

# Avaliação do ruído através da técnica de intensidade sonora



PACS: 43.58.+z

## Resumo

O processo de geração de ruído em motores é complexo e pode ser classificado em dois tipos diferentes de ruído. A saber: combustão e mecânico. O ruído de combustão é a parcela do ruído do motor originado pela variação brusca da pressão dos gases dentro da câmara de combustão. Já a contribuição de todas as outras fontes do motor são consideradas ruído mecânico. Como o ruído de combustão constitui a principal fonte de ruído, conhecer o nível de ruído de diferentes tipos de combustíveis é um parâmetro importante para avaliação de novos combustíveis. Foram avaliados os níveis de combustão em um motor Fiat-Palio - 1581 CC/16V, com uma taxa de compressão de 12,8 - utilizando três tipos diferentes de combustíveis de competição: gasolina de primeiro enchimento (C1), gasolina especial para competições de alto nível (2) e metanol puro (3). A quantificação dos níveis de ruído foi realizada através do uso da técnica de intensidade sonora. Os resultados dos experimentos demonstraram que os combustíveis com maior potência de saída, rendimento volumétrico e velocidade de queima apresentaram níveis de ruído de combustão mais elevados.

## Abstract

The process of noise generation in engines is complex and can be classified into two different kinds: combustion and mechanical. The combustion noise represents the noise originated from the sudden gas pressure change occurring in the inner part of the combustion chamber. The contribution of all the other noise sources from the engine are considered mechanical noise. Since the combustion noise constitutes the main source of noise, knowing the global combustion noise level of different kinds of fuels is an important parameter to the engines

*Eliéser Pacheco*

*Paulo Henrique Trombetta Zannin\**

*Laboratório de Acústica Ambiental – Industrial e Conforto Acústico*

*Departamento de Engenharia Mecânica,*

*Universidade Federal do Paraná – Centro Politécnico*

*Rua Benedito Berillo Fangueiro nº 108 – Bairro Jardim Santa Bárbara*

*CEP: 81540-420 – Curitiba – Paraná – Brasil*

*\*Corresponding Author: Paulo Henrique Trombetta Zannin*

manufacturers supporting the development of new kinds of fuel to reduce the combustion noise. The total noise level was evaluated in an engine Fiat-Palio - 1581 CC/16V with a compression rate of 12.8, with the use of three different racing fuels. The three different fuels used were: 1) gasoline for first filling at assembly plants, 2) special gasoline for high level performance, 3) pure methanol. For the quantification of the noise levels we used the sound intensity technique. The results demonstrated that the fuels with higher levels of power, volumetric efficiency and burning speed displayed more elevated combustion noise levels.

## 1. Introdução

O ruído causado pelos veículos automotivos tem se tornado um sério problema para as pessoas em regiões de grande concentração de tráfego. O uso crescente de veículos motorizados vem ocasionando uma conscientização maior desta forma especial de poluição ambiental. Em virtude desta crescente conscientização, é que este trabalho tem o compromisso de esclarecer e apresentar resultados experimentais do ruído de combustão que é a principal fonte de ruído em certas condições operacionais do motor.

O ruído de combustão é influenciado sobretudo pelo tipo de sistema de combustão, pelo tempo de entrega dos combustíveis na câmara de combustão, temperatura do motor, condições ambiente e do tipo de combustível. Deste modo, a redução do ruído de combustão tornou-se um aspecto importante nas atividades de desenvolvimento. Investigações teóricas e experimentais tiveram que ser iniciadas e instalações de teste especiais têm sido criadas com vista a habilitar profissionais ao cumprimento das exigências legais.

## 2. Metodologia

A metodologia de varredura, oriunda da técnica de intensidade sonora, empregada em medições de ruído em motores e/ou equipamentos industriais - é bastante conhecida e está totalmente delineada na Norma ISO 9614-2 (Hewlett-Parckart, 1992).

No experimento utilizou-se os seguintes equipamentos: 1) analisador portátil B&K 2260, 2) sonda de intensidade sonora, número de série 2070859, com espaçador de 12 mm, 3) Software BZ 7205, versão 2.0 e 4) um par de microfones série 2164638.

### 2.1 Planejamento do Experimento

#### 2.1.1 Faixa de frequência de interesse

No experimento utilizou-se uma faixa de frequência de interesse de 100 a 5000 Hz seguindo indicações de literatura para motores ciclo Otto (Rust e Priebsch, 1990).

