

UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS COMO INSTRUMENTO DE APRENDIZAGEM DA ACÚSTICA ARQUITETÔNICA

CUNHA, Eduardo Grala da (1); ITURRIOZ, Ignácio (2)

(1) Faculdade de Engenharia e Arquitetura – Curso de Arquitetura

(2) Faculdade de Engenharia e Arquitetura – Curso de Engenharia Mecânica

(1) e (2) Universidade de Passo Fundo – RS. Bairro São José – Passo Fundo – RS – Brasil

E-mail: (1) egcunha@zaz.com.br (2) ignacio@vitoria.upf.tche.br

RESUMO

Este trabalho caracteriza uma metodologia utilizada no ensino de graduação que visa a partir da utilização do software de modelagem de elementos finitos Ansys, descrever as distribuições de pressões em um ambiente qualquer considerando a presença de uma fonte sonora neste compartimento. Sendo possível a análise de resultados tanto no domínio do tempo, como também no da frequência. As características acústicas das fronteiras (paredes, por exemplo) podem ser consideradas, assim como a possibilidade de estudar problemas com fronteiras infinitas (ar livre). Também é possível considerar o acoplamento entre a estrutura e o meio acústico estudado prevendo possíveis problemas de ressonância do mesmo.

Palavras-chave: Acústica, Ensino de Acústica, Método dos Elementos Finitos, ANSYS.

ABSTRACT

This study characterizes a methodology used at the college teaching, which aims, from the software Ansys, to describe the pressures distributions in such ambient considering a sound source presence in this compartment. So, the analysis of results at a time domain and at a frequency domain is possible. Acoustics features of the boundaries (walls, for example) can be considered, and the possibility of studying problems with infinite boundaries (air) can be considered too. Also, it's possible to consider the linking between structure and studied acoustics means, providing possible resonance problems.

1. INTRODUÇÃO

A acústica arquitetônica é uma das disciplinas ministradas nas cadeiras de conforto ambiental dos cursos de graduação das faculdades de Arquitetura e Urbanismo. Uma das dificuldades percebidas durante o aprendizado é a visualização por parte do aluno dos fenômenos que envolvem os problemas da acústica, tanto do ponto de vista qualitativo como também do quantitativo. Neste contexto a utilização de simulações numéricas torna-se uma ferramenta útil, pois permite concretizar os conceitos ministrados ao facilitar a visualização das magnitudes estudadas e como elas variam quando diversos parâmetros, como geometrias e qualidades dos materiais acústicos utilizados são mudados. O objetivo deste trabalho é apresentar as possibilidades que o método dos elementos finitos oferece, como uma ferramenta auxiliar no ensino da acústica na arquitetura. Para isto na segunda parte deste trabalho é apresentada uma breve descrição do método dos elementos finitos aplicados ao problema de acústica,

posteriormente realiza-se uma breve descrição do software utilizando o sistema ANSYS e das suas potencialidades com relação à simulação numérica de problemas relacionados com a acústica arquitetônica. Na terceira parte são apresentadas algumas aplicações do método no estudo qualitativo de acústica de salas. E por último na quarta parte são apresentadas as conclusões obtidas neste trabalho assim como considerações sobre a continuação do mesmo.

2. MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

2.1 Generalidades

O método dos elementos finitos é um método numérico que permite achar soluções aproximadas a problemas de engenharia que podem ser expressos matematicamente numa equação integral. Problemas na área de mecânica dos meios contínuos sólidos ou fluidos e problemas térmicos também são equacionados pelos elementos finitos.

Esta forma de trabalho ganha grande impulso com a popularização dos computadores passando nos últimos 20 anos do ambiente puramente acadêmico e de pesquisa, a estar cada vez mais acessível aos graduados nas diversas áreas de interesse. Dentro deste contexto pode ser citada a grande quantidade de softwares disponíveis e o grande esforço feito por eles para facilitar a interface com o usuário. Entre os softwares líderes de mercado, cabe salientar o sistema comercial ANSYS(1992), o qual ocupa um lugar de destaque sendo um sistema de elementos finitos aplicável a vários problemas de engenharia.

2.2 Aplicação do método dos elementos finitos ao problema de Acústica

A acústica estuda a geração, propagação, absorção e reflexão de ondas sonoras num meio fluido, por isso o interesse em apresentar a equação da onda. A equação diferencial da onda pode-se expressar como segue:

$$\frac{1}{C^2} \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} - \left[\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} \right] = 0 \quad (1)$$

+ *Condições de Contorno*

$$\text{onde } C = \sqrt{\frac{k}{\rho_0}} \text{ é a velocidade do som, com}$$

k = módulo de compressibilidade do fluido

ρ_0 = Densidade do fluido

P = Pressão acústica $P(x,y,z,t)$

t = tempo

x, y, z = variáveis espaciais

Havendo interesse na variação harmônica da pressão é possível reescrever a equação anterior da seguinte forma:

$$\frac{\omega}{C^2} \bar{P} + \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} = 0 \quad (2)$$

onde,

P = Amplitude da Pressão

$\omega = 2\pi f$ onde

f = frequência da oscilação da pressão em ciclos por segundo [Hertz]

Para aplicar o método dos elementos finitos sobre o problema em estudo é necessário achar uma formulação equivalente para as equações apresentadas em (1) ou em (2). Para isso é necessário aplicar o procedimento de Galerkin o qual encontra-se desenvolvido em BATHE(1982) e ZINEKIEWICZ(1977).

