

## MONITORAMENTO DE DANO EM ESTRUTURAS DE MATERIAL COMPÓSITO ATRAVÉS DA ANÁLISE DINÂMICA

Clara Butzke de Barba, Ricardo De Medeiros

### INTRODUÇÃO

O avanço da tecnologia tem possibilitado o desenvolvimento de estruturas cada vez mais complexas, sendo a crescente utilização de materiais compósitos um exemplo dessa evolução (Hassani et al, 2021). Esses materiais apresentam propriedades de elevada resistência, tenacidade, rigidez e baixo peso, características que justificam sua ampla aplicação em diferentes setores da engenharia. Contudo, sua utilização também resulta no surgimento novos tipos de danos, como delaminações, ruptura de fibras, entre outros (Hassani et al, 2021). Nesse contexto, surgiram técnicas de Monitoramento da Integridade Estrutural (SHM - *Structural Health Monitoring*), voltadas à avaliação das condições estruturais por meio da análise de parâmetros físicos, tais como modos de vibração e as frequências naturais (Dos Santos et al., 2005). Afim de viabilizar a detecção e a análise de danos, torna-se necessário estabelecer metodologias adequadas. De Medeiros et al. (2015) propuseram uma métrica focada na análise dinâmica das estruturas, baseada na magnitude e na fase das Funções em Resposta de Frequência (FRFs), sendo essa equação empregada no cálculo do índice de dano.

### DESENVOLVIMENTO

Neste trabalho, empregou-se um conjunto de técnicas não paramétricas para a análise do comportamento dinâmico de vigas de polímeros reforçados com fibra de vidro (GFRP – *Glass Fiber-Reinforced Polymer*), considerando a sequência de empilhamento  $[0]_{12}$ . Em cada laminado foram inseridos dois danos de delaminação, posicionados entre a quarta e quinta camada, e entre a oitava e a nona camada, com comprimento variando entre 0 mm, 10 mm e 20 mm, resultando em seis combinações distintas para análise. A fabricação dos corpos de prova foi realizada por meio do processo de moldagem por transferência de resina assistida a vácuo (VARTM), utilizando tecido de fibra de vidro, resina epóxi AR720, endurecedor epóxi AH723 e Teflon para a caracterizar as delaminações. Foram manufaturadas 18 placas de dimensões 300 mm × 300 mm, posteriormente cortadas em vigas com largura média 26 mm e comprimento de 250 mm, totalizando 167 corpos de prova. Nos ensaios experimentais, adotou-se a condição de contorno livre-livre para a extração das FRFs, obtidas a partir da razão entre o sinal de aceleração medido e o impulso aplicado em dois pontos distintos da viga. A faixa de frequência analisada foi de 1600 Hz, com discretização em 3200 divisões espectrais. Foram definidos dois pontos de medição, distribuídos nas metades anterior e posterior ao dano localizado no centro da viga, sendo um centrado e outro deslocado, de modo a incluir os modos de torção. O ponto de excitação foi posicionado no canto superior direito da viga, e cada condição de excitação foi submetido a três impactos.

### RESULTADOS

Com as FRFs determinadas, procedeu-se para o cálculo do índice de dano ( $DI_{GAP}$ ). Por ser uma análise vibracional, os parâmetros geométricos exercem influência direta sobre o comportamento dinâmico das vigas, alterando tanto as frequências naturais quanto as amplitudes das FRFs de cada corpo de prova. Observou-se que a presença de danos resultou em alterações nos modos vibracionais das estruturas, apresentando variações nos deslocamentos dos picos e das amplitudes, efeitos condizentes com a perda de rigidez estrutural. Os diferentes conjuntos de vigas, cada um contendo variações específicas de danos, mostraram respostas coerentes com as alterações impostas. Para a detecção e quantificação dos danos, foi

