

## DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE ABSORVEDOR DINÂMICO DE VIBRAÇÕES

Murilo Granato Coimbra, murilo.granato@unesp.br<sup>1</sup>  
Fabio Mazzariol Santiciolli, fabio.santiciolli@unesp.br<sup>1</sup>  
Paulo J. Paupitz Gonçalves, paulo.paupitz@unesp.br<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista (UNESP)  
Av. Eng. Luiz Edmundo C. Coube 14-01 - Vargem Limpa - Bauru, SP.

**Resumo.** As literaturas existentes têm introduzido o uso de neutralizadores de vibração em forma de arco como um meio para mitigar vibrações em estruturas mecânicas. Entretanto, ainda existem lacunas na compreensão desse tipo de mecanismo. Este trabalho tem como objetivo desenvolver um protótipo de absorvedor dinâmico de vibrações, aplicado a uma viga. Para atingi-lo, foi utilizado método dos elementos finitos como meio de estudar as respostas em frequências do ressonador e da viga, além de ensaios para validar as simulações. Assim, pode-se observar que o absorvedor é efetivo e atenua as vibrações em uma determinada faixa de frequência da viga.

**Palavras chave:** Estrutura Periódica. Ressonador. Atenuação.

**Abstract.** Existing literature has introduced the use of arc-shaped vibration neutralizers to mitigate vibrations in mechanical structures. However, there are still gaps in understanding this type of mechanism. This work aims to develop a prototype of dynamic vibration absorber, applied to a beam. To achieve this, the finite element method was used as a means of studying the responses in frequencies of the resonator and beam, as well as tests to validate the simulations. Thus, it can be observed that the absorber is effective and attenuates the vibrations in a certain frequency range of the beam.

**Keywords:** Periodic Structure. Resonator. Attenuation.

### 1. INTRODUÇÃO

As estruturas projetadas na engenharia moderna são otimizadas para redução de massa e de custos, entretanto muitas delas possuem limitações quanto ao controle de vibrações. Os metamateriais são concebidos para solucionar essa questão. Em um metamaterial, uma estrutura hospedeira recebe ressonadores, resultando em uma nova estrutura com transmissibilidade melhorada.

Beli e Arruda (2016) desenvolveram um metamaterial tendo como estrutura hospedeira uma viga com perfil em “I” e ressonadores aplicados à alma. Um aspecto interessante deste metamaterial é que os ressonadores ocupam um espaço entre as abas e a alma da viga, que normalmente é uma região não utilizada na engenharia. Os autores realizaram uma análise numérica do sistema, incluindo incertezas. Também construíram um protótipo por meio de manufatura aditiva. Em ambos os casos, observou-se que a variabilidade construtiva dos ressonadores alargou a banda de atenuação.

Silva e Oliveira (2022) acrescentaram ressonadores ao braço de um drone. Esses ressonadores são compostos de um pequeno elemento elástico em forma de viga associado a uma massa. Os autores tiveram sucesso em sintonizar as frequências naturais dos ressonadores próximas as frequências de operação dos motores. Por fim, observaram uma atenuação de vibração favorável a estabilidade em voo.

Pires, *et al.* (2022) desenvolveram um metamaterial a partir de uma estrutura hospedeira composta por um painel de isolamento aeronáutico associada à ressonadores. Esses ressonadores foram concebidos a partir de uma estrutura dotada de arcos e vigas, fabricada em polimetilacrilato. A fabricação desses ressonadores pode ocorrer por meio de corte à laser ou manufatura aditiva, o que proporciona potencial de produção em escala e personalizada. Tais absorvedores também contêm uma massa que pode ser ajustada conforme critérios de desempenho do metamaterial resultante. A partir do trabalho de Pires, *et al.* (2022), há uma oportunidade do estudo dos efeitos da aplicação dos ressonadores propostos sobre uma viga.

Este trabalho tem como objetivo observar um metamaterial tendo como estrutura hospedeira uma viga e ressonadores com geometria similar à proposta por Pires, *et al.* (2022). A Figura 1(a) mostra uma imagem tridimensional do ressonador e a Figura 1(b) mostra a vista frontal e lateral com dimensões utilizadas neste trabalho. Para efeito de entendimento, o

furo mostrado na Figura 1 serve para fixação da massa de sintonização, a qual é utilizada para ajustar a frequência de ressonância desejada, enquanto a base é utilizada para acoplamento na estrutural hospedeira.

