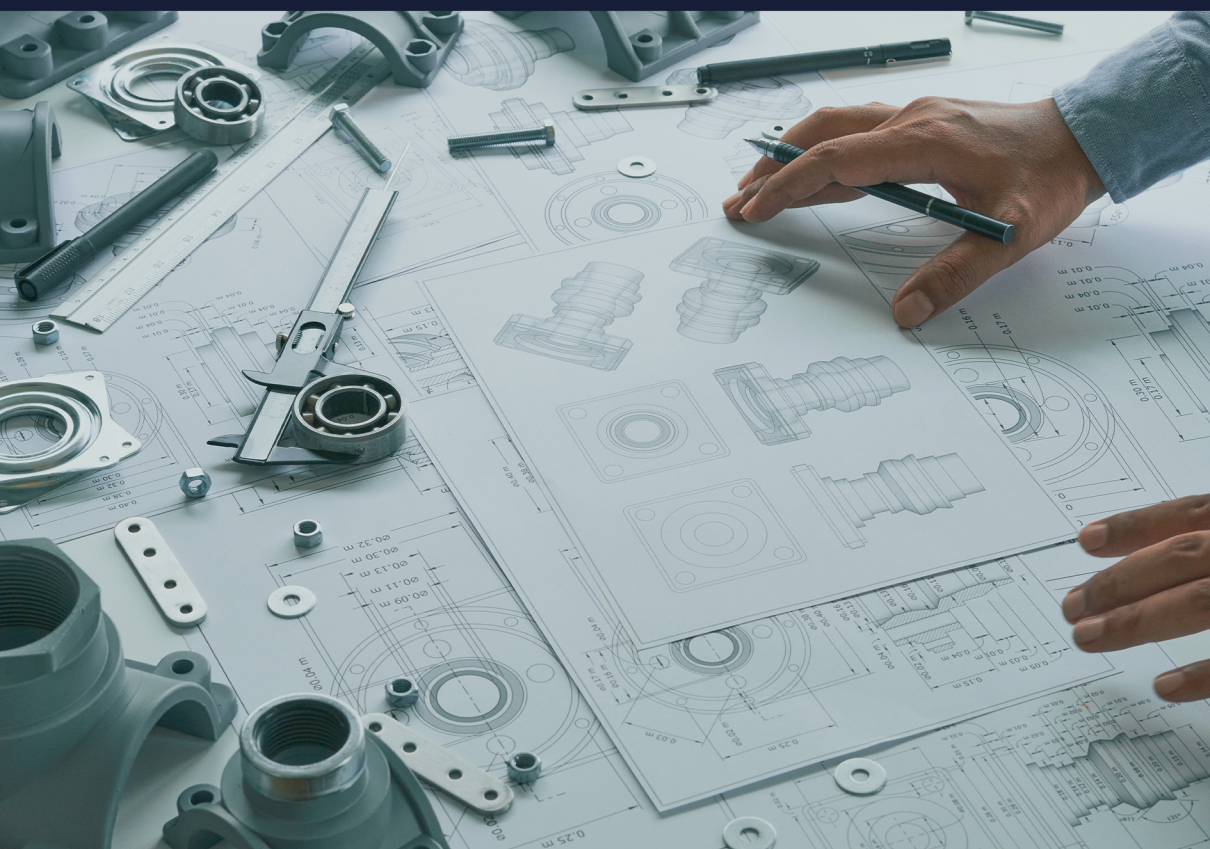


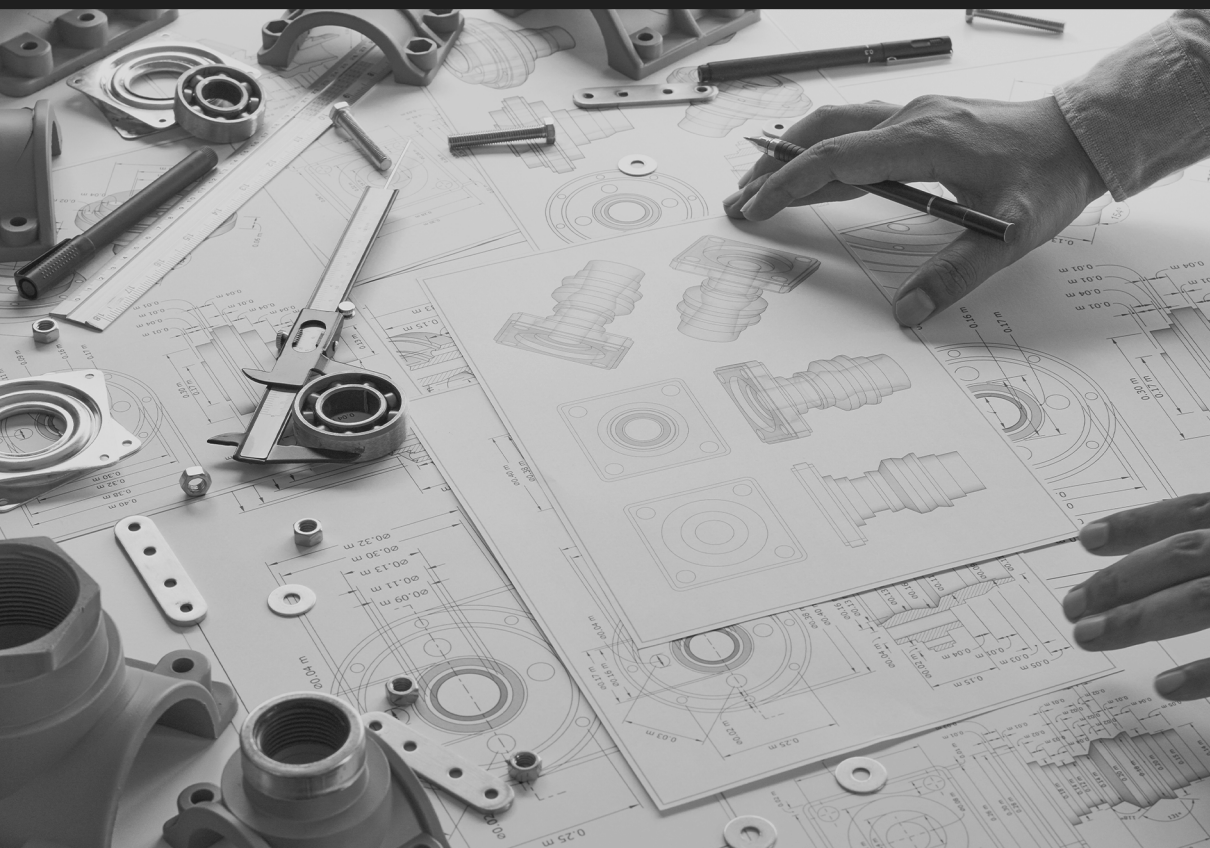
ATIVIDADES CIENTÍFICAS E TECNOLÓGICAS NO CAMPO DA ENGENHARIA MECÂNICA



HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
JOÃO DALLAMUTA
(ORGANIZADORES)


Ano 2020

ATIVIDADES CIENTÍFICAS E TECNOLÓGICAS NO CAMPO DA ENGENHARIA MECÂNICA



HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
JOÃO DALLAMUTA
(ORGANIZADORES)

Atena
Editora
Ano 2020

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. 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.

A Atena Editora não se responsabiliza por eventuais mudanças ocorridas nos endereços convencionais ou eletrônicos citados nesta obra.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Prof^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof^ª Dr^ª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves -Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof^ª Dr^ª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Prof^ª Dr^ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof^ª Dr^ª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof^ª Dr^ª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Prof^ª Dr^ª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Prof^ª Dr^ª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof^ª Dr^ª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Prof^ª Dr^ª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Dr^ª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Prof^ª Dr^ª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof^ª Dr^ª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Prof^ª Dr^ª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Dr. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^ª Dr^ª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Alborno – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior

Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará

Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco

Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal

Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba

Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão

Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo

Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana

Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí

Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo

Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Atividades científicas e tecnológicas no campo da engenharia mecânica

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Luiza Alves Batista
Correção: Emely Guarez
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadores: Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A872 Atividades científicas e tecnológicas no campo da engenharia mecânica / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-486-3

DOI 10.22533/at.ed.863202610

1. Engenharia mecânica. I. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. Dallamuta, João (Organizador). III. Título.
CDD 621

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Em um cenário cada vez mais competitivo, desenvolver novas maneiras de melhoria nos processos industriais, bem como para o próprio dia a dia da população é uma das buscas constantes das áreas de engenharia.

Desta forma buscar evitar ou prever falhas em sistemas é de vital importância, destacando-se o desenvolvimento de novos materiais, bem como de métodos analíticos e práticos para detecção. Entre os materiais os compósitos veem ganhado cada vez mais espaço devido a sua versatilidade, aliando resistência e peso.

Já para detecção de falhas os métodos de análise de vibrações é quase que unanimidade quando se quer um pleno funcionamento dos equipamentos. O estudo das análises de vibrações em sistemas vem ganhando cada vez mais espaço nos projetos, pois a redução dessas na maioria dos casos acarreta em uma maior vida útil ou um melhor funcionamento dos conjuntos.

Neste livro são apresentados trabalhos relacionados a engenharia mecânica, dentro de uma vertente teórico/prática onde busca-se retratar assuntos atuais e de grande importância para estudante, docentes e profissionais.

Boa leitura!

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ABORDAGEM DE DETECÇÃO DE AVARIAS EM SISTEMA DINÂMICO UTILIZANDO TÉCNICA DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

