

## METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE ESTRUTURAS DE MATERIAL COMPÓSITO<sup>1</sup>

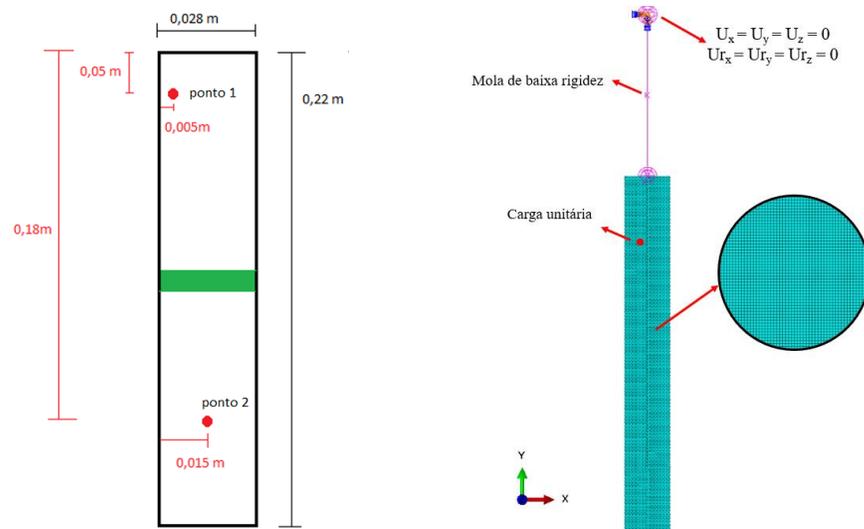
Rafael Yukio Kono Shimomura<sup>2</sup>, Ricardo de Medeiros<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Vinculado ao projeto “Contribuição ao estudo do monitoramento da integridade estrutural de estruturas em material compósito”

<sup>2</sup> Acadêmico do Curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica – CCT – Bolsista PROBITI/UDESC

<sup>3</sup> Orientador, Departamento de Engenharia Mecânica – ricardo.medeiros@udesc.br

A fabricação de estruturas em material compósito é um processo novo na indústria, o qual possui diversas incertezas quanto ao seu funcionamento, portanto é de extrema importância buscar formas de assegurar que o produto apresente os valores desejados. Para isso, o presente estudo utilizou a Função de Resposta em Frequência (FRF) com a finalidade de identificar a falha em estruturas de material compósito. Como objeto de estudo produziram-se vigas constituídas de 12 lâminas de fibra de vidro orientadas [0]<sub>12</sub> com resina epóxi, considerando 4 casos diferentes: intacta, dano 1, dano 2 e dano 3. Essas falhas ocorrem na região central da viga entre as camadas 6 e 7 com extensões de 5 mm, 10 mm e 19,5 mm, as quais foram representadas pela adição de uma camada de Teflon durante o processo de fabricação pelo método *hand-lay-up*.



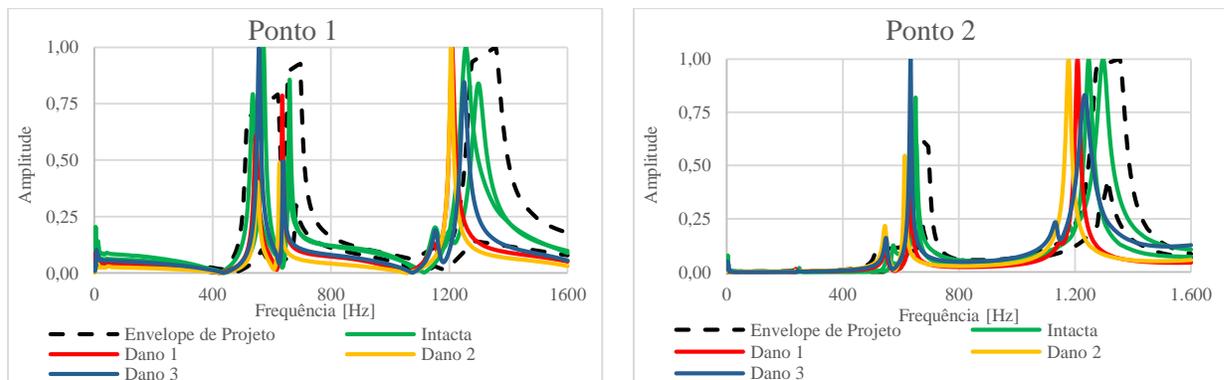
**Figura 1.** Modelo computacional.

