



Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta  
(Organizadores)

# Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica

  
Atena  
Editora  
Ano 2019

**Henrique Ajuz Holzmann**  
**João Dallamuta**  
(Organizadores)

# **Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica**

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 [recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica; v. 1)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN 978-85-7247-246-3

DOI 10.22533/at.ed.463190504

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](http://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

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UMA BANCADA PARA ENSAIOS VIBRATÓRIOS EM DISPOSITIVOS VEICULARES	
<i>Pedro Henrique Barbosa Araujo</i> <i>Evandro Leonardo Silva Teixeira</i> <i>Maria Alzira de Araújo Nunes</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4631905041</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>18</b>
DESENVOLVIMENTO DE UM MECANISMO PARA REABILITAÇÃO DO JOELHO UTILIZANDO EVOLUÇÃO DIFERENCIAL	
<i>Lucas Antônio Oliveira Rodrigues</i> <i>Rogério Sales Gonçalves</i> <i>João Carlos Mendes Carvalho</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4631905042</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>29</b>
DESENVOLVIMENTO DE BENEFICIADORA DE FUSO ROTATIVO	
<i>Fábio Gatamorta</i> <i>Danilo Brasil Sampaio</i> <i>Jebson Gouveia Gomes</i> <i>Marco Antônio Pereira Vendrame</i> <i>Gabriel Novelli</i> <i>Atílio Eduardo Reggiani</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4631905043</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>38</b>
MINI EXTRUSORA DIDÁTICA DE POLÍMEROS UTILIZADOS EM IMPRESSORAS 3D	
<i>Marcelo Santos Damas</i> <i>Tiago Zaquia Pereira</i> <i>Ueliton Cleiton Oliveira</i> <i>Sérgio Mateus Brandão</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4631905044</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>53</b>
ANÁLISE PRELIMINAR PARA PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE QUEIMADOR ATMOSFÉRICO PARA FORNO DE FORJAMENTO APLICADO À CUTELARIA	
<i>Luís Fernando Marzola da Cunha</i> <i>Danilo dos Santos Oliveira</i> <i>José Henrique de Oliveira</i> <i>Rhander Viana</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4631905045</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>67</b>
DESENVOLVIMENTO DE UM MARTELETE ELETROMECAÂNICO DESTINADO AO FORJAMENTO DE FACAS ARTESANAIS	
<i>Cassiano Arruda</i> <i>André Garcia Cunha Filho</i>	

**CAPÍTULO 7 ..... 80**

PROPOSTA DE OTIMIZAÇÃO DE ESCANEAMENTO 3D A LASER: ESTUDO DE CORES DA SUPERFÍCIE

*Bruno Barbieri*  
*Vinicius Segalla*  
*Marcio Catapan*  
*Maria Lúcia Okimoto*  
*Isabella Sierra*

DOI 10.22533/at.ed.4631905047

**CAPÍTULO 8 ..... 91**

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE FREIOS PARA UM MINI BAJA DA COMPETIÇÃO BAJA SAE BRASIL

*Silas Fernandes Caze*  
*Lucas de Sousa Camelo*  
*Wictor Gomes de Oliveira*  
*Bruno de Oliveira Carvalho*

DOI 10.22533/at.ed.4631905048

**CAPÍTULO 9 ..... 96**

ANÁLISE EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO DINÂMICO DE AMORTECEDORES TIPO STOCKBRIDGE

*Marcos José Mannala*  
*Marlon Elias Marchi*  
*Marcio Tonetti*

DOI 10.22533/at.ed.4631905049

**CAPÍTULO 10 ..... 103**

MEDIÇÃO DE DISTÂNCIA DA LÂMINA DE FASE EM CHAVE SECCIONADORA UTILIZANDO SENSOR DE ULTRASSOM

*Carlos Henrique da Silva*  
*Felipe Martins Silva*  
*Fernando Luiz Alhem dos Santos*  
*Jardson da Silva David*  
*Juliana Lopes Cardoso*  
*Milton Zanotti Junior*