João Marcelo Abreu Bernardi

Edson Hideki Koroishi

DOI 10.22533/at.ed.8632026101

CAPÍTULO 2..... 12

UTILIZAÇÃO DE ATUADORES ELETROMAGNÉTICOS PARA O CONTROLE DE VIBRAÇÃO EM UMA VIGA DE MATERIAL COMPÓSITO

Andrei Santos Oliveira

Camila Albertin Xavier da Silva

Edson Hideki Koroishi

Romeu Rony Cavalcante da Costa

Marco Túlio Santana Alves

DOI 10.22533/at.ed.8632026102

CAPÍTULO 3..... 21

CONTROLE ATIVO DE VIBRAÇÕES APLICADO A UMA VIGA FLEXÍVEL UTILIZANDO ATUADORES ELETROMAGNÉTICOS

Matheus Rincon Modesto Maroni

Edson Hideki Koroishi

DOI 10.22533/at.ed.8632026103

CAPÍTULO 4..... 31

SUPRESSÃO DO FENÔMENO DE FLUTTER EM PAINÉIS COMPÓSITOS AERONÁUTICOS VIA TÉCNICA DE CONTROLE PASSIVO

Lorrane Pereira Ribeiro

Antônio Marcos Gonçalves de Lima

DOI 10.22533/at.ed.8632026104

CAPÍTULO 5..... 42

FABRICAÇÃO DE UM MANIPULADOR ROBÓTICO BASEADO EM UM GUINDASTE

Ana Carolina Dantas Rocha

Eduardo Victor Lima Barboza

José Leonardo Nery de Souza

Otávio Clarindo Lopes Filho

Adriano Marinheiro Pompeu

Dheiver Francisco Santos

DOI 10.22533/at.ed.8632026105

CAPÍTULO 6..... 56

GANHO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO POR ENRIJECEDOR EM CHAPA DOBRADA A FRIO

João Paulo Marques de Aquino

João de Jesus dos Santos

Lais Amaral Alves

DOI 10.22533/at.ed.8632026106

CAPÍTULO 7..... 70

PADRONIZAÇÃO DE MATERIAIS COMO MEIO DE ECONOMIA EM SUPRIMENTO DE BENS: UM ESTUDO DE CASO

Patrícia Aparecida Casteluber Nascimento

Gabrielle Silva Ribeiro

Beatriz Marvila Borges

Letícia dos Santos Sciortino

DOI 10.22533/at.ed.8632026107

CAPÍTULO 8..... 77

A GENERALIZED INTEGRAL TRANSFORMED TECHNIQUE: LITERATURE REVIEW AND COMPARATIVE RESULTS WITH FINITE VOLUME METHOD

Hildson Rodrigues de Queiroz

Flavio Maldonado Bentes

Marcelo de Jesus Rodrigues da Nóbrega

Fabiano Battemarco da Silva Martins

DOI 10.22533/at.ed.8632026108

CAPÍTULO 9..... 101

UTILIZAÇÃO DE WC NA MOAGEM DE ALTA ENERGIA DE CAVACOS DE AÇO ALTO CROMO

Roberta Alves Gomes Matos

Bruna Horta Bastos Kuffner

Gilbert Silva

DOI 10.22533/at.ed.8632026109

SOBRE OS ORGANIZADORES 108

ÍNDICE REMISSIVO..... 109

CAPÍTULO 4

SUPRESSÃO DO FENÔMENO DE *FLUTTER* EM PAINÉIS COMPÓSITOS AERONÁUTICOS VIA TÉCNICA DE CONTROLE PASSIVO

Data de aceite: 01/10/2020

Data submissão: 06/07/2020

Lorrane Pereira Ribeiro

Universidade Federal de Uberlândia,
Faculdade de Engenharia Mecânica, Campus
Santa Mônica
Uberlândia, Minas Gerais, Brasil
<https://orcid.org/0000-0001-7317-9599>

Antônio Marcos Gonçalves de Lima

Universidade Federal de Uberlândia,
Faculdade de Engenharia Mecânica, Campus
Santa Mônica
Uberlândia, Minas Gerais, Brasil
<https://orcid.org/0000-0003-0170-6083>

RESUMO: A utilização de materiais compósitos tem sido cada vez mais comum na indústria aeronáutica para a construção de estruturas cada vez mais leves e com melhores propriedades mecânicas. Entretanto, problemas como vibrações e ruído indesejáveis são potencializados com o emprego de tais materiais para atender aos interesses de construção de estruturas leves e com aumento das velocidades de operação. Portanto, torna-se necessário o uso de estratégias de controle eficazes para atacar tais problemas. Este trabalho demonstra a viabilidade do uso de uma ferramenta de controle passivo do *flutter* de painéis compósitos através do emprego dos circuitos elétricos *shunt* multimodais.

PALAVRAS-CHAVE: Aeroelasticidade, Controle passivo de vibrações, Materiais compósitos, Circuitos *shunt* multimodais.

SUPPRESSION OF THE FLUTTER PHENOMENON IN COMPOSITE AERONAUTICAL PANELS BY PASSIVE CONTROL TECHNIQUE

ABSTRACT: The use of composite materials has been increasingly in aeronautical industries for the construction of lighter structures with better mechanical properties. However, problems such as vibrations and noise are augmented significantly by the use of such materials due to the construction of lighter structures with increasing their operating speeds. Therefore, it is necessary to use efficient control strategies to deal with such problems. This work demonstrates the feasibility of using a passive composite panel *flutter* control tool via multimodal shunt electrical circuits.

KEYWORDS: Aeroelasticity, Passive vibration control, Composite materials, Multimodal shunt circuits.

1 | INTRODUÇÃO

Em aplicações aeronáuticas e automotivas, o uso dos materiais compósitos permitiu a concepção de estruturas cada vez mais leves, flexíveis e eficientes (REDDY, 1997). No entanto, a flexibilidade combinada com os efeitos de anisotropia de tais materiais representam vários desafios para os engenheiros e projetistas que devem considerar tais efeitos ao dimensionar uma estrutura compósita. Além disso, o interesse em alcançar a estabilidade dinâmica de tais sistemas é de

suma importância em aplicações aeronáuticas, uma vez que as amplitudes de vibrações estão diretamente relacionadas às instabilidades aeroelásticas e, conseqüentemente, à fadiga (PALMERI e RICCIARDELLI, 2006). Esta é a razão pela qual, mais recentemente, estratégias de controle de vibrações e ruído vem sendo aplicadas em sistemas aeroelásticos para prevenir o fenômeno do *flutter* que pode ser catastrófico (ALMEIDA, 2011).

O *flutter* é uma instabilidade aeroelástica auto excitada causada pela interação de forças elásticas, aerodinâmicas e inerciais, resultando em grandes amplitudes de vibrações que modificam o modo como as cargas aerodinâmicas atuam na estrutura num processo oscilatório iterativo e auto excitado. Nesta condição de instabilidade, altas tensões internas podem surgir de forma a limitar as amplitudes de vibrações de painéis aeronáuticos e levar a fadiga estrutural (DOWELL, 1975).

