

## MÓDULO EXPERIMENTAL PARA DETERMINAÇÃO DA OCTANAGEM DE COMBUSTÍVEIS

**Pedro Mello**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul-Rua Sarmetno Lete, 425-POA-RS-90050-170  
[mello@mecanica.ufrgs.br](mailto:mello@mecanica.ufrgs.br)

**José Eduardo Barbosa Moraes**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul-Rua Sarmetno Lete, 425-POA-RS-90050-170  
[eduardomecanica@hotmail.com](mailto:eduardomecanica@hotmail.com)

**Resumo.** O propósito deste trabalho é apresentar uma nova metodologia para determinar-se o octanagem de combustíveis. Esta metodologia utiliza um módulo experimental composto de um motor automotivo acoplado a um freio eletromagnético para simular cargas e de sensores estrategicamente localizados em diferentes pontos do motor para informar em tempo real os valores dos parâmetros de funcionamento do mesmo. Usando este módulo é possível adquirir dados de intensidade de detonação e a partir destes dados, usando um ajuste matemático adequado, determinar-se o octanagem do combustível. Após realização de testes usando-se combustíveis de referência com diferentes valores de octanagem, foi possível comparar a precisão dos resultados obtidos para o método proposto comparando os mesmos com os valores obtidos no motor CFR. Os resultados obtidos demonstraram que o módulo experimental permite medir valores de octanagem com exatidão de  $\pm 1,66$  octanas AKI em um intervalo de confiança de 95,45%.

*Palavras chave:* Octanagem, Detonação, Motores de Combustão Interna.

### 1. Introdução

O módulo experimental apresentado neste trabalho tem o objetivo de servir como alternativa de baixo custo para determinação da octanagem de combustíveis, uma vez que para utilização do método tradicional usado pelas refinarias são necessários investimentos na ordem de US\$ 200.000 na aquisição de motores CFR, motores estes aceitos universalmente pelos fabricantes de combustíveis cujos procedimentos de operação e testes estão descritos nas normas da ASTM D2700 e D2699. O módulo experimental proposto permitirá medir-se com aceitável precisão os valores de octanagem na faixa de utilização comercial com investimento na ordem de US\$ 10.000, o que torna o método bastante viável se comparado à utilização de motores CFR. Este módulo experimental, bem como os combustíveis ensaiados no mesmo foram preparados em conjunto com a Petrobrás, utilizando o laboratório de motores da Refinaria Alberto Pasqualini (REFAP) para construção e operação do módulo. Para construção deste módulo, foi utilizado um motor automotivo da marca FIAT Palio com 1 litro e volume da câmara de combustão reduzido para aumentar a taxa de compressão de 9,8: 1 para 12,72:1, favorecendo, com isso, o aparecimento da detonação. Para controle do motor foi utilizado um módulo de injeção programável marca Electromotive TEC II o qual possibilitou a programação e o mapeamento de funcionamento do motor, bem como o monitoramento em tempo real dos parâmetros de funcionamento do mesmo. Os dados foram adquiridos por uma placa de aquisição de dados da marca "Computer Boards" integrada a placas de filtragem de sinais e sensores diretamente instalados no motor, que permitiram aquisição dos sinais. Para gerenciar o funcionamento da placa de aquisição, foi utilizado o software Agilent Vee Pró 6.0 que permitiu ao final de cada aquisição exportar os dados adquiridos para o software Excel, onde as informações foram utilizadas para realização de cálculos e construção dos gráficos apresentados no final deste manuscrito. Os resultados dos valores de octanagem medidos para os combustíveis ensaiados no módulo experimental tiveram satisfatória precisão quando comparados com os resultados obtidos pelo motor CFR, cujo método e precisão são universalmente aceitos e podem ser vistos nos capítulos finais desta dissertação.

### 2. Revisão Bibliográfica.

O número de octanagem de uma gasolina é uma indicação da performance deste combustível sob variadas condições de funcionamento do motor. Duas diferentes taxas são utilizadas: Research Octane Number (RON) e o Motor Octane Number (MON). As gasolinas acabadas devem atender certas especificações de octanagem. Para isto, as refinarias controlam estes parâmetros durante a produção, e cuidam para que os combustíveis atendam as especificações antes de serem distribuídos ao consumidor final. O tradicional método de laboratório para determinação do número de octanagem é o que utiliza motores CFR para queimar a gasolina e comparar suas características com as de dois combustíveis de referência primária conhecidos (ASTM D2699 & ASTM D2700).

Os testes, segundo o método tradicional utilizando motores CFR, são realizados utilizando os procedimentos

das normas ASTM D2700 ou ASTM D2699 conforme o método a ser realizado: RON (Reaserch Octane Number) ou MON (Motor Octane Number). As tabelas 2.1 e 2.2 apresentam as condições de teste para os motores CFR de acordo com o tipo de método a ser realizado.

- Número de Octanagem Motor (MON): As condições de teste do método motor representam severas cargas e sustentadas altas velocidades. Para a maioria dos combustíveis hidrocarbonetos, incluindo ambos com ligações ou oxigenados, o número de octanagem motor (MON) será menor do que o número de octanagem de pesquisa (RON).

