

## ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE GEOMETRIAS DE COLMEIA PARA NÚCLEO DE VIGAS SANDUÍCHE MAGNETO REOLÓGICAS

Anselmo Bruno Mendes<sup>1</sup> (IC), Felipe de Souza Eloy (PQ)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Itajubá

**Palavras-chave:** Análise estrutural. Análise modal. Método dos elementos finitos, Otimização estrutural.

### Introdução

A otimização de componentes mecânicos é um dos pilares que direciona os avanços tecnológicos do mundo há anos e assim continuará sendo. Elas vão desde redução de peso, melhor seleção de materiais e até melhorias nos processos de fabricação como a otimização topológica pela geração de perfis orgânicos. Dentre esses tipos de otimização, há também a otimização estrutural, que consiste em obter de uma estrutura os melhores parâmetros dentro de determinadas condições de trabalho. Frente a isso, os painéis sanduíche vêm se mostrando uma alternativa interessante para quem busca boas propriedades mecânicas em seus componentes.

Painéis sanduíche consistem em uma combinação entre diversos materiais de modo que as propriedades mecânicas agregam vantagens à estrutura final combinada. De maneira geral, eles são divididos e representados em três camadas: duas camadas finas, superior e inferior, chamadas de *skins* (lâminas) e um *core*, ou núcleo. As lâminas podem ser feitas de aço, material compósito, serem isotrópicas ou ortotrópicas, tudo dependendo da aplicação. Enquanto o núcleo, geralmente é manufaturado com um material com menor massa específica, podendo ser uma espuma ou geometrias em forma de colmeia (honeycomb).

Pode ser conferido na Fig. 1 a representação de um painel sanduíche:

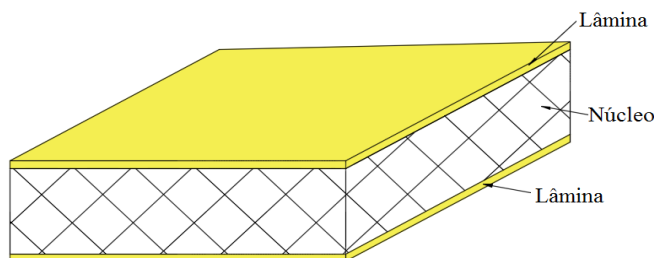


Figura 1 – Esquema simplificado de um painel sanduíche Fonte: Eloy (2018)

Tendo em mente a importância do estudo e adaptabilidade das vigas sanduíche nas diferentes indústrias, seu controle vibracional é um campo onde

muitos estudos têm de ser feitos. Por esse modo, a implementação dos chamados “materiais inteligentes” (*smart materials*) está sendo bem-vinda nesse ramo. Dentre esses materiais, estão os elastômeros magneto reológicos (EMR) que se tratam de partículas polarizáveis magneticamente dispersas uniforme ou não-uniformemente em elastômeros não magnéticos (CHEN *et al.*, 2007).

Segundo Apetre (2005), o material do núcleo é talvez o mais importante componente de uma estrutura sanduíche. Diante disso, o estudo utiliza da análise em elementos finitos para comparar o comportamento dinâmico de diferentes geometrias de colmeia, a fim de determinar qual a mais rígida para a fabricação de corpos de prova que serão ensaiados experimentalmente.

### Metodologia

A simulação final consiste em determinar como a mudança na geometria da colmeia influencia no comportamento dinâmico da viga, via análise modal.

Para a elaboração das diferentes geometrias de colmeia foi utilizado um software de modelagem 3D. A ideia foi manter as dimensões principais da viga/painel fixas (comprimento, largura e espessura), e alternar somente a geometria interna a elas. A Fig. 2 a seguir mostra a base para cada configuração de geometria (em milímetros):

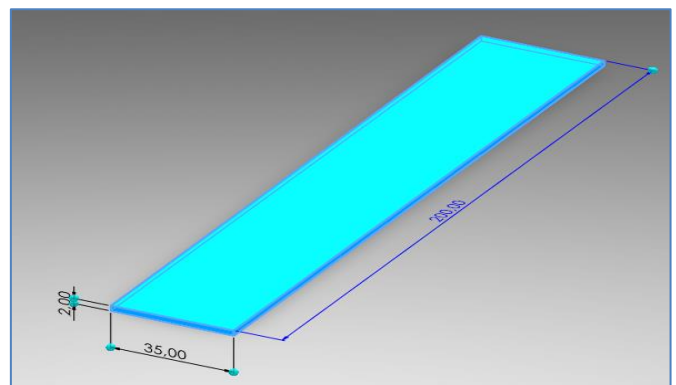


Figura 2 – Geometria com dimensões padrão das vigas.

