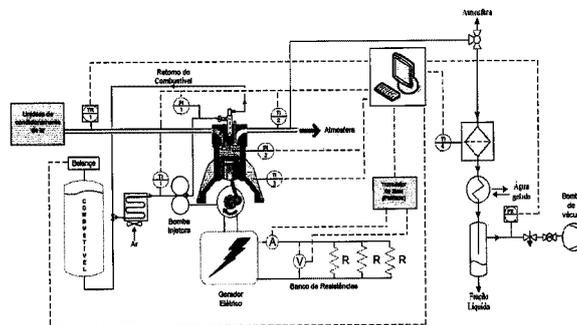
(54) **Título:** MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE CETANO DE COMBUSTÍVEIS DIESEL ATRAVÉS DE MEDIDAS DE TEMPO DE RETARDO DA IGNIÇÃO

(51) **Int.Cl.:** G01N33/22

(73) **Titular(es):** Universidade Federal do Rio Grande do Sul

(72) **Inventor(es):** PEDRO MOTIFUMI KUAMOTO, RENATO CATALUNA VESES, ROSANGELA DA SILVA

(57) **Resumo:** MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE CETANO DE COMBUSTÍVEIS DIESEL ATRAVÉS DE MEDIDAS DE TEMPO DE RETARDO DA IGNIÇÃO. Número de cetano (NC) é um parâmetro empírico associado ao tempo de retardo da ignição - intervalo de tempo entre o início da injeção de combustível na câmara de combustão e o início da reação de oxidação - de combustível diesel, o qual é determinado por meio de testes padronizados de acordo com a legislação vigente, exigindo a utilização de equipamentos sofisticados. A presente invenção reivindica a determinação do número de cetano de combustíveis diesel a partir dos sinais de sensores de pressão na câmara de combustão e sistema de injeção de um motor mono-cilindro ciclo diesel comercial avaliando de forma direta o tempo de retardo da ignição, possibilitando a obtenção de uma correlação precisa entre o tempo de retardo da ignição - obtido de forma experimental - com o número de cetano do combustível



Relatório Descritivo de Patente de Invenção

MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE CETANO DE COMBUSTÍVEIS DIESEL ATRAVÉS DE MEDIDAS DE TEMPO DE RETARDO DA IGNIÇÃO

5

Campo da invenção

O presente invento descreve uma metodologia eficiente para determinação do número de cetano, além de simular condições reais de operação, tornando uma metodologia prática, acessível e eficiente. A metodologia proposta, além de determinar o número de cetano, possibilita avaliar a qualidade do combustível em relação às emissões de contaminantes atmosféricos.

Antecedentes da Invenção

O número de cetano é uma característica fundamental dos combustíveis para obtenção de alto desempenho e baixos níveis de emissões de contaminantes atmosféricos em motores ciclo Diesel. Este parâmetro é regulamentado por lei, conseqüentemente os combustíveis devem ter uma qualidade específica em relação ao número de cetano para serem comercializados. Os limites deste parâmetro são normatizados, com o fim de maximizar o rendimento dos motores e reduzir as emissões de contaminantes atmosféricos. As empresas que produzem e/ou comercializam combustível Diesel necessitam de metodologias para avaliação e/ou certificação do seu combustível.

A importância do conhecimento do número de cetano tem feito com que muitos esforços sejam dedicados ao desenvolvimento de formulações de combustíveis, havendo atualmente uma grande variedade de combinações e formulações empregadas na produção de combustíveis Diesel com elevada eficiência, e diversas tecnologias utilizadas para fiscalização comercial deste parâmetro.

Atualmente o Motor *Cooperative Fuel Research* (CFR-Waukesha) é o motor padrão, fabricado pela Waukesha para determinação do número de

cetano, em que se compara o combustível com a mistura entre padrões. Por exemplo, um combustível com número de cetano 45 é a mistura de 45% de cetano com 55% de alfa-metil-naftaleno. Este motor é movido por um motor elétrico em rotação constante podendo-se variar a razão de compressão.

5 Assim é possível encontrar a razão de compressão adequada para o combustível e utilizando um combustível com número de cetano acima e outro abaixo do combustível testado é possível interpolar linearmente e determinar o número de cetano do combustível analisado.

Esta metodologia depende de um motor *Cooperative Fuel Research*,
10 agora doravante denominado apenas por CFR, e combustíveis padrões para comparar os resultados com o combustível utilizado, além do alto investimento do equipamento exige condições especiais para sua instalação e pessoal especializado para sua operação. A partir do presente invento, utilizando um motor mono-cilindro equipado com sensores de pressão indutivos de pressão e
15 temperatura dos gases de descarga é possível avaliar o número de cetano a partir de medidas diretas do tempo de retardo da ignição.

