

Análise Numérica de Metodologia de Danos Aplicado a Material Compósito Laminado Reforçado com Fibras

Cristhian Machado de Souza¹, cristhianmachado.souza@gmail.com

Túlio Henrique Leão², tuliohleao@gmail.com

Adriana Amaro Diacenco³, adriana_aadiacenco@yahoo.com.br

Centro Universitário de Itajubá – FEPI, Rua Alfredo Ayres de Oliveira, 64 Bahamas, Itajubá – MG, 37505-412

Resumo: Este trabalho apresenta a formulação de metodologia voltada ao processo de detecção de danos. A análise do dano é realizada considerando dois estados, o estado inicial e um estado secundário, no qual considera-se a presença do dano. A modelagem do dano é realizada por meio de uma redução de rigidez realizada sobre o modelo numérico que representa o comportamento mecânico do material compósito laminado reforçado com fibras. Nesse sentido, o material é modelado pelo método dos elementos finitos utilizando a Teoria da Deformação Cisalhante de Primeira Ordem (FSDT). Para tanto, foram coletadas as frequências naturais dos dois estados, sendo possível formular uma metodologia de detecção de danos por meio das Redes Neurais Artificiais, apresentando um bom desempenho no processo de detecção.

Palavras-chave: materiais compósitos, danos, rede neural artificial, método de elementos finitos.

1. INTRODUÇÃO

Materiais compósitos são materiais constituídos por dois ou mais materiais com características distintas, esta combinação de fases permite que o novo material atinja propriedades específicas e/ou superiores aos materiais convencionais (metais, cerâmicas e polímeros) podendo assim, em muitos casos ser utilizados para resolver problemas complexos encontrados na engenharia. Os compósitos são classificados basicamente em três grupos: compósitos reforçados com partículas, reforçados com fibras e, compósitos estruturais. Em áreas de alta tecnologia, o material compósito estrutural do tipo laminado é o mais encontrado, formado por uma combinação de finas placas de material reforçado com fibras, este material pode obter, entre outras propriedades, um fator resistência/peso muito superior ao encontrado em outros materiais com aço e alumínio (FARIA, 2006; DIACENCO, 2010).

Em geral, materiais e estruturas estão sujeitas a perturbações estáticas e dinâmicas que afetam o seu comportamento mecânico. Nesse sentido, a utilização de metodologias computacionais capazes de prever e analisar o comportamento de um material após passar por essas perturbações e, sofrer alterações de seus parâmetros e/ou propriedades se torna indispensável em casos complexos da engenharia, pois, nesses casos na grande maioria das vezes não é viável financeiramente obter protótipos do produto final para realização de testes físicos (DIACENCO, 2016).

Com a combinação do Método de Elementos Finitos (MEF) e a Teoria de Deformação Cisalhante de Primeira Ordem (FSDT), é possível desenvolver diversas análises em relação ao material compósito. A teoria FSDT é uma das três teorias voltadas para a descrição de placas de materiais compósitos e apresenta em geral, resultados bastante satisfatórios quando utilizada para descrição da placas finas e moderadamente espessas.

Para a detecção de danos presentes na placa de material compósito, foi utilizada uma rede neural artificial. A rede neural artificial é formada por elementos conectados entre si, que captam os sinais de entrada, trocam informações na rede e apresentam na saída os parâmetros desejados, neste trabalho é utilizada para detecção de danos indicando coordenadas (x, y) de danos sofridos pela placa.

2. TEORIA DA DEFORMAÇÃO CISALHANTE DE PRIMEIRA ORDEM

Todos materiais possuem uma série de propriedades e características específicas, um exemplo é a frequência natural que é um conjunto de dados padronizados por frequências oscilatórias oriundas da vibração de cada material. A variação da frequência natural pode ser um indicativo de dano sofrido pelo mesmo (SOUZA et al.; 2017).