Em seguida, três padrões geométricos foram desenvolvidos para análise: padrão retangular, triangular e hexagonal. Cada um dos padrões foi feito de maneira uniforme ao longo do comprimento do núcleo por meio de recursos de padrão linear, de maneira que a resistência estrutural seja uniforme ao longo do *core* da viga. Para a geometria retangular, foi adotado um padrão quadriculado de lado 7,5 mm; para a triangular, triângulos equiláteros de lado igual a 7,0 mm; por fim, para a geometria hexagonal, foram desenhados hexágonos com círculos inscritos de raio igual a 11 mm.

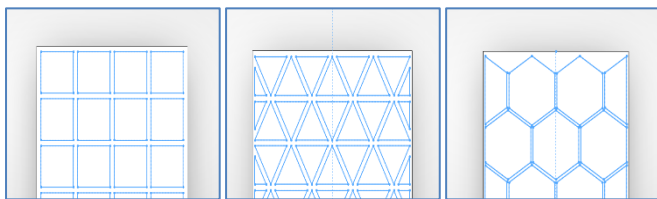


Figura 3 – Esboços geométricos na viga padrão.

Após isso, realizou-se a adição dos sólidos que representam o EMR nas cavidades das geometrias e a adição das *skins* de fibra de carbono. Com isso, todas as três configurações de geometrias estão finalizadas e prontas para serem exportadas para as simulações numéricas. A Fig. 4 representa a versão final do CAD das vigas.

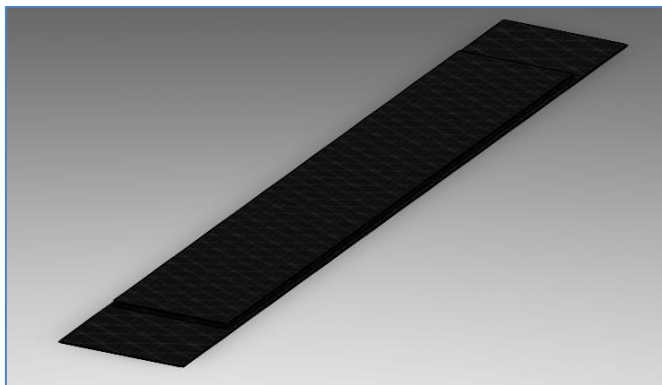


Figura 4 – CAD finalizado da viga.

Dando sequência, as geometrias foram submetidas à aplicação de condições de contorno configurações de simulação em um software de análise numérica utilizando o método dos elementos finitos, ou *Finite Element Analysis* (FEA).

Para fins comparativos, as três geometrias foram submetidas às mesmas condições de contorno, engastamento, métricas de malhas e seleção de materiais.

Isso garante que as diferenças dos resultados obtidos com as frequências sejam puramente devido à diferença geométrica das colmeias.

Sobre os materiais da simulação, foram utilizados: PLA pra o núcleo da viga; compósito carbono/epóxi para as *skins*; silicone acético acrescido de pó de ferro para o elastômero magneto reológico. Dito isso, para todos os itens a seguir foi tido como base os materiais manufaturados e comprados no documento guia da pesquisa, Estudo do Comportamento Dinâmico de Vigas Sanduíche com Núcleo *Honeycomb* Preenchido com Elastômero Magneto Reológico (ELOY, 2018).

Propriedades	Unidade	Valor
Massa Específica	g/cm <sup>3</sup>	1,4
Módulo de Elasticidade	GPa	4,0
Coefficiente de Poisson	-	0,4

Tabela 1 – Propriedades do PLA simulado.