Existem outras metodologias para avaliar o número de cetano, e, que utilizam também o retardo da ignição para avaliação do número de cetano, uma delas é FIA/FIT - *Fuel Ignition Analysis* doravante denominados apenas por
20 (FIA) ou *Teste* (FIT) para determinação do número de cetano – no qual o combustível é injetado em um reator com câmara de combustão a volume constante com sensores para coletar dados durante a fase de ignição e combustão. Estas condições de combustão não simulam fielmente as condições de operação de um motor diesel. Os métodos FIA/FIT medem o
25 retardo da ignição de um combustível diesel nas condições pré-estabelecidas e utilizam uma correlação linear simples para converter os valores do retardo da ignição medido experimentalmente em um número de cetano derivado (DCN), conforme descrito no método ASTM D 7170-08. O presente invento para
30 determinar o número de cetanos, descrito neste relatório, utiliza condições reais de operação de um motor ciclo Diesel.

Adicionalmente, no estado da técnica, foram encontrados alguns documentos descrevendo metodologias para determinação do número de cetano (NC) a partir do tempo de retardo:

5 O pedido de patente europeu EP 2392801 (A1)–07/12/2011(*Method and Device for Detecting the Cetane Number*, Petrovic, S.; Tumelaine, C.) utiliza um método para determinar o número de cetano, doravante denominado apenas por NC, utilizando motor diesel com injeção direta equipado com um turbo compressor. O NC é determinado a partir da variação da velocidade do turbo compressor com o retardo da ignição. Diferencia-se, do presente pedido de
10 patente, descrito neste relatório, no qual o NC é determinado a partir da variação da pressão na câmara de combustão e do tempo de retardo utilizando-se um motor mono-cilindro ciclo Diesel instrumentalizado com sensores de pressão indutivos na câmara de combustão e na tubulação de combustível entre a bomba injetora e o injetor.

15 O pedido de patente US2011209533 (A1) – 01/09/2011 (*Cetane Number Determination Apparatus for Fuel Diesel Engine and Method of Determining Cetane Number of Fuel of Diesel Engine*, Yasuda, H.) baseia-se no monitoramento da pressão na câmara de combustão em função da quantidade de combustível injetado. O aumento da pressão é correlacionado com a
20 quantidade de combustível e com base na pressão detectada no cilindro a um determinado ângulo de manivela, determina-se o número de cetano. Diferentemente, no presente invento, descrito neste relatório, o NC é correlacionado diretamente com o tempo de retardo da ignição obtido diretamente medindo-se o tempo entre a injeção do combustível e o aumento
25 de pressão observado na câmara de combustão partir de uma condição de operação estacionária pré-estabelecida.

O pedido de patente US2011208408 (A1) – 25-08-2011 (*Adaptive Diesel Engine Control for Cetane Variations*, Haskara, I.; Wang, Y.Y.) utiliza um sistema metodológico adaptado em um motor ciclo Diesel para controlar e
30 acompanhar as variações do NC do combustível. Um controlador para motor incluindo vários módulos de controle com algoritmos para estimar o NC e/ou o

tempo de retardo. Com estas informações o motor ajusta a quantidade de gás da exaustão por recirculação, pela variação da quantidade de oxigênio para a queima do combustível. O controlador também ajusta o tempo de injeção do combustível. Esta metodologia baseia-se na otimização das condições de operação do motor para melhorar o rendimento do ciclo térmico com o uso de controladores. Diferentemente, a presente patente descrita neste relatório, determina o tempo de retardo da ignição para determinação do NC utilizando condições reais de operação de um motor mono-cilindro operando com ciclo Diesel.

O pedido de patente DE102007022850 (A1) – 20/11/2008 (*Chemical and/or physical characteristics i.e. cetane number, determining method for diesel internal-combustion engine, involves carrying out injection of fuel, and determining measure for fuel characteristics from shifting combustion state*, Damitz, J.; Engber, A.; Kessler, M.; Kolbe, M.; Loeffler, A.; Rupp., A.) envolve a utilização de um motor de combustão interna ciclo Diesel para a determinação do estado da combustão. O cilindro do motor de combustão interna é operado temporariamente e limitado a um teste de operação, em que a pré-injeção é suprimida durante a troca para a injeção principal. A injeção do combustível é realizada em operação normal na forma de pré-injeção e injeção principal durante a compressão e/ou, onde a medição das características físico-químicas do combustível é determinada pelas mudanças no processo de combustão. Incluindo-se entre outros parâmetros um método para compensação da dispersão dos resultados das características físico-químicas pela utilização de um combustível referência e um programa de computador possuindo instruções para executar o desempenho do método utilizado. Diferenciando-se do presente invento que trata em especial à determinação do NC analisando o tempo de retardo da ignição para determinação do NC sob condições reais de operação de um motor mono-cilindro operando com ciclo Diesel.

Sumário da Invenção

Com o objetivo de obter máximo rendimento térmico do motor, baixas emissões de contaminantes atmosféricos, atender a legislação vigente e

superar o alto custo das análises dos combustíveis diesel foi desenvolvido um protocolo de análise que utiliza um motor mono-cilindro instrumentalizado operando no ciclo Diesel que permite avaliar o número de cetano de combustíveis em condições reais de operação.

5 A correlação entre o retardo da ignição e o número de cetano são realizados utilizando um motor mono-cilindro operando no ciclo Diesel com pressão média injeção de 150 bar e taxa de compressão de 21:1. O tempo de retardo é avaliado a partir dos sinais de pressão na tubulação de combustível antes do bico injetor e da pressão no interior da câmara de combustão,
10 utilizando sensores de pressão indutiva. O parâmetro "tempo de retardo" (TR) é determinado a partir dos perfis de pressão obtidos através de sensores de pressão.