DOI 10.22533/at.ed.46319050410

**CAPÍTULO 11 ..... 114**

CÁLCULO DE LINHA DE VIDA UTILIZANDO MÉTODO DE SULOWSKI

*Walter dos Santos Sousa*  
*Caroline Moura da Silva*  
*Érika Cristina de Melo Lopes*  
*Gilton Carlos de Andrade Furtado*  
*Lana Ritiele Lopes da Silva*  
*Michele da Costa Baía*

DOI 10.22533/at.ed.46319050411

**CAPÍTULO 12 ..... 127**

**CÁLCULO DOS TEMPOS DE PENETRAÇÃO E DESVIO DE CALOR DO MODELO X23**

*Luís Henrique da Silva Ignacio  
Fernando Costa Malheiros  
Alisson Augusto Azevedo Figueiredo  
Henrique Coelho Fernandes  
Gilmar Guimarães*

**DOI 10.22533/at.ed.46319050412**

**CAPÍTULO 13 ..... 135**

**TEMPO DE MISTURA EM TANQUES COM IMPULSORES MECÂNICOS EQUIPADOS COM CHICANA PADRÃO E MODIFICADA**

*Murilo Antunes Alves Lucindo  
Breno Dantas Santos  
Juliana Sanches da Silva  
Marcos Bruno Santana  
Deovaldo de Moraes Júnior  
Vitor da Silva Rosa*

**DOI 10.22533/at.ed.46319050413**

**CAPÍTULO 14 ..... 147**

**A SEGURANÇA DE VOO A PARTIR DA MANUTENÇÃO E OS RISCOS GERADOS PELOS FATORES HUMANOS**

*Daniel Alves Ferreira Lemes  
Kennedy Carlos Tolentino Trindade  
Anna Paula Bechepeche*

**DOI 10.22533/at.ed.46319050414**

**CAPÍTULO 15 ..... 169**

**VANTAGENS DA MANUTENÇÃO PREDITIVA PARA UNIDADES DE ARMAZENAMENTO E TRANSPORTE DE DERIVADOS DE PETRÓLEO**

*Luriane Pamplona dos Santos Barbosa  
Rodrigo de Cássio Vieira da Silva  
Thiago Eymar da Silva Oliveira  
Arielly Assunção Pereira  
Roger Barros da Cruz*

**DOI 10.22533/at.ed.46319050415**

**CAPÍTULO 16 ..... 185**

**MEDIÇÃO DO TEOR DE UMIDADE EM ÓLEO LUBRIFICANTE DE TURBINAS**

*Isabella Fenner Rondon  
Josivaldo Godoy da Silva*

**DOI 10.22533/at.ed.46319050416**

**CAPÍTULO 17 ..... 196**

**ESTUDO SOBRE GESTÃO DE LUBRIFICAÇÃO PARA ALTO DESEMPENHO DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS**

*Fernanda do Carmo Silvério Vanzo  
Vicente Severino Neto*

**DOI 10.22533/at.ed.46319050417**

<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>209</b>
APLICAÇÃO DE TÉCNICA PARA AUMENTO DO TEMPO MÉDIO ENTRE FALHAS EM VENTILADORES INDUSTRIAIS	
<i>Fernanda do Carmo Silvério Vanzo</i>	
<i>Edmar Antônio Onofre</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.46319050418</b>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>221</b>
ANÁLISE E CORREÇÃO DE FALHAS EM UM EIXO DO MONTANTE	
<i>José Airton Neiva Alves da Silva Brasil</i>	
<i>Victor Gabriel Pereira Valverde</i>	
<i>Luís Felipe Furtado Pontes</i>	
<i>Guilherme Guimarães Sousa e Silva</i>	
<i>Lucas Silva Soares</i>	
<i>Marcos Erike Silva Santos</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.46319050419</b>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>236</b>
ANÁLISE DE COMPORTAMENTO DE FALHAS DE UM ROTOR DINÂMICO UTILIZANDO SISTEMA IMUNOLÓGICO ARTIFICIAL	
<i>Estevão Fuzaro de Almeida</i>	
<i>Luiz Gustavo Pereira Roéfero</i>	
<i>Fábio Roberto Chavarette</i>	
<i>Roberto Outa</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.46319050420</b>	
<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>245</b>
DESAFIOS DA IMPLEMENTAÇÃO DO PROGRAMA BAJA SAE E DO GERENCIAMENTO DA EQUIPE NO CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFANOR	
<i>Wictor Gomes De Oliveira</i>	
<i>João Paulo Correia Teixeira</i>	
<i>Vitor Fernandes Mendes Martins</i>	
<i>Tulio Rosine Martins De Souza</i>	
<i>Bruno De Oliveira Carvalho</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.46319050421</b>	
<b>SOBRE OS ORGANIZADORES</b> .....	<b>247</b>