A forma equivalente de aplicar sobre (1) ou (2) o procedimento de Galerkin tem o seguinte aspecto:

$$\int_{vol} A\left(P, \frac{\partial P}{\partial x}, \frac{\partial P}{\partial y}, \frac{\partial P}{\partial z}\right) d_{vol} = \int_{Sup} B(P^*, U^*) d_{Sup} \quad (3)$$

Uma das integrais é definida sobre o volume do domínio em estudo (Vol), e a outra é definida sobre a superfície do domínio em estudo (Sup). U^* e P^* representam as condições de contorno do problema, ou seja, características do espaço físico analisado. As funções $A()$ e $B()$ são determinadas a partir da aplicação do procedimento de Galerkin sobre as equações diferenciais (1) ou (2). Sobre a equação integral (3) aplica-se o método dos elementos finitos que consiste essencialmente em discretizar o domínio espacial em porções chamadas **elementos finitos**.

A aplicação do método permite transformar a equação integral (3) num sistema de n equações algébricas com n incógnitas que pode ser expresso da seguinte forma:

$$[K]_{n \times n} [P]_{n \times 1} = [Excitação]_{n \times 1} \quad (4)$$

onde:

$[K]_{n \times n}$ = É uma matriz de coeficientes constantes que representam o comportamento da onda sonora do sistema em estudo.

$[P]_{n \times 1}$ = É o vetor das pressões em diferentes pontos (nós) do domínio discretizado, é a incógnita do problema estudado.

$[Excitação]_{n \times 1}$ = É o vetor que excita o sistema estudado, ele é dado do problema fornecido como um dos tipos de condições de contorno (fonte de ruído).

O método dos elementos finitos é aproximadamente o número de incógnitas n e diretamente proporcional ao número de elementos empregados na discretização, quanto maior o número de elementos (maior n), em geral, melhor será a aproximação obtida, porém em contrapartida maior será o sistema de equações a resolver.

2.3 Possibilidades que oferece o ANSYS quanto ao estudo de problemas de acústica.

O sistema de elementos finitos ANSYS permite modelar o fluido e a estrutura de interface. Para isso é preciso determinar a geometria da interface a qual pode ser rígida ou flexível. No caso da interface ser flexível, deve ser modelada com elementos finitos estruturais, sendo necessário fornecer as características mecânicas do material as quais permitiram definir sua rigidez. O fluido deve ser modelado com elementos finitos, sendo possível à incorporação de elementos que simulam a condição de um meio fluido infinito (problema com uma das fronteiras livres). As propriedades a definir no caso do fluido são a velocidade de propagação do som, a densidade do fluido e a condição de contorno a ser definida, a qual é o coeficiente de absorção b que simula assim as características acústicas dos materiais colocados na interface. Também deve ser definido como será administrada a excitação ao sistema, (uma carga, um deslocamento prescrito), e definir sua direção e posição geométrica. É importante definir também se haverá acoplamento entre as estruturas da interface e o fluido, isto deve ser feito na região onde é aplicada a excitação e no caso em que a interface não seja rígida.

Tipos de análises que podem ser realizadas:

a) Análise acústico harmônica (no domínio da frequência)

Definição da excitação: Ela é definida como pares de valores de amplitude de excitação e frequência.

Resultados a serem obtidos:

- Distribuição espacial no domínio em estudo da pressão sonora para diferentes frequências da excitação.
- A variação desta pressão num determinado ponto do domínio espacial quando a frequência da excitação variar.

b) Análise acústica transiente (no domínio do tempo)

Definição da excitação, história da excitação no tempo. Permite obter a distribuição espacial no domínio em estudo da pressão sonora para diferentes tempos. Também é possível definir a história da pressão sonora para um determinado ponto do domínio. Este tipo de análise pode ser útil para medir modelo numérico o tempo de reverberação.

3. APLICAÇÕES

3.1 Análise da Acústica de uma Sala de Aula de Desenho

A continuação apresenta-se em um exemplo do tipo de trabalho a ser analisado com os alunos. A partir da caracterização de um espaço físico qualquer será simulado o desempenho acústico deste ambiente, seja em função da sua absorção ou da distribuição de pressões sonoras. As figuras a seguir caracterizam o objeto em estudo como também os resultados gerados pelo programa ANSYS.