Para comprovar a eficácia da metodologia proposta, foram utilizados quatro tipos de óleo diesel base, classificados de acordo com o teor de enxofre
15 e número de cetano (S50, S1800, S1500A, S500B).

Descrição das Figuras

a) **Figura 1A** - apresenta o motor/gerador especialmente instrumentalizado para a determinação do tempo de retardo.

b) **Figura 1** - perfis de pressão na câmara de combustão para os combustíveis
20 S50 referências inferior e superior (INF e SUP) e S1800.

c) **Figura 2** - curva do tempo de retardo de ignição em função do Número de Cetano para os combustíveis S50 referências inferior e superior (INF e SUP) e S1800.

d) **Figura 3** - perfis de pressão na câmara de combustão para os combustíveis
25 S500A referências inferior e superior (INF e SUP) e S500B.

e) **Figura 4** - curva do tempo de retardo em função do número de cetano para os combustíveis S500A referências inferior e superior (INF e SUP) e S500B.

f) **Figura 5** - perfis de pressão na câmara de combustão para os combustíveis
30 S500A referências inferior e superior (INF e SUP) e S50 referência inferior (INF).

g) **Figura 6** - curva do tempo de retardo em função do número de cetano para os combustíveis S500A referências inferior e superior (INF e SUP) e S50 referência inferior (INF).

h) **Figura 7** - perfis de pressão na câmara de combustão para os combustíveis S50 referências inferior e superior (INF e SUP) e S500A referência superior (SUP).

i) **Figura 8** - curva do tempo de retardo em função do número de cetano para os combustíveis S50 referências inferior e superior (INF e SUP) e S500A referência superior (SUP).

10 **Descrição Detalhada da Invenção**

Os combustíveis utilizados para determinar o retardo da ignição em motores ciclo Diesel, foram combustíveis normalmente comercializados no mercado. A correlação entre tempo de retardo da ignição e o número de cetano são realizados a partir de combustíveis modificados com padrões secundários U17, combustível com baixo NC, e T23, combustível com alto NC, ambos fornecidos pela Chevron-Phillips®.

A Tabela 1 apresenta as propriedades físico-químicas dos combustíveis e padrões secundários utilizados.

20 **Tabela 1.** Propriedades físico-químicas dos combustíveis e padrões secundários.

	Massa específica a (kg m ⁻³)	T 10% (°C)	T 50% (°C)	T 90% (°C)	Viscosidade cinemática (mm ² s ⁻¹)	Ponto de fulgor (°C)	Enxofre (mg L ⁻¹)	NC
ASTM	D4052	D86	D86	D86	D445	D93	D7039	D613
S50	839,4	209	264	338	2,85	72	10	50
S500A	850,2	206	271	357	3,26	68	452	44
S500B	850,2	180	268	376	2,89	67,5	327	45
S1800	825,6	164	259	361	2,41	43	1370	51
U17	783,1	161	177	216	1,10	81	1	18

T23	792,3	218	250	273	2,15	158	127	76
-----	-------	-----	-----	-----	------	-----	-----	----

A correlação entre o retardo da ignição e o número de cetano foi avaliada utilizando-se os combustíveis comerciais designados S50, S500 (A e B) e S1800, os quais foram modificados com os padrões secundários (U17 e T23) para serem obtidos formulações similares, entretanto com número de cetano com dois pontos acima e abaixo dos combustíveis originais. Deve ser salientado que os combustíveis em questão servem como referência para estabelecer o tempo de retardo superior e inferior (SUP e INF) podendo ser utilizado qualquer outro combustível diesel desde que seu número de cetano seja conhecido.

Os testes para correlacionar o retardo da ignição com o número de cetano foram realizados utilizando um motor mono-cilindro operando no ciclo Diesel com pressão média injeção de 150 bar e taxa de compressão de 21:1. O tempo de retardo foi avaliado a partir dos sinais de pressão na tubulação de combustível antes do bico injetor e da pressão no interior da câmara de combustão utilizando sensores de pressão indutiva.

A Figura 1 apresenta o esquema do motor utilizado para a determinação do tempo de retardo da ignição especialmente instrumentalizado. A instrumentação para os ensaios com motor inclui a utilização de controladores universais de processo, placa de transdutores de sinais, sensores de temperatura e vazão, registrador analógico/digital para o monitoramento das condições operacionais do motor. O tempo de retardo foi obtido de forma experimental através da utilização um sensor de pressão indutivo – Optrand D31294-Q – no sistema de injeção e no interior da câmara de combustão, para a aquisição dos sinais utiliza-se um sistema de aquisição de dados de alta frequência. Paralelamente o motor/gerador foi equipado com um sistema para coleta dos contaminantes atmosféricos como material particulado (MP) e hidrocarbonetos não queimados (HC's), gerados pelo processo de combustão durante a operação do motor.

Figura 1. Esquema mostrando a instrumentalização do motor/gerador.