Melhorias no desempenho dinâmico e aeroelástico de estruturas compósitas de interesse aeronáutico sujeitas ao *flutter* podem ser alcançadas por meio de estratégias de controle passivo ou ativo de vibrações, empregando-se os materiais inteligentes (VIANA, 2005). Neste caso, as chamadas técnicas de controle passivo têm sido incorporadas em muitos sistemas industriais devido às inúmeras vantagens quando comparadas com as técnicas de controle ativo, como por exemplo, baixo custo efetivo e de fácil manutenção e aplicação. Além disso, tais técnicas não necessitam de nenhuma fonte externa de energia, fato que garante inerente estabilidade ao sistema e as tornam mais bem adaptadas aos sistemas aeroelásticos. Tipicamente, o controle passivo de vibrações pode ser obtido com a utilização de materiais piezelétricos acoplados a circuitos elétricos *shunt* (HAGOOD e VON FLOTOW, 1991; RIBEIRO et al., 2020). Portanto, a partir da combinação da estrutura compósita em regime de escoamento supersônico com materiais piezelétricos acoplados de circuitos elétricos *shunt*, torna-se de especial interesse o amortecimento das vibrações devidas às cargas aerodinâmicas e, por conseqüência, a supressão do *flutter* (LEÃO et al., 2016; RIBEIRO, 2019).

2 | MODELAGEM AEROELETROMECAÂNICA-SHUNT

Esta seção é dedicada à modelagem de uma placa plana retangular compósita, que incorpora uma camada piezelétrica acoplada de circuito *shunt*, cuja placa está sujeita a um escoamento de ar supersônico. Na sequência é apresentado apenas um resumo da modelagem. O desenvolvimento completo pode ser encontrado nos trabalhos de Ribeiro (2019) e Ribeiro et al. (2020).

A função de resposta em frequência (FRF) para um sistema eletromecânico-*shunt*, levando-se em consideração a impedância do circuito *shunt*, $Z(\omega)$, é dada na Eq. (1).

$$\mathbf{H}(\omega) = \left[-\omega^2 \mathbf{M}_{uu} + \mathbf{K}_{uu} - \mathbf{K}_{u\phi} \left(\mathbf{K}_{\phi\phi} - \frac{1}{j\omega} \mathbf{Z}^{-1}(\omega) \right)^{-1} \mathbf{K}_{\phi u} \right]^{-1} \quad (1)$$

onde M_{uu} , K_{uu} , K_{uo} e K_{oo} são as matrizes globais de massa, rigidez mecânica, rigidez eletromecânica e rigidez elétrica, respectivamente.

Para o circuito multimodal com configuração em paralelo e para o controle de dois modos de forma simultânea proposto por Wu (1998), a impedância equivalente total é composta por resistores (R_n), indutores (L_n) e capacitores (C_n), como apresentado na Eq. (2).

$$Z(\omega) = \frac{R_1 L_1 \omega \left[\frac{\bar{L}_1}{\bar{C}_1 \left(\bar{L}_1 \omega j - \frac{j}{\bar{C}_1 \omega} \right)} + \frac{L'_2 R'_2 \omega j}{R'_2 + L'_2 \omega j} \right] j}{(R_1 + L_1 \omega j) \left[\frac{\bar{L}_1}{\bar{C}_1 \left(\bar{L}_1 \omega j - \frac{j}{\bar{C}_1 \omega} \right)} + \frac{L_1 R_1 \omega j}{R_1 + L_1 \omega j} + \frac{L'_2 R'_2 \omega j}{R'_2 + L'_2 \omega j} \right]} \quad (2)$$

onde, para $n=1,2$: $R_n = \sqrt{2} K_{ij} / C_{PZT} \omega_n (1 + K_{ij}^2)$; $L_n = 1 / C_{PZT} \omega_n^2 (1 + K_{ij}^2)$; ω_n a frequência natural do n -ésimo modo; K_{ij} é o fator de acoplamento eletromecânico; C_{PZT} a capacitância da pastilha piezolétrica; \bar{L}_1 e \bar{C}_1 formam um circuito de bloqueio de maneira que o segundo modo do sistema seja amortecido sem interferência do controle do primeiro modo, sendo que, este circuito de bloqueio cria uma impedância infinita, dada por $\bar{L}_1 \bar{C}_1 = 1 / \omega_1^2$; $R'_2 = R_1 R_2 / R_1 - R_2$ e $L'_2 = L_1 L_2 + L_2 \bar{L}_1 - L_1 \bar{L}_1 - \omega_2^2 L_1 L_2 \bar{L}_1 \bar{C}_1 / (L_1 L_2) (1 - \omega_2^2 \bar{L}_1 \bar{C}_1)$.

Assim, de acordo com a topologia de circuito a ser utilizada para o controle passivo das vibrações mecânicas, a expressão da impedância, $Z(\omega)$, deve ser introduzida na equação da Função de Resposta em Frequência (FRF) do sistema.

2.1 Adição do escoamento de ar no modelo

O modelo eletromecânico com circuito *shunt* multimodal recebe um carregamento aerodinâmico que altera suas respostas dinâmicas à medida em que há uma variação crescente da velocidade do escoamento de ar sobre a estrutura. Assim, com essa variação crescente de velocidade do carregamento, há um deslocamento das frequências naturais, uma em direção à outra, até que haja união das mesmas, denominada coalescência. A partir deste ponto, a estrutura se torna instável, sendo observado um movimento que ocorre de forma acoplada entre dois ou mais modos naturais, que geralmente são de flexão-torção.

Neste trabalho, a Teoria do Pistão (ASHLEY, 1956) foi utilizada para prever a velocidade de ocorrência do *flutter* do sistema. Esta teoria considera que o carregamento aerodinâmico sobre o painel eletromecânico pode ser calculado pela variação de sua pressão aerodinâmica. Como este trabalho visa apenas a obtenção da velocidade crítica de ocorrência de *flutter*, a Teoria do Pistão pode ser truncada em seu termo de primeira ordem, além da desconsideração do amortecimento aerodinâmico, devido a sua pequena contribuição se comparada com o amortecimento inserido.

$$p-p_\infty = \frac{2q}{\beta} \frac{\partial W}{\partial x} \quad (3)$$

onde p_∞ é a pressão não perturbada (pressão distante do sistema); $q = (1/2) \rho_a U_\infty^2$ é a pressão dinâmica, sendo ρ_a a densidade do ar e U_∞ é a velocidade do escoamento não perturbado; $\beta = \sqrt{M_\infty^2 - 1}$, sendo M_∞ o número de Mach. A direção do escoamento é determinada pela variável em relação à qual é derivado o deslocamento transversal, W , da placa que neste caso é em relação à direção x .