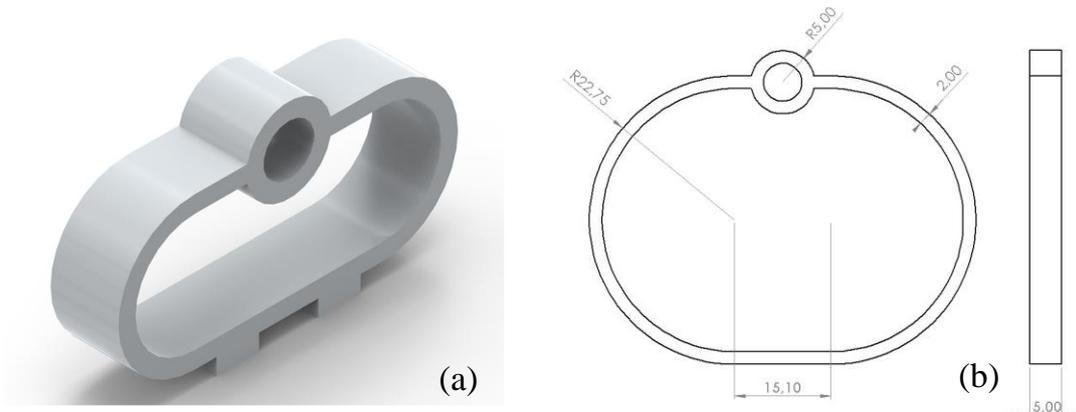


Figura 1. (a) imagem do ressonador, (b) Vista com as dimensões (mm) utilizadas no trabalho.

## 2. MODELAGEM MATEMÁTICA

Para a modelagem da viga e do absorvedor, foi utilizado o Método dos Elementos finitos (MEF). Assim, foi utilizado o software Ansys Workbench como ferramenta.

O modelo da estrutura desenvolvido, mostrado na Fig. 2, considerou uma viga de 2 m de comprimento, de seção transversal quadrada com lados de 0,376 m e espessura de  $1,15 \times 10^{-3}$  m, fabricada em alumínio. Para modelagem, foi utilizado o elemento SOLID186 e malha com  $80 \times 10^{-3}$  m como tamanho de referência dos elementos. Para os ressonadores, também foram utilizados elementos SOLID186 e malha de elementos tetraédricos com elementos de 1 mm de tamanho. A base do ressonador foi anexada a viga. Foram estudados dois casos, um da viga sem ressonador e outro caso considerando a inclusão de 3 ressonadores, de forma que a distância entre cada ressonador fosse de 0,666 metros e que os ressonadores mais externos estivessem a 0,333 metros das extremidades.

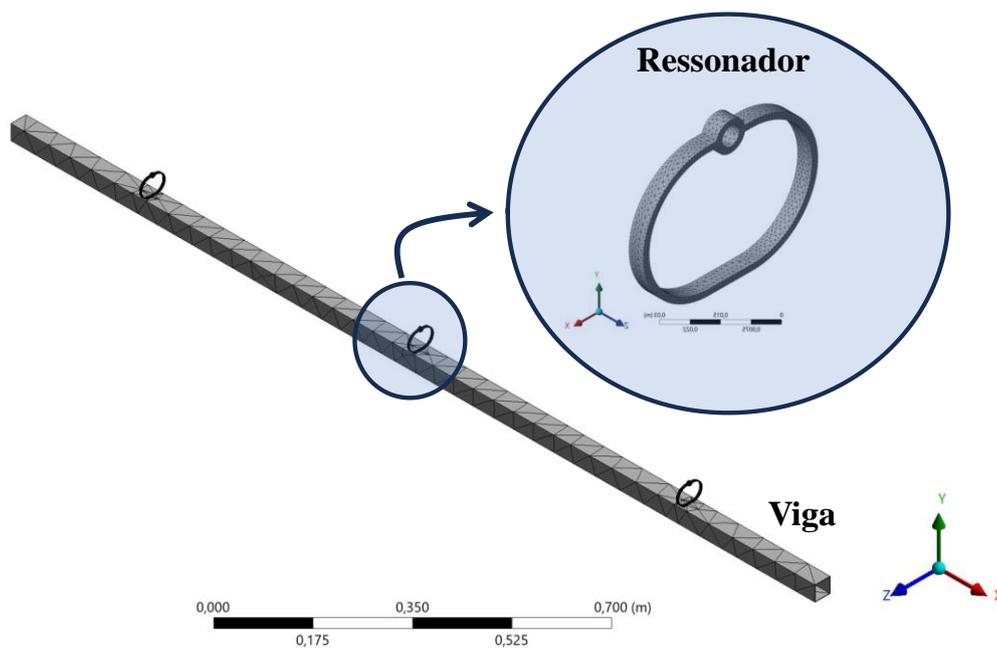


Figura 2. Ilustração da viga com 3 ressonadores e detalhe da malha de um dos ressonadores.