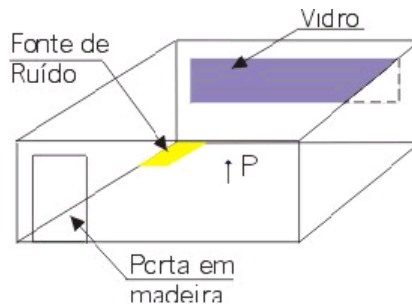


Figura 1 - Sala analisada (ponto P)

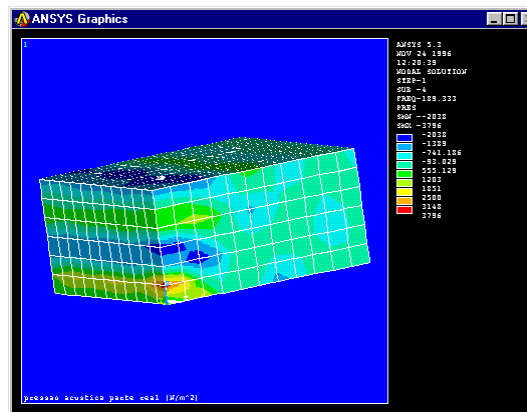


Figura 2 - Distribuição da pressão sonora (parte real) da sala em estudo para uma frequência de excitação da fonte de 189 Hz

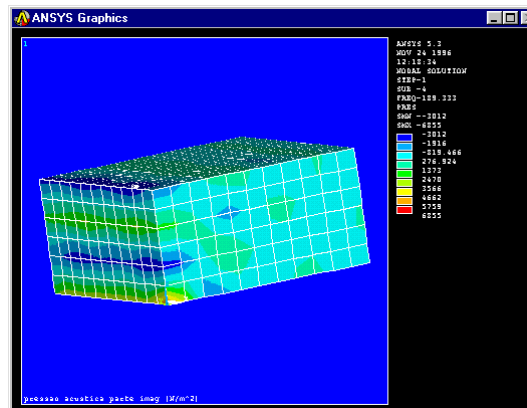


Figura 3 - Distribuição da pressão sonora (parte imaginária) da sala em estudo em N/m^2 , para uma frequência da fonte de 189 Hz

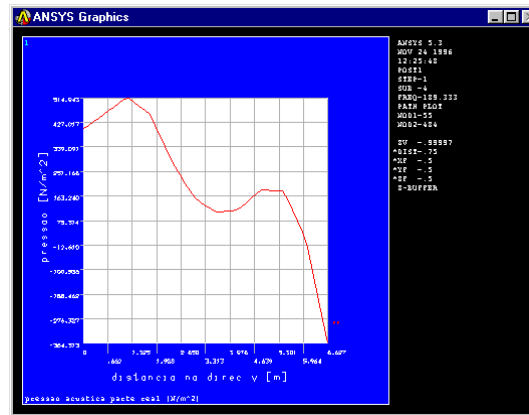


Figura 4 - Variação da pressão sonora para a fonte de excitação de 189Hz sobre uma linha entre os pontos (3.3,0,0.55) e (3.3,6.6,.55).

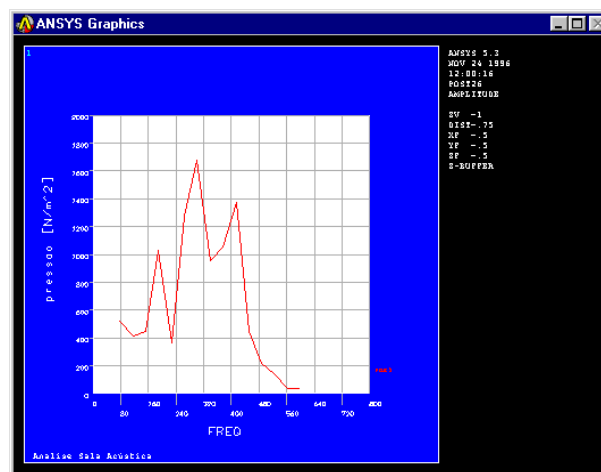


Figura 5 - Variação da amplitude da pressão sonora em função da frequência para um ponto localizado nas coordenadas (x=3.3m,y=3.3m,z=.55m)

4. CONCLUSÕES

Esta metodologia propiciou que, além da materialização dos conceitos técnicos ministrados em aula, fosse possível promover uma ação multidisciplinar na Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo-RS entre os cursos de Engenharia mecânica, civil e arquitetura, nas quais encontram-se os autores deste artigo.

A partir da caracterização desta metodologia numérica de análise da propagação do som em um ambiente qualquer, abre-se a possibilidade de analisarmos os mais variados ambientes com as mais variadas formas, possibilitando caracterizar o desempenho acústico de um leque extremamente vasto de tipologias arquitetônicas.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bathe, K., J. **Finite Element Procedures in Engineering Analysis**, Prentice Hall. Englewood Cliffs (1982). Zienkiewicz, O., C.,
- Bathe, K., J. **The Finite Element Method**, Mc. Graw Hill. Company. London (1977)
- Swanson Analysis Systems, **ANSYS User's Manual**, Houston (1992)