Tabela 2.1 - Condições de teste (MON) para o motor CFR. Fonte: (ASTM D2700, 1998).

Condições de teste do Motor	Motor Octane Number
Método de Teste	ASTM D2700
Motor	CFR
Rotação do Motor (RPM)	900
Temperatura Ar de Admissão (°C)	38
Umidade do Ar (g H <sub>2</sub> O/ kg ar seco)	3,56 – 7,12
Temperatura da mistura de Admissão	149
Temperatura do Refrigerante (°C)	100
Temperatura do Óleo (°C)	57
Ângulo de Ignição - variável	Vários c/ a taxa de compressão: 14 - 26 graus antes PMS.
Carburador Venturi (mm)	14,3

- Número de Octanagem Pesquisa (RON): O método pesquisa representa as condições típicas de suave dirigibilidade, sem cargas pesadas consistentes no motor.

Tabela 2.2 - Condições de teste (RON) para o motor CFR. Fonte: (ASTM D2699, 1998).

Condições de teste do Motor	Research Octane Number
Método de Teste	ASTM D2699
Motor	CFR
Rotação do Motor (RPM)	600
Temperatura Ar de Admissão (°C)	Várias c/ a pressão barométrica: 88kPa = 19,4°C, 101kPa = 52,2°C
Umidade do Ar (g H <sub>2</sub> O /kg ar seco)	3,56 - 7,12
Temperatura da mistura de Admissão	Não Especificado
Temperatura do Refrigerante (°C)	100
Temperatura do Óleo (°C)	57
Ângulo de Ignição - variável	13 graus antes PMS.
Carburador Venturi (mm)	Ajustada de acordo com a altitude do motor: 0-500m = 14,3 mm, 500-1000m = 15,1 mm.

A tentativa de desenvolver outros métodos que possibilitem obter os resultados em menor tempo, ou até mesmo on-line, e que sejam mais baratos, não necessitando de mão-de-obra qualificada, tem feito com que surjam outros métodos tais como:

- Espectrofotometria por infravermelho com transformada de Fourier (FTIR): A região do espectro eletromagnético permite o ajuste e a combinação de bandas fundamentais de C-H, O-H, e N-H. Para a medição o método de infravermelho utiliza-se de uma série de resultados de amostras armazenadas de combustíveis de número de octanagem conhecidos, desenvolvendo, desta maneira, um modelo quantitativo que permitirá medições em amostras futuras baseado somente nos modelos espectrais armazenados. Esta metodologia está fundamentada na medição por absorção de infravermelho de acordo com ASTM D5845.
- Método de Variação Dielétrica: Análise comparativa de parâmetros da gasolina estudada com os de padrões de gasolina armazenados em um microprocessador de memória. O princípio deste método fundamenta-se na mudança das propriedades de permeabilidade dielétrica e de indução eletromagnética dos combustíveis comparados. O equipamento utilizado tem sua aplicação admitida pela federação russa e registro de estado (N 16464-97).

Já o método proposto por este trabalho se utiliza de um módulo experimental para determinação da octanagem dos combustíveis, baseando-se na variação na pressão absoluta no coletor de admissão (MAP) provocada pela abertura da borboleta de aceleração, mantida a rotação do motor constante. As condições de teste do módulo são apresentadas na Tab. 2.3.

Tabela 2.3. Condições de teste para o Método Proposto

Condições de teste do Motor	Método Proposto
Método de Teste	Utilização Módulo Experimental
Motor	FIAT Palio 1,0
Rotação do Motor (RPM)	1500
Temperatura Ar de Admissão (°C)	34
Umidade do Ar (g H2O /kg ar seco)	Não Especificado
Temperatura da mistura de Admissão (°C)	Não Especificado
Temperatura do Refrigerante (°C)	88
Temperatura do Óleo (°C)	Não Especificado
Ângulo de Ignição - variável	26 graus antes PMS
Carburador Venturi (mm)	Não Especificado

### 3. Metodologia

A seguir é mostrada a metodologia para realização dos ensaios utilizando o módulo experimental, onde a partir dos dados adquiridos com a utilização do aparato experimental pode-se calcular os valores de octanagem dos combustíveis ensaiados.

#### 3.1 Preparação dos Combustíveis Utilizados

Para realização dos ensaios foram preparadas amostras de cinco combustíveis diferentes, utilizando misturas de Alquilado (98 RON, 92 MON) e n-Hexeno (76,4 RON, 63,4 MON) em diferentes frações, sendo que as amostras foram aferidas utilizando os motores CFR da refinaria Alberto Pasqualini / Petrobrás. As características de octanagem dos combustíveis e as frações de cada uma das misturas testadas são apresentadas na Tab. 3.1 :

Tabela 3.1 - Característica dos combustíveis utilizados., % em volume Fonte: [Labmot, 2003].

