

CONEM 2012 «Engenharia em destaque»
VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica
São Luís - Maranhão - Brasil
31 de julho a 03 de agosto
www.abcm.org.br/conem2012

SIMULAÇÃO NUMÉRICA E OTIMIZAÇÃO DE CAMADAS ACÚSTICAS

Orion Lima Duarte Junior, orionduarte@hotmail.com¹
Francisco Ilson Silva Júnior, Ilson@ufc.br¹
Francisco de Assis Leandro Filho, fco07leandro@gmail.com¹

¹Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Mecânica e de Produção Bloco 714 Campus do Pici, Av. Humberto Monte s/n Fortaleza - CE,

Resumo: Neste trabalho são realizadas simulações visando obter uma melhor eficiência na absorção de camadas poroelásticas. O objetivo deste trabalho é otimizar essas camadas juntamente com a retirada de material. Com a discretização e a solução do problema acústico pelo método de elementos finitos a retirada de material pode ocorrer em lugares específicos de modo que se obtenha uma configuração específica com a melhor absorção para uma determinada frequência de vibração.

Palavras-chave: MEF, Painéis absorvedores acústicos, Poroelasticidade

1. INTRODUÇÃO

Com o aumento excessivo das grandes aglomerações humanas, o crescimento de pequenas cidades, o aumento no número de meios de transporte tais como carros, trens e aviões e o desenvolvimento industrial teve também o aumento do nível de ruído sonoro ao qual as pessoas estão expostas e a quantidade de lugares onde isso ocorre. Esse acelerado nível de crescimento exige estudos mais apurados da absorção acústica como forma de atenuação desse ruído, para garantir o conforto de ambientes onde for necessário, algo comum em lugares como os já citados acima. Esse estudo ganha no desenvolvimento computacional um aliado indispensável para sua viabilização, não só pela evolução dos métodos numéricos, mas também pela evolução das máquinas em si.

As simulações realizadas neste trabalho apontam como deveria ser uma geometria otimizada que garanta bons resultados na absorção acústica ocasionados pela retirada de material em locais específicos dessa geometria, o que viria a gerar a formação de câmaras de ar (elemento acústico) no interior dessa camada poroelástica. A principal finalidade do algoritmo usado é obter a melhor localização desses locais.

As simulações foram realizadas com um código escrito para o software Matlab[®]. Este código organiza os dados e realiza a otimização, porém a solução das equações é feita em um solver externo chamado *pc3dsolver2_5d*. O programa resolve as equações para o caso tridimensional, o que permite que seja feita a substituição local de material poroelástico por elementos acústicos.

2. METODOLOGIA

O código escrito monta um arquivo *gvm* com os dados do material e da malha e utiliza um solver externo para calcular tanto a absorção quanto a energia envolvida no processo. A otimização é realizada com o objetivo de obter a maior absorção acústica ocasionada pela retirada de material. Desse modo o algoritmo calcula a absorção da malha completa, em seguida ele retira um elemento poroelástico e substitui o mesmo por um elemento acústico, recalcula a absorção e repete essa ação para todos os elementos, a configuração que possui a melhor absorção é guardada e então outro elemento é retirado. O programa para de rodar quando atinge uma relação de massa, que nesse caso foi de 75% da massa inicial. A otimização acontece para uma determinada frequência a qual também é um dado de entrada no programa. Isso simula, por exemplo, uma barreira para atenuar o ruído de uma máquina em um ambiente industrial.

As condições de contorno aplicadas não permitem a expansão nas laterais do sólido e nenhuma movimentação na parte oposta à região de chegada da onda de pressão.