O modelo descrito pela Eq. (3) recebe o nome de Modelo de Ackeret ou Modelo de Aproximação Quase-Estacionário da Teoria Linear do Escoamento Potencial, sendo este modelo a forma mais simples da Teoria do Pistão, porém, suficiente para prever as respostas do sistema e de acordo com suas restrições, onde considerou-se o uso de painéis compósitos de placas finas e pequenos deslocamentos.

Na integração do carregamento aerodinâmico ao modelo eletromecânico, foi utilizado o trabalho da força aerodinâmica, como indicado no trabalho de Almeida (2011) e, após manipulações, chega-se à matriz de rigidez aerodinâmica, \mathbf{K}_{aerod} , a qual é então adicionada à rigidez mecânica da estrutura.

$$W_{aerod}^F = \int W \frac{2q}{\beta} \frac{\partial W}{\partial x} dA = \frac{2q}{\beta} \int \mathbf{N}_x^T(\xi, \eta) \mathbf{N}(\xi, \eta) dA = \frac{2q}{\beta} \mathbf{K}_{aerod}. \quad (4)$$

onde \mathbf{N} são as funções de forma e \mathbf{N}_x a derivada das funções de forma em relação a x .

A Teoria do Pistão adiciona o carregamento aerodinâmico na forma de uma matriz de rigidez aerodinâmica que é então somada à rigidez mecânica da estrutura. Assim, obtém-se as equações do movimento do sistema aeroeletromecânico:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{M} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{\mathbf{u}}(t) \\ \ddot{\Phi}(t) \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{K}_{uu} + \frac{2q}{\beta} \mathbf{K}_{aerod} & \mathbf{K}_{u\Phi} \\ \mathbf{K}_{\Phi u} & \mathbf{K}_{\Phi\Phi} + \frac{1}{j\omega} \mathbf{Z}^{-1}(\omega) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{u}(t) \\ \Phi(t) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \mathbf{f}(t) \\ \mathbf{q}(t) \end{Bmatrix} \quad (5)$$

onde $\mathbf{u}(t)$ são os graus de liberdade (gdl's) mecânicos de toda estrutura (globais); $\Phi(t)$ os gdl's elétricos (potenciais elétricos) globais; $\mathbf{f}(t)$ o vetor de excitação mecânica e $\mathbf{q}(t)$ o vetor de cargas elétricas.

Predição do flutter: após a construção das equações do movimento para o problema aeroeletromecânico acoplado, recai-se em um problema não-linear de resolução de autovalor. O problema é não linear porque a impedância elétrica, $\mathbf{Z}(\omega)$, é dependente da frequência e, desta maneira, a matriz de rigidez associada a ela também. Todo algoritmo de resolução deste problema cuja solução se dá por meio de um método iterativo pode ser encontrado em Ribeiro (2019).

3 I APLICAÇÕES NUMÉRICAS E DISCUSSÕES

Nesta seção, são apresentados os resultados das simulações numéricas para uma placa de material compósito quadri-apoiada contendo uma camada de PZT acoplada de *shunt* multimodal, como ilustrado na Fig. 1.

Cada camada do compósito de configuração, $[0^\circ/75^\circ/75^\circ/0^\circ]$, possui 0,30 mm de espessura e a camada piezolétrica possui espessura de 0,50 mm. A densidade do compósito é 1578 Kg/m^3 e a do PZT é 7700 Kg/m^3 . A placa foi discretizada em uma malha regular de 12×12 EF's.

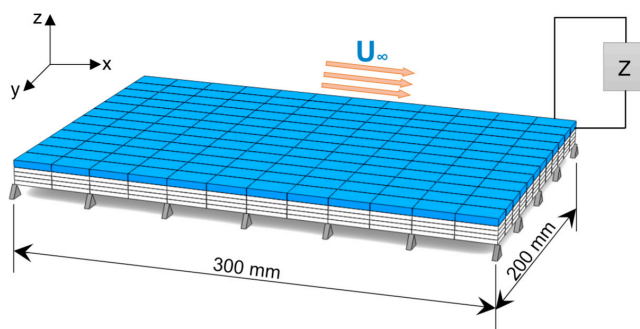


Fig. 1. Placa compósito (quatro camadas - branco) com camada piezolétrica (azul) acoplada de circuito shunt multimodal sujeita a um fluxo supersônico.

A Tabela 1 apresenta as propriedades mecânicas do material compósito e a Tabela 2 as propriedades elétricas e eletromecânicas do PZT G1195.

Material	E_1 (GPa)	E_2 (GPa)	E_3 (GPa)	G_{12} (GPa)	G_{13} (GPa)	G_{23} (GPa)	ν_{12}	ν_{13}	ν_{23}
Compósito	173,06	33,09	5,17	9,38	8,27	3,24	0,04	0,25	0,17
PZT G1195	69,00	E_1	E_1	24,2	G_{12}	G_{12}	0,33	0,33	0,33

Tabela 1. Propriedades mecânicas do material compósito.