No qual: TR 1 – Temperatura do ar de admissão; TI 1 – Temperatura do combustível antes da bomba injetora; TI 2 – Temperatura de descarga do gás; TI 3 – Temperatura do bloco; PI 1 – Pressão de injeção; PI 2 – Pressão na câmara de combustão; TIC – controlador e indicador de temperatura do gás de amostragem; FR 2 – Mede vazão de gás.

Para permitir uma melhor compreensão da presente invenção e demonstrar claramente os avanços técnicos obtidos, são apresentados abaixo exemplos, não limitantes, compreendendo modos de execução da presente invenção.

Exemplos:

Exemplo 1: Determinação do tempo de retardo da ignição do combustível comercial S1800 utilizando como referência o combustível S50.

Utilizando-se o combustível S50, como referência, foi possível determinar o tempo de retardo da ignição do combustível S1800 modificando-se o combustível S50 com adição dos padrões secundários (U17 e T23) com o objetivo de obterem-se formulações similares, entretanto com número de cetano com dois pontos abaixo e acima, denominados referência inferior e superior, respectivamente.

Cada análise foi feita rodando no motor, primeiramente, o combustível de referência inferior, durante cada corrida foi coletado aproximadamente 15 valores do “tempo de retardo”. Após, foi coletado o tempo do combustível S1800 e por último o combustível referência superior.

Com a média dos tempos de retardo da ignição obtidos de acordo com a Figura 1A foi possível traçar um gráfico relacionando-os com seus números de cetano, e a partir da média do tempo de retardo da ignição obtido pela análise do S1800, foi possível encontrar seu número de cetano através da interpolação destes resultados, conforme apresenta a Figura 2.

Exemplo 2: Testes para a determinação do tempo de retardo da ignição do combustível comercial S500B utilizando como referência o combustível S500A.

Determinado semelhantemente ao Exemplo 1, onde os resultados da média dos tempos de retardo da ignição obtidos de acordo com a Figura 3 foi

possível encontrar o número de cetano para o combustível S500B através da interpolação destes resultados, conforme apresentado na Figura 4.

Exemplo 3: Testes para a determinação do tempo de retardo da ignição do combustível comercial S50 referência inferior utilizando como referência o combustível S500A.

Determinado semelhantemente ao Exemplo 1 e 2, onde os resultados da média dos tempos de retardo da ignição obtidos de acordo com a Figura 5 foi possível encontrar o número de cetano para o combustível S50 referência inferior através da interpolação destes resultados, conforme apresentado na Figura 6.

Exemplo 4: Testes para a determinação do tempo de retardo da ignição do combustível comercial S500A referência superior utilizando como referência o combustível S50.

Determinado semelhantemente ao Exemplo 1, 2 e 3, onde os resultados da média dos tempos de retardo da ignição, obtidos de acordo com a Figura 7, foi possível encontrar o número de cetano para o combustível S50 referência inferior através da interpolação destes resultados, conforme apresentado na Figura 8.

Reivindicações

1. Método para Determinação do Número de Cetano de Combustíveis Diesel
5 Através de Medidas de Tempo de Retardo da Ignição, **caracterizado** por:
 - a) usar um motor ciclo diesel;
 - b) receber instrumentalização como sensores indutivos de pressão e temperatura dos gases de descarga.
2. Método para Determinação do Número de Cetano de Combustíveis Diesel
10 Através de Medidas de Tempo de Retardo da Ignição de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo motor ser preferencialmente um motor, monocilindro e ciclo de 4 tempos.
3. Método para Determinação do Número de Cetano de Combustíveis Diesel
Através de Medidas de Tempo de Retardo da Ignição de acordo com a
15 reivindicação 2, **caracterizado** pelo motor receber a adição de sensores de temperatura e pressão na câmara de combustão.
4. Método para Determinação do Número de Cetano de Combustíveis Diesel
Através de Medidas de Tempo de Retardo da Ignição, de acordo com a
reivindicação 3, **caracterizado** pela pressão média da injeção ser de 150 bar e
20 taxa de compressão de 21:1.
5. Método para Determinação do Número de Cetano de Combustíveis Diesel
Através de Medidas de Tempo de Retardo da Ignição, de acordo com a
reivindicação 4, **caracterizado** pelo tempo de retardo ser avaliado a partir dos
25 sinais de pressão na tubulação de combustível antes do bico injetor e da pressão no interior da câmara de combustão, utilizando sensores de pressão indutiva.
6. Método para Determinação do Número de Cetano de Combustíveis Diesel
Através de Medidas de Tempo de Retardo da Ignição, de acordo com a
reivindicação 5, **caracterizado** pelo parâmetro "tempo de retardo" (TR) ser
30 ~~determinado a partir dos perfis de pressão obtidos através de sensores de~~
pressão.

7. Método para Determinação do Número de Cetano de Combustíveis Diesel Através de Medidas de Tempo de Retardo da Ignição, de acordo com as reivindicações 1-6, **caracterizado** pela análise do tempo de retardo ser realizado a partir da interpolação de pontos em um gráfico contendo dados de
- 5 uma amostra com número de cetano conhecido de padrões e da amostra a ser analisada.

