



Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)

Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica 2

Atena
Editora
Ano 2019

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)

**Impactos das Tecnologias na
Engenharia Mecânica**
2

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

I34 Impactos das tecnologias na engenharia mecânica 2 [recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN 978-85-7247-247-0

DOI 10.22533/at.ed.470190504

1. Automação industrial. 2. Engenharia mecânica – Pesquisa – Brasil. 3. Produtividade industrial. 4. Tecnologia. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Dallamuta, João. III. Série.

CDD 670.427

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A Engenharia Mecânica pode ser definida como o ramo da engenharia que aplica os princípios de física e ciência dos materiais para a concepção, análise, fabricação e manutenção de sistemas mecânicos

Nos dias atuais a busca pela redução de custos, aliado a qualidade final dos produtos é um marco na sobrevivência das empresas. Nesta obra é conciliada duas atividades essenciais a um engenheiro mecânico: Projetos e Simulação.

É possível observar que na última década, a área de projetos e simulação vem ganhando amplo destaque, pois através de simulações pode-se otimizar os projetos realizados, reduzindo o tempo de execução, a utilização de materiais e os custos finais.

Dessa forma, são apresentados trabalhos teóricos e resultados práticos de diferentes formas de aplicação e abordagens nos projetos dentro da grande área das engenharias.

Trabalhos envolvendo simulações numéricas, tiveram um grande avanço devido a inserção de novos softwares dedicados a áreas específicas, auxiliando o projetista em suas funções. Sabe-los utilizar de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros.

Neste livro são apresentados vários trabalhos, alguns com resultados práticos, sobre simulações em vários campos da engenharia industrial, elementos de maquinas e projetos de bancadas práticas.

Um compendio de temas e abordagens que constituem a base de conhecimento de profissionais que se dedicam a projetar e fabricar sistemas mecânicos e industriais.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
RESOLUÇÃO DA EQUAÇÃO DA DIFUSÃO UNIDIMENSIONAL COM SOLUÇÃO SUAVE UTILIZANDO MALHA ADAPTATIVA	
<i>Gabriel Marcos Magalhães</i> <i>Hélio Ribeiro Neto</i> <i>Aristeu da Silveira Neto</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4701905041	
CAPÍTULO 2	14
USO DE MALHAS NÃO-ESTRUTURADAS NA RESOLUÇÃO DA EQUAÇÃO DA DIFUSÃO	
<i>Gabriel Marcos Magalhães</i> <i>Alessandro Alves Santana</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4701905042	
CAPÍTULO 3	29
MÉTODOS NUMÉRICOS: DIFERENÇAS FINITAS E GUIA DE ONDAS DIGITAIS 1D E 2D - COMPARATIVO DE FREQUÊNCIAS	
<i>Brenno Lobo Netto Peixoto</i> <i>Marlipe Garcia Fagundes Neto</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4701905043	
CAPÍTULO 4	43
INFLUÊNCIA DA DISCRETIZAÇÕES ESPACIAL E TEMPORAL EM PROBLEMA PURAMENTE ADVECTIVO	
<i>Thiago Fernando Santiago de Freitas</i> <i>Andreia Aoyagui Nascimento</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4701905044	
CAPÍTULO 5	53
FRONTEIRA IMERSA PARA CORPOS ESBELTOS	
<i>João Rodrigo Andrade</i> <i>Aristeu Silveira Neto</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4701905045	
CAPÍTULO 6	61
MATHEMATICAL AND NUMERICAL MODELLING OF GAS-SOLID TURBULENT FLOWS IN COMPLEX GEOMETRIES	
<i>Stella Rodrigues Ferreira Lima Ribeiro</i> <i>Letícia Raquel de Oliveira</i> <i>João Marcelo Vedovoto</i> <i>Aristeu da Silveira Neto</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4701905046	
CAPÍTULO 7	69
ESTUDO NUMÉRICO DA DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA TRANSIENTE EM PLACAS	
<i>William Denner Pires Fonseca</i>	

Táisa Santos Machado
Eduardo Mendonça Pinheiro
José Felipe Lopes de Carvalho
Sidney da Conceição Alves
Thiago Santana de Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.4701905047