Material	e_{15} (C/m ²)	e_{24} (C/m ²)	e_{31} (C/m ²)	e_{32} (C/m ²)	e_{33} (C/m ²)	c_{11} (F/m)	c_{22} (F/m)	c_{33} (F/m)
PZT G1195	0,00	0,00	-18,30	-9,01	-9,01	$-1,59 \times 10^{-8}$	c_{11}	c_{11}

Tabela 2. Propriedades eletromecânicas e elétricas do PZT.

3.1 Verificação da modelagem

Primeiramente, foi realizada a validação do código numérico computacional implementado em ambiente MATLAB® por confrontação com resultados obtidos pela utilização do software ANSYS®. O objetivo foi confrontar as frequências naturais e FRFs obtidas no MATLAB e no ANSYS como apresentado na Tab. 3 e Fig. 2, respectivamente. Neste caso, foi desconsiderada a presença do PZT e *shunt* na placa da Fig. 1, resultando numa placa compósita de 4 camadas. O EF utilizado na modelagem via ANSYS® foi o SHELL181 que é o mais empregado na modelagem de placas compósitas e sanduíches.

Freq. Nat. [Hz]	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8
Matlab®	43,77	117,36	127,50	174,45	254,51	274,30	286,64	311,70
ANSYS®	43,45	116,76	128,04	173,89	255,98	279,36	287,12	314,54

Tabela 3. Comparação frequências naturais modelos em MATLAB® e ANSYS®.

Assim, nota-se uma grande proximidade entre os valores obtidos, principalmente, para os dois primeiros modos que são os de interesse devido a sua coalescência quando a estrutura é submetida a carregamento aerodinâmico. Desta maneira, o modelo desenvolvido em Matlab® é considerado suficiente para as análises e simulações aeroelásticas a serem realizadas.

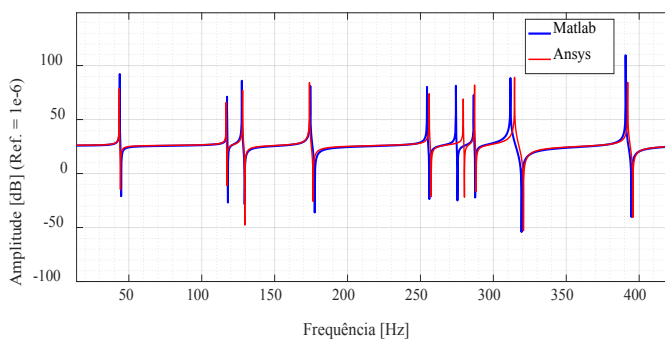


Fig. 2. Comparação entre FRFs dos modelos em MATLAB® e ANSYS®.

3.2 Predição flutter

Na sequência, foi realizado um estudo visou descobrir, dentre os vários modos de vibrar da estrutura da Fig. 1, quais deles tendem a se coalescer primeiro quando a mesma está sujeita a um fluxo supersônico com velocidade de escoamento crescente. Vale ressaltar que nesta etapa a estrutura compósita foi simulada em conjunto com a camada

de PZTG1195, mas sem que o mesmo estivesse acoplado de circuito *shunt*. A Fig. 3 mostra a variação dos quinze primeiros amortecimentos modais (g) em função da velocidade do fluxo. Destaque foi dado aos dois primeiros amortecimentos modais: em azul, referente ao primeiro modo e em verde, referente ao segundo modo. O restante na cor preta.

No caso de uma estrutura sem amortecimento, o valor do amortecimento modal, g , permanece igual a zero até o ponto de *flutter*. A partir do ponto de coalescência, os valores de g_1 (amortecimento modal do primeiro modo) e g_2 (amortecimento modal do segundo modo) não são mais iguais a zero, como pode ser observado na Fig. 3. Assim, nota-se que a velocidade de ocorrência deste fenômeno acontece a 1331 m/s e a coalescência se dá entre os dois primeiros modos de vibrar da estrutura.

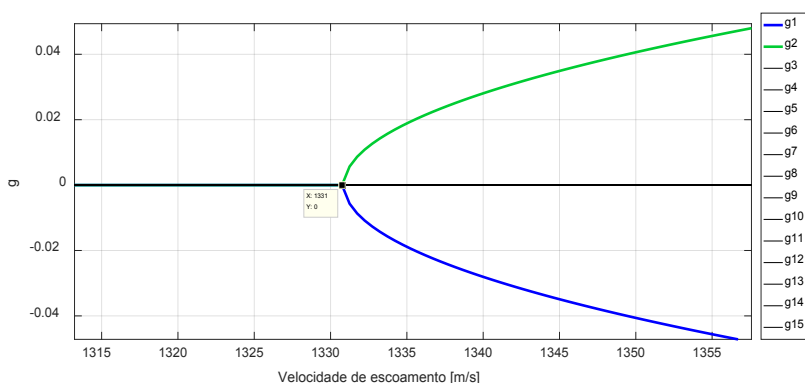


Fig. 3. Amortecimentos modais da placa compósita com PZT sujeita a um fluxo supersônico.

3.3 Inclusão do circuito elétrico *shunt* multimodal

Para fins de atenuação das vibrações e consequente ganho aeroelástico do sistema aeroeletromecânico em questão, utilizou-se do circuito elétrico *shunt* multimodal em paralelo. Nesta etapa, a sintonização do circuito foi realizada por meio das equações de Hagood e Flotow (1991) combinadas com as equações de Wu (1998).

Esta sintonização é feita na velocidade de ocorrência do *flutter* para a condição “*Open Circuit*”, que é a situação em que há a presença mecânica do material piezelétrico sobre a placa, mas não há atuação elétrica. Assim, os valores dos parâmetros do circuito foram calculados de acordo com o exposto na seção 2. Os valores destes parâmetros são apresentados na Tab. 4.