FIGURAS

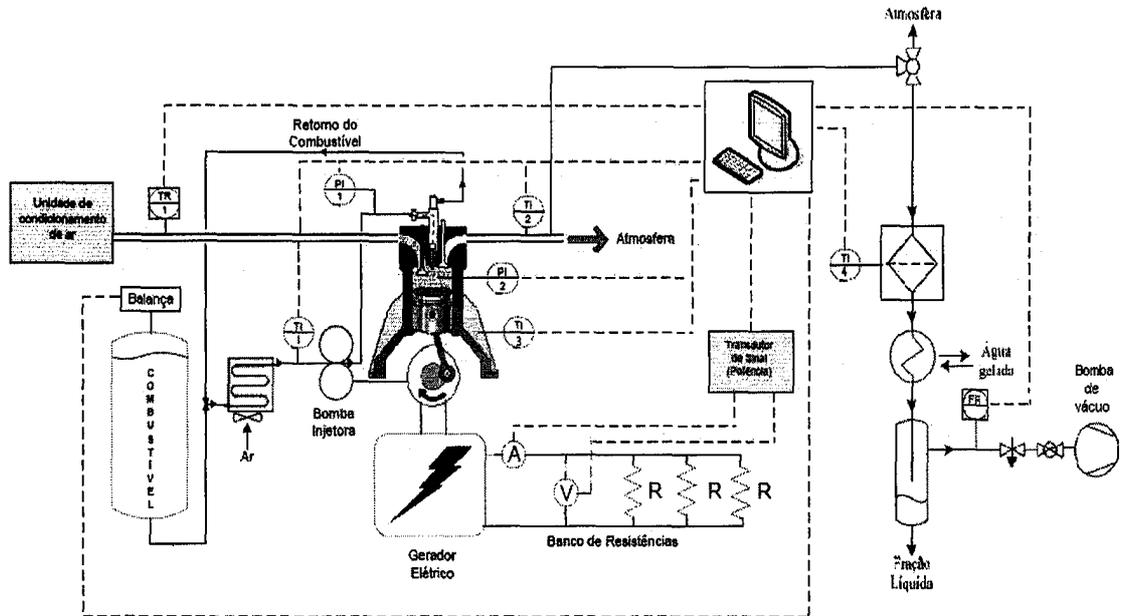


Figura 1

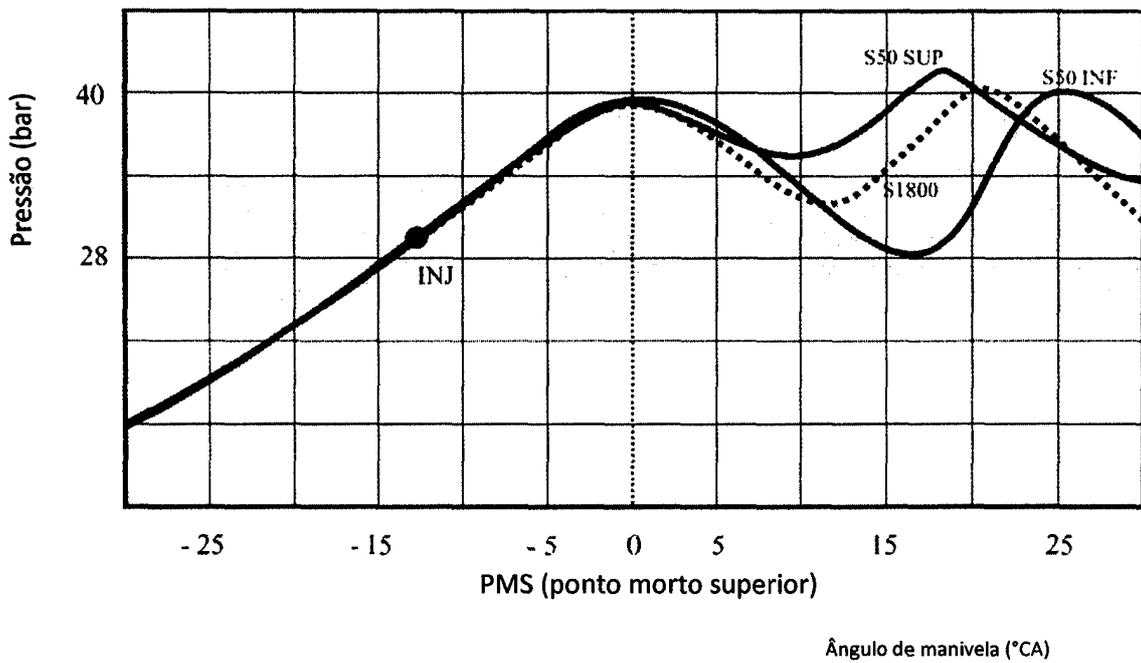


Figura 1A

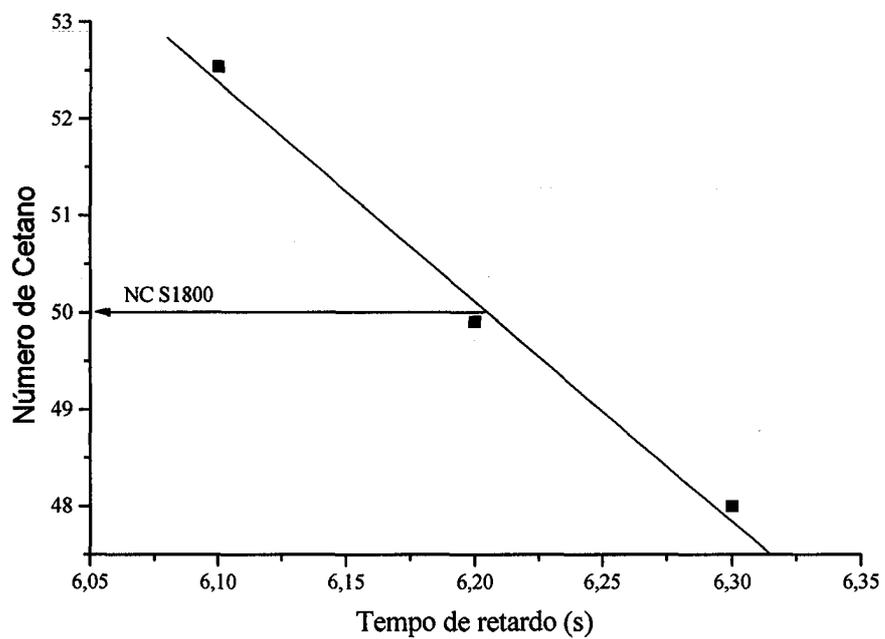


Figura 2

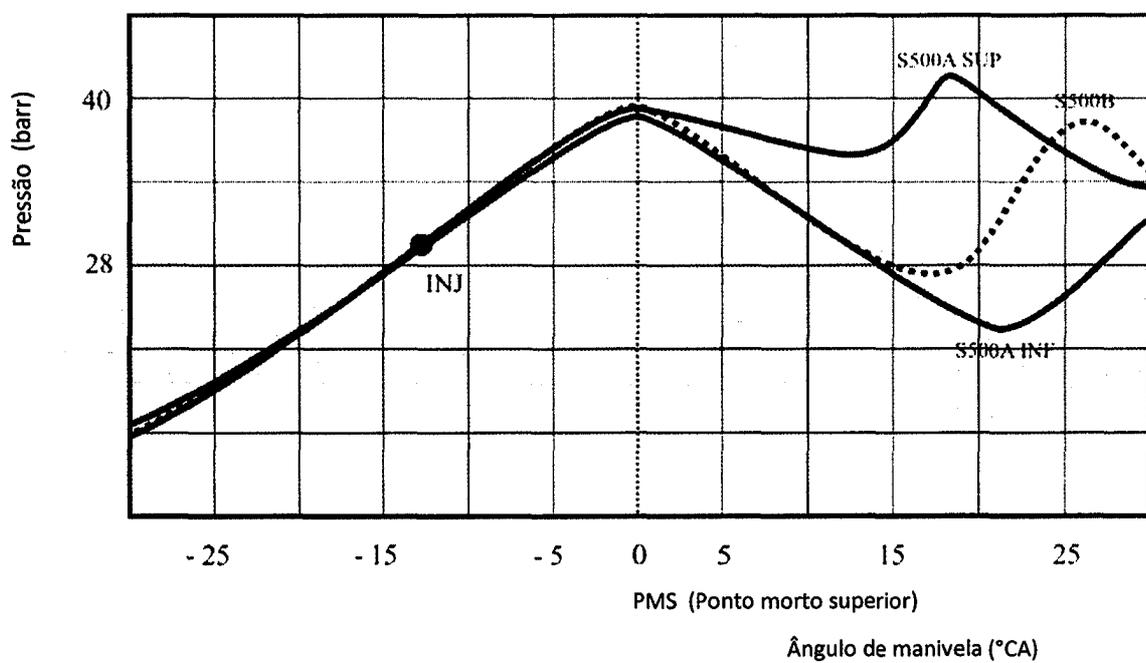


Figura 3

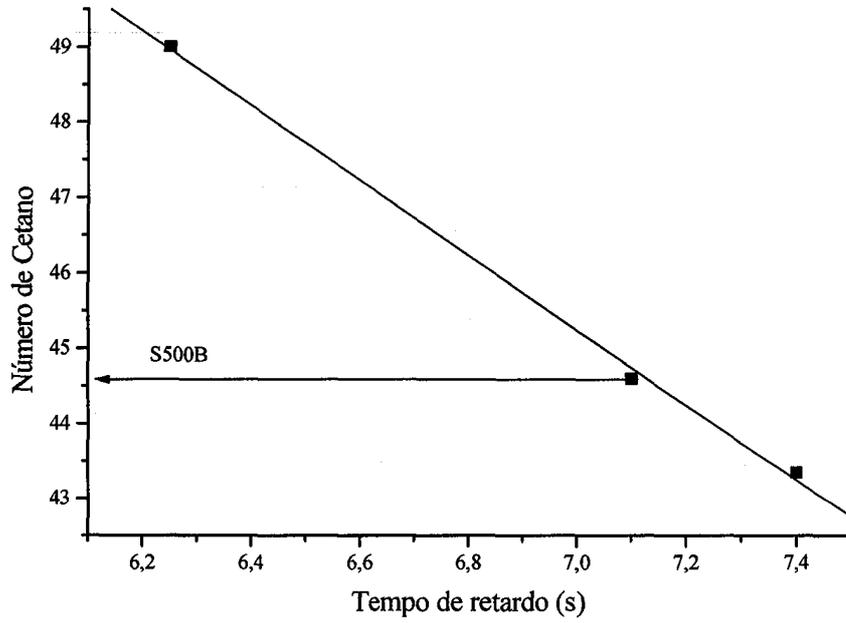


Figura 4

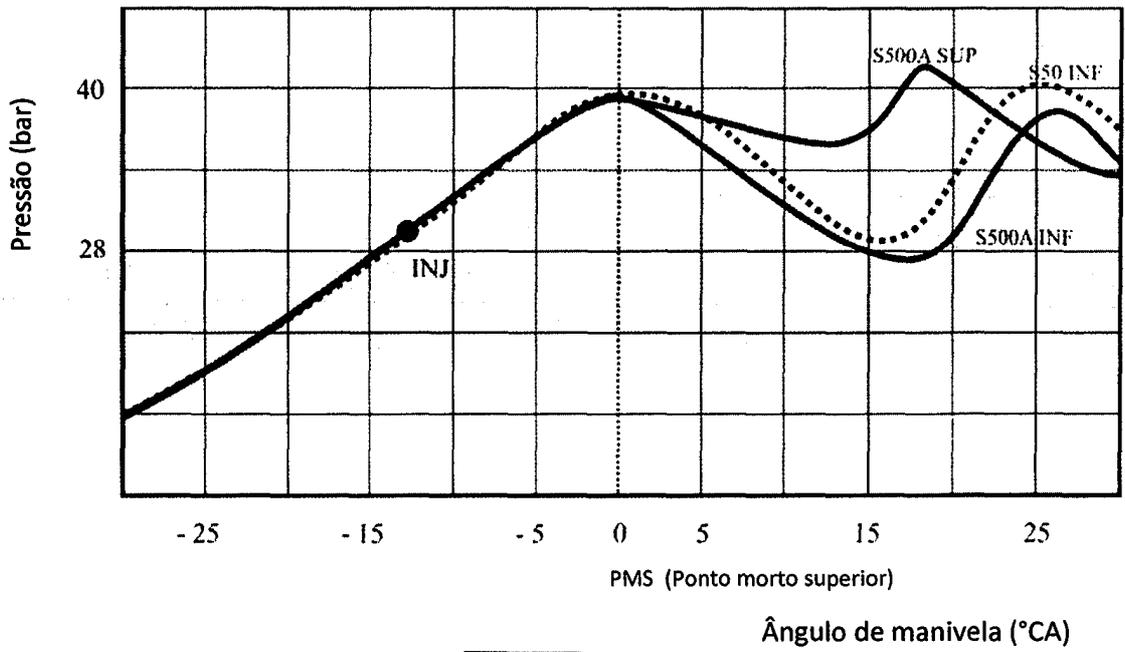


Figura 5

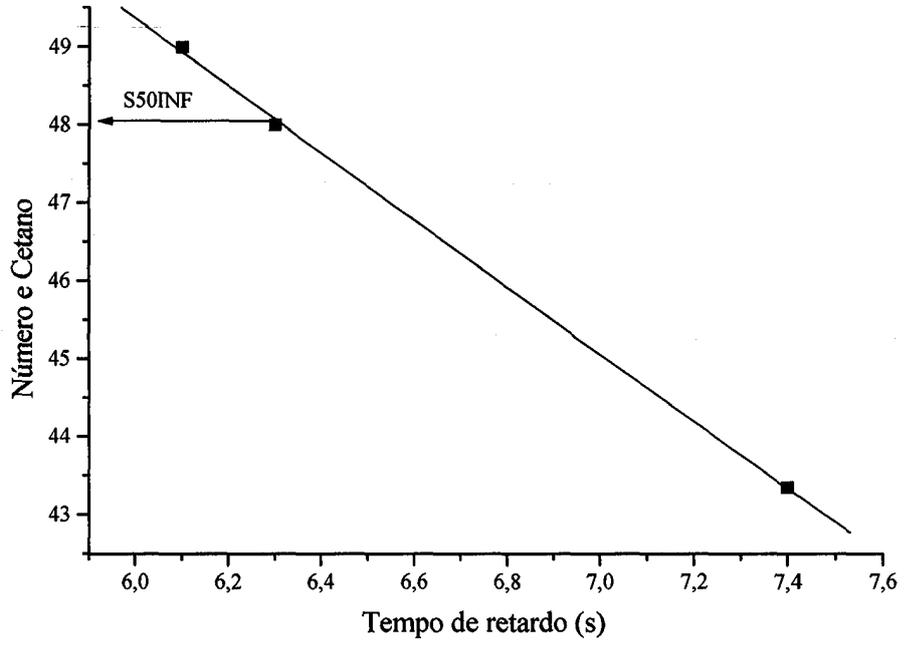