2.1. Fundamentação teórica

Um elemento poroelástico nada mais é do que uma “mistura” entre um elemento fluido e um elemento sólido. Para a formulação do problema de cálculo da absorção, deve-se ter em mente que esta possui ligação com os deslocamentos

das fases sólida e fluida de um ponto no meio poroelástico, devido à excitação por parte de uma onda de pressão sonora conforme apresentado por Allard (1993). Contudo, outra formulação pode ser encontrada em Atalla *et al.* (1998), onde o deslocamento da fase fluida é substituído pela pressão, e está representada abaixo:

$$\text{div } \sigma^s + \omega^2 \tilde{\rho} u + \tilde{\gamma} \nabla p = 0 \quad \text{Eq. 1}$$

$$\Delta p + \frac{\omega^2 \tilde{\rho}_{22}}{\tilde{R}} p + \frac{\omega^2 \tilde{\rho}_{22}}{h^2 \tilde{\gamma}} \text{div } u = 0 \quad \text{Eq. 2}$$

Onde os valores sobrescritos com um til representam valores associados com a frequência ω . Para uma melhor definição de todos os termos apresentados acima os mesmos são apresentados em Silva (2003).

A solução desse sistema numericamente pode ser feita através do método de Galerkin na forma fraca (Reddy, 1993). O volume total é discretizado em pequenos elementos e seus valores de deslocamento e pressão são representados a seguir:

$$u^e = [N_s] \{u_n\}^e \quad \text{Eq. 3}$$

$$p^e = [N_f] \{p_n\}^e \quad \text{Eq. 4}$$

Onde $[N_s]$ e $[N_f]$ representam as funções de forma para um elemento “e” qualquer, $\{u_n\}$ e $\{p_n\}$ representam os valores dos deslocamentos e pressões nodais. Com a formulação integral fraca das equações 1 e 2 e substituindo nela as equações 3 e 4 obtém-se um sistema acoplado da forma:

$$\begin{bmatrix} [K] - \omega^2 [\tilde{M}] & -[\tilde{C}] \\ -\omega^2 [\tilde{C}]^T & [\tilde{H}] - \omega^2 [\tilde{Q}] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{u_n\} \\ \{p_n\} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{F_s\} \\ \{F_p\} \end{Bmatrix} \quad \text{Eq. 5}$$

As matrizes $[\tilde{M}]$, $[K]$, $[\tilde{C}]$, $[\tilde{Q}]$ e $[\tilde{H}]$ representam respectivamente as matrizes de massa, rigidez, acoplamento entre as variáveis de deslocamento e pressão, energia de compressão e energia cinética. O detalhamento completo dessas matrizes pode ser encontrado em Sgardet *et al.* (2002). Os termos F_s e F_p representam o vetor força devido à excitação externa. O resultado deste sistema permite o cálculo da impedância acústica (Eq.6) e da absorção acústica (Eq.8).

$$Z_n = \frac{1}{j\omega(hU_n + (1-h)u_n)} \quad \text{Eq. 6}$$

Onde:

$$U = \frac{h}{\omega^2 \tilde{\rho}_{22}} \Delta p - \frac{\tilde{\rho}_{12}}{\tilde{\rho}_{22}} u \quad \text{Eq. 7}$$

Deste modo, sabendo que ρ_0 é a densidade do ar e c_0 representa a velocidade de propagação do som no meio tem-se:

$$\alpha = 1 - \left| \frac{Z - \rho_0 c_0}{Z + \rho_0 c_0} \right| \quad \text{Eq. 8}$$

2.2. Implementação computacional

O código utilizado monta um arquivo tipo gvm (Atalla *et al.* 2001) com os dados do material e da malha e utiliza um solver externo para calcular tanto a absorção quanto a energia envolvida no processo. A otimização é realizada com o objetivo de obter a maior absorção acústica utilizando a retirada de material. Desse modo o calcula-se a absorção para a

malha completa, em seguida retira-se um elemento poroso substituindo o mesmo por um elemento acústico, recalcula-se a absorção e repete-se essa ação para todos os elementos, com isso, é guardada a configuração que possui a melhor absorção e repetido o processo para outro elemento. O programa para a simulação quando é atingida uma relação de massa, que nesse caso foi de 75% da massa inicial. A otimização acontece para uma determinada frequência a qual também é um dado de entrada no programa. Isso simula, por exemplo, uma barreira para atenuar o ruído de uma máquina em um ambiente industrial.

2.3. Geração da malha

Para a realização das simulações, o material escolhido foi lã de rocha, as simulações são realizadas com uma placa quadrada com aresta de 850 mm e 40 mm de espessura. Foi realizado um estudo da malha para diferentes configurações, inicialmente foi feito um estudo na variação do número de nós na face. Esses dados são apresentados na Tab. (1):

Tabela 1. Estudo de malha com variação dos elementos da face para a frequência de 500 Hz.