	Alquilado	n-Hexeno	RON	MON	IAD
Amostra 1	100%	0%	98,0	92,0	95,0
Amostra 2	75%	25%	92,6	84,9	88,7
Amostra 3	50%	50%	87,2	77,7	82,5
Amostra 4	25%	75%	81,8	70,6	76,2
Amostra 5	0%	100%	76,4	63,4	69,9

Dando continuidade ao desenvolvimento da metodologia necessitava-se encontrar uma equação geral para realizar o ajuste matemático dos dados experimentais adquiridos durante os ensaios, e que representasse com determinada exatidão e confiança o experimento realizado. Após terem sido testadas uma série de equações matemáticas combinando termos lineares e exponenciais, chegou-se então a Eq. 1 que permitiu realizar o ajuste matemático de maneira consistente e cujos resultados serão apresentados no decorrer deste manuscrito.

$$Y(X) = a \cdot X + b + c \cdot \text{Exp} \left( \frac{e \cdot X}{A \cdot \text{ALQ} + B + C \cdot \text{ALQ} \cdot (1 - \text{ALQ})} \right) \quad (1)$$

Onde:

Y = Intensidade de Detonação Calculada (V), X = MAP Medido no ensaio (V), A,B,C são coeficiente de ajuste da equação., a e b são parâmetros lineares relacionados ao ruído original do motor., c e e são parâmetros de Weibull relativos à intensidade de detonação, devendo obrigatoriamente ser >0. e ALQ fração de alquilado variável (0 a 1). (1-ALQ) percentual do combustível de menor octanagem presente na mistura ensaiada, no nosso caso foi o hexeno.

Para realizar-se o ajuste matemático dos dados experimentais utilizou-se a o “Método dos Mínimos Quadrados”. Para tal ajuste realizou-se a aproximação por iteração de parâmetros, sendo utilizado o recurso de solver da planilha de cálculo Excel.

#### 3.2 Determinação da Octanagem

Para determinar-se o octanagem dos combustíveis testados, deve-se antes de realizar o ensaio, ajustar o módulo experimental de acordo com as condições de teste apresentadas na Tab. 2.3. Após adquiridos os dados e armazenados os mesmos na planilha de cálculo Excel, deve-se copiar as colunas referentes aos valores de Pressão Absoluta da Ar no

Coletor de Admissão (MAP) e Intensidade de Detonação adquiridos no durante o ensaio, e transferir estes dados para a tabela de cálculo 3.2.

Tabela 3.2- Tabela de cálculo para determinação da octanagem dos combustíveis.

Dado de Aquisição – Nº	MAP V	MAP (kPa)	Intensidade de Detonação (V)	% Alquilado	Intensidade de Detonação Calculado	Diferença ID medido - ID calculado	$F = \text{MAP} / (A * \text{ALQ} + B + C * \text{ALQ} * (1 - \text{ALQ}))$	$A * \text{MAP} + b$	$c * \exp(e * F)$
1	2,05	45,65	0,69	0,54	0,66	0,03	6,48	0,54	0,120
2	2,05	45,65	0,69	0,54	0,66	0,02	6,48	0,54	0,120
3	2,05	45,56	0,69	0,54	0,66	0,03	6,47	0,54	0,119
n	2,05	45,64	0,69	0,54	0,66	0,02	6,48	0,54	0,120
-	2,05	45,66	0,68	0,54	0,66	0,02	6,48	0,54	0,121
3600	2,05	45,65	0,68	0,54	0,66	0,02	6,48	0,54	0,120
A								0,186	
B								0,233	
C								-0,074	
a								-0,1556	
b								0,863	
c								1,94E-04	
e								0,996	
%ALQ /100								0,54	
Soma do quadrado das diferenças n.1 a 3600								30	

Colados os dados, analisa-se o gráfico de ajuste de curva gerado para observar a localização da curva dos valores de intensidade de detonação calculados (IDcalc.) com relação à dos valores de intensidade de detonação medidos (IDmed.). Quando ambas as curvas representando a mesma grandeza estiverem distantes uma da outra, conforme visto na Fig.3.1, significará que o valor da soma do quadrado das diferenças neste momento terá um valor > 100, indicando ajuste ruim.

Para melhorar o ajuste, deve-se primeiramente variar o % de Alquilado da Tab 3.2, cuja a estimativa do valor da fração de alquilado pode variar na faixa de 0 a 1 até obter-se o menor valor de convergência para a soma do quadrado das diferenças. Esta etapa deverá fazer com que a curva de IDcalc. se sobreponha aos pontos de IDmed. demonstrando uma melhor aproximação entre os valores, conforme Fig. 3.2. Para refinar-se o ajuste, finalmente realiza-se o processo de iteração com os 3600 pontos adquiridos, utilizando-se para este cálculo o recurso de solver do Excel, fazendo com que a partir dos parâmetros iniciais lineares (a , b) e exponenciais (c , e), apresentados na Tab. 3.3, realize-se um ajuste fino entre os valores de intensidade de detonação medidos e calculados, este processo faz com que a soma dos quadrados das diferenças atinja um valor mínimo abaixo de 100 pontos, indicando um bom ajuste.

dos quadrados das diferenças atinja um valor mínimo abaixo de 100 pontos, indicando um bom ajuste.