Propriedades	Unidade	Valor
Fração volumétrica de fibra	%	56,53
Massa Específica	g/cm <sup>3</sup>	1,4837
Módulo de Elasticidade longitudinal	GPa	49,00
Módulo de Elasticidade transversal	GPa	49,00
Módulo de Cisalhamento	MPa	5,00
Coefficiente de Poisson	-	0,09

Tabela 2 – Propriedades do compósito utilizado como lâmina nas vigas sanduíche.

Propriedades	Unidade	Valor
Massa Específica	g/cm <sup>3</sup>	2,1858
Módulo de Elasticidade	MPa	360
Coefficiente de Poisson <sup>1</sup>	-	0,485

Tabela 3 – Propriedades do elastômero.

<sup>1</sup> O Módulo de Elasticidade e o Coeficiente de Poisson do elastômero magneto reológico foram obtidos por valores médios encontrados para o silicone acético comercial.

A Fig. 5 mostra uma viga no espaço de simulação numérica com a geração de malha concluída. Ela possui diferenças estéticas com a última viga mostrada. Isso se deve pois para melhor processamento e menor custo computacional, algumas simplificações tiveram que ser feitas na geometria para que a simulação ocorresse de maneira adequada e sem erros por conta do CAD. As simplificações consistiram em aparar as rebarbas em excesso e delimitar os cortes das geometrias para que todos eles permanecessem uniformes ao longo do modelo.

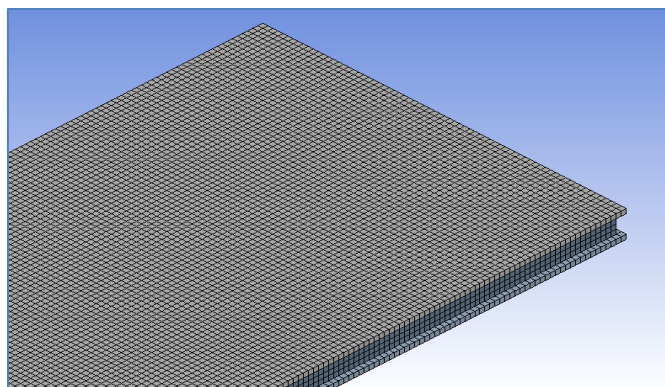


Figura 5 – Viga com os elementos de malha prontos para serem simulados.

## Resultados e discussão

Após a geração das malhas as simulações foram efetuadas.

Para comparar as frequências naturais das vigas, os cinco (5) primeiros modos de vibração foram analisados. Com isso, já é possível determinar qual delas apresenta maior rigidez estrutural em uma boa faixa de medição de frequências em que o corpo possa vir a ser submetido.

A Tabela 4 representa essas cinco primeiras frequências naturais para as três geometrias de viga.

Geometria	Retangular	Hexagonal	Triangular
<b>Modo</b>	[Hz]	[Hz]	[Hz]
<b>1</b>	31,286	31,190	36,847
<b>2</b>	45,139	38,954	66,224
<b>3</b>	82,819	74,170	235,34
<b>4</b>	180,67	197,61	250,93
<b>5</b>	206,41	211,73	298,11

Tabela 4 – Frequências naturais obtidas para cada geometria.

A partir da tabela, verifica-se que para os cinco primeiros modos de vibração a faixa medida foi de zero a 300 Hz. Além disso, as geometrias não apresentam uma linearidade na progressão de suas frequências naturais.

Ou seja, para determinar as frequências críticas desses tipos de geometria, é necessário se basear em simulações numéricas e testes empíricos.

Com os dados das frequências acima, segue a representação visual – com escala reduzida – das deformações sofridas pelas vigas em seus cinco primeiros modos de vibração. Para as seguintes representações, foi utilizado somente o modelo de viga com geometria de padrão retangular.

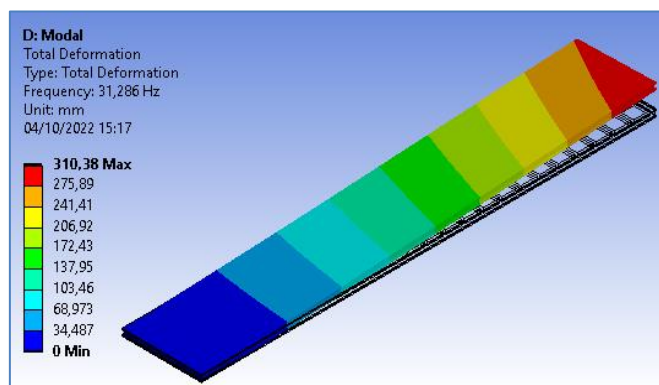


Figura 6 – Primeiro modo de vibração.

