



## ANÁLISE NUMÉRICA DE PLACA DE MATERIAL COMPÓSITO DE APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA DE ENERGIA EÓLICA

**Guilherme Pacheco**

**Marcus Vinícius Girão de Moraes**

**Suzana Moreira Avila**

**Maura Angélica Milfont Shzu**

guilhermepacheco09@gmail.com

mumorais@gmail.com

avilas@unb.com

maurashzu@gmail.com

Universidade de Brasília – Faculdade de Engenharia Campus Gama (UnB/FGA)

Área Especial de Indústria Projeção A, 72.444-240, DF, Gama, Brasil

**Resumo.** *O trabalho apresenta um estudo sobre o comportamento mecânico de placas feitas em material compósito utilizado em pás eólicas para geração de energia limpa, renovável e abundante. Nos dias atuais, existe uma vasta ampliação da utilização de materiais compósitos aplicados à engenharia, os quais são muito conhecidos por sua excelente combinação de alta rigidez e baixo peso. Algumas características dos materiais compósitos, como a anisotropia, permitem que projetistas tenham em mãos um leque de opções relativas à geometria e características funcionais das peças, a fim de se obter o desempenho desejado. Este trabalho é conduzido analiticamente a partir da teoria clássica de laminados abordando uma perspectiva macromecânica do comportamento do material em questão. Propõe-se uma validação numérica do objeto de estudo, a fim de atestar a aplicação correta e criteriosa dos conhecimentos adquiridos na academia voltados para a área de laboratório e projetos. Por fim, uma comparação entre as análises analíticas e numéricas são feitas, bem como uma conclusão a respeito do comportamento mecânico das placas feitas em material compósito polimérico reforçado por fibra de carbono.*

**Palavras-chave:** *Materiais compósitos, Análise numérica, Método dos elementos finitos.*

## 1. INTRODUÇÃO

Os materiais compósitos são resultados da combinação de dois ou mais materiais (ou fases) para a obtenção de propriedades que conferem maior resistência, rigidez e baixo peso (Askeland et al, 2008). Geralmente, os materiais compósitos consistem em um material matriz e materiais de reforço. Definido por Callister (2008), compósitos podem ter três classificações: reforçados com partículas, reforçados com fibras e compósitos estruturais como mostram as “Fig. 1”. A fibra de carbono é um tipo de compósito laminado reforçado por fibra.

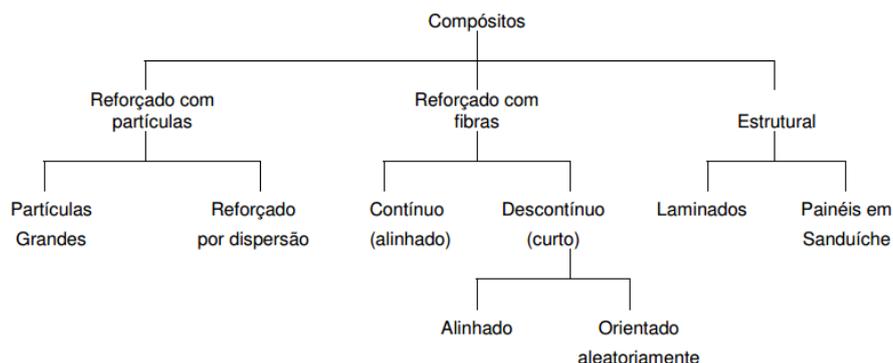


Figura 1. Classificação dos materiais compósitos (Callister, 2008)

O presente trabalho propõe uma análise analítica e numérica de placas de material compósito reforçado por fibras de carbono. As análises buscam compreender o comportamento físico de materiais compósitos quando submetidos a esforços uniaxiais. Este estudo se faz necessário uma vez que atualmente existe uma grande demanda da utilização de materiais compósitos em diversos setores da indústria. Esta demanda se da, em sua maioria, devido a excelente propriedade de rigidez estrutural atrela a baixo peso que um material compósito pode atingir, sendo estes materiais de extrema importância para a indústria naval, aeroespacial, automotiva, e outras diversas áreas.