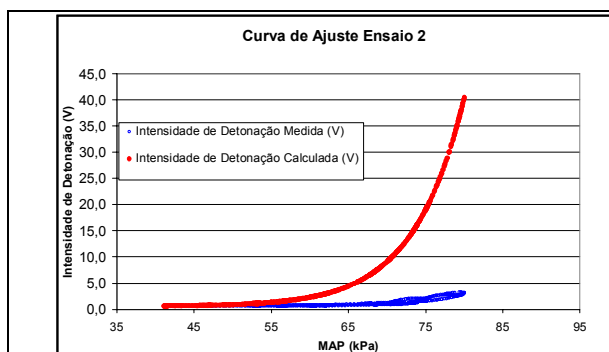


Figura 3.1. Gráfico de ajuste primeira aproximação.

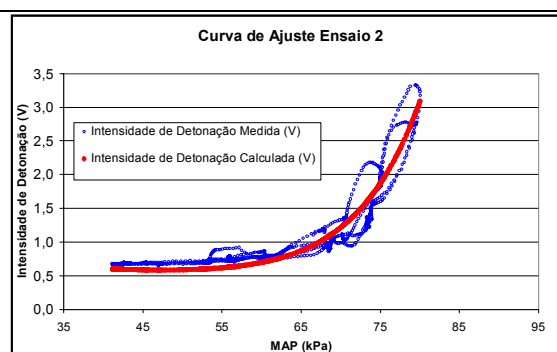


Figura 3.2. Gráfico ajuste de curva após refino.

Tabela 3.3. Parâmetros iniciais de referência aplicados à Eq. 1 para cálculo de ajuste.

A	0,186
B	0,233
C	-0,074
a	-0,1556
b	0,863
c	1,94E-04
e	0,996

Depois de realizado o ajuste entre os valores medidos e calculados e com isto obtido o menor valor para a soma do quadrado das diferenças, toma-se então o valor da fração de alquilado (ALQ) que melhor se ajustou à Eq.1 e com este valor encontrado, e os valores de octanagem segundo os métodos MON, RON e IAD para as frações de mistura de Alcoilado + n-Hexeno apresentados na Tab. 3.1, interpola-se e calcula-se o valor da octanagem do combustível ensaiado utilizando-se para isto as equações 6, 7 e 8.

$RON = 0,16 * RON\ 100\% \text{ n-Hexeno} + 0,84 * RON\ 100\% \text{ Alquilado}$	(6)
$MON = 0,16 * MON\ 100\% \text{ n-Hexeno} + 0,84 * MON\ 100\% \text{ Alquilado}$	(7)
$IAD = (RON + MON) / 2$	(8)

Supondo-se que seja encontrado para o ajuste da Eq. 1 um valor de ALQ (Alquilado) igual a 84% então o equivalente em n-Hexeno na mistura será 16%. A octanagem para este combustível será então calculada, conforme solução a seguir exemplificada, utilizando-se para o cálculo as equações 6, 7 e 8. A Tab.3.1 apresenta os valores de octanagem MON, RON e IAD para os combustíveis de referência, Alquilado e hexeno, que serão utilizados nas fórmulas.

Solução:

$$RON = 0,16 * 76,4 + 0,84 * 98 = 94,5$$

$$MON = 0,16 * 63,4 + 0,84 * 92 = 87,4$$

$$IAD = (94,54 + 87,42) / 2 = 91$$

#### 4. Resultados e Discussões.

Passamos a comentar os resultados obtidos nos ensaios realizados para cinco diferentes combustíveis preparados especialmente para os mesmos e com octanagens conhecidas previamente apresentadas na Tab. 3.1.

Todos os ensaios foram realizados conforme a metodologia proposta. Foram adquiridos para cada um dos combustíveis ensaiados 3600 dados de intensidade de detonação medidos correspondentes a uma taxa de aquisição de 20 Hz durante 3 minutos.

##### 4.1 Ajuste de Parâmetros

A tabela 4.1 apresenta os valores dos parâmetros da Eq. 1 após ajuste para cada um dos combustíveis ensaiados, também são apresentados na tabela os mínimos para os valores de convergência da soma do quadrado das diferenças.

Tabela 4.1 - Valores dos parâmetros finais ajustados à equação geral 1 nos cinco ensaios.

Parâmetros	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Ensaio 5
A	0,186	0,186	0,186	0,186	0,186
B	0,233	0,233	0,233	0,233	0,233
C	-0,074	-0,074	-0,074	-0,074	-0,074
a	0,175	-0,156	-0,156	-0,860	-1,831
b	0,231	0,863	0,863	1,759	2,434
c	2,75E-08	1,94E-04	1,94E-04	1,91E-03	1,85E-02
e	1,190	0,996	0,996	0,925	0,830
%ALQ / 100	1,002	0,803	0,542	0,280	0,082
Soma do quadrado das	50	57	30	60	55

#### 4.2 Cálculo das Incertezas de Medição.

Depois de realizados os ajustes para os dados adquiridos em cada um dos cinco ensaios, se determinou a mínima soma do quadrado das diferenças entre os valores de IDmed. e IDcalc., conforme visto na Tab.4.1, com estes valores e utilizando-se as equações 9 e 10 pode-se calcular a incerteza de medição ( $\sigma$ ) para cada ensaio (Vuolo,1992).