### 3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Foi desenvolvido um procedimento experimental em laboratório, o qual foi utilizado um excitador eletromecânico (*shaker*). A força gerada pelo excitador na viga foi medida por um sensor de força PCB 208C0 e dois acelerômetros foram posicionados para medir as acelerações  $A_0$  (extremidade próxima ao *shaker*) e  $A_L$  (extremidade oposta ao *shaker*). Os acelerômetros utilizados também do fabricante PCB tinham sensibilidade aproximada de 100 mV/g. A Figura 3 mostra o esquema do aparato experimental, sendo que o detalhe Fig. 3(a) mostra a vista superior do *shaker* e direção de medição. A Figura 3(b) mostra a viga e posições de medição das acelerações.

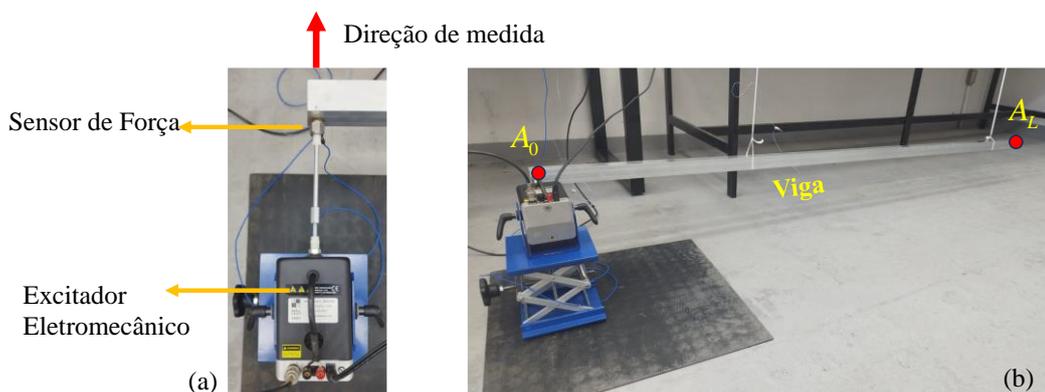


Figura 3. Ilustração do aparato experimental. (a) detalhe do *shaker* e sensor de força, (b) ilustração da viga simples e posições de medição.

A excitação consistiu em um ruído branco e os sinais temporais foram adquiridos em um sistema da Sirius da Dewesoft, onde foram pós processados. Foram realizadas 50 médias para cada ponto de medição. As funções de resposta em frequência para cada lado foram obtidas e comparadas com os resultados do modelo.

### 4. RESULTADOS

Os resultados numéricos obtidos pela simulação de resposta em frequência foram comparados com os resultados obtidos experimentalmente e discutidos nesta seção. A Fig. 4(a) mostra a resposta de aceleração  $A_0 / F$  a Fig. 4(b) mostra a resposta de aceleração  $A_L / F$ , sendo  $F$  a amplitude da força aplicada para a viga simples. Pode se notar que o modelo representa de forma satisfatória as duas primeiras ressonâncias de flexão da viga, nas duas respostas.

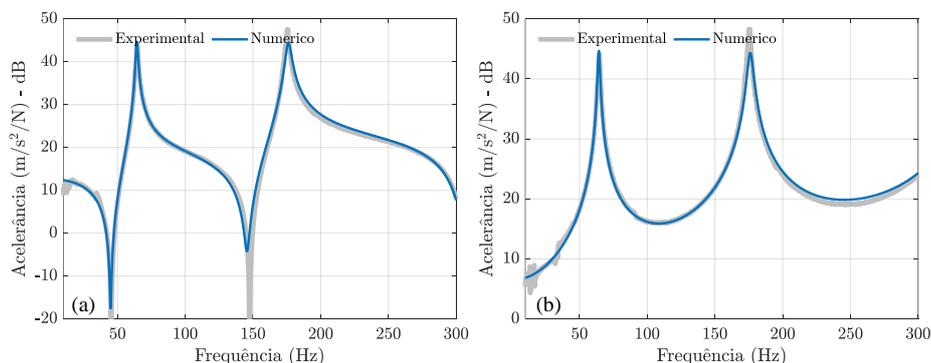


Figura 4. Acelerações da viga simples. (a)  $A_0 / F$  e (b)  $A_L / F$ . dB ref 1m/s<sup>2</sup>/N