CAPÍTULO 8 83

IDENTIFICAÇÃO EXPERIMENTAL E PROJETO DE UM PID PARA UM SERVOMECANISMO

Wesley Pereira Marcos
Rodrigo Hiroshi Murofushi
Bruno Luiz Pereira

DOI 10.22533/at.ed.4701905048

CAPÍTULO 9 98

MODELAGEM ESTOCÁSTICA DE ESTRUTURAS COMPÓSITAS CONTENDO SHUNT RESISTIVO PARA O CONTROLE PASSIVO DE VIBRAÇÕES

Lorrane Pereira Ribeiro
Antônio Marcos Gonçalves de Lima
Victor Augusto da Costa Silva

DOI 10.22533/at.ed.4701905049

CAPÍTULO 10 114

PROJETO E ANÁLISE DE VIBRAÇÕES POR ELEMENTOS FINITOS DE UM CHASSI TIPO SPACE FRAME MINI-BAJA

Marcos Claudio Gondim
Ellberlandyo Lima Grangeiro
Antonio Eurick Soares Campelo
Lucas Rodrigues Oliveira
Bruno de Oliveira Carvalho

DOI 10.22533/at.ed.47019050410

CAPÍTULO 11 126

SIMULAÇÕES DOS ESFORÇOS VIBRACIONAIS DO CABO CAA 795 MCM (TERN) ATRAVÉS DE MÉTODOS ANALÍTICOS E NUMÉRICOS DE VIBRAÇÃO

Jhonattan Dias
Rodrigo Canestraro Quadros
Marcos Jose Mannala
Marcio Tonetti

DOI 10.22533/at.ed.47019050411

CAPÍTULO 12 133

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA DE FREIO APLICADO A UM VEÍCULO OFF-ROAD DO TIPO BAJA-SAE

Felipe Alencar Motta
Lucas Rocha Dias da Silva

DOI 10.22533/at.ed.47019050412

CAPÍTULO 13	146
OTIMIZAÇÃO DA ESCOLHA DA RELAÇÃO DE TRANSMISSÃO DE VEÍCULOS AUTOMOTORES ATRAVÉS DE MODELAGEM MATEMÁTICA: O PROJETO BAJA SAE	
<i>Pedro Melo Biz</i> <i>Leonardo Gomes</i> <i>Antônio Brasil</i>	
DOI 10.22533/at.ed.47019050413	
CAPÍTULO 14	157
ANÁLISE CINEMÁTICA DE SUSPENSÃO TRAILING ARM COM CAMBER LINKS PARA VEÍCULO OFF-ROAD	
<i>Francisco José Rodrigues de Sousa Júnior</i> <i>João Lucas Jacob Araújo</i> <i>Gustavo Luis dos Santos Silva</i> <i>Antônio Ítalo Rodrigues Pedrosa</i>	
DOI 10.22533/at.ed.47019050414	
CAPÍTULO 15	169
APLICAÇÃO DE EQUAÇÕES DIFERENCIAIS DE 2ª ORDEM EM SUSPENSÃO VEICULAR	
<i>Alaí de Souza Machado</i> <i>Pedro Henrique Rodrigues Taveira</i> <i>Filipe Gomes Soares</i> <i>Domingos dos Santos Ponciano</i> <i>Marcus Victor de Brito Rodrigues</i> <i>João Lucas Jacob Araújo</i> <i>Gean Carlos Moura Mota</i>	
DOI 10.22533/at.ed.47019050415	
CAPÍTULO 16	178
ANÁLISE AERODINÂMICA: SIMULAÇÃO FLUIDO DINÂMICA DO PROTÓTIPO EC-05 DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA EQUIPE COYOTE	
<i>Paulo Henrique Pereira Araujo</i> <i>Josué Alves Rodrigues Junior</i> <i>Thaiane Mayara Marques Licar</i>	
DOI 10.22533/at.ed.47019050416	
CAPÍTULO 17	190
APLICAÇÃO DE SISTEMAS NEURO-FUZZY NA PREDIÇÃO DO COEFICIENTE DE SUSTENTAÇÃO DO AEROFÓLIO NACA 1412	
<i>Vitor Taha Sant'Ana</i> <i>Bruno Luiz Pereira</i> <i>Tobias Moraes</i> <i>Roberto Mendes Finzi Neto</i>	
DOI 10.22533/at.ed.47019050417	