$\sigma^2 = \frac{\sum (IDmed-IDcalc)^2}{n}$	(9)
$\sigma = (\sigma^2)^{1/2}$	(10)

n – Número de aquisições realizadas no ensaio,  
 $\sigma^2$  - Variância  
 $\sigma$  - Desvio Padrão ou Incerteza de Medição,  
 IDmed. – Intensidade de Detonação Medida,  
 IDcalc. - Intensidade de Detonação Calculada.

A tabela 4.2 apresenta os valores das incertezas de medições calculadas para cada ensaio utilizando-se as equações 9 e 10, estas incertezas encontram-se em um intervalo de confiança de 68,27%, ou seja, um sigma ( $\sigma$ ).

Tabela 4.2 - Valores de incerteza calculados para cada um dos ensaios.

Ensaio	Incerteza ( $\sigma$ ) em mV.
1	$\pm 0,118$
2	$\pm 0,126$
3	$\pm 0,091$
4	$\pm 0,129$
5	$\pm 0,124$

#### 4.3 Gráficos de Ajuste da IDmed. x IDcalc.

Nos gráficos de ajuste das figuras 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5 apresentados a seguir podem ser observadas duas regiões distintas: a primeira com caráter linear que representa o ruído original de funcionamento do motor e a segunda região exponencial onde ocorre o fenômeno de detonação. Observa-se nos gráficos que na região exponencial a dispersão dos valores de IDmed. é maior que na região linear. Isto se deu devido à histerese de resposta dos capacitores contidos no circuito condicionador do detonador. Nos gráficos também estão identificados os pontos onde a partir do qual percebe-se o som metálico característico da detonação e o ponto onde ocorreu a maior IDmed. quando a borboleta aceleradora estava totalmente aberta.

A tabela 4.3 apresenta para cada um dos ensaios, os valores de pressão no coletor onde a detonação começou a ser ouvida e também o valor de pressão no coletor em que ocorreu a maior intensidade de detonação medida.

Tabela 4.3 - Valores de pressão absoluta de ar no coletor de admissão (MAP), (kPa), referência em cada ensaio.

Ensaio	Pressão onde começa a detonação	Pressão MAP máxima
1	80	90
2	69	80
3	58	69
4	52	59
5	44	54

A Fig. 4.1 apresenta o ajuste realizado para o primeiro ensaio no qual utilizou-se um combustível com 100% de alquilado com octanagem igual a 95 IAD, ou seja, este combustível é o que possui o maior índice antidetonação, devendo ser o que suporta a maior pressão no coletor de admissão até que comece a ocorrer a detonação, já a Fig. 4.2 apresenta o gráfico de ajuste relativo ao segundo ensaio no qual utilizou-se um combustível com 75% de alquilado e 25% de n-hexeno com octanagem 88,7 IAD.

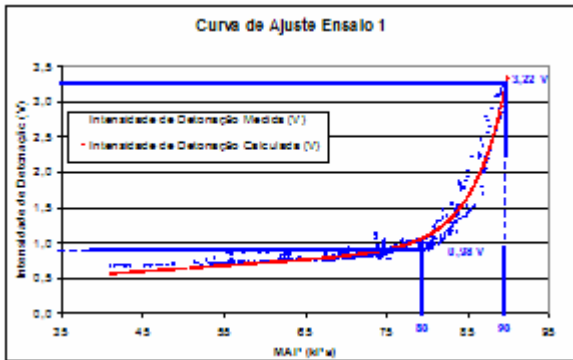


Figura 4.1. Gráfico de ajuste de função – Ensaio 1.

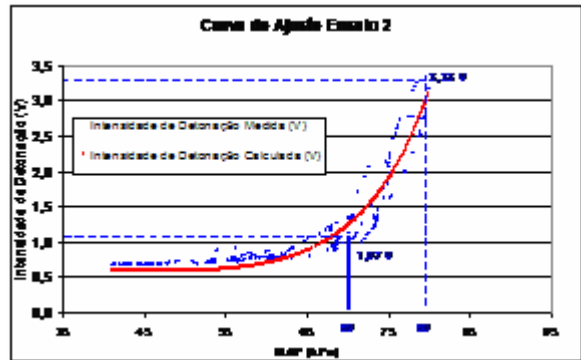


Figura 4.2. Gráfico de ajuste de função – Ensaio 2.

A Fig. 4.3 apresenta o gráfico de ajuste relativo ao terceiro ensaio no qual utilizou-se uma mistura de combustíveis com 50% de alquilado e 50% de n-hexeno com octanagem igual a 82,5 IAD e a Fig. 4.4 apresenta o gráfico de ajuste relativo ao quarto ensaio no qual utilizou-se uma mistura de combustíveis com com 25% de alcoilado e 75% de hexeno com octanagem igual a 76,2 IAD.

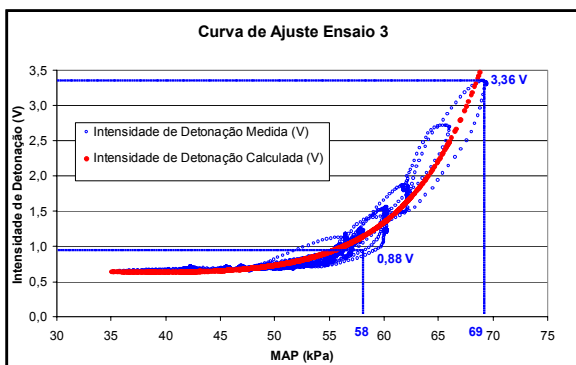


Figura 4.3. Gráfico de ajuste de função – Ensaio 3.