De forma similar, foram anexados 3 ressonadores a viga e o teste foi repetido. Os resultados de aceleração foram comparados conforme o caso da viga 1, entre modelo de elementos finitos e resultados experimentais. A Fig. 5(a) mostra a aceleração  $A_0 / F$  e Fig. 5(b) mostra a aceleração  $A_L / F$ . Pode se notar alguma discrepância entre os resultados experimentais e o modelo para região onde os ressonadores têm influência e em alta frequência.

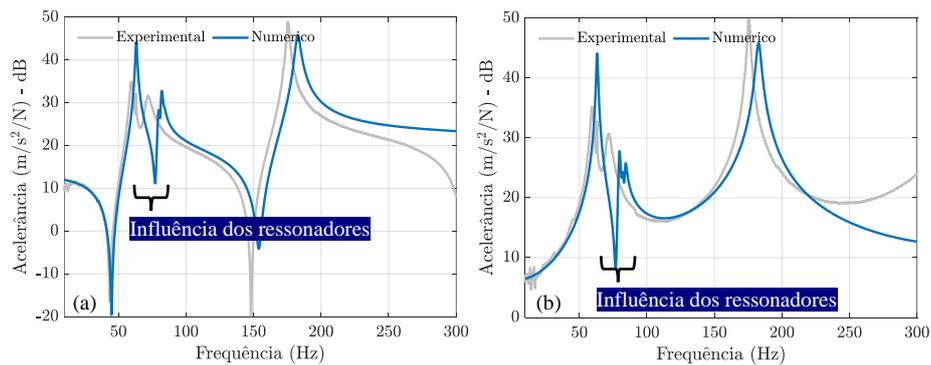


Figura 5. Acelerâncias da viga com 3 ressonadores. (a)  $A_0 / F$  e (b)  $A_L / F$ . dB ref  $1\text{m/s}^2/\text{N}$

Estas diferenças entre os modelos podem estar relacionadas ao ajuste de parâmetros do modelo e a forma como os ressonadores foram acoplados a estrutura. No caso do experimento, foi utilizada cola plástica para fixação dos ressonadores, enquanto o modelo considera um acoplamento perfeito. Embora existam estas diferenças, pode-se notar que o comportamento do modelo é muito semelhante ao experimento na forma qualitativa.

## 5. CONCLUSÕES

Este trabalho ilustrou o uso de ressonadores como controle passivo de vibração em estruturas. O efeito dos ressonadores é criar uma faixa de frequência com baixos níveis de vibração. Pode-se notar que o modelo de elementos finitos é eficiente para modelar a estrutura simples, mas apresenta algumas diferenças quando são inseridos os ressonadores. Como trabalho futuro, planeja-se estudar a utilização de outros ressonadores com diferentes frequências de sintonização.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo FAPESP (Processo 2018/15894-0) e CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - (Processos 407152/2022-9, 381671/2023-2, 106745/2023-9, 406594/2021-0, 311701/2023-0) pelo apoio financeiro.

## 7. REFERÊNCIAS

- Beli, D. and Arruda, J.R.F., 2016, "Influence of Additive Manufacturing Variability in Elastic Band Gaps of Beams With Periodic Distributed Resonators", 3rd International Symposium on Uncertainty Qualification and Stochastic Modeling, Brazil.
- Alves Pires, F., Wandel, M., Thomas, C., Deckers, E. et al., "Improving the Sound Transmission Loss of an Aircraft Ceiling Panel by Locally Resonant Metamaterials," SAE Technical Paper 2022-01-0960, 2022
- Silva, Eric Godines, and Leopoldo Pisanelli Rodrigues de Oliveira. "Controle de vibração em um drone com metamateriais ressonadores periódicos." *Livro de Resumos Expandidos* (2022).

## 8. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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