

ABSORVEDORES ACÚSTICOS DE RUÍDO: MODELAGEM NUMÉRICA

Fabiana Alves Pereira, LAV, fabianaapereira@yahoo.com.br
Marcus Antonio Viana Duarte, LAV, mvduarte@mecanica.ufu.br

Resumo. Uma das propostas atuais para promoção do controle ativo de ruídos consiste na aplicação do princípio da interferência destrutiva utilizando materiais piezelétricos acoplado a estruturas do tipo placas finas. Os materiais piezelétricos se mostram eficientes e adequados para tal aplicação visto que podem operar tanto como atuadores quanto como sensor, sendo elementos facilmente aderidos a estruturas ou diretamente inseridos no volume do material. Portanto, o principal objetivo deste trabalho consiste na promoção da modelagem de dispositivos piezelétricos acionando placas finas flexíveis pelo método de elementos finitos visando analisar a viabilidade da aplicação de tais sistemas vibro-acústicos na atenuação de ruídos de baixas frequências. Ao final, são apresentadas sugestões para trabalhos futuros, tais como a construção de um protótipo e a implementação de técnicas de controle disponíveis na literatura.

Palavras chave: Controle ativo, Materiais piezelétricos, Método dos elementos finitos

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Bistafa (2011), o ruído pode ser definido como um som sem harmonia, e portanto desagradável, que em nível elevado provoca no ser humano efeitos psicológicos e fisiológicos indesejáveis, tais como: perda da audição, aumento da pressão arterial, perturbação do sono, stress, tensão, baixo desempenho na execução de tarefas e interferência na comunicação oral, provocando um estado de irritação.

Para evitar a ocorrência de danos à saúde humana ocasionados pela exposição ao ruído, a norma regulamentadora nº15 (NR-15) da Portaria do Ministério do Trabalho nº 3.214/1978 estabelece limites de tolerância para exposição a ruídos contínuos ou intermitentes e a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) fixa por meio da NBR 10152:1987 os níveis de ruído admissíveis para o conforto acústico em diversos ambientes.

Assim sendo, a fim de manter o nível de ruído dentro dos valores especificados pelas normas em vigor é necessária a aplicação de técnicas de controle, que podem ser do tipo passivas ou ativas. De acordo com Maciel (2014), no controle passivo a atenuação do ruído é obtida basicamente por meio da absorção e dissipação da energia interna dos materiais. Já o método ativo, baseia-se no princípio da interferência destrutiva, no qual são usados dispositivos capazes de fornecer energia ao sistema com a mesma amplitude do ruído produzido pela fonte primária no entanto defasado de 180 graus, conforme ilustra a Fig. (1).

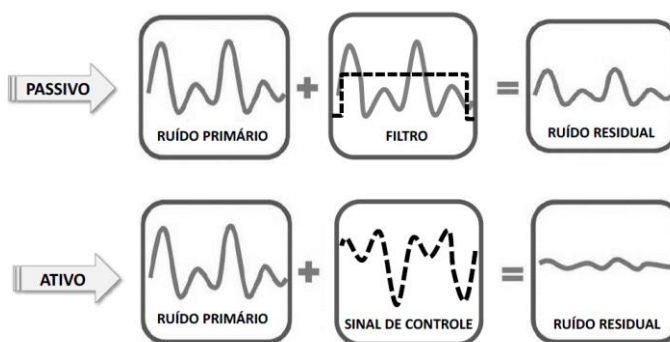


Figura 1 – Método de controle de ruído. Fonte: Maciel (2014)

Os métodos passivo convencionais aplicados a atenuação do ruído possuem excelente relação custo benefício, no entanto, apresentam respostas caras e ineficazes para atenuação de ruído em baixas frequências (Elliot e Nelson, 1993) e se mostram inadequados para aplicações em determinados ambientes, tais como as salas limpas. As salas limpas são ambientes controlados, dotados de sistema de manutenção de qualidade do ar interior visando garantir os níveis de contaminantes e particulados abaixo dos limites especificados por norma (NBR ISO 14644), sendo empregadas em diversos setores industriais, tais como: farmácia/ cosmético, alimentício, automobilístico, tecnologia da comunicação/ eletrônica, microeletrônica.