Nós nos eixos X e Y	Nós no eixo Z	Total de elementos	Total de nós
10	5	324	500
14	5	676	980
15	5	784	1125
16	5	900	1280
20	5	1444	2000
10	11	810	1100
15	10	1764	2250

Posteriormente realizou-se uma variação no número de nós na espessura da camada, passando de 5 para 10 nós, devido ao tempo de duração simulação foram deixados na face apenas 15 nós, do mesmo modo, aumentou-se para 11 nós na espessura e deixando 10 nós em cada eixo da face.

3. RESULTADOS

3.1. Variação dos elementos no plano xy

As simulações se mostraram eficientes para todas as configurações de malha. O estudo na convergência da malha aponta que a absorção aumentou para todos os tipos de malha, porém, não houve uma convergência na malha com a camada de massa reduzida conforme apresenta a fig. (1). É importante notar que a absorção inicial (isto é, com a camada sem retirada de massa) não varia em nenhuma das simulações (inclusive onde há variação de elementos no eixo Z, como será apresentado mais adiante), o que significa que a malha convergiu na primeira simulação.

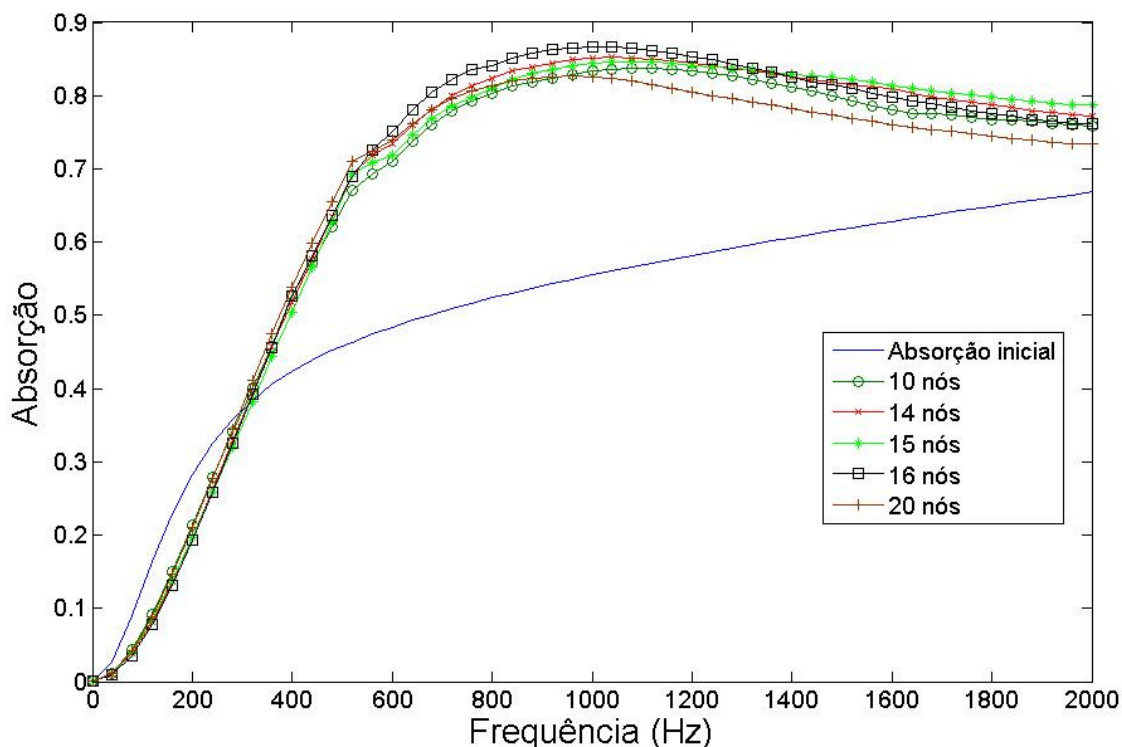


Figura 1. Comparação entre os resultados das malhas com 5 nós na espessura (eixo Z) e variação no número de nós no plano XY

Como pode ser percebido, os resultados são bastante próximos, porém não chegam a convergir a valores iguais, isso se dá porque, com a variação do número de nós, cada vez que um elemento é retirado o sólido resultante tem uma configuração diferente devido à variação no tamanho dos elementos.