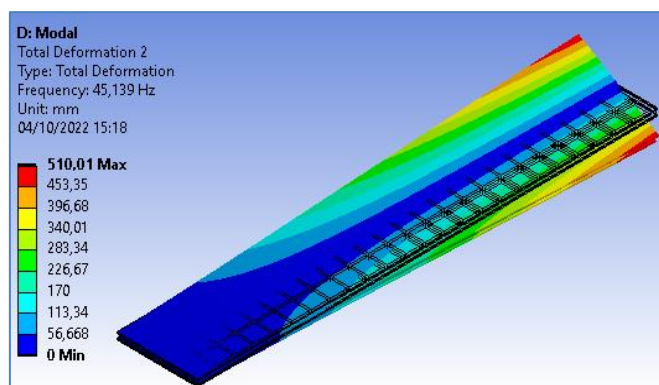


Figura 7 – Segundo modo de vibração.

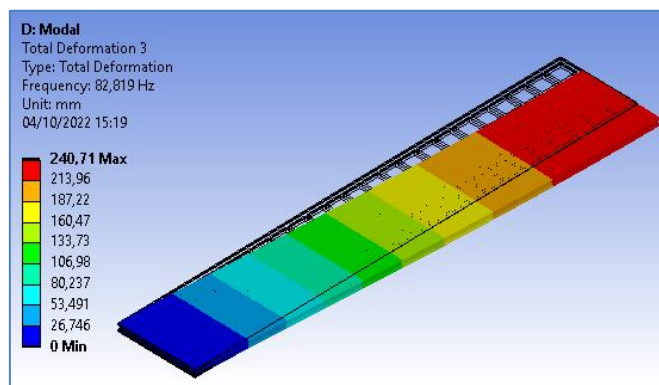


Figura 8 – Terceiro modo de vibração.

### **Conclusões**

Com base nos resultados obtidos, fica evidente que a geometria triangular é a que possui a maior rigidez ao longo da faixa de vibração medida.

Isso se justifica pelo fato de suas frequências naturais serem relativamente maiores do que as encontradas pelas geometrias retangulares e hexagonais, utilizando das mesmas condições de contorno.

Por fim, é possível concluir que este estudo verifica de maneira simples as condições modais das três geometrias para a viga em questão, validando numericamente os modelos e apresentando suas primeiras frequências naturais, de maneira que fique claro qual das geometrias é a mais viável para futura manufatura.

### **Agradecimento**

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo suporte financeiro à pesquisa e a Universidade Federal de Itajubá pela oportunidade proporcionada.

### **Referências**

- ALMEIDA, M. I. A. Comportamento estrutural de painéis sanduíche compósitos para aplicações na indústria da construção. 185 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 2009.
- APETRE, N. A. Sandwich panels with functionally graded core. 165 f. Dissertation (Doctor of Philosophy) – University of Florida, 2005.
- CALLISTER, W. D. Materials Science and Engineering: an Introduction. 7ªed., Jhon Wiley & Sons, New York. 2007.
- CHEN, L. *et al.* Investigation on magnetorheological elastomers based on natural rubber. *Journal of Materials Science*, v. 42, p. 5483-5489, 2007.
- CHOI, W. J.; XIONG, Y. P.; SHENOI, R. A. Vibration characteristics of sandwich beams with steel skins and magnetorheological elastomer cores. *Advances in Structural Engineering*, v. 13, n. 5, p. 837-844, 2010.
- ELOY, F. S. Estudo do Comportamento Dinâmico de Vigas Sanduíche com Núcleo Honeycomb Preenchido com Elastômero Magnético. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, p. 184. 2018.
- ELOY, F. S. *et al.* Experimental dynamic analysis of composite sandwich beams with magnetorheological honeycomb core. *Engineering Structures*, v. 176, p. 231-242, 2018.
- KAW, A. K. *Mechanics of Composite Materials*. Boca Raton, 2006.