Desta forma, faz-se necessário o desenvolvimento de novas técnicas de controle capazes de superar as limitações dos métodos passivos convencionais de controle de ruído. Com o avanço da ciência e da engenharia de materiais já existem

no mercado forros e até mesmo tintas, que utilizam nanotecnologia, capazes de promover o tratamento acústico de recintos, inclusive dos ambientes controlados. Todavia, considerando que as técnicas de controle ativo estão sendo impulsionadas pelo processamento digital de sinais, pelo crescimento da microeletrônica e pela melhoria dos transdutores de controle, faz-se interessante o desenvolvimento de propostas de atenuação ativa de ruído.

A proposta deste trabalho para promoção do controle ativo de ruídos consiste na aplicação do princípio da interferência destrutiva utilizando materiais piezelétricos acoplados a uma estrutura do tipo placa fina. Os materiais piezelétricos se mostram interessantes para tal aplicação visto que podem operar tanto como atuadores quanto como sensores, uma vez que quando submetidos a uma deformação mecânica produzem polarização elétrica proporcional a deformação sofrida (efeito piezelétrico direto) e quando expostos a um campo elétrico ao longo da sua direção de polarização geram em resposta uma deformação mecânica (efeito piezelétrico inverso). Além do mais, estes dispositivos se mostram eficientes e adequados para sistemas de geometria complexa, uma vez que os mesmos podem ser aderidos sobre a superfície da estrutura diretamente ou inseridos no volume do material, conforme evidencia Santana (2002).

Destarte, a vista do exposto, o principal objetivo deste trabalho consiste na familiarização com a simulação de dispositivos piezelétricos acionando placas finas flexíveis utilizando as técnicas de elementos finitos, proporcionando em trabalhos futuros a análise da viabilidade da aplicação de tais sistemas vibro-acústicos na atenuação de ruídos de baixas frequências.

2. MODELAGEM DE DISPOSITIVOS PIEZELÉTRICOS INCORPORADOS A PLACAS FINAS FLEXÍVEIS

As análises numéricas apresentadas neste trabalho são referentes a uma placa quadrada de aço engastada, com 50 cm de lado e espessura de 0.2 cm, acionada por dispositivo piezelétrico cerâmicos, com 0.2 mm de espessura e comprimento/largura de 5 cm. A modelagem apresentada neste artigo foi desenvolvida no software comercial de elementos finitos Ansys®.

2.1. Método de elementos finitos

Para a modelagem de dispositivos piezelétricos incorporados a placas finas flexíveis no Ansys® foram realizadas três etapas, que são: pré-processamento, solução e pós-processamento.

Na etapa de pré-processamento, foram estabelecidos os elementos utilizados e as propriedades dos materiais empregados na construção do modelo. Ainda nesta fase, a geometria do problema foi criada e a malha definida, atendendo a critérios de convergências capazes de garantir a obtenção de resultados satisfatórios para o sistema em questão.

Para a simulação da placa fina utilizou-se o elemento SHELL 63, que possui quatro nós com seis graus de liberdade por nó (deslocamentos e rotações em torno dos eixos x, y e z) e apresenta recursos de flexão e de membrana permitindo a aplicação de cargas tanto no plano quanto normais ao plano. As propriedades do aço, utilizado na simulação da placa se encontram na Tab. (1).

Tabela 1. Propriedades do aço.

Módulo de elasticidade (N/m ²)	207.10 ⁹
Densidade (kg/m ³)	7870
Coeficiente de Poisson	0.292

Já o elemento utilizado para análise piezelétrica foi o SOLID 5, que apresenta graus de liberdade tanto mecânicos (deslocamento em x, y e z) quanto elétricos (um grau de liberdade para voltagem), tornando-o adequado para esta aplicação que possui acoplamento eletromecânico.

Conforme Nunes e Rade (2007), há duas maneiras de se promover a modelagem de dispositivos piezelétricos no Ansys®, a primeira consiste em definir as matrizes de tensão piezelétrica [e] e de elasticidade anisotrópica [c], e a segunda em determinar as matrizes de deformação piezelétrica [d] e de flexibilidade [s]. Caso opte-se pelo segundo método o software irá converter a matriz de deformação na matriz de tensão, por meio da matriz de elasticidade, seguindo a relação enunciada nas Eq. (1) e Eq. (2).