O modelo computacional utilizando o software Abaqus<sup>®</sup>, presente na Figura 1, é composto de duas superfícies do tipo Shell, em que cada uma possui 24752 elementos quadriláteros de tamanho 0,5 mm e representa metade das lâminas. A estrutura foi dividida em duas superfícies como meio de representar a delaminação pela ausência de contato entre as partes na extensão do defeito. Para as condições de contorno, por se tratar de uma viga livre-livre, a restrição, foi simbolizada pela adição um elemento de mola com baixa rigidez, o qual possui uma das extremidade engastada e a outra fixa na viga, enquanto que para a carga, aplicou-se uma força unitária no ponto 1, e com

isso, adquiriram-se as FRFs para os pontos 1 e 2 em um intervalo de 0-1600 Hz. Como propriedades do material, utilizou-se  $E1 = 20,00$  GPa;  $E2 = 7,38$  GPa;  $\nu_{12} = 0,18$ ;  $G_{12} = 1,7$  GPa;  $G_{1Z} = 1,2$  GPa;  $G_{2Z} = 1,2$  GPa;  $\rho = 1260,00$  kg/m<sup>3</sup>.

A partir disso, com auxílio da ferramenta MacroScript do software, traduziram-se as funções utilizadas na modelagem do problema para linguagem Python, e incorporou-se esse código a outro previamente escrito destinado a aplicação do método de simulação Hipercubo Latino de forma a obter o envelope de projeto. Esse método funciona através do fornecimento de limites inferiores e superiores para os parâmetros escolhidos de forma que o programa divide os intervalos de acordo com a função *maxmin*, com a restrição de que não sejam escolhidos valores iguais em iterações diferentes e consequentemente, abrangendo um grande conjunto de combinações. As variáveis adicionadas ao código foram as propriedades do material, as dimensões da estrutura e a orientação do empilhamento, uma vez que o método de produção é manual, possibilita erros tanto de alinhamento entre as camadas quanto da geometria final da viga.

Os intervalos de análise foram determinados através de um estudo de variação com trabalhos da literatura, para os dados que possuíam valores significativos de desvio padrão considerou-se este como limite, enquanto que para aqueles que eram iguais, aplicou-se uma correção de 5% no valor de base. Em seguida, calculou-se a média aritmética das frequências dos modos de vibração, em que a menor representa os mínimos e a maior os máximos. Por conta de os valores de amplitude apresentarem uma grande divergência, em relação à ordem de grandeza, entre os resultados experimentais e computacionais, e uma vez que o principal foco da análise são as frequências em que ocorrem os modos, aplicou-se uma normalização pelo máximo para comparar as FRFs no envelope de projeto. A Figura 2 apresenta os envelopes de projeto para os acelerômetros 1 e 2. Observa-se que os resultados experimentais referentes aos casos de viga intacta estão dentro dos limites, em contrapartida, para as vigas danificadas os valores extrapolam os limites de projeto. Com isso, valida-se uma nova metodologia para analisar a fabricação de estruturas em material compósito.



**Figura 2.** Envelope de projeto

De modo geral, pode-se concluir que apenas o uso do intervalo de frequência natural não é suficiente para estimar defeitos no processo de fabricação, sendo necessário a metodologia adotada através do envelope de projeto. Portanto, a estratégia apresentada pode ser útil no estudo de sistemas de avaliação da qualidade de fabricação de estruturas de material compósito e na detecção de danos que utilizam a análise dinâmica como parte de seu processo.

**Palavras-chave:** Envelope de projeto. Material compósito. Análise dinâmica computacional.