Parâmetros ótimos via Hagood e Von Flotow (1991) e Wu (1998)	R_1 [Ω]	L_1 [H]	R_{2l} [Ω]	L_{2l} [H]	L_{1b} [H]	C_{1b} [nF]
	243,84	0,21	13933,79	42,11	1,28	470,00

Tabela 4. Parâmetros nominais do circuito elétrico *shunt* utilizado.

Pela análise da Tab. 4, nota-se um alto valor para a indutância L_{2l} . Assim, para uma montagem experimental seria necessário o uso de impedâncias sintéticas dos tipos Riordan e Antoniou como investigadas no trabalho de Viana (2005).

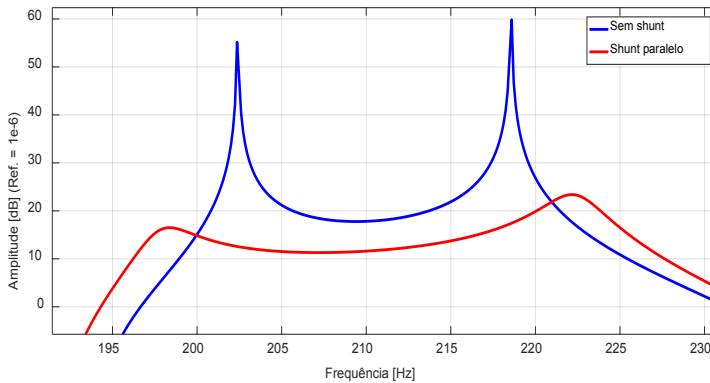


Fig. 4. FRFs para a velocidade de escoamento de 1300 m/s.

Pela análise da Fig. 4, nota-se claramente a grande capacidade de atenuação passiva dos níveis de vibrações proporcionada pelo circuito multimodal paralelo para os dois primeiros modos de vibração da estrutura.

	Velocidade flutter [m/s]	Amplitude [dB] 1º modo	Amplitude [dB] 2º modo
Sem shunt	1331	55,17	59,84
Shunt paralelo	1348	16,49	23,39

Tabela 5. Comparação resultados sistema sem amortecimento *versus* amortecimento via *shunt*.

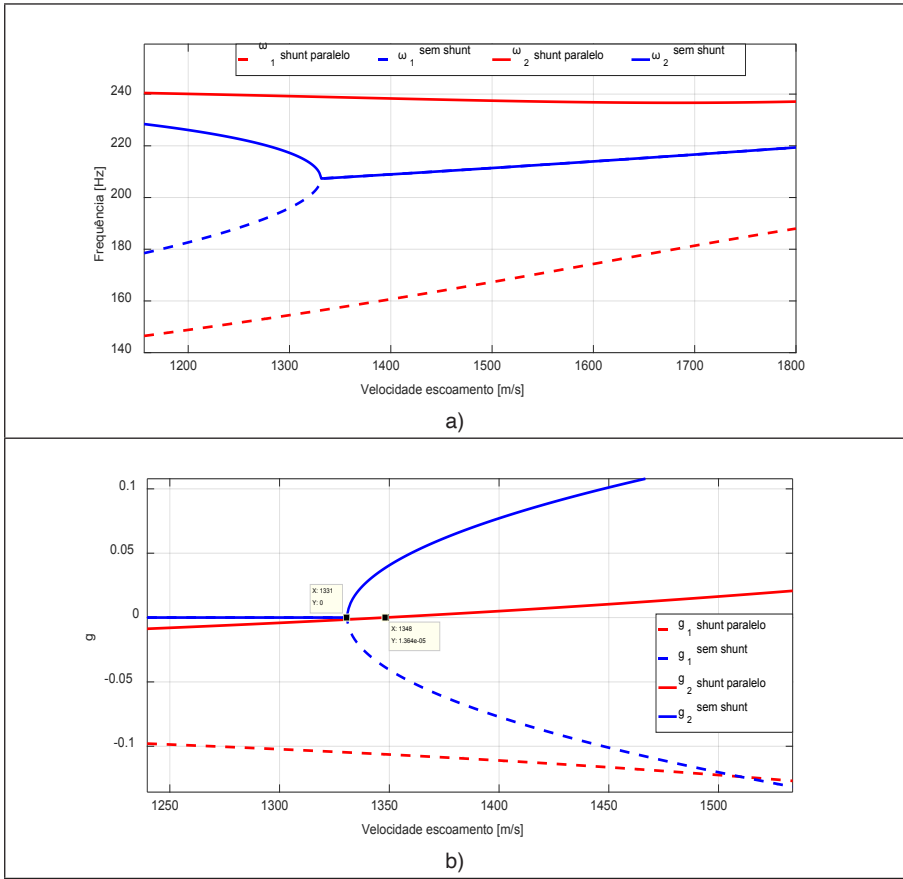


Fig. 5. Diagrama V-g: a) Duas primeiras frequências naturais variando com a velocidade; b) Amortecimentos modais para os dois primeiros modos.

Em se tratando de ganho aeroelástico, os resultados sintetizados na Tabela 5 e ilustrados na Fig. 5 mostram ganhos mais modestos. A velocidade crítica de ocorrência do *flutter* passou de 1331 m/s, sem nenhum tipo de amortecimento, para 1348 m/s para o sistema aeroeletromecânico amortecido via *shunt*. Este pequeno ganho aeroelástico pode ser explicado pela sintonização do circuito, de forma que, as equações para o cálculo de seus parâmetros foram obtidas na literatura (HAGOOD e VON FLOTOW, 1991; WU, 1998) com o intuito de atenuar somente as vibrações, não considerando a coalescência dos modos como sendo também um objetivo.