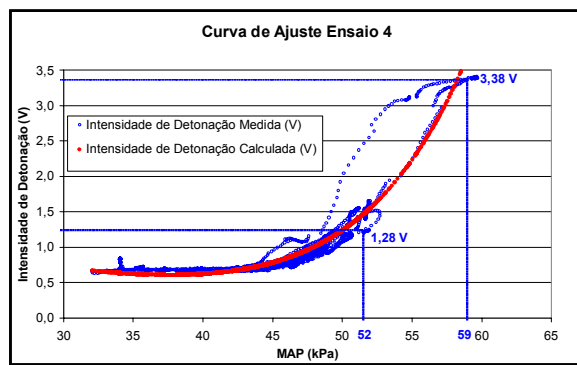


Figura 4.4. Gráfico de ajuste de função – Ensaio 4.

A figura 4.5 apresenta o gráfico de ajuste relativo ao quinto ensaio no qual utilizou-se um combustível com 100% de n-hexeno com octanagem 69,9 IAD, ou seja, este combustível é o que possui o menor índice antidetonação, devendo ser o que suporta a menor pressão absoluta de ar no coletor de admissão (MAP) até que comece a ocorrer a detonação.

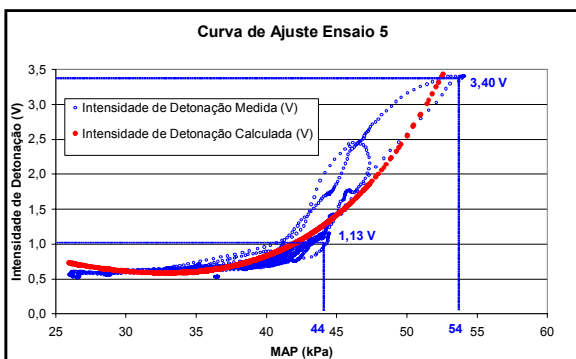


Figura 4.5. Gráfico de ajuste de função – Ensaio 5.

Os gráficos das figuras 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 e 4.10 apresentam a correlação linear existente entre os valores de intensidades de detonação medidos (IDmed.) e calculados (IDcalc.).

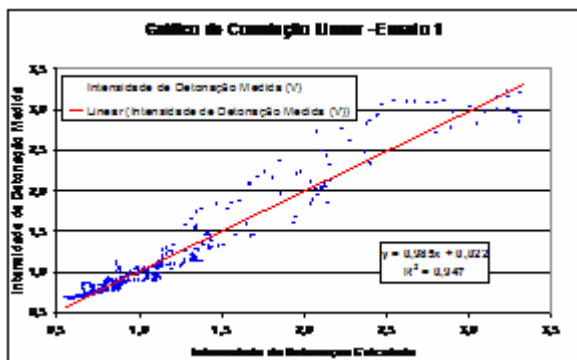


Figura 4.6. Correlação linear – ensaio 1.

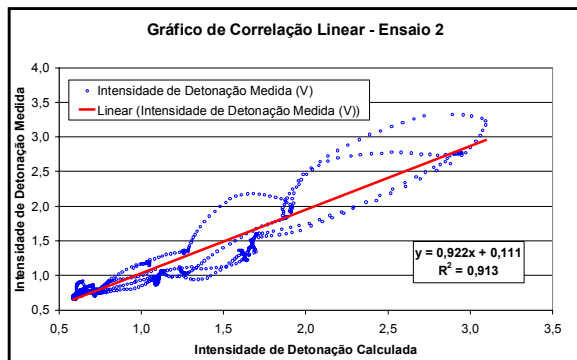


Figura 4.7. Correlação linear – ensaio 2.

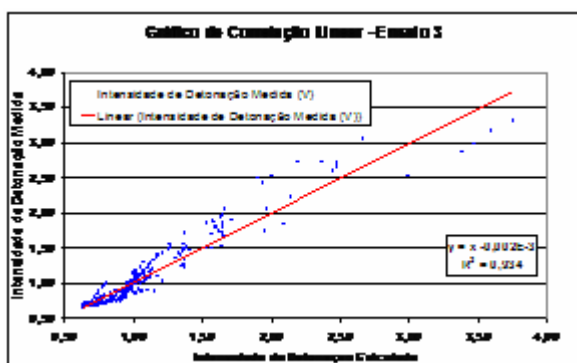


Figura 4.8. Correlação linear – ensaio 3.

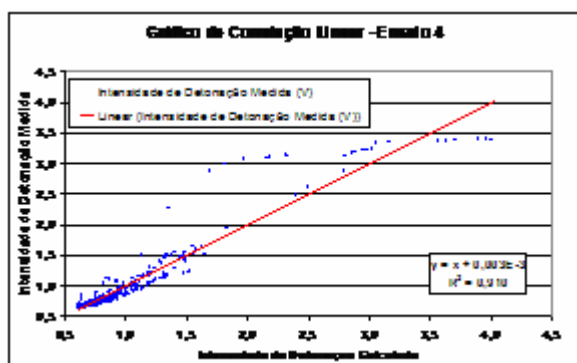


Figura 4.9. Correlação linear – ensaio 4.