$$[e] = [c][d] \quad (1)$$

$$[e] = [s]^{-1}[d] \quad (2)$$

O dispositivo piezelétrico considerado neste trabalho é uma piezo cerâmica PZT-5A, da classe de simetria de 6mm com anisotropia na direção Z que é a direção de polarização considerada nos modelos tridimensionais do Ansys®. Para estes materiais, segundo Gilder (2002), as matrizes de rigidez elástica [c], permissividade dielétrica [ε] e tensão piezelétrica [e] são:

$$[c] = \begin{bmatrix} c_{11}^E & c_{12}^E & c_{13}^E & 0 & 0 & 0 \\ c_{12}^E & c_{11}^E & c_{13}^E & 0 & 0 & 0 \\ c_{13}^E & c_{13}^E & c_{33}^E & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_{44}^E & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_{44}^E & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & c_{55}^E \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$c_{66} = \frac{1}{2}(c_{11} - c_{12}) \quad (4)$$

$$[\varepsilon] = \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_{11} & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_{33} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$[e] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & e_{15} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e_{15} & 0 & 0 \\ e_{31} & e_{31} & e_{33} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

É interessante observar que os valores de permissividade do elemento SOLID 5 são interpretados com relação a deformação constante e caso os mesmos sejam inferiores a um, será considerada permissividade absoluta. As propriedades do PZT-5A empregado na simulação se encontram na Tab. (2).

Tabela 2. Propriedades PZT-5A.

Propriedade	Símbolo	Valor
Constantes elásticas [$\times 10^{10} \text{ N.m}^{-2}$]	c_{11}^E	12.10
	c_{12}^E	7.52
	c_{13}^E	7.51
	c_{33}^E	11.10
	c_{44}^E	2.10
	c_{66}^E	2.24
Constantes piezelétricas [$C.m^{-2}$]	e_{31}	-5.35
	e_{33}	15.8
	e_{15}	12.3
Constantes dielétricas relativas*	$\varepsilon_{11}^S / \varepsilon_0$	916
	$\varepsilon_{11}^S / \varepsilon_0$	916
	$\varepsilon_{11}^S / \varepsilon_0$	830

(*) $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F.m}^{-1}$

Durante a fase de solução, foram determinadas as condições de contorno para a placa e para o dispositivo piezelétrico e realizadas as análises modal, harmônica e estática. Faz-se necessário esclarecer, que adotou-se as hipóteses simplificadoras de que o dispositivo piezelétrico está perfeitamente fixo na estrutura e que o potencial elétrico aplicado sobre ele é constante em todo o elemento e varia linearmente ao longo da espessura.

As deflexões estáticas apresentadas pela placa acionada pelo PZT com uma tensão de ± 1 Volt obtidas na análise harmônica se encontra ilustrada na Fig. (2) e os valores das frequências naturais, adquiridas através da análise modal, na Tab. (3).

Tabela 3. Frequências naturais da placa com dispositivo piezelétrico incorporado.

Modos	Frequência Natural [Hz]
(1,1)	70.64
(2,1)	144.27
(1,2)	144.27
(2,2)	212.23
(3,1)	258.49
(1,3)	258.99
(3,2)	323.14
(2,3)	323.14
(3,3)	413.24

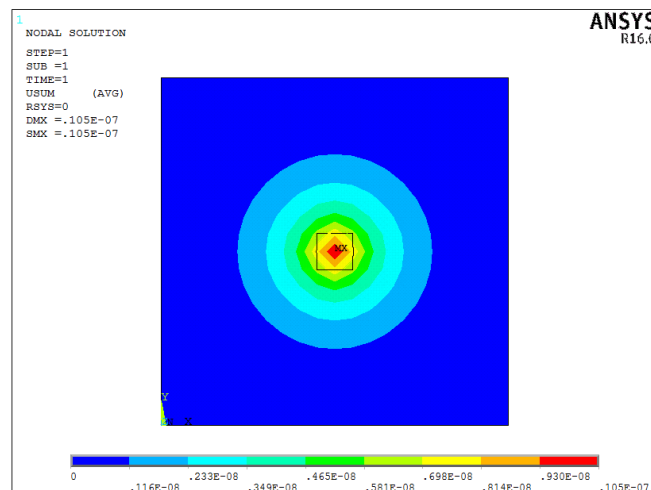


Figura 2 – Deflexão estática da placa acionada por um dispositivo piezelétrico.

Uma vez que o principal objetivo deste projeto consiste na utilização de materiais elétricos acoplados a estruturas do tipo placa fina para atenuação de ruídos na baixa frequência, realizou-se também a análise harmônica para a obtenção da resposta em frequência na faixa de 10 a 500 Hz e o resultado obtido está ilustrado na Fig. (3).