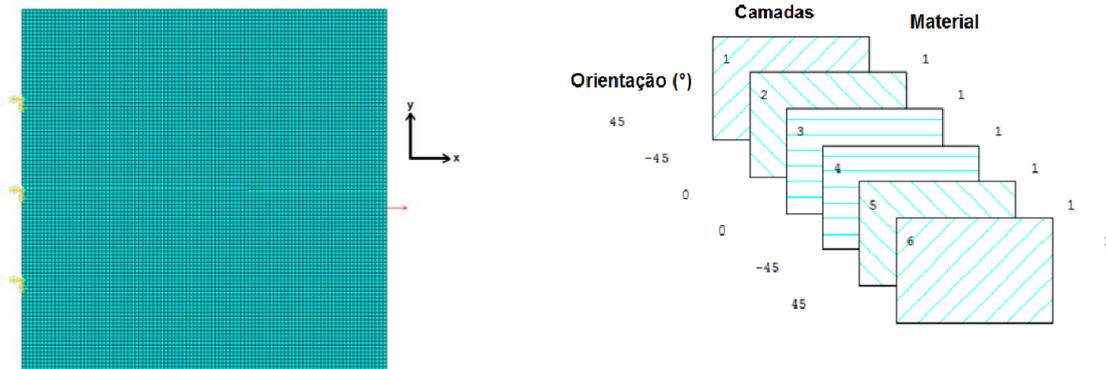
## 2. METODOLOGIA

Com o intuito de validar a correta aplicação dos conhecimentos acerca dos materiais compósitos, conduziu-se uma análise comparativa dos resultados obtidos nos procedimentos analítico, descrito pela teoria clássica de laminados a partir de uma perspectiva macromecânica, e computacional, numa abordagem estática para definir o comportamento físico de placas compostas por fibras de carbono quando submetidas a esforços uniaxiais no plano. O pacote de elementos finitos utilizado foi o ANSYS®.

Para o presente estudo, foi considerado como objeto de análise, uma placa quadrada de fibra de carbono AS4D/9310 de dimensão 1 m por 1 m, com as propriedades descritas na “Tabela 1”. Para a análise estática, considerou-se a placa engastada em uma de suas arestas e um carregamento uniaxial de 100KN aplicado na aresta oposta ao engaste, na direção x, como mostrado pela “Fig. 2a”. Por ser um material anisotrópico, as propriedades da fibra de carbono dependem da direção considerada. No presente estudo, as o laminado possui 6 camadas com fibras unidirecionais que possuem inclinação de 45° e 0°, conforme a “Fig 2b”.

**Tabela 1. Propriedades mecânicas da fibra de carbono AS4D/9310.**

Módulo de Elasticidade (GPa)	Coefficiente de Poisson	Módulo de Rigidez (GPa)
133.86	0.301	4.30
7.70	0.301	4.30
7.70	0.396	2.76

**Figura 2. Placa de Compósito. a) Condições de contorno; b) Seis camadas do laminado.**

A discretização contou com 10.000 elementos (cada elemento medindo 10 mm) do tipo SHELL 181, o qual é adequado para estruturas laminadas (BARBERO 2013). Este é um elemento de casca linear de 4 nós possuindo 6 graus de liberdade por nó. A modelagem foi realizada informando propriedades anisotrópicas do material, desta maneira, o software é capaz de calcular a matriz constitutiva do laminado, sendo esta responsável pelo comportamento físico da placa.

Para efeito de análise, os mesmos cálculos foram feitos analiticamente, a fim de se obter resultados similares aos resultados obtidos numericamente. Desta maneira foi realizado o cálculo da matriz constitutiva do material e então os cálculos referentes às deformações relativas do material. A “Eq. 1” e “Eq. 2” demonstram a formulação matemática da matriz constitutiva do material compósito reforçado por fibras de carbono.

$$\begin{bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \\ M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{16} & B_{11} & B_{12} & B_{16} \\ A_{12} & A_{22} & A_{26} & B_{12} & B_{22} & B_{26} \\ A_{16} & A_{26} & A_{66} & B_{16} & B_{26} & B_{66} \\ B_{11} & B_{12} & B_{16} & D_{11} & D_{12} & D_{16} \\ B_{12} & B_{22} & B_{26} & D_{12} & D_{22} & D_{26} \\ B_{16} & B_{26} & B_{66} & D_{16} & D_{26} & D_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \epsilon_x^0 \\ \epsilon_y^0 \\ \gamma_{xy}^0 \\ k_x \\ k_y \\ k_{xy} \end{bmatrix} \quad (1.1)$$

$$\begin{bmatrix} [N] \\ [M] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [A] & [B] \\ [B] & [D] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [\epsilon_0] \\ [k] \end{bmatrix} \quad (1.2)$$

onde,

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^N (\bar{Q}_{ij})_k t_k; \quad i, j = 1, 2, 6$$

$$B_{ij} = \sum_{k=1}^N (\bar{Q}_{ij})_k t_k \bar{z}_k; \quad i, j = 1, 2, 6$$

$$D_{ij} = \sum_{k=1}^N (\bar{Q}_{ij})_k \left( t_k \bar{z}_k^2 + \frac{t_k^3}{12} \right); \quad i, j = 1, 2, 6$$

$$[\epsilon_0] = \begin{bmatrix} \epsilon_x^0 \\ \epsilon_y^0 \\ \gamma_{xy}^0 \end{bmatrix} \quad [k] = \begin{bmatrix} k_x \\ k_y \\ k_{xy} \end{bmatrix}$$