A Teoria FSDT foi utilizada para a implementação do método computacional, representa matricialmente uma placa de material compósito e, possui como característica 5 graus de liberdade, cada um deles representando um deslocamento ou deformação sofrido pela placa nos eixos x, y e z.

$$u(x, y, z, t) = u_0(x, y, t) + z\psi_x(x, y, t)$$

$$v(x, y, z, t) = v_0(x, y, t) + z\psi_y(x, y, t)$$

$$w(x, y, z, t) = w_0(x, y, t)$$

$$(1)$$

As equações (1) representam os deslocamentos de FSDT, onde ψ_x e ψ_y são as rotações em torno dos eixos x e y posteriormente. Através da equação (1) são utilizados termos diferenciais (2) para expressar o deslocamento mecânico da placa.

$$\epsilon_{xx} = \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \epsilon_{yy} = \frac{\partial v}{\partial y}, \quad \epsilon_{zz} = \frac{\partial w}{\partial z},$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}, \quad \gamma_{xz} = \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x}, \quad \gamma_{yz} = \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y}$$

$$(2)$$

Com as equações (1) e (2) são expressas matrizes de deslocamentos pelos graus de liberdade descrita na teoria, podendo assim analisar o comportamento global de uma placa de um compósito laminado.

$$D(Z) = D_0 + Z.D_1 \quad (3)$$

$$D_b = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 & 0 & z \cdot \left(\frac{\partial}{\partial x} \right) & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 & 0 & z \cdot \left(\frac{\partial}{\partial y} \right) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \left(\frac{\partial}{\partial y} \right) & \left(\frac{\partial}{\partial x} \right) & 0 & z \cdot \left(\frac{\partial}{\partial y} \right) & z \cdot \left(\frac{\partial}{\partial x} \right) \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

$$D_s = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial x} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

As matrizes oriundas da teoria FSDT (3.1) e (3.2) são combinadas ao método dos elementos finitos via software MatLab®. O elemento finito Serendipity que contém 8 pontos nodais foi utilizado como meio de validação do método desenvolvido devido aos vários estudos com base no mesmo disponíveis na literatura atual, aumentando assim a confiabilidade deste trabalho.

3. REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Redes neurais artificiais baseiam-se no comportamento do cérebro humano, adquirem informações, transmitem, processam e emitem respostas. Todo esse processo é baseado em treinamentos previamente realizados na mesma, onde parâmetros são estabelecidos para todas as suas etapas, ou seja, a rede passa por um processo de aprendizagem antes de entrar em operação até que atinja sua melhor configuração capaz de exercer a sua função pré-determinada da melhor forma possível (DIACENCO, 2016).

Pela modelagem da placa por elementos finitos foi possível obter as frequências naturais na placa de modo a ter um modelo direto. Foram realizadas reduções de rigidez em certos elementos, escolhidos arbitrariamente, de modo a obter as frequências naturais e, então formular o problema inverso, via Redes Neurais Artificiais. Para tanto, estas frequências naturais obtidas por meio das reduções de rigidez que foram realizadas são os dados de entradas da rede e, como dado de saída, tem-se a localização do dano.

A tabela 1 mostra os pontos nodais da placa que foram escolhidos arbitrariamente para estudo da placa e suas respectivas coordenadas x e y.

Tabela 1 – Coordenadas x e y dos pontos nodais selecionados para análise.

Ponto Nodal	Coordenada x do nó [m]	Coordenada y do nó [m]
1	0	0
16	0,075	0,0125
41	0,2	0,0125
44	0,025	0,0375
57	0,0875	0,05
61	0,15	0,0375
73	0	0,075
75	0,05	0,0625
84	0,125	0,0625
90	0,175	0,0625
109	0,0875	0,1
114	0,15	0,1
122	0,025	0,1125
143	0,175	0,125
156	0,075	0,1375
174	0,025	0,1625
186	0,1	0,175
191	0,15	0,1625
203	0	0,2
218	0,15	0,2

4. RESULTADOS

Como a redução de rigidez gera uma variação em todo conjunto de frequências naturais do modelo, foram estabelecidos como referência, para fins de detecção de danos, quatro conjuntos de frequências naturais (escolhidos em 4 pontos pré- estabelecidos, nos nós: 13; 38; 181 e 196), cada qual contendo cinco valores de frequências naturais, que são as respostas do modelo de elementos finitos quando se reduz a rigidez relacionada à região que contém os pontos nodais que foram escolhidos para compor a rede neural.