CAPÍTULO 18	195
AVALIAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DE TÉCNICAS DE CONTROLE ATIVO DE RUÍDO EM VENEZIANAS ACÚSTICAS COM CONFIGURAÇÕES DISTINTAS VIA ELEMENTOS FINITOS	
<i>Geisa Arruda Zuffi</i>	
<i>Fabiana Alves Pereira</i>	
<i>Marcus Antonio Viana Duarte</i>	
DOI 10.22533/at.ed.47019050418	
CAPÍTULO 19	203
ABSORVEDORES ACÚSTICOS DE RUÍDO: MODELAGEM NUMÉRICA	
<i>Fabiana Alves Pereira</i>	
<i>Geisa Arruda Zuffi</i>	
<i>Israel Jorge Cárdenas Nuñez</i>	
<i>Marcus Antonio Viana Duarte</i>	
DOI 10.22533/at.ed.47019050419	
CAPÍTULO 20	211
INVESTIGAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA ESCOLHA DAS DIMENSÕES DO RECEPTOR NO MÉTODO DO TRAÇADO DE RAIOS ACÚSTICOS	
<i>Henrique Gebran Silva</i>	
<i>Marlipe Garcia Fagundes Neto</i>	
<i>Pollyana Alves Resende</i>	
DOI 10.22533/at.ed.47019050420	
SOBRE OS ORGANIZADORES	228

ABSORVEDORES ACÚSTICOS DE RUÍDO: MODELAGEM NUMÉRICA

Fabiana Alves Pereira

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade
de Engenharia Mecânica
Laboratório de Acústica e Vibrações
Uberlândia – MG

Geisa Arruda Zuffi

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade
de Engenharia Mecânica
Laboratório de Acústica e Vibrações
Uberlândia – MG

Israel Jorge Cárdenas Nuñez

Universidade Federal do Triângulo Mineiro,
Departamento de Engenharia Mecânica
Uberaba – MG

Marcus Antonio Viana Duarte

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade
de Engenharia Mecânica
Laboratório de Acústica e Vibrações
Uberlândia – MG

RESUMO: Uma das propostas atuais para promoção do controle ativo de ruído consiste na aplicação do princípio da interferência destrutiva utilizando materiais piezoelétricos acoplado a estruturas do tipo placas finas. Os materiais piezoelétricos 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. Posto isto, o principal objetivo deste trabalho consiste na promoção da modelagem de dispositivos piezoelétricos acionando placas finas flexíveis pelo método de elementos finitos visando analisar a viabilidade da aplicação de tais sistemas vibro-acústicos na atenuação de ruído de baixa frequência. Ao final, também são apresentadas sugestões para trabalhos futuros, tais como a construção de um protótipo e a validação experimental usando técnicas de controle disponíveis na literatura.

PALAVRAS-CHAVE: Controle ativo de Ruído, Materiais piezoelétricos, Método dos elementos finitos.

ABSTRACT: One of the current proposals for the promotion of active noise control rely on using piezoelectric materials coupled with a thin metal plate structure, to apply the principle of destructive interference. Considering this type of application, piezoelectric materials are suitable and efficient since they can be easily attached to structures or directly inserted into the material volume and can operate both as actuators and sensors. Therefore, the main objective of this work is to promote the modeling of thin flexible plates excited by piezoelectric devices using the finite element method to analyze application feasibility of such vibroacoustic systems in the attenuation in low-frequency noise. Finally, suggestions for future work, as a construction

of a prototype and an experimental validation using control techniques available in the literature, are also presented.

KEYWORDS: Active noise control, Finite element method, Piezoelectric materials.

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.

Sendo assim, 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.

Para manter o nível de ruído dentro dos valores especificados pelas normas em vigor faz-se 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).