As Fig. 2 e 3 apresentadas abaixo fazem uma boa comparação entre a configuração da malha de 15 nós para a malha de 20 nós. Pode-se observar que na fig. 2 a retirada de material concentrou-se apenas na região central e próxima aos cantos da camada, observa-se também que a maior parte da retirada de material ocorreu no interior da camada formando uma superfície que apresenta variações na espessura, ou seja, não é uma figura plana.

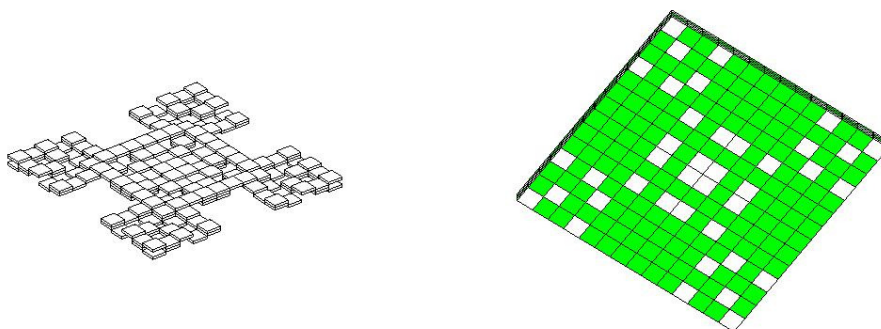


Figura 2. Elementos acústicos e poroelásticos para a malha de 15 nós nos eixos X e Y por 5 nós no eixo Z.

A fig. 3 apresenta uma malha mais refinada que a anterior. Percebe-se que a retirada de material não foi igual à anterior, porém, quase que totalmente, ocorreu nas mesmas regiões, o que indica uma tendência de todas as malhas simuladas. Pode-se reparar também que ocorreram retiradas isoladas em alguns locais entre os cantos, as quais só foram possíveis devido ao maior refinamento da malha.

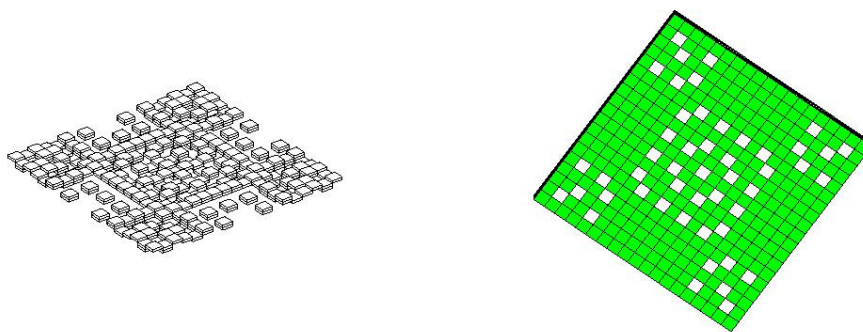


Figura 3. Elementos acústicos e poroelásticos para a malha de 20 nós nos eixos X e Y por 5 nós no eixo Z.

3.2. Variação dos elementos na espessura

A Fig. 4 representa a comparação entre as malhas com discretização maior na espessura. Pode ser visto que os resultados para essas malhas não exibem uma enorme discrepância entre os resultados já mostrados anteriormente, porem vale ressaltar que a malha mais refinada apresenta melhor absorção.