Para implementação e treinamento da rede neural artificial, foram utilizados os nós escolhidos e que tiveram sua frequência natural alterada para alimentar os dados de entrada da rede e, como saída o dado obtido foi a localização (coordenadas (0,05;0,0625)) do dano. Foi simulada uma redução de rigidez de 30% na placa, com esses dados foi possível realizar testes na rede neural encontrando como resultado a melhor composição de rede capaz de ser utilizada para detectar os danos em eventuais análises realizadas na placa.

As duas figuras abaixo Fig.1 e Fig.2, trazem duas configurações de rede obtidas, na primeira o teste da rede teve resultado insatisfatório devido a distância entre a posição do dano apresentado pela rede e a posição do dano simulado, na segunda se obteve a melhor resposta do sistema, as coordenadas do dano simulado e as coordenadas demonstradas pela rede foram bem próximas, atendendo uma condição aceitável de teste de rede, assim quaisquer reduções sofridas pela placa terão na rede uma boa resposta de análise de danos.

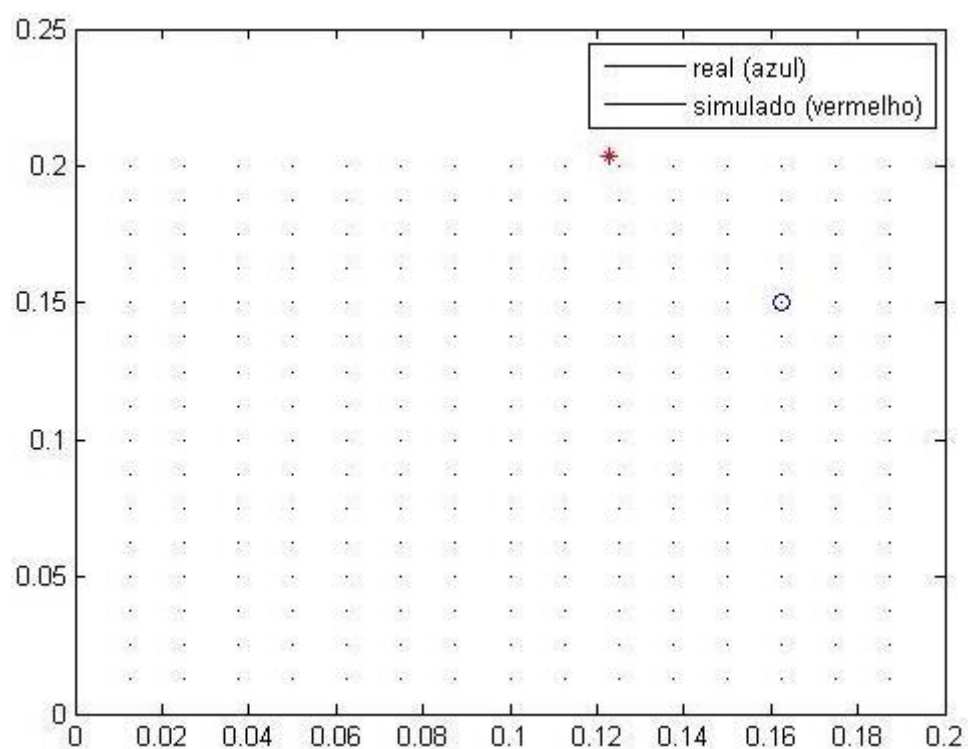


Figura 1 – resultado insatisfatório no treinamento da rede.