Figura 6

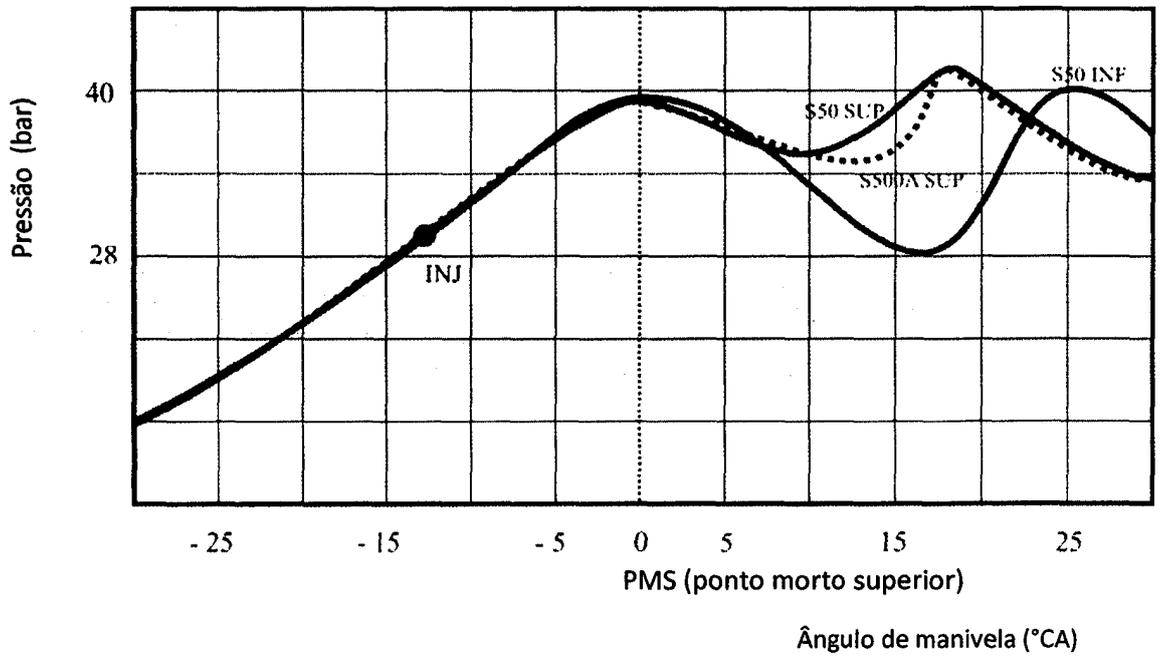


Figura 7

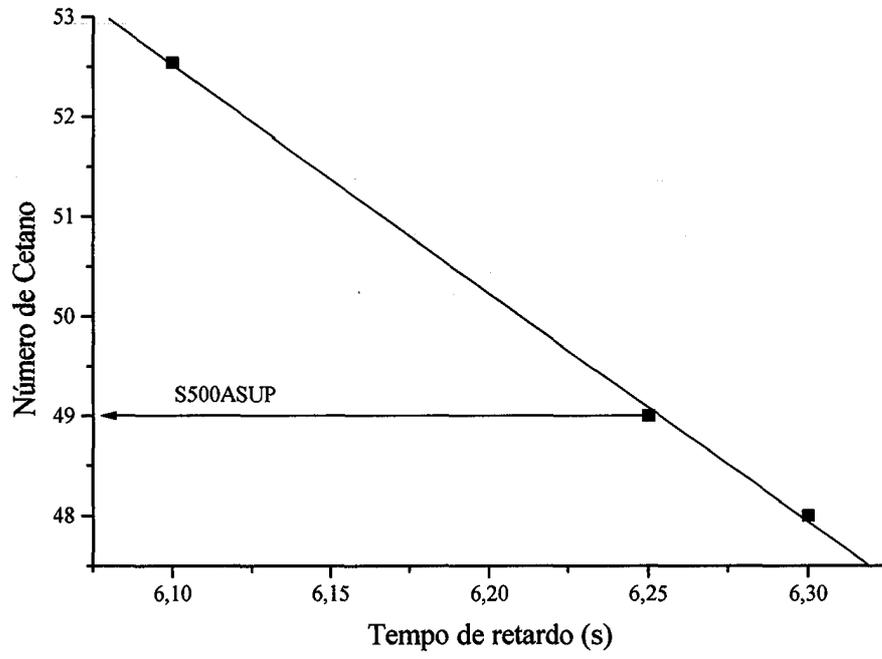


Figura 8

Resumo**MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE CETANO DE COMBUSTÍVEIS DIESEL
ATRAVÉS DE MEDIDAS DE TEMPO DE RETARDO DA IGNIÇÃO**

5

Número de cetano (NC) é um parâmetro empírico associado ao tempo de retardo da ignição - intervalo de tempo entre o início da injeção de combustível na câmara de combustão e o início da reação de oxidação - de combustível diesel, o qual é determinado por meio de testes padronizados de acordo com a legislação vigente, exigindo a utilização de equipamentos sofisticados. A presente invenção reivindica a determinação do número de cetano de combustíveis diesel a partir dos sinais de sensores de pressão na câmara de combustão e sistema de injeção de um motor mono-cilindro ciclo diesel comercial avaliando de forma direta o tempo de retardo da ignição, possibilitando a obtenção de uma correlação precisa entre o tempo de retardo da ignição - obtido de forma experimental - com o número de cetano do combustível.

10
15