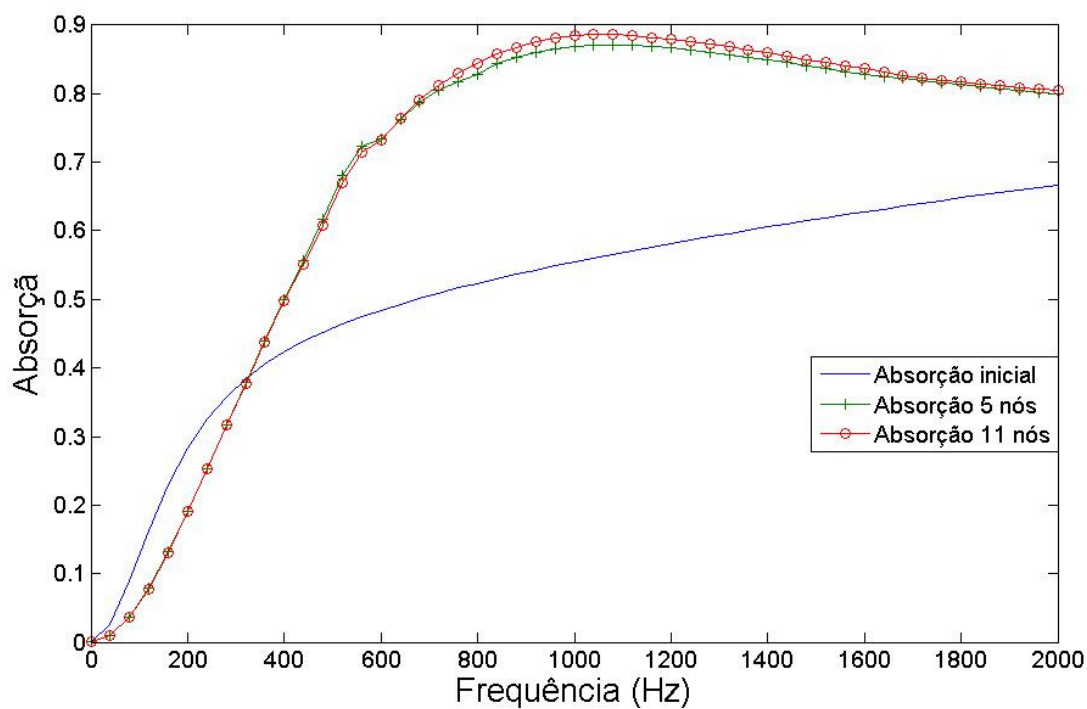


Figura 4. Comparação entre as malhas com 5 e 11 nós na espessura (eixo z).

Observa-se que as duas curvas estão mais próximas entre si que as curvas mostradas no gráfico anterior (fig. 1). Isso mostra que a variação do número de elementos ao longo da espessura não garantiu uma diferença significativa nos valores da absorção acústica. Avaliando as figuras seguintes pode-se explicar o motivo disso.

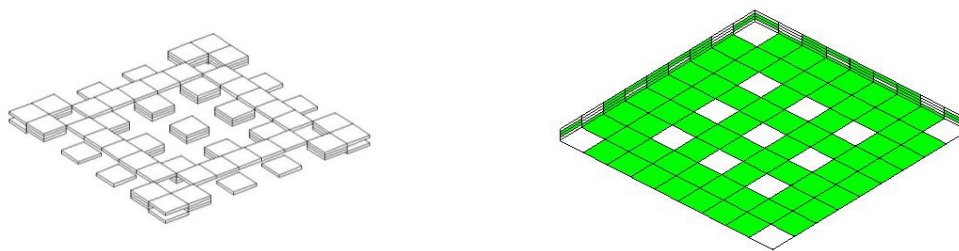


Figura 5. Elementos acústicos e poroelásticos para a malha de 10 nós nos eixos X e Y por 5 nós no eixo Z.

A tendência de retirada ocorre nas mesmas regiões já apresentadas anteriormente, porém esta malha é menos refinada no plano XY, logo apresenta diferenças consideráveis das malhas mostradas anteriormente.

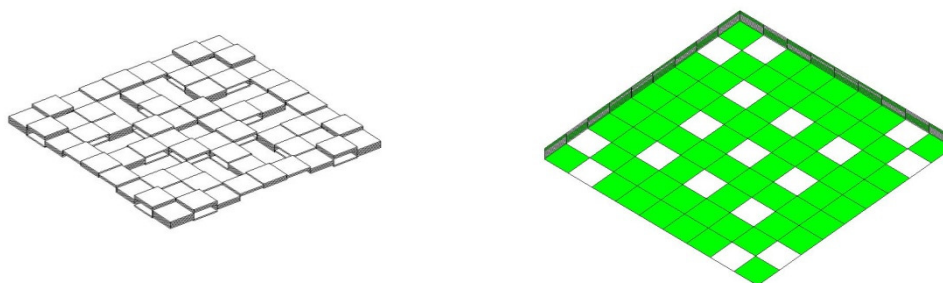


Figura 6. Elementos acústicos e poroelásticos para a malha de 10 nós nos eixos X e Y por 11 nós no eixo Z.