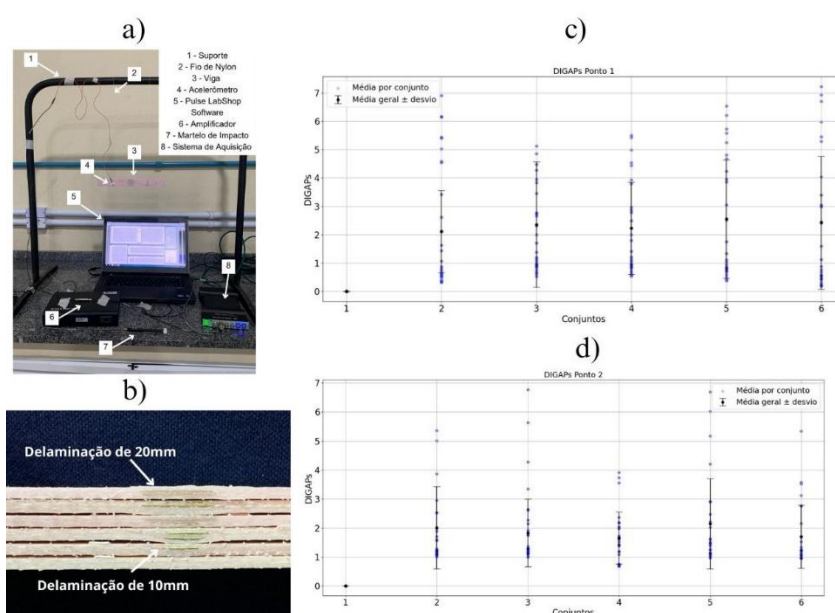
desenvolvido e implementado um código em *Phyton*, responsável por extrair os dados de magnitude e fase de cada viga intacta compará-los com aqueles das vigas danificadas, seguindo a metodologia proposta por De Medeiros et al. (2015). A partir dessa análise, foi gerado um gráfico que facilita a interpretação dos dados obtidos (Figura 1). Os resultados evidenciaram diferenças entre os dois pontos de medição. No ponto 1, observa-se uma tendência de aumento do valor do  $DI_{GAP}$  em função da severidade do dano, acompanhada por desvios-padrão mais elevados. Já no Ponto 2, verifica-se uma redução nos desvios entre os conjuntos, sugerindo maior consistência e estabilidade nas respostas.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

De modo geral, os resultados obtidos refletem as condições experimentais adotadas, considerando-se que foram produzidas e analisadas diversas vigas com variações geométricas entre si, resultantes do processo de fabricação, além da presença de ruídos e interferências nos sinais das FRFs, intrínsecos da metodologia e dos sensores utilizados. Contudo o objetivo principal deste projeto consistiu em iniciar a formação de um banco de dados experimentais voltado à análise de danos estruturais, com enfoque nos conceitos aplicados ao Monitoramento da Integridade Estrutural (SHM), abrangendo as etapas de detecção, localização e quantificação de danos. A metodologia proposta demonstrou-se eficaz na identificação da presença de delaminações por meio do índice de dano em diferentes configurações. Contudo, a análise estatística das métricas revelou ausência de variações nos valores dos índices em função das diferentes morfologias de delaminação. Dessa forma, os resultados indicam que a abordagem é adequada para a detecção da ocorrência de danos estruturais, porém ainda não permite inferir com precisão sua localização ou severidade.

**Palavras-chave:** Materiais Compósitos, SHM, índices de danos, Funções de Resposta em Frequência.

### ILUSTRAÇÕES



**Figura 1.** a) *Set-up Experimental*; b) *Delaminações impostas nas vigas*; c) *Resultados  $DI_{GAP}$  Ponto 1*; d) *Resultados  $DI_{GAP}$  Ponto 2*.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ARAÚJO DOS SANTOS, J. V. et al. Structural damage identification in laminated structures using FRF data. *Composite Structures*, v. 67, n. 2, p. 239–249, 5 nov. 2004.

DE MEDEIROS, R. et al. A New Methodology for Structural Health Monitoring Applications. *Procedia Engineering*, v. 114, p. 54–61, 19 ago. 2015.

DE MEDEIROS, R. et al. A new approach for SHM system: Combination of vibration-based method and shearography speckle. In *5th International Symposium on Solid Mechanics (MecSol2015)*, Belo Horizonte, Brazil, 2015.

HASSANI, S.; MOUSAVI, M.; GANDOMI, A. H. Structural Health Monitoring in Composite Structures: A Comprehensive Review. *Sensors*, v. 22, n. 1, p. 153, 27 dez. 2021.

HASSANI, S.; MOUSAVI, M.; GANDOMI, A. H. Damage detection of composite laminate structures using VMD of FRF contaminated by high percentage of noise. *Composite Structures*, v. 286, p. 115243, abr. 2022.

---

**DADOS CADASTRAIS**

---

**BOLSISTA:** Clara Butzke de Barba

**MODALIDADE DE BOLSA:** PABIC - Programa ABCM de Bolsas de Iniciação Científica

**VIGÊNCIA:** 05/2024 a 04/2025 – Total: 12 meses

**ORIENTADOR(A):** Prof. Assoc. Ricardo De Medeiros

**CENTRO DE ENSINO:** CCT

**DEPARTAMENTO:** Departamento de Engenharia Mecânica

**ÁREAS DE CONHECIMENTO:** Engenharia Mecânica / Mecânica dos Sólidos

**TÍTULO DO PROJETO DE PESQUISA:** Modelagem Computacional e Experimental de Estruturas de Material Compósito.

**Nº PROTOCOLO DO PROJETO DE PESQUISA:** NPP3924-2022