



## FERRAMENTA COMPUTACIONAL DE ANÁLISE DE ESTRUTURAS EM MATERIAL COMPÓSITO

Caetano Butter Bez<sup>1</sup>, Ricardo de Medeiros<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Acadêmico(a) do Curso de Engenharia Mecânica – UDESC/CCT - bolsista PIBIC/CNPq

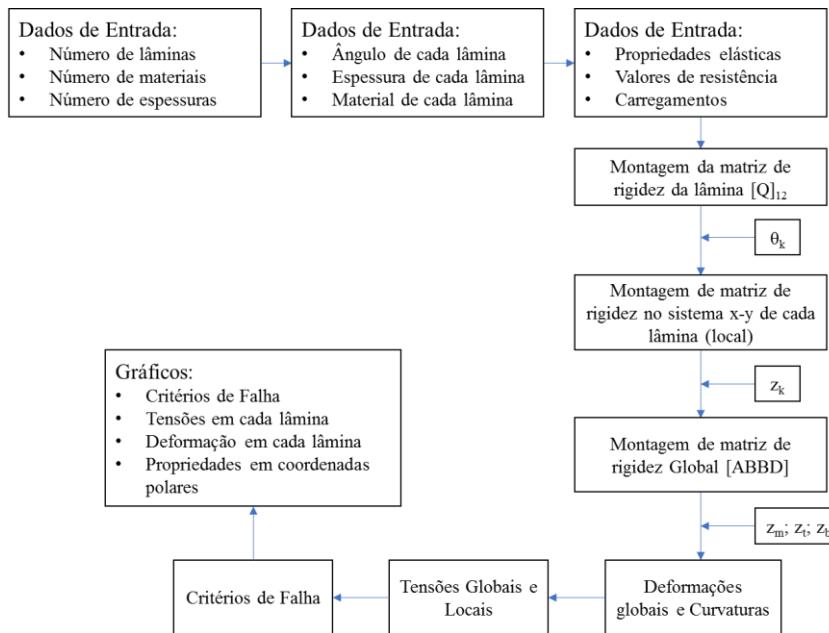
<sup>2</sup> Orientador, Departamento de Engenharia Mecânica