Esta malha, pelo alto refinamento na espessura permite pequenas retiradas de material em todas as regiões, mas a maior retirada continua sendo nos cantos e no centro da camada acústica, pode-se observar que apesar do alto grau de refinamento da espessura a retirada de elementos acontece em “pilhas”, ou seja, vários elementos sobrepostos são retirados, quando isso acontece é como se o fato de ela estar refinada de nada adiantasse. Este é o motivo da pequena diferença de absorção entre as duas malhas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise nos resultados obtidos demonstra que a otimização de camadas poroelásticas pode atingir um nível bem maior de absorção do ruído, o que garante uma melhora de até 40% em alguns casos.

Esse método se mostrou bastante eficiente para a otimização da absorção não só na frequência indicada, mas em quase toda a faixa de frequência calculada, ele mostrou que a introdução de câmaras de ar em locais específicos (e não aleatórios como as espumas) permite um melhor controle do som. Essa aplicação, porém, acarreta alguns problemas na fabricação, mas que podem ser resolvidos com a produção de espumas com matrizes específicas para cada situação a qual essa espuma vai ser submetida.

5. AGRADECIMENTOS

A Deus, e a FUNCAP pelo apoio fornecido ao projeto.

6. REFERÊNCIAS

Allard, J. F. 1993. Propagation of Sound in Porous Media: Modeling Sound Absorbing Materials. Elsevier, New York.

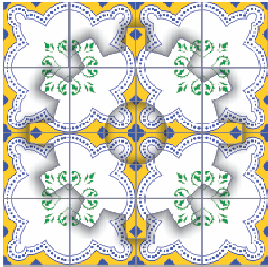
Atalla, N., Panneton, R. & Debergue, P. 1998. A mixed displacement-pressure formulation of poroelastic materials. Journal of Acoustical Society of America, 104(3): 1444-1452.

Atalla, N., Amedin, C. H., Panneton, R., Sgard, F., 2001, Étudenumériqueetexpérimentale de l'absorptionacoustique et de la tranprenceacoustique des matériauxporeuxhétero-gènes en basses fréquencesdans le but d'identifierdes solutions à fort potentiel d'applicabilité. IRSST, Montreal.

Silva, F. I. 2003. Modelagem e Implementação Computacional da Poroelasticidade Acoplada. (Dissertação) Mestrado, Unicamp.

Reddy, J. N. 1984. An Introduction to the Finite Element Method. MacGraw-Hill, New York.

Sgard, F., Dazel, O., Lamarque, C. H. & Atalla, N. 2002. An extension of complex modes for the resolution of finite-element poroelástico problems. Journal of Sound and Vibration 253(2) 421-445.



NUMERICAL SIMULATION AND OPTIMIZATION OF LAYERED ACOUSTIC

SIMULAÇÃO NUMÉRICA E OTIMIZAÇÃO DE CAMADAS ACÚSTICAS

Orion Lima Duarte Junior, orionduarte@hotmail.com¹
Francisco Ilson Silva Júnior, ilson@ufc.br¹
Francisco de Assis Leandro Filho, fco07leandro@gmail.com¹

¹Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Mecânica e de Produção Bloco 714 Campus do Pici, Av. Humberto Monte s/n Fortaleza - CE,

Abstract. *In this work simulations are performed to obtain a better efficiency in absorbing layers poroelastics. The objective of this work is to optimize these layers along with the removal of material. With the solution of the problem and discretization acoustic the finite element method the removal of material can occur at specific locations so as to obtain a specific configuration to better absorption for a given vibration frequency.*

Keywords: *MEF, Painéis absorvedores acústicos, Poroelastic*