#### 2.1.2 Distâncias das superfícies de medição

As medições de intensidade sonora são extremamente dependentes do ambiente acústico e da geometria do equipamento sob teste (Hewlett-Parckart, 1992). Todavia, visando a facilitar as medições pela metodologia de varredura, fixou-se a sonda de Intensidade Sonora a uma distância de 0,15 m - sobre a face frontal do motor - e analisou-se o indicador p-i index,  $\delta_{pi}$ . A Figura 1 mostra o resultado do indicador p-i index, comparando-o com os valores da capacidade dinâmica do equipamento, estabelecido pelo critério 1, segundo Norma ISO 9614 - 2: que exige cumprimento da desigualdade  $L_D > \delta_{pi}$ . Como o resultado do indicador foi favorável, requerido pelo critério 1, resultante da análise da figura 1, fixou-se a face de medição a uma distância de 0,15 m para a medição de Intensidade Sonora pela metodologia de varredura



Figura 1 – Análise do indicador p-i index para a fixação da distância de medição.

#### 2.1.3 Definição das superfícies de medição

No experimento, duas superfícies retangulares de medições a uma distância de 0,15 m foram definidas, a saber: frontal e superior, Figuras 2 e 3, respectivamente. A superfície frontal foi esquematizada para um total de 5 segmentos; os 4 segmentos superiores de dimensões iguais possuem uma área de 0,09 m<sup>2</sup> (de 0,30 x 0,30 m cada um) e um segmento inferior, de 0,09 m<sup>2</sup> (0,60x0,15 m). A superfície superior também foi dividida em dois segmentos de áreas equivalentes a 0,018 m<sup>2</sup> (0,30 x 0,60 m cada um). O objetivo na escolha das divisões das faces de medições foi selecionar as faces do motor que possuem maior afinidade com a transmissibilidade do ruído de combustão.



Figura 2 – Superfície de medição frontal



Figura 3 – Superfície de medição superior

#### 2.1.4 Definição da taxa de varredura a ser utilizada

Na metodologia de varredura, a sonda de intensidade sonora é orientada normalmente à superfície de medição e varrida a uma taxa de 0,5m/s a 1 m/s (Fahy, 1989; Hewlett-Parckart, 1992). No experimento, lançou-se mão de duas varreduras por

face a uma taxa de 0,5 m/s. O objetivo de realizar-se a duplicidade das medições é de reduzir o erro sistemático das medições de intensidade sonora. O erro sistemático é aquele que aparece com a mesma magnitude e mesma direção de uma medição para outra e é denominado BIAS.

### 2.1.5 Definição do tempo de medição

A determinação do tempo mínimo de medição é fundamental para que os erros aleatórios sejam evitados. Os maiores erros ocasionais ocorrem em faixas estreitas de interesse – como nos casos de análises em bandas de 1/3 de oitava – operando em ambientes que existam outras fontes de ruído, com fortes emissões não correlatas. Em tais circunstâncias, muitas vezes são necessários períodos de tempos mais prolongados a redução dos erros aleatórios a proporções aceitáveis (Bendat e Piersol, 1980; Hewlett-Parckart, 1992). A ACMA-160 especifica que o tempo mínimo para medições deve ser proporcional à largura da banda de interesse de menor frequência (Hewlett-Parckart, 1992):

$$T = \frac{800}{BW} \quad (1)$$

Sendo:  $BW = (2^{1/6} - 2^{-1/6})f_{cf}$

em que:  $BW$  = largura da banda de 1/3 de oitava de menor frequência, em Hz;  $f_{cf}$  = frequência central de valor mais baixo na faixa de frequência de interesse em 1/3 de oitava, em Hz. No experimento, conforme recomendações literárias, em especial (Rust e Priebisch, 1990), utilizou-se uma faixa de frequência de 100 a 5000 Hz, indicada para motores ciclo Otto. Deste modo, o tempo mínimo de medição será 34,5 segundos com banda  $BW$  de 23,2 Hz.

### 2.1.6 Calibração dos microfones



Figura 4 – Configuração para calibração do primeiro microfone.



Figura 5 – Primeira configuração com o acoplador para calibração do segundo microfone.

Para assegurar a precisão nos resultados das medições de Intensidade Sonora, é importante que se realize a calibração dos microfones. Com o software BZ 7205, versão 2.0 da B&K, utilizou-se à configuração indicada na Figura 4 e posteriormente a montagem de ambos os microfones no acoplador para calibração do segundo microfone, veja a Figura 5. Utilizou-se o calibrador B&K modelo 4231- que fornece um nível de 94 dB(A) na frequência de 1000 Hz.