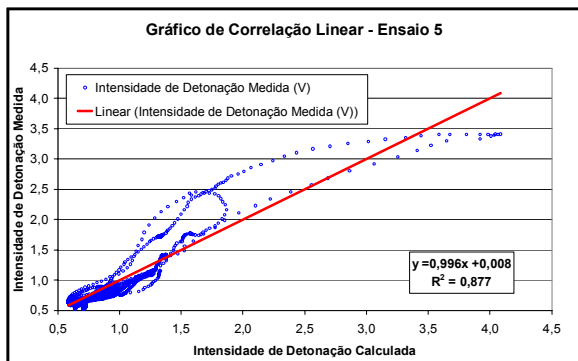


Figura 4.10. Correlação linear – ensaio 5.

#### 4.4 Resultados Finais

A tabela 4.4 apresenta os valores de octanagem dos combustíveis calculados a partir dos valores de intensidade de detonação medidos no módulo experimental para cada um dos cinco ensaios, comparados aos valores de octanagem esperados para os cinco combustíveis que foram medidos nos motores CFR.



Tabela 4.4 - Valores de octanagens calculados para os cinco ensaios realizados.

	Combustíveis		Valores de Octanagem		
	Alquilado	n-Hexeno	RON	MON	IAD
Medido	100%	0%	92	92	95
Esperado	100%	0%	92	92	95
Diferença em octanas			0	0	0
Medido	80%	20%	93,7	86,4	90,1
Esperado	75%	25%	92,6	84,9	88,7
Diferença em octanas			1,1	1,5	1,4
Medido	54%	46%	88,1	78,9	83,5
Esperado	50%	50%	87,2	77,7	82,5
Diferença em octanas			0,9	1,2	1,0
Medido	28%	72%	82,4	71,4	76,9
Esperado	25%	75%	81,8	70,6	76,2
Diferença em octanas			0,6	0,8	0,7
Medido	0%	100%	76,4	63,4	69,9
Esperado	0%	100%	76,4	63,4	69,9
Diferença em octanas			0	0	0

Finalizando a análise de resultados é importante apresentar-se a correlação encontrada entre os valores obtidos de octanagem utilizando o método proposto neste trabalho e o método tradicional que utiliza motores CFR.

Na tabela 4.5 encontram-se todos os valores de octanagem esperados para os combustíveis ensaiados e os valores encontrados nos ensaios, aplicando o “Método dos Mínimos Quadrados” aos valores de octanagem pode-se determinar o nível de exatidão do módulo experimental para a faixa de octanagem testada .

Tabela 4.5 - Comparação entre os valores de octanagem medidos e esperados.

ALQUILADO	n-HEXENO	IAD	IAD MEDIDO	Diferença	Diferença <sup>2</sup>
100%	0%	95	95	0,0	0,00
75%	25%	88,7	90,1	1,4	1,96
50%	50%	82,5	83,5	1,0	1,00
25%	75%	76,2	76,9	0,7	0,49
0%	100%	69,9	69,9	0,0	0,00
				Soma do quadrado das diferenças	3,45
				Variância	0,69

A Eq. 11 permite calcular a incerteza de medição ( $\sigma$ ) para o módulo experimental a partir dos dados apresentados na Tab. 4.5 (Vuolo,1992).

$$\sigma^2 = \frac{\sum (ID_{prev.} - ID_{med})^2}{n_e} \quad (11)$$

$n_e$  – Tamanho da amostra,

$\sigma^2$  - Variância,

$\sigma$ - Desvio Padrão ou Incerteza de Medição,

IDmed. - Intensidade de Detonação Medida,

IDprev. - Intensidade de Detonação Prevista.

Cálculo da incerteza de medição para o módulo experimental baseado nos resultados obtidos para os cinco combustíveis ensaiados comparados aos valores obtidos no motor CFR.

$$\sigma^2 = \frac{\sum (ID_{prev.} - ID_{med})^2}{n_e} = 3,45 / 5 = 0,69 \quad \sigma = (0,69)^{1/2} = 0,83 \text{ octanas}$$

A tabela 4.6 mostra os valores de incerteza e os intervalos de confiança para os valores de octanagem medidos no módulo experimental para combustíveis que possuem valores de octanagem entre 69,9 IAD e 95 IAD garantindo com 68,27% de confiança que os valores encontrados possuem uma incerteza de  $\pm 0,83$  octanas .

Esta incerteza aumentará para 1,66 octanas quando o nível de confiança for de 95,45% e 2,49 octanas quando o nível estabelecido for de 99,73%.

Tabela 4.6 - Incerteza para os valores de octanagem medidos no módulo.

Confiança	Incerteza	±
68,27%	$\sigma \pm$	0,83
95,45%	$2\sigma \pm$	1,66
99,73%	$3\sigma \pm$	2,49

A figura 4.11 apresenta o gráfico de correlação linear existente entre os valores de octanagem medidos nos cinco combustíveis ensaiados utilizando os motores CFR e utilizando o módulo experimental.