4 | CONCLUSÕES FINAIS

A grande contribuição deste trabalho diz respeito à comprovação da viabilidade de utilização de circuitos elétricos *shunt* acoplados a elementos piezelétricos no que tange ao aumento da estabilidade aeroelástica de painéis compósitos. Assim, se tem hoje

disponível uma ferramenta numérico-computacional para tratar os problemas da dinâmica e aerodinâmica de sistemas aeroeletromecânicos.

A partir dos resultados obtidos, evidencia-se as seguintes conclusões específicas:

1ª) Os procedimentos de modelagem desenvolvidos demonstraram ser representativos para a caracterização do comportamento aeroelástico de sistemas estruturais compósitos incorporando elementos piezelétricos acoplados de circuitos elétricos *shunt* multimodais;

2ª) Nota-se a grande capacidade de atenuação dos níveis de vibrações proporcionada pelo circuito multimodal paralelo para os dois primeiros modos de vibração da estrutura quando a mesma é submetida à carregamento aerodinâmico. O ganho em estabilidade aeroelástica foi modesto, visto que, a sintonização do circuito *shunt* nominal foi realizada por meio de expressões disponíveis na literatura, as quais tem como intuito a sintonização para atenuação de vibrações somente, não considerando o aumento da velocidade de *flutter* como sendo também um objetivo a ser alcançado.

Salienta-se, portanto, a necessidade da utilização de ferramentas de otimização para que se possa obter melhores respostas em termo de ganho aeroelástico, buscando-se o melhor compromisso entre as funções objetivo de redução de amplitude de vibrações e aumento da velocidade de ocorrência do fenômeno de *flutter*. O procedimento de otimização será realizado em trabalhos futuros.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à CAPES, ao CNPq, à FAPEMIG e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica - FEMEC/UFU pelo suporte no desenvolvimento do presente trabalho.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. E. **O Efeito de Enrijecimento por Tensão Piezeletricamente Induzida na Estabilidade Aeroelástica de Painéis Aeronáuticos**. 100f. Tese de Mestrado em Ciências. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2011.

ASHLEY, H.; ZARTARIAN, G. **Piston Theory: a New Aerodynamic Tool for the Aeroelastician**. Journal of the Aeronautical Sciences, v. 23, n. 12, p. 1109-1918, 1956. doi:10.2514/8.3740.

DOWELL, E. H. **Aeroelasticity of plates and shells**. Princetown. New York, USA: Noordhoff International Publishing, 1975.

HAGOOD, N. W. e VON FLOTOW, A. **Damping of Structural Vibrations with Piezoelectric Materials and Passive Electrical Networks**. Journal of Sound and Vibration, v. 146, n. 2, p. 243-268, 1991.

LEÃO, L. S. et al. **Dynamic aeroelastic behavior of composite plates with multimode resonant shunted piezoceramics in series**. Composite Structures, v. 153, p. 815-824, 2016. doi: 10.1016/j.compstruct.2016.07.010.

PALMERI, A.; RICCIARDELLI, F. **Fatigue analyses of buildings with viscoelastic dampers.** Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, v.94, p. 377-395, 2006. doi:10.1016/j.jweia.2006.01.005

REDDY, J. N. **Mechanics of Laminated Composite Plates: Theory and Analysis.** 2. ed. Florida: CRC Press, 1997.

RIBEIRO, L. P. **Metodologia ótima robusta para o projeto de uma técnica de controle passivo de supressão do fenômeno de flutter em painéis compósitos de interesse aeronáutico.** 2019. 143f. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, 2019.

RIBEIRO, L. P., DE LIMA, A. M. G. e SILVA, V. A. C. **Robust project of resonant shunt circuit for passive vibration control of composite structures.** J Braz. Soc. Mech. Sci. Eng., v. 42, p. 342, 2020.

VIANA, F. A. C. **Amortecimento de vibrações usando pastilhas piezoelétricas e circuitos shunt ressonantes.** 105f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, 2005.

WU, S. Y. **Method for multiple mode shunt damping of structural vibration using a single PZT transducer.** Smart. Struct. Mater., v. 159, p. 159–68, 1998.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aerelasticidade 31

Atuador Eletromagnético 21, 22, 26

Automação Industrial 42, 45

B

Barras Comprimidas 56

C

Circuitos Shunt Multimodais 31

Controle Ativo de Vibrações 12, 15, 19, 21

Controle Passivo de Vibrações 31, 32

E

Enrijecedor Intermediário 56, 58, 59, 63, 64, 65, 66, 67, 68

ERA/OKID 12, 13, 15, 20

Estoque 70, 75

Evolução Diferencial (ED) 1, 2, 3, 5, 8, 9, 10, 11, 30, 41, 55, 69, 75, 106

G

Gestão 70, 75, 108

I

Inteligência Artificial 1, 2

L

LQR (Regulador Linear Quadrático) 12, 13, 15, 21, 28, 29, 30

M

Materiais 13, 31, 32, 42, 43, 46, 47, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 102, 108

Material Compósito 12, 13, 16, 19, 35

Mecatrônica 42, 54

Microcontroladores 42, 44, 55

P

Padrão 24, 25, 26, 27, 70, 71, 73

Parafuso Estojo 70, 71, 72, 73, 74, 75

Perfis Formados a Frio 56, 57, 58, 69

R

Rede Neural Artificial (RNA) 1

Resistência à Compressão 56, 57, 58, 64, 65, 66, 67, 68

S

Sistema Dinâmico 1, 21

V

Viga Flexível 21, 22

ATIVIDADES CIENTÍFICAS E TECNOLÓGICAS NO CAMPO DA ENGENHARIA MECÂNICA

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

ATIVIDADES CIENTÍFICAS E TECNOLÓGICAS NO CAMPO DA ENGENHARIA MECÂNICA

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 