A matriz  $A_{ij}$  reflete a rigidez à tração e à compressão do laminado. Já a matriz  $B_{ij}$  é a matriz de acoplamento entre a rigidez planar e a rigidez à torção.  $D_{ij}$  é a matriz que reflete a rigidez a flexão. O vetor  $\epsilon_0$  representa componentes de deformação no plano e o vetor  $[k]$  representa componentes de rotação de corpo rígido.

### 3. RESULTADOS

Para a realização dos cálculos analíticos, foi criado um código em MATLAB para obtenção da matriz constitutiva do material, matriz ABD e deformações relativas. Desta maneira foi possível inserir a matriz ABD ao software ANSYS. A partir das análises numéricas, foram observadas as deformações nos eixos x e y do laminado e então comparadas com os resultados obtidos analiticamente. A “ Fig. 4” representa os resultados numéricos do procedimento que informa ao ANSYS a matriz constitutiva ABD, obtida analiticamente.

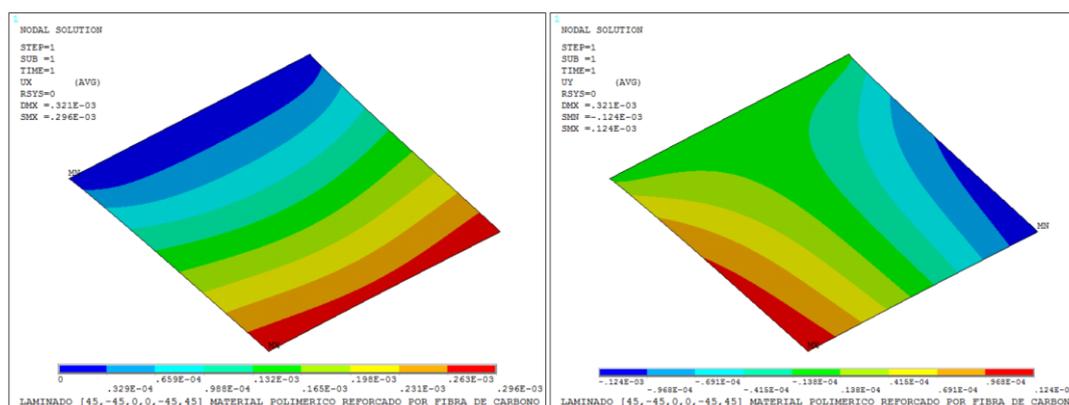


Figura 4. Resultados obtidos a partir da informação da matriz constitutiva ABD.

A “Tab. 2” compara os resultados analíticos com os resultados numéricos.

Tabela 2. Comparativo de resultados.

	Deformação $\epsilon_1 (x)$	Deformação $\epsilon_2 (y)$
<b>Analítico</b>	0,0003005	-0,00022478
<b>Numérico computacional</b>	0,000296	-0,000248
<b>Erro (%)</b>	1,52	9,36

## **4. CONCLUSÃO**

De acordo com o trabalho desenvolvido, é possível inferir que os resultados numéricos estão em concordância com a teoria, a partir dos resultados analíticos. Desta maneira, atesta-se a correta utilização da ferramenta computacional utilizada, uma vez que as placas de material compósito se comportaram como esperado durante as análises.

A pequena diferença dos resultados pode ser atribuída às hipóteses simplificadoras relativas aos cálculos analíticos, que desprezam as deformações de primeira ordem. Em contrapartida, os cálculos numéricos levam em consideração a precisão em modelagem de materiais compósitos regida pela teoria de primeira ordem de Mindlin – Reissner, de acordo com a descrição do elemento SHELL181.

## **5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Askeland, D. R, Phulé, P. P., 2008, *Ciência e Engenharia dos Materiais 1ª Ed.*, Cengage Learning Inc.

Barbero, E.J, 2013, *Finite Element Analysis of Composite Materials Using ANSYS® 2nd Ed.*, CRC Press, Boca Raton FL USA.

CALLISTER Jr. 2008, W.D., *Ciência e Engenharia dos Materiais, uma Introdução*, 7. Ed., LTC, Rio de Janeiro.