## 3. Resultados e Discussões

Mediante a análise dos resultados, Figura 6, observou-se que, na face frontal, os valores de medições de Intensidade Sonora em nível global - ruído total da face frontal - com os C2 e C3 foram os que apresentaram os valores mais elevados: C2 (101 dB) e C3 (99,22 dB), já o menor valor foi o C1 com 98,81 dB. Na face superior, como se pode observar, o combustível C3 (97,31 dB) foi o que apresentou o valor mais elevado, seguido pelos C2 (96,74 dB) e C1 (94,80 dB). Sobre o segmento frontal do carter, os resultados foram os seguintes: C3 (96,50 dB), C2 (95,40 dB) e C1 (95,17 dB), respectivamente.

Nas Figuras 6 e 7, as legendas dos gráficos são representadas por duas letras e um número, a primeira letra refere-se à superfície de medição e a última letra juntamente com o número identifica o combustível.

Mostra-se na Figura 7, os resultados dos experimentos nas duas faces do motor em valores totais do ruído de combustão encontrados nas bandas de 125 Hz. O objetivo foi quantificar os níveis de ruídos de combustão por faces do motor usando três diferentes tipos de combustíveis de competição. Para assegurar que o ruído de combustão encontra-se na banda de 125 Hz, calculou-se a frequência fundamental de excitação das forças dos gases - responsável

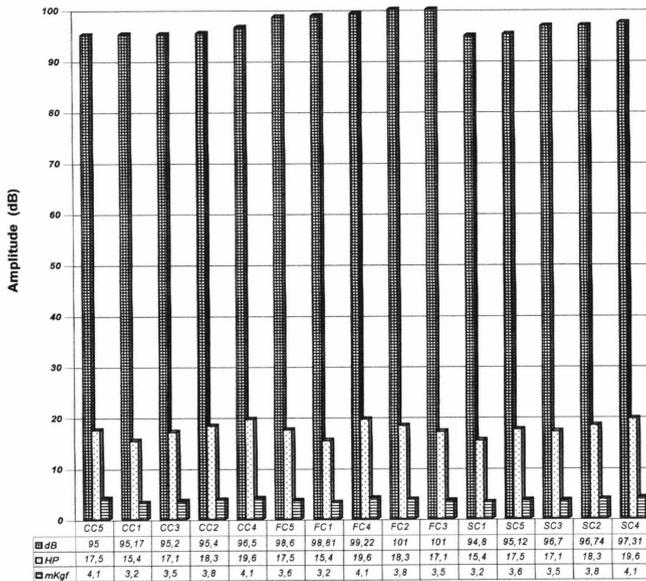


Figura 6 – Resultado da classificação do nível total de ruído em duas faces do motor: superior (S), frontal (F) e no segmento frontal do carter (C).

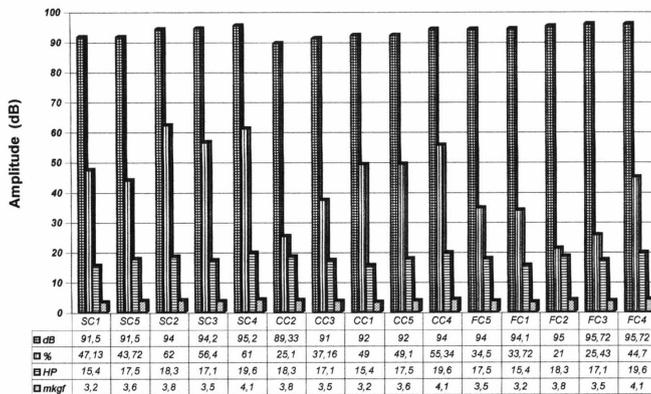


Figura 7 – Resultado da classificação do ruído de combustão em duas faces do motor: superior (S), frontal (F) e sobre o segmento frontal do Carter (C).

pelo ruído de combustão - que é fornecida pela seguinte Equação (Diocles e Walter, 2002):  $\text{rotação do motor (RPM)} / (2 \times 60) \times 4 = 116,70 \text{ Hz}$ . A Equação foi multiplicada por quatro, posto que em cada rotação do girabrequim temos duas explosões em cilindros distintos. Logo, o ruído de combustão cairá na banda de 125 Hz.

Na face frontal os valores encontrados em ordem decrescente de valores foram: C3 (95,72 dB-44,70%), C2 (95 dB- 21%) e C1 (94,10 dB-33,72%). Já na face superior, encontrou-se a seguinte valores: C3 (95,20 dB- 61%), C2 (94 dB-62%) e C1 (91,50 dB-47,13%). E finalmente sobre o segmento do cárter, encontrou-se os seguintes valores: C3 (94 dB-55,34%), C1 (92 dB-49%) e C2 (89,33 dB-25,10%).