## ANÁLISE EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO DINÂMICO DE AMORTECEDORES TIPO STOCKBRIDGE

### **Marcos José Mannala**

Institutos Lactec  
Curitiba – Paraná

### **Marlon Elias Marchi**

Institutos Lactec  
Curitiba – Paraná

### **Marcio Tonetti**

Copel Geração e Transmissão S.A.  
Curitiba – Paraná

curvas que ilustram o comportamento dinâmico do amortecedor no domínio da frequência, bem como parâmetros vibracionais como, por exemplo, frequências naturais. Por isso, este trabalho propôs analisar experimentalmente o comportamento dinâmico de amortecedores tipo Stockbridge.

**PALAVRAS-CHAVE:** Amortecedor dinâmico de vibração, stockbridge, vibração em cabos aéreos.

**RESUMO:** Este artigo integra o projeto de P&D COPEL/ANEEL intitulado Aumento da Capacidade de Transmissão de Linhas Aéreas: Novas técnicas de projeto com trações elevadas. Este projeto contempla o estudo do comportamento dos cabos condutores, quando tracionados com níveis de tração que superam os critérios usuais de projeto. No entanto, problemas com vibrações eólicas são potencializados ao longo dos cabos condutores à medida que a tração é elevada. Estas vibrações provocam danos devido à fadiga por flexão e por abrasão nos pontos de suspensão dos cabos, podendo causar a interrupção da transmissão de energia. Para isso, foram desenvolvidos dispositivos absorvedores de vibrações como o amortecedor tipo Stockbridge, um dos mais utilizados e focos de vários estudos. Alguns destes estudos se baseiam em ensaios de vibrações que permitem levantar

### 1 | INTRODUÇÃO

As linhas aéreas de transmissão elétrica estão sujeitas à ação dos ventos, os quais, induzem vibrações eólicas de alta frequência (na ordem de 5 a 120 Hz) e de baixa amplitude (Júnior, 2010). Essas vibrações em níveis indesejados podem causar danos devido a fadiga por flexão e por abrasão nos pontos de suspensão do cabo, levando-o à ruptura (Sauter, 2003). A consequência direta é a falha na transmissão de energia elétrica o que, por sua vez, aumenta os custos de manutenção, pode resultar em sérios acidentes e gerar prejuízos econômicos e sociais para o país (Labegalini et al., 1992).

Para reduzir os danos mecânicos causados pelas vibrações eólicas e assim, aumentar a

vida útil dos cabos é necessário reduzir as amplitudes de vibrações das linhas a níveis considerados seguros pelas normas internacionais (Júnior, 2010). Para isso, foram desenvolvidos dispositivos absorvedores, sendo o amortecedor tipo Stockbridge um dos mais utilizados atualmente (Labegalini et al, 1992).

O amortecedor stockbridge (Figura 1) foi desenvolvido em 1925 por George H. Stockbridge. Este dispositivo consiste em duas massas inerciais presas na extremidade de um cabo flexível denominado de cabo mensageiro, o qual se encontra acoplado a um grampo para fixação no cabo condutor (Labegalini et all, 1992).