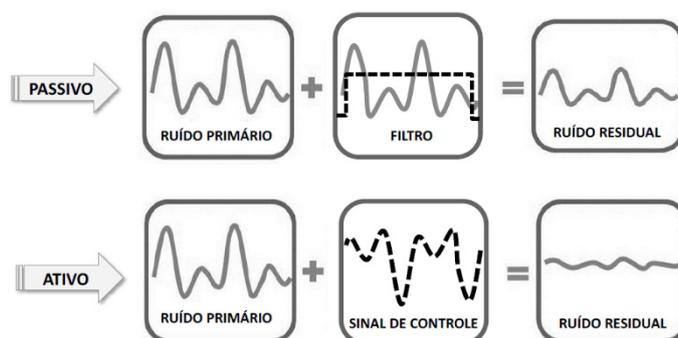


Figura 1 – Método de controle de ruído. Fonte: Maciel (2014)

Os métodos passivos 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: alimentício, automobilístico, farmacêutico, de cosméticos, de tecnologia da comunicação, eletrônica, microeletrônica, dentre outros.

Desta forma, tendo em vista a atenuação de ruído em salas limpas, 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 ruído consiste na aplicação do princípio da interferência destrutiva utilizando materiais piezoelétricos acoplados a uma estrutura do tipo placa fina. Os materiais piezoelétricos 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 piezoelétrico direto) e quando expostos a um campo elétrico ao longo da sua direção de polarização geram em resposta uma deformação mecânica (efeito piezoelétrico inverso). Além do mais, estes dispositivos se mostram eficientes e adequados para sistemas de geometria complexa, uma vez que os mesmos podem ser aderidos diretamente sobre a superfície da estrutura 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 piezoelétricos 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 PIEZOELÉTRICOS ACOPLADOS A PLACAS FINAS FLEXÍVEIS

As análises numéricas apresentadas neste trabalho são referentes a uma placa quadrada de aço engastada, com 50,0 cm de lado e espessura de 0,2 cm, acionada por um dispositivo piezoelétrico cerâmico, com 0,2 mm de espessura e comprimento/largura de 5,0 cm. A modelagem apresentada neste artigo foi desenvolvida no *software* comercial Ansys Mechanical APDL®.

2.1 Método de Elementos Finitos

A modelagem de dispositivos piezoelétricos acoplados a placas finas flexíveis no Ansys® foi realizada seguindo as etapas propostas pelo próprio software utilizado, que são: pré-processamento, solução e pós-processamento, tal como ilustra a Fig. (2).

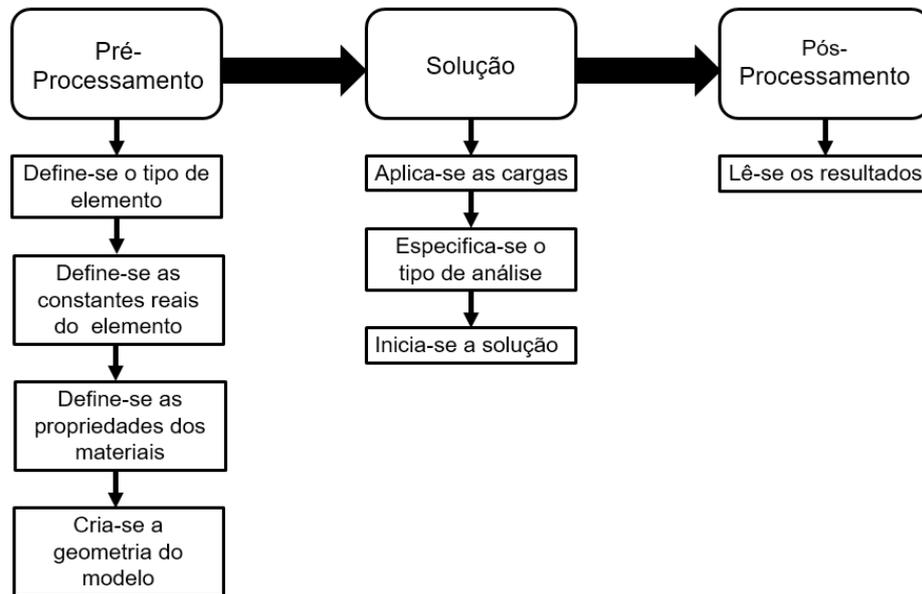


Figura 2 – Etapas para modelagem numérica no Ansys®.

