

ACÚSTICA



MODELAMENTO ACÚSTICO DE SILENCIADORES VEÍCULARES

Márcio R. M. Kimura e Samir N. Y. Gerges

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica

Laboratório de Vibrações e Acústica – Florianópolis - SC – Brasil

e-mail <gerges@mbbox1.ufsc.br>

RESUMO

Neste trabalho são analisados dois diferentes configurações de silenciadores do tipo “plug” utilizando o Método dos Elementos Finitos, o Método da Matriz de Transferência e a Medição Experimental. Os resultados obtidos utilizando-se os diferentes métodos são comparados através das curvas de perda de transmissão dos silenciadores. A variação da temperatura e o escoamento de gases não são considerados no presente trabalho.

INTRODUÇÃO

No passado, as predições da performance acústica de silenciadores eram limitadas a faixa de frequência de onda plana e a algumas configurações mais simples de silenciadores. Recentemente, com a utilização de métodos numéricos, como o FEM e BEM, a predição da performance acústica já pode ser feita nas regiões acima da faixa de frequência de onda plana e também pode ser aplicada a configurações de silenciadores mais complexas.

O silenciador do tipo “plug” (ver Figura 1) consiste de um tubo perfurado fechado por um tampão colocado no meio do mesmo e coaxial com uma câmara de expansão. Neste tipo de silenciador, o fluxo de gás é obrigado a sair pela parte perfurada anterior ao tampão, passar pela câmara de expansão e entrar pelas perfurações após o tampão para então sair do silenciador. Neste trabalho foram analisados quatro configurações com diferentes dimensões. O escoamento de gases e a variação de temperatura não são considerados na análise feita neste trabalho.

Na análise feita, foram utilizados os seguintes métodos: Método dos Elementos Finitos (FEM), Método da Matriz de Transferência (TMM) e a medição experimental com um único microfone e um analisador FFT de dois canais. Os resultados obtidos utilizando-se os diferentes métodos são então comparados através das curvas de perda de transmissão.

MODELAGEM PELO METODO DOS ELEMENTOS FINITOS (FEM)

O modelo utilizado na análise pelo FEM consiste de 3 malhas independentes; uma para a câmara de expansão externa aos dutos perfurados e outras duas para os dutos perfurados antes e após o tampão. Não há ligação entre as 3 malhas, exceto pela impedância de transferência imposta nas faces dos dutos perfurados através de uma condição de contorno.

Para o cálculo da impedância acústica de transferência, Bauer [2] nos fornece a seguinte equação linear para o caso sem escoamento de gases:

$$\zeta(f) = \left(\frac{\sqrt{8 \cdot \mu \cdot \rho \cdot \omega}}{\sigma \cdot \rho \cdot c} \right) \left(1 + \frac{t}{d_h} \right) + i \left(\frac{\omega}{c \cdot \sigma} (t + a_0 \cdot d_h) \right) \quad (1)$$

onde

ρ é a densidade do ar [kg/m³];

μ é a viscosidade do ar [kg/m.s];

ω é a frequência angular [rad/s];

c é a velocidade do som no meio [m/s];

σ é a porosidade (relação entre a área aberta e a área total);
 t é a espessura da parede do tubo [m];
 d_h é o diâmetro dos furos [m];
 d_f é a distância entre os furos [m];
 $a_0 = 0.85.F(x)$;
 $F(x) = 1 - 1,4092.X + 0,33818.X^3 + 0,06793.X^5 - 0,02287.X^6 + 0,03015.X^7 - 0,01641.X^8$;
 $X = d_h/d_f$

Devido as distâncias entre os furos radiais e axiais não serem iguais, uma média das distâncias entre os furos foi utilizada no cálculo da impedância acústica de transferência (EQ.1).

A Tabela 2 mostra o número de nós e elementos utilizados em cada uma das 2 configurações ensaiadas. O software ANSYS 5.0 foi utilizada para gerar a malha e o processamento e o pos-processamento foram feitas pelo software SYSNOISE 5.2.

| | n.º de nós | n.º de elementos | tempo de processamento |
|-------------|------------|------------------|------------------------|
| Protótipo 1 | 546 | 413 | 8 min 07 seg |
| Protótipo 2 | 360 | 260 | 5 min. 19 seg |

Tabela 2 - Número de nós, elementos e tempo de processamento

MÉTODO DA MATRIZ DE TRANSFERÊNCIA (TMM)

Neste método, o silenciador é subdividido em vários elementos para os quais modelos analíticos são conhecidos [3]. É bom lembrar que na formulação do método da matriz de transferência é considerada somente a propagação de ondas planas [9, 10]. As relações entre os níveis de pressão sonora e velocidade de partícula na entrada e saída são dadas por:

$$\begin{bmatrix} p_1 \\ v_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_3 & B_3 \\ C_3 & D_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_4 \\ v_4 \end{bmatrix} \quad (2)$$

onde

p_1 e p_4 são as pressões acústicas na entrada e saída do duto;

v_1 e v_4 são as velocidades de partícula na entrada e saída do duto;

A, B, C e D são variáveis que podem ser obtidas conforme cada tipo de elemento como; tubo de seção uniforme [3, 9], tubo estendido [3, 4, 5], elemento de expansão e contração [3], tubos perfurados [3, 6].