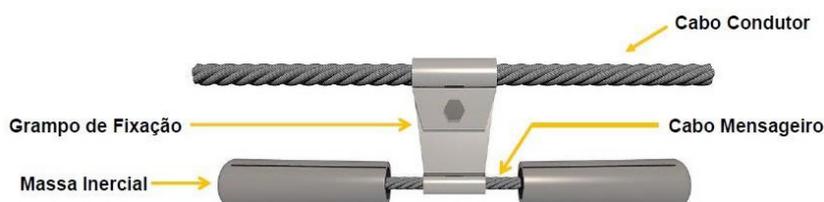


FIGURA 1. Amortecedor tipo Stockbridge simétrico.

O Stockbridge dissipa energia basicamente por dois mecanismos: pelo amortecimento histerético (devido ao deslizamento interno dos planos cristalinos dos fios que compõem o cabo mensageiro) e pelo amortecimento coulombiano (devido ao atrito entre os fios do cabo mensageiro) (Labegalini et al, 1992).

As principais vantagens do dispositivo Stockbridge são: simples construção, baixo custo e boa eficiência na redução de vibrações no ponto de fixação (Labegalini et al, 1992). Contudo, a sua eficiência é limitada a uma estreita faixa de frequências, localizada em torno das suas frequências naturais (Oliveira, 2011).

Dentro os tipos de amortecedores Stockbridge conhecidos, destacam-se o simétrico e o assimétrico. Os dispositivos simétricos possuem massas e comprimentos dos cabos mensageiros iguais em relação ao grampo de fixação. Considerando a faixa de operação das vibrações eólicas, este absorvedor possui dois graus de liberdade, os quais, correspondem ao primeiro e segundo modo de vibração do absorvedor. Já os amortecedores assimétricos possuem massas e comprimentos de cabos mensageiros diferentes em relação ao grampo de fixação. Este dispositivo pode ter quatro ou mais modos de vibração dentro da faixa de ação das vibrações eólicas, tornando-o mais eficiente (Vecchiarelli et al., 2000).

O amortecedor Stockbridge é acoplado ao cabo condutor próximo aos isoladores. No ponto de acoplamento, o absorvedor exerce uma força e um momento concentrados. Se as características do Stockbridge não estiverem devidamente ajustadas às características dinâmicas do cabo condutor, este terá seu comportamento dinâmico alterado, podendo gerar deslocamentos elevados e, conseqüentemente, danos nos pontos de ancoragem (Vecchiarelli et al., 2000).

Portanto, a resposta de um condutor é fortemente influenciada pelo comportamento dinâmico do amortecedor acoplado (Vecchiarelli et al., 2000). Com o intuito de

melhor prever a resposta dinâmica de uma linha de transmissão, sujeita a vibrações eólicas e com amortecedores tipo Stockbridge acoplados, de início é necessário compreender o comportamento mecânico deste dispositivo amortecedor como um sistema mecânico isolado e sujeito a excitações harmônicas. Nesse sentido, este trabalho realizou experimentos, nos quais, o Stockbridge é ensaiado isoladamente em uma máquina excitadora que simula movimentos harmônicos com amplitudes de aceleração constante. O objetivo geral é compreender melhor a resposta dinâmica do amortecedor tipo Stockbridge assimétrico a partir de ensaios experimentais. Para isso, com base nos dados obtidos em laboratório, os seguintes objetivos específicos foram realizados: levantar curvas de resposta no domínio da frequência, identificar as frequências naturais e analisar o comportamento dinâmico do Stockbridge assimétrico em amplitudes de acelerações distintas.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção são apresentados os materiais e o procedimento experimental empregado na realização dos ensaios mecânicos de vibração do amortecedor tipo Stockbridge.

### 2.1 Amortecedor Stockbridge

O amortecedor utilizado nos ensaios de vibração foi o Stockbridge assimétrico (Figura 2).



FIGURA 2. Stockbridge assimétrico utilizado nos ensaios.

### 2.2 Bancada de Ensaios

A Figura 3 mostra o desenho esquemático da bancada experimental empregada nos ensaios de vibração do amortecedor Stockbridge assimétrico.