Na etapa de pré-processamento, foram definidos 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 convergência capazes de garantir a obtenção de resultados factíveis para o sistema em questão.

Para a simulação da placa fina utilizou-se o elemento SHELL 63, que possui quatro nós, cada um com seis graus de liberdade (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).

Material	Propriedade	Valor
Aço	Densidade [kg/m ³]	7870
	Módulo de Elasticidade [N/m ²]	207,10 ⁹
	Coefficiente de Poisson	0,292

Tabela 1. Propriedades do aço.

Já o elemento utilizado para modelar o material piezoelétrico 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 Junior 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 piezoelétrico considerado neste trabalho é uma piezo cerâmica PZT-5A, da classe de simetria de 6 mm, com anisotropia na direção Z, que é a direção de polarização considerada nos modelos tridimensionais do Ansys®. Para estes materiais, as matrizes de rigidez elástica [c], permissividade dielétrica [] e tensão piezelétrica [e] podem ser definidas conforme Eq. (3) a Eq. (6) (Nader, 2002).

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

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

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

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

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 apresentadas na Tab. (2).

Propriedade	Símbolo	Valor
Constantes elásticas []	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 piezoeletricas []	e_{31}
e_{33}		15,8
e_{15}		12,3
Constantes dielétricas relativas*	$\epsilon_{11}^S/\epsilon_0$	916
	$\epsilon_{11}^S/\epsilon_0$	916
	$\epsilon_{11}^S/\epsilon_0$	830

Tabela 2. Propriedades PZT-5A.

Durante a fase de solução, foram determinadas as condições de contorno para a placa e para o dispositivo piezoelétrico e realizadas as análises modais, harmônica e estática. Faz-se necessário esclarecer, que foram adotadas as seguintes hipóteses simplificadoras: o dispositivo piezoelétrico está perfeitamente fixo na estrutura e 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 $\pm 1,0$ Volt obtidas na análise harmônica se encontra ilustrada na Fig. (3) e os valores das frequências naturais, adquiridas através da análise modal, na Tab. (3).

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

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

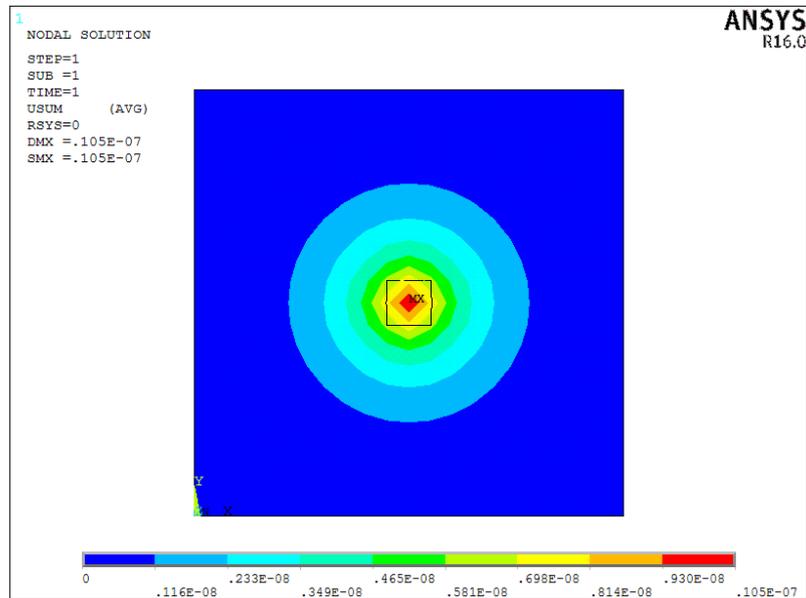


Figura 3 – Deflexão estática da placa acionada por um dispositivo piezelétrico.

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. (4).