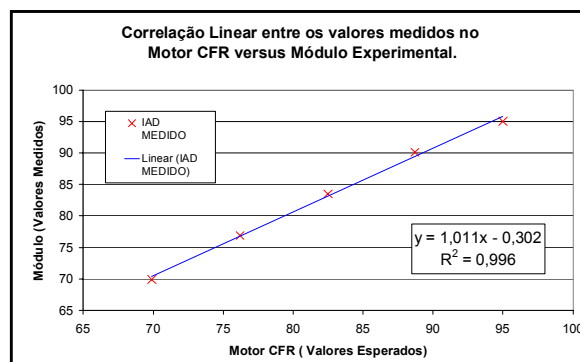


Figura 4.11. Gráfico de correlação linear CFR versus Módulo Experimental.

Finalmente para poder-se comparar a exatidão dos valores de octanagem obtidos com o módulo experimental com os do motor CFR é importante ter-se a informação de que o motor CFR garante para faixa de octanagem ensaiada, analisando-se o índice antidetonação IAD, uma exatidão de medida de  $\pm 0,10$  octanas com um intervalo de confiança de 95,45%, enquanto que o módulo experimental apresentado neste trabalho para mesma faixa de confiança apresentou uma exatidão de  $\pm 1,66$  octanas de IAD.

#### 4.5 Conclusão

A nova metodologia apresentada para determinação da octanagem de combustíveis, que se utiliza de um módulo experimental composto de um motor automotivo de 1,0 litros da marca Fiat, acoplado a um freio eletromagnético e de circuitos eletrônicos que controlaram o funcionamento do motor durante a realização dos ensaios e que monitoraram os sinais dos sensores instalados no mesmo, possibilita à medida que ocorre o fenômeno de detonação medir e registrar os valores da intensidade da mesma e os valores da pressão absoluta no coletor de admissão no momento de sua ocorrência. Com estes dados adquiridos, conseguiu-se então, a partir da nova metodologia, determinar-se a octanagem dos combustíveis ensaiados. Depois de realizados os ensaios, concluiu-se que a metodologia utilizada para determinação da octanagem dos combustíveis atendeu satisfatoriamente o propósito com aceitável exatidão, quando comparada ao método tradicional que utiliza motores CFR.

A nova metodologia garante para a faixa de octanagem IAD de 69,9 a 95 octanas, em um intervalo de confiança de 95,45%, uma precisão de  $\pm 1,66$  octanas, enquanto que utilizando-se o motor CFR para a mesma faixa de octanagem, obtém-se uma precisão de  $\pm 0,1$  octanas com o mesmo intervalo de confiança.

Embora a exatidão dos resultados tenha ficado aquém do esperado, quando comparados aos resultados do motor CFR, considera-se a precisão obtida satisfatória para o método, o que permite utilizá-lo para uma série de aplicações, como por exemplo: na verificação da qualidade da gasolina comercializada nas bombas, onde o nível de exatidão garantido pode ser aceitável, em uma primeira análise. Outro aspecto positivo é o custo de construção deste módulo que viabiliza consideravelmente a utilização do mesmo quando comparado ao custo do motor CFR, principalmente nas situações em que o nível de precisão garantido pelo módulo seja razoável.

#### 5.0 Referências

- ASTM D2699., 1998. "Standard Test Method for Research Octane Number of Spark-Ignition Engine Fuel". West Conshohocken: ASTM.
- ASTM D2700., 1998. "Standard Test Method for Motor Octane Number of Spark-Ignition Engine Fuel". West Conshohocken: ASTM.
- ASTM D5845., 2001. "Standard Test Method for Determination of MTBE, ETBE, TAME, DIPE, Methanol, Ethanol and tert-Butanol in Gasoline by Infrared Spectroscopy". West Conshohocken: ASTM.
- Labmot., 2003. "Laboratório de Motores da Refinaria Alberto Pasqualini - REFAP-Petrobrás".
- Moraes, J.E.B., 2003 Módulo Experimental para a Determinação da Octanagem de Combustíveis PROMEC UFRGS
- Vuolo, José Henrique., 1992. "Fundamentos da Teoria de Erros". 2. ed. São Paulo: Edgar Blücher.

## **EXPERIMENTAL MODULE TO DETERMINATION OF THE FUEL OCTANE NUMBER.**

***Abstract.** The intention of this work is to present a new methodology to determine the octane number of fuels. This methodology uses a composed experimental module of a automobile engine connected to an electromagnetic brake to simulate loads and of sensors strategically located in different points of the engine to inform in real time the values of the parameters of functioning of exactly. Using this module it is possible to acquire data of detonation intensity and to break of these data, using an adjusted mathematical adjustment, to determine the octane number of the fuel. After accomplishment of tests using itself reference fuels with different values of octane number, was possible to compare the precision of the results gotten for the considered method comparing the same ones with the values gotten in engine CFR.. The gotten results had demonstrated that the experimental module allows to measure values of octane number with exactness of  $\pm 1,66$  octanes AKI in a confidence interval of 95,45%.*