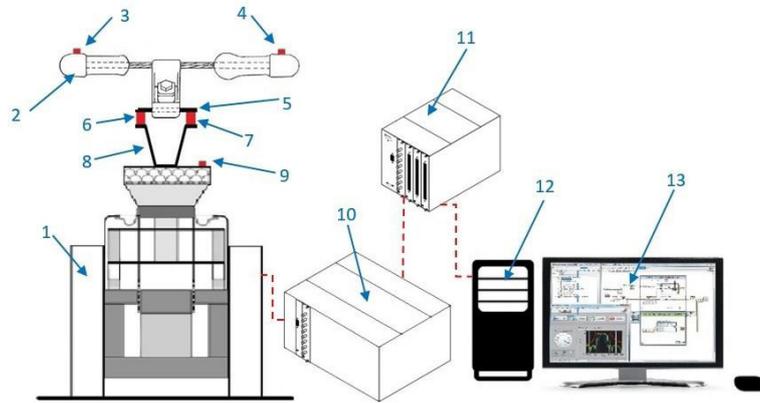


FIGURA 3. Desenho esquemático da bancada de ensaios.

Os equipamentos e recursos da bancada, indicados na Figura 3 pela respectiva numeração, são:

(1) excitador eletrodinâmico ou *shaker*; (2) amortecedor tipo Stockbridge assimétrico; (3) e (4) acelerômetros do tipo ICP; (5) base de aço para acoplamento do amortecedor; (6) e (7) células piezoelétricas com capacidade de medição de 445N pico cada; (8) base de aço e em formato V; (9) acelerômetro do tipo ICP; (10) amplificador de potência do *shaker*; (11) condicionador de sinal com módulos de aquisição de sinais dos acelerômetros e das células piezoelétricas; (12) computador desktop com placa condicionadora de sinais; (13) programa *LabView*<sup>®</sup>.

A bancada de ensaios da Figura 3 permite gerar um movimento harmônico com amplitude de aceleração controlada. Assim para uma determinada aceleração da base de excitação do *shaker*, obtém-se a resposta do Stockbridge em uma dada faixa de frequência.

Os sinais obtidos pelos acelerômetros, o controle da frequência de excitação e da amplitude de aceleração do *shaker*, bem como o processamento dos dados são realizados por um condicionador de sinal, o qual, é controlado por uma placa condicionadora de sinais através de um computador desktop e do programa *LabView*<sup>®</sup>.

### 3 | MÉTODOS

Os ensaios em laboratório consistiram em deslocar, verticalmente e com amplitude de aceleração constante, a base de excitação onde o Stockbridge se encontrava rigidamente fixo. Os valores de aceleração constante da base variaram de 0,2 a 0,8 m/s<sup>2</sup>, com incrementos de 0,2 m/s<sup>2</sup>.

Para cada amplitude de aceleração da base, mantida como constante, o *shaker* promovia a excitação do amortecedor na faixa de 5 a 120 Hz, sendo a sua resposta vibracional obtida, processada e registrada pelo sistema de aquisição, controle e processamento de dados. Desse modo, foram obtidos no domínio da frequência as

amplitudes de aceleração de três acelerômetros, sendo um da base de deslocamento do *shaker* (seta 9 da Figura 3) e os outros dois, das extremidades externas das massas menor e maior (setas 3 e 4, respectivamente, da Figura 3).

Os dados obtidos foram armazenados e convertidos em arquivos com extensão .txt. Em seguida, estes dados foram manipulados através do programa *Matlab* com o intuito de gerar curvas referentes ao comportamento dinâmico do amortecedor Stockbridge como, por exemplo, curvas de resposta no domínio da frequência de cada acelerômetro.

#### 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados experimentais são apresentados na Figura 4 e mostram o comportamento dinâmico do Stockbridge em quatro patamares de aceleração.