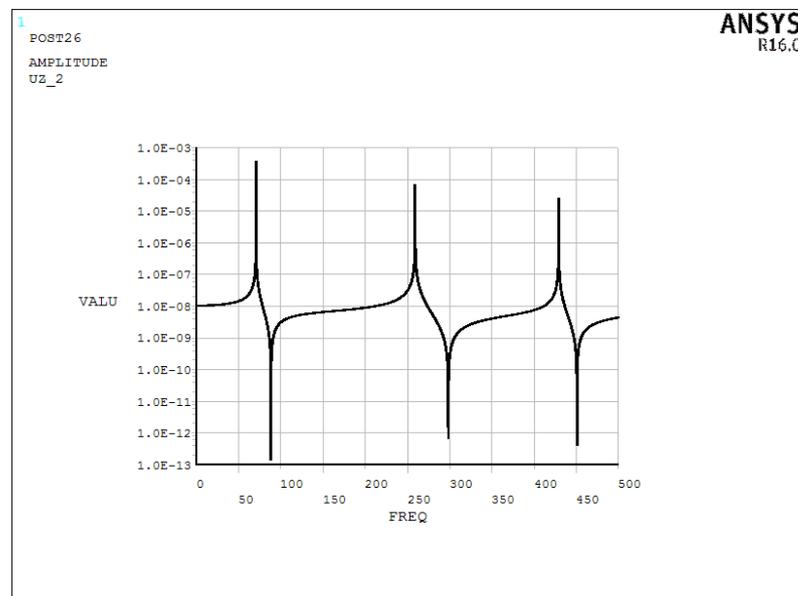


Figura 4 – Resposta em frequência apresentada pelo sistema.

3 | CONCLUSÃO

Neste trabalho apresentou-se uma metodologia para modelagem de dispositivos piezoelétricos cerâmicos do tipo PZT-5A, da classe de simetria 6 mm, acionando placas finas flexíveis no *software* comercial de elementos finitos Ansys®. Também foram realizadas as análises: estática para avaliação das deformações geradas pelo

atuador, modal para a caracterização das propriedades dinâmicas do sistema, e harmônica para obtenção das curvas de resposta do sistema na baixa frequência.

Por meio dos resultados obtidos mediante a realização desta modelagem, acredita-se que a utilização de materiais piezoelétricos acoplado a estruturas do tipo placas finas seja capaz de promover o controle ativo de ruídos baseado no princípio da interferência destrutiva. Conseqüentemente como trabalhos futuros, tem-se a busca por um dispositivo piezoelétrico 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.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152: Níveis de ruído para conforto acústico – Procedimento**. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14644-1: Salas limpas e ambientes controlados associados. Parte 1: Classificação da limpeza do ar**. Rio de Janeiro, 2005.

BISTAFA, Sylvio Reynaldo. Acústica aplicada ao controle de ruído/Sylvio R. **Bistafa-2.ª edição**—São Paulo: **Bluncher**, 2011.

CRAWLEY, Edward F.; DE LUIS, Javier. **Use of piezoelectric actuators as elements of intelligent structures**. AIAA journal, v. 25, n. 10, p. 1373-1385, 1987.

ELLIOTT, Stephen J.; NELSON, Philip A. Active noise control. **IEEE signal processing magazine**, v. 10, n. 4, p. 12-35, 1993.

NADER, Gilder. **Desenvolvimento de técnicas de caracterização de transdutores piezoelétricos**. 2002. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MACIEL, Marcela Alvares et al. **Controle ativo de ruído aplicado a venezianas acústicas**. 2014.

NR, Norma Regulamentadora Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-15 - Atividades e Operações Insalubres**. 2009.

JUNIOR, Odair Antonio Nunes; RADE, Domingos Alves. **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, Danuza Cristina et al. **Controle ativo de ruído empregando placas retangulares com atuadores piezoelétricos distribuídos**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Uberlândia, 2002.

SOBRE OS ORGANIZADORES

Henrique Ajuz Holzmann - Professor assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia e Ciência dos Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

João Dallamuta - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Engenheiro de Telecomunicações pela UFPR. Especialista em Inteligência de Mercado pela FAE Business School. Mestre em Engenharia pela UEL. Trabalha com os temas: Inteligência de Mercado, Sistemas Eletrônicos e Gestão Institucional.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-247-0