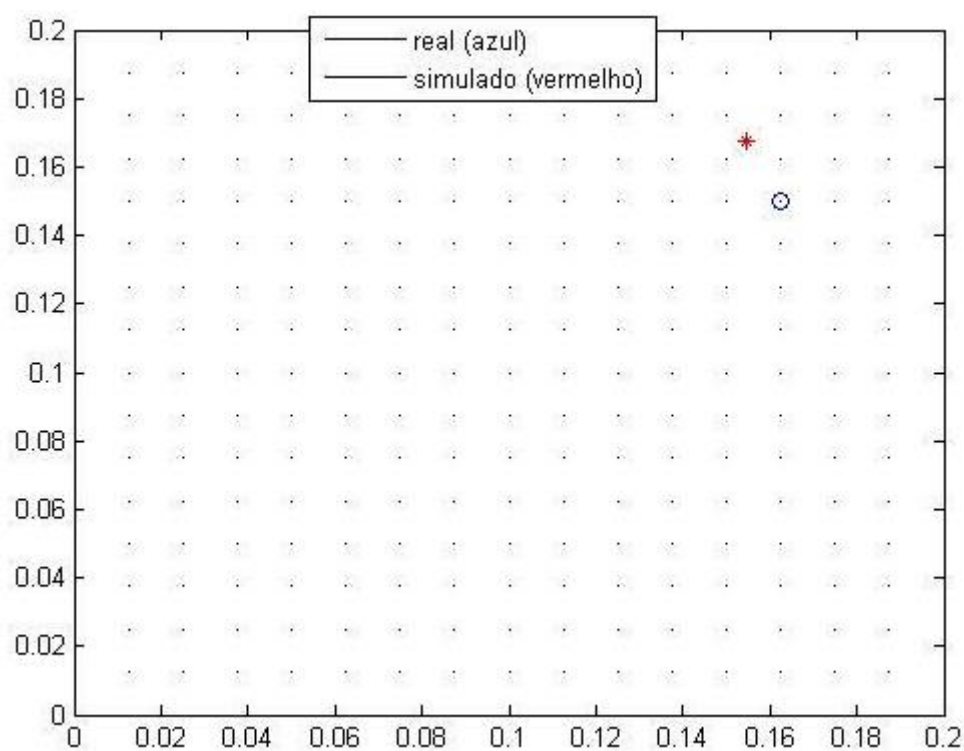


Figura 2 – resultado satisfatório no treinamento da rede.

5. REFERÊNCIAS

de LIMA, A.M.G.; DIACENCO, A.A.; CÔRREA, E.O. **Finite Element Modeling of Composite Sandwich Plates with Viscoelastic Layers**. In: 20th International Congress of Mechanical Engineering (COBEM), 2009, Gramado, RS.

DIACENCO, A.A. **Modelagem de otimização aplicada à topologia de sensores para identificação e localização de danos em placa compósita**. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Mecânica.) – Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Itajubá, 2016.

DIACENCO, A.A. **Modelagem por elementos finitos de materiais compósitos incorporando material viscoelástico para o controle passivo de vibrações e ruído**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Materiais para Engenharia) – Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Itajubá, 2010.

FARIA, A.W. **Modelagem por Elementos Finitos de Placas Compostas dotadas de Sensores e Atuadores Piezoelétricos: implementação computacional e avaliação numérica**. 2006. 152f. Dissertação (Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia.

SOUZA, C.M.; LEÃO, T.H.; DIACENCO, A.A. **Análise Numérica da capacidade de predição do comportamento de placa compósita a partir da Teoria de Deformação Cisalhante de Primeira Ordem**. In: 29th Congresso de Iniciação Científica do Inatel (INCITEL), 2017, Santa Rita do Sapucaí, MG.

6. RESPONSABILIDADE AUTORAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

Numerical Analysis of Damage Detection Methodology Applied to Fiber Reinforced Laminate Composite

Cristhian Machado de Souza¹, cristhianmachado.souza@gmail.com

Túlio Henrique Leão², tuliohleao@gmail.com

Adriana Amaro Diacenco³, adriana_aadiacenco@yahoo.com.br

Centro Universitário de Itajubá – FEPI, Rua Alfredo Ayres de Oliveira, 64 Bahamas, Itajubá – MG, 37505-412

Abstract. *This paper presents the formulation of a methodology focused on the damage detection process. The damage analysis is performed considering two states, the initial state and a secondary state, in which the presence of the damage is considered. Damage modeling is performed by means of a reduction of stiffness performed on the numerical model that represents the mechanical behavior of the fiber reinforced laminated composite material. In this sense, the material is modeled by the finite element method using the First Order Shear Deformation Theory (FSDT). In order to do so, the natural frequencies of the two states were collected, and it was possible to formulate a methodology to detect damages through Artificial Neural Networks, showing a good performance in the detection process.*

Keywords: *composite materials, damages, artificial neural network, finite element method.*