As Figuras 5a e 5b mostram as curvas de força no domínio da frequência referentes aos lados da massa maior e menor, respectivamente. Já as Figuras 12 e 14 exibem as curvas de resposta no domínio da frequência dos lados da massa maior e menor do amortecedor, respectivamente. A Figura 4 ilustra as quatro amplitudes de acelerações mantidas nos ensaios do Stockbridge. As Figuras 5a e 5b correspondem as curvas de Impedância Mecânica obtidas para o Stockbridge ensaiado. As frequências naturais do amortecedor estão resumidas na Tabela 1, de acordo com a respectiva amplitude de aceleração.

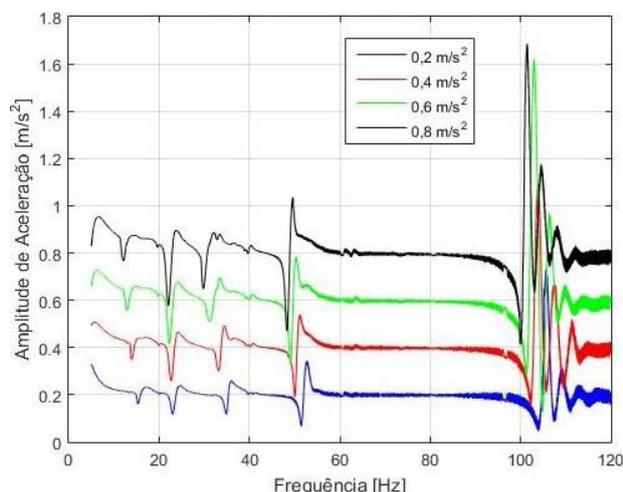


FIGURA 4. Curva de resposta no domínio da frequência referente a base na qual o amortecedor se encontrava fixado.

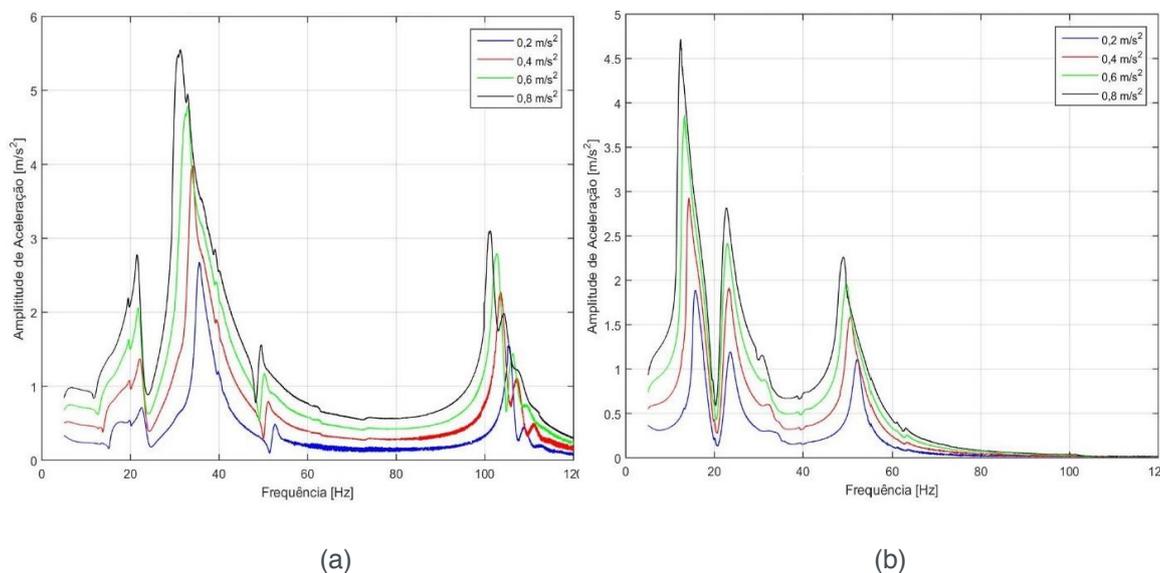


FIGURA 5. Curvas de resposta no domínio da frequência, sendo (a) referente à resposta do lado da massa menor e (b) referente à resposta do lado da massa maior do amortecedor Stockbridge.