MEDIÇÃO EXPERIMENTAL

As medições da perda de transmissão foram feitas utilizando-se um único microfone e um analisador FFT de dois canais. Nesta técnica de medição não há a necessidade da utilização de uma terminação anecóica [7].

As medições foram feitas com uma distância de 50 mm entre os microfones e assim, os resultados das medições são válidos para a faixa de frequência compreendida entre 343 Hz e 2744 Hz [8, 11]. A perda de transmissão (considerando que os dutos de entrada e saída possuem a mesma área de seção transversal) é dada por [1]:

$$TL = 20.\log \left| \frac{e^{i.k.s} - H_{12}}{e^{i.k.s} - H_{34}} \right| + 20.\log \left| \frac{DP_1}{DP_2} \right|^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

onde

k é o número de onda [1/m];

s é a distância entre os microfones [m];

H_{12} é a função de transferência entre os microfones nas posições 1 e 2;

H_{34} é a função de transferência entre os microfones nas posições 3 e 4;

DP_1 é o auto-espectro antes do silenciador;

DP_2 é o auto-espectro após o silenciador.

RESULTADOS E CONCLUSÕES

A Figura 2 mostra a comparação das perdas de transmissão obtidas para as duas configurações analisadas utilizando-se o FEM, o TMM e a medição experimental. Os resultados se mostraram no geral muito bons.

REFERÊNCIAS

- [1]. Kimura, M. R. M.; "Simulação Acústica e Medições Experimentais de Silenciadores Reativos" - Dissertação de Mestrado, 1995, Universidade Federal de Santa Catarina - Brasil.
- [2]. BAUER, A. B., "Impedance theory and measurements on porous acoustic liners," *Journal of Aircraft*, 14(8), 720-728 (1977).
- [3]. MUNJAL, M. L., "Acoustics of ducts and mufflers" (John Wiley, New York, 1987).
- [4]. PANICKER, V. B. and MUNJAL, M. L., "Aeroacoustic analysis of straight-trough mufflers with simple and extended tube expansion chambers," *Journal of the Indian Institute of Science*, 63(A), 1-19 (1981).
- [5]. PANICKER, V. B. and MUNJAL, M. L., "Aeroacoustic analysis of mufflers with flow reversals," *Journal of the Indian Institute of Science*, 63(A), 21-38 (1981).
- [6]. SULLIVAN, J. W. and CROCKER, M. J., "Analysis of concentric-tube resonators having unpartitioned cavities," *Journal of the Acoustical Society of America*, 64(1), 207-215 (1978).
- [7]. CHUNG, J. Y. and BLASER, D. A., "Transfer function method of measuring in-duct acoustic properties. I. Theory," *Journal of the Acoustical Society of America*, 68(3), 907-921 (1980).
- [8]. BODÉN, H. and ABOM, M., "Influence of errors on the two-microphone method for measuring acoustic properties in ducts," *Journal of the Acoustical Society of America*, 79(2), 541-549 (1986).
- [9]. IGARASHI, J. and TOYAMA, M., "Fundamentals of acoustical silencers (I)," Report N.º 339, Aeronautical Research Institute, University of Tokyo, 223-241 (1958).
- [10]. IGARASHI, J. and ARAI, M., "Fundamentals of acoustical silencers (III)," Report N.º 351, Aeronautical Research Institute, University of Tokyo, 17-31 (1960).
- [11]. GERGES, S. N. Y., "Ruído : Fundamentos e Controle" (Editora da UFSC, Florianópolis - 1992).

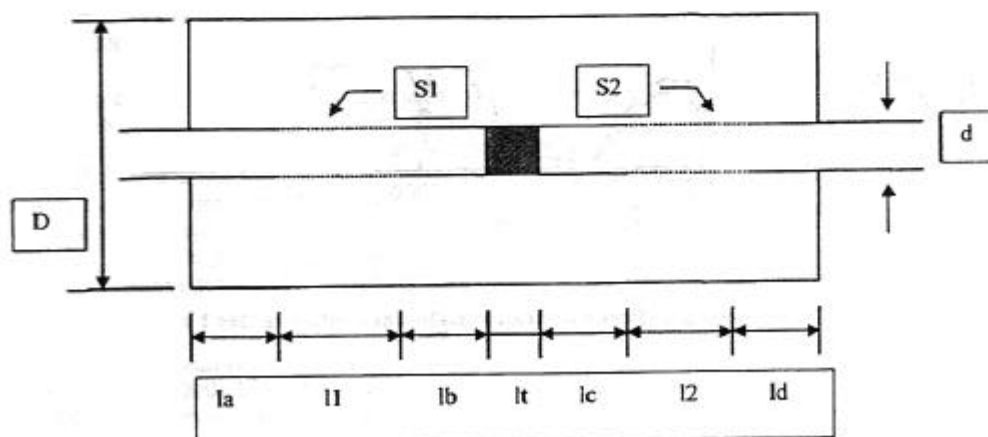
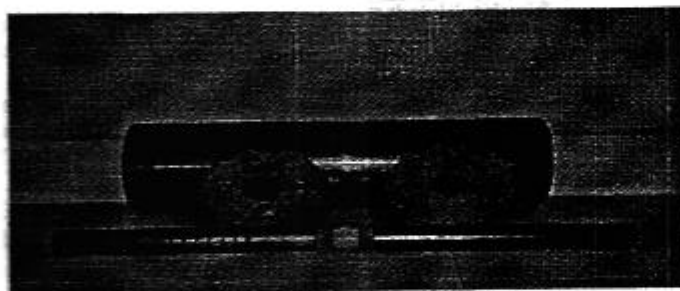