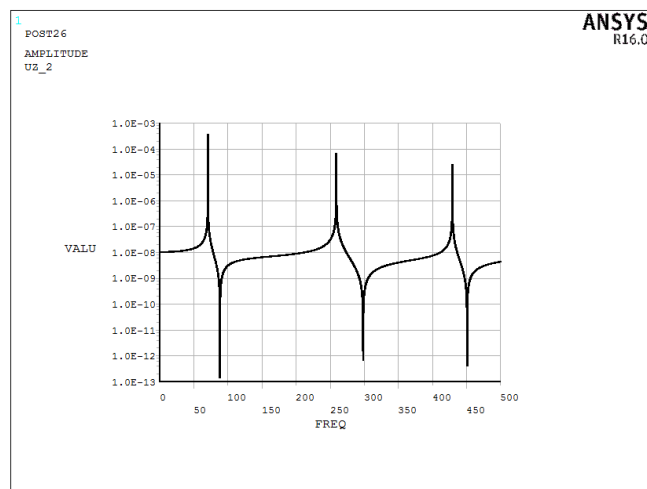


Figura 3 – Resposta em frequência apresentada pelo sistema.

3. CONCLUSÃO

Neste trabalho apresentou-se uma metodologia para modelagem de dispositivos piezelétricos cerâmicos do tipo PZT-5A, da classe de simetria 6mm, acionando placas finas flexíveis no software comercial de elementos finitos Ansys®. Também foram realizadas as análises: estática para avaliação das deformações geradas pelo atuador piezelétrico na placa quadrada fina engastada, modal para a caracterização das propriedades dinâmicas do sistema, e harmônica para obtenção das curvas de resposta do sistema na baixa frequência.

Por meio da realização deste trabalho, acredita-se que a utilização de materiais piezelétricos acoplado a estruturas do tipo placas finas seja capaz de promover o controle ativo de ruídos baseado no princípio da interferência destrutiva. Consequentemente como trabalhos futuros, tem-se a busca por um dispositivo piezelétrico que melhor se ajuste a aplicação e a construção de um protótipo no qual deverão ser implementadas as técnicas de controle ativo de ruído disponíveis na literatura.

4. REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DDE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10152: Níveis de ruído para conforto acústico – Procedimento. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DDE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14644-1: Salas limpas e ambientes controlados associados. Parte 1: Classificação da limpeza do ar. Rio de Janeiro, 2005.
- Bistafa, S. R. Acústica aplicada ao controle do ruído. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2011. 380 p.
- Crawley, E. F. e de Luis, J., Use of piezoelectric actuators as elements of intelligent structures. AIAA Journal, Vol. 25. No 10, pp.87-100, 1987.
- Elliot, S. J. and Nelson, P. A., Active Noise Control, IEEE Signal Processing Magazine, October, 1993.
- Gilder N., Desenvolvimento de técnicas de caracterização de transdutores piezelétricos, Tese apresentada a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Tesse doutorado, 2002.
- Maciel, M. A. Controle ativo de ruído aplicado a venezianas acústicas. 2014 Dissertação de Doutorado - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.
- NR, Norma Regulamentadora Ministério do Trabalho e Emprego. NR-15 - Atividades e Operações Insalubres. 2009.
- Nunes Junior, O. A. Rade, D. A. Modelagem e Validação Experimental de Transdutores Piezelétricos. In: 17º Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2007, Uberlândia. 17º Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2007.
- Santana, D. C., Controle ativo de ruído empregando placas retangulares com atuadores piezelétricos distribuídos, 198 p., Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Uberlândia, 2002.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível superior (CAPES) e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, por disponibilizar os recursos necessários para a realização deste trabalho.

6. ABSTRACT

One of the current proposals for promoting active noise control consists of the application of the principle of destructive interference using piezoelectric materials coupled on thin plates structures. The piezoelectric materials are shown efficient and adequate for such an application because they can operate both as actuators as sensors, being easily attached to structures or directly inserted into the volume of the material. Therefore, the main objective of this work is to promote the modeling of piezoelectric devices actuating flexible thin plates by finite element method in order to analyze the viability of applying such vibro-acoustic systems in attenuating low frequency noise. At the end, we present suggestions for future work, such as building a prototype and the implementation of control techniques available in the literature

Keywords: Active control, piezoelectric materials, Finite element method

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.