Amplitude de Aceleração [ $m/s^2$ ]	Frequências Naturais (Hz)				
	1	2	3	4	5
0,2	15,37	23,02	34,94	51,59	103,9
0,4	13,96	22,62	33,22	50,02	102,2
0,6	12,84	22,31	31,20	49,17	101,4
0,8	12,14	22,03	29,81	48,31	100,1

TABELA 1. Frequências naturais do amortecedor Stockbridge assimétrico ensaiado.

A partir dos resultados obtidos nos ensaios experimentais do amortecedor assimétrico, exibidos nas Figuras 4 e 5 e na Tabela 1, pode-se constatar que:

- O Stockbridge assimétrico tem pelo menos 5 frequências naturais na faixa de 5 a 120 Hz;
- Em face da intensidade da força e das amplitudes de acelerações, as frequências naturais 1, 3 e 4 são dominantes na massa maior. Já as frequências naturais 2 e 5 geram amplitudes de movimento mais significativas na massa menor;
- À medida que a amplitude de aceleração aumenta, todas as frequências naturais do amortecedor diminuem;
- À medida que a amplitude de aceleração aumenta, as faixas de frequência em torno das frequências naturais se tornam mais estreitas, diminuindo a eficiência do stockbridge;
- Os maiores valores de amplitude de aceleração registrados ocorrem na primeira e na segunda frequência natural.

## 5 | CONCLUSÃO

Com base nas constatações a respeito dos dados experimentais, conclui-se que o Stockbridge assimétrico apresenta um comportamento não linear. Esta não linearidade se deve a diminuição da frequência natural do dispositivo com o aumento da amplitude de aceleração do movimento imposto ao amortecedor.

Outro comportamento que corrobora nesta linha é o fato de que a largura da faixa de frequência, nos pontos de ressonância do amortecedor, diminui com o aumento da aceleração.

Portanto, uma modelagem matemática utilizando equações lineares, como é usualmente feito, não representa a contento o comportamento da amostra testada. Desse modo, torna-se interessante desenvolver uma análise não linear do comportamento dinâmico do Stockbridge tipo assimétrico.

## 6 | AGRADECIMENTOS

Este trabalho apresenta parte dos resultados obtidos durante a execução do projeto P&D de número PD-6491-0243/2011, intitulado “Aumento da Capacidade de Transmissão de Linhas Aéreas: Novas técnicas de projeto com trações elevadas” da COPEL Geração e Transmissão S.A., executado pelos Institutos LACTEC e integrante do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento do Setor Elétrico Brasileiro regulamentado pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica).

## REFERÊNCIAS

- Júnior, O. H. S. Vibrações em cabos aéreos de linhas de transmissão: estudo teórico e experimental por meio de modelos lineares e não lineares. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica. PUC-PR. Curitiba, 2010.
- Labegalini, P. R.; Labegalini, J. A.; Fuchs, R. D.; Almeida, M. T. Projetos mecânicos das linhas aéreas de transmissão. Edgard Blucher. São Paulo, 1992.
- Melo, F. B. N. Desenvolvimento de um dispositivo de fixação para caracterização mecânica das ligas NiTi. Universidade de Brasília. Departamento de Engenharia Mecânica. Brasília, 2011.
- Oliveira, H. S. Análise dinâmico de um stockbridge pseudoplástico. Projeto de graduação. Universidade de Brasília: Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Mecânica. Brasília, 2011.
- Sauter, D. Modeling the dynamic characteristics of slack wire cables in stockbridge dampers. Vom Fachbereich Mechanik der Technischen Universität Darmstadt zur Erlangung des Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigte. Darmstadt, 2003.
- Vecchiarelli, J; Currie, I. G.; Havard, D. G. Computational analysis of aeolian conductor vibration with a stockbridge. Journal of Fluids and Structures, v. 14, n. 1, pp. 489- 509, 2000.

## **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 978-85-7247-246-3