Figura 1. Silenciador tipo "Plug"

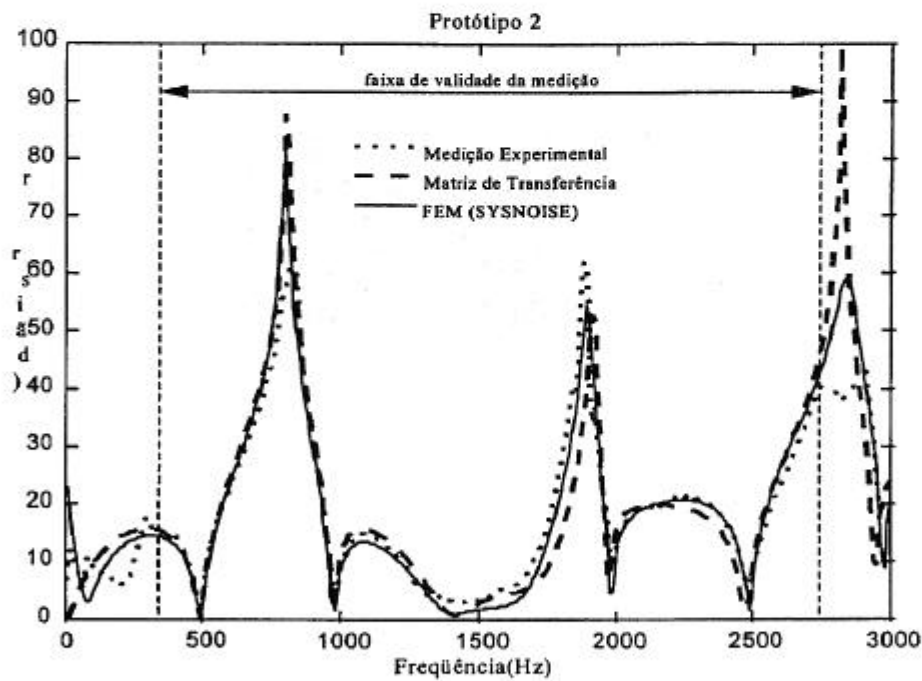
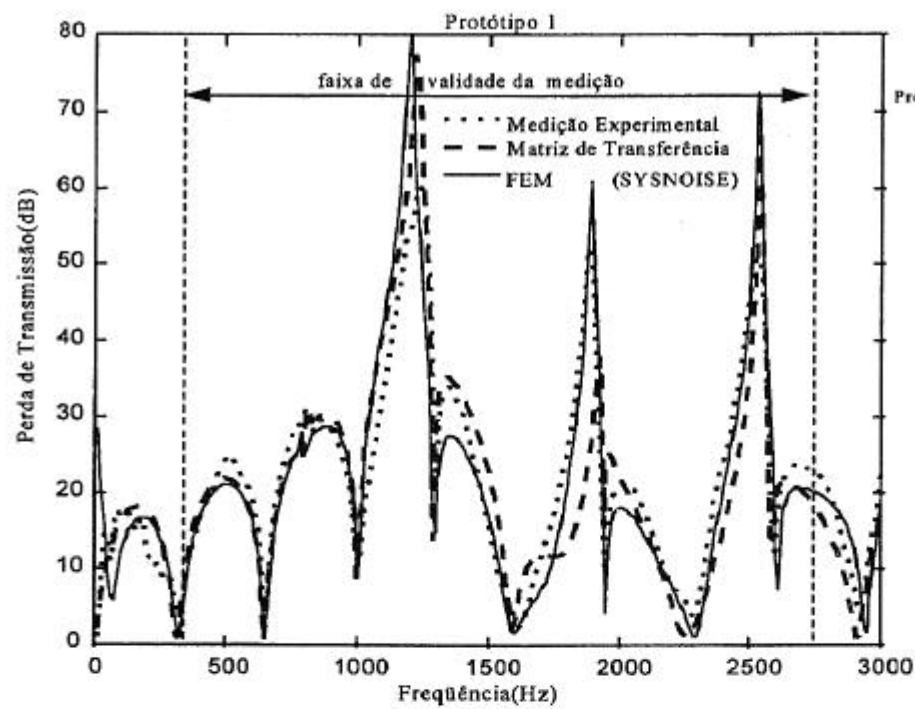


Figura 2- Perda de transmissão das configurações 1 e 2.