Uma das maneiras pelas quais pode-se justificar a classificação dos níveis de ruído total da face frontal do motor com os C2, C3 e C1, podem ser através da análise de propriedades dos combustíveis que proporcionam aumento à potência de saída do motor. A título de ilustração, pode-se citar o enchimento volumétrico, definido como a maior quantidade de massa da mistura – relação ar/combustível - que pode ser introduzida no interior da câmara de combustão no estado vaporizado; desde que o ponto final do processo de geração de calor latente de vaporização ocorra a tempo da admissão do combustível na câmara de combustão. Ou seja, não pode ocorrer a mudança do estado líquido para vapor antes do tempo de admissão. Se isso ocorrer haverá tamponamento: o combustível é totalmente evaporado bem antes do tempo de admissão (Jeam, 1987; Owen e Coley, 1988; Diocles e Walter, 2002).

Para enfatizar a discussão apresentada, classificou-se em ordem decrescente o enchimento dos combustíveis usados nos experimentos: C3, C2 e C1 (Diocles e Walter, 2002). Assim, essa classificação é uma das variáveis que se pode utilizar para estabelecer correlações entre o enchimento, potência de saída e o ruído de combustão. A par disso, prosseguindo com a presente discussão observa-se que na face superior, a classificação seguiu a mesma tendência de ordem de valores da face frontal: C3, C2, e C1. No segmento sobre o cárter, a ordem foi a mesma encontrada nas outras: C3, C2 e C1.

#### 4. Conclusões

Conclui-se que o método de Intensidade Sonora é seguro para identificação de fontes de ruído de combustão em motores automotivos. Uma vez garantida a precisão das medições pela análise dos indicadores de campo, o método demonstrou claramente quais foram às faces do motor que apresentaram maiores níveis do ruído total e do ruído de combustão usando os diferentes tipos de combustíveis de competição. E através destes resultados, pode-se classificar e tirar importantes conclusões sobre o ruído de combustão. Ficou claro que, o C3 foi o combustível que se destacou em termos de potência e ruído de combustão. E estes parâmetros tiveram boa correlação com o enchimento e a velocidade de queima desse combustível.

A correlação entre o ruído de combustão e a classificação em ordem decrescente do enchimento, demonstrou que foi satisfatória em todas as faces.

Como conclusão final, observou-se que o método de intensidade sonora pode ser utilizado para obtenção do ruído de combustão através do ruído total do motor – soma entre o ruído mecânico com o ruído de combustão, e assim, auxiliar

no desenvolvimento de novos projetos de motores e na comparação do ruído de combustão usando diferentes tipos de combustíveis.

## 5. Agradecimentos

DAAD – Deutscher Akademischer Austauschdienst, pelo apoio financeiro que foi necessário para a compra dos seguintes equipamentos que foram utilizados para medições de intensidade de sonora.

## 6. Referências

Bendat, J.S., Piersol, A.G., 1980. Application of Engine Noise Control Research, Chapter 2, Pub. by Jonh Wiley & Sons, Inc, p. 33-41.

Diocles, D., Walter, Z., 2002. Modelagem e Experimentos no Laboratório de Motores da Petrobras, comunicação pessoal.

Fahy, F.J., 1989. Sound Intensity, Chapter 8, Pub. Elsevier Applied Science, London, New York, ISBN 1-85166-319-3, p.175-199.

Heulett-Parckart, 1992. Sound Power Measurements, Application Note 1230.

Jeam, C.G., 1987. Carburants et Moteurs. Puplicacion de l'Institut Fraçais du Pétrole Collection, Science et Technique du Pétrle – nº 28, 1987.

Rust, A., Priebisch, H.H. and Thien, G.E., 1990. Engine Noise, AVL Gras Austria and Metal Leve, Tag - Report N0 330, p.1-18.

# Lo natural *contra* el ruido *arena*

## El Aislamiento

## Acústico de tabiquería seca.

Con lana mineral *arena* conseguirá...

### Aislamiento Acústico

Notable incremento frente a la tabiquería seca «vacía» gracias a la elevada elasticidad y máxima absorción del ruido.

### Garantía de instalación

Producto flexible que se adapta totalmente a estructuras e instalaciones.

### Altos rendimientos

Embalaje de alta compresión para gestionar menor volumen de producto. Paneles compactos de corte fácil que evitan roturas y desperdicios en obra.

### Incombustibilidad

# ISOVER

Las Soluciones de Aislamiento

[isover.es@saint-gobain.com](mailto:isover.es@saint-gobain.com)

[www.isover.net](http://www.isover.net)



  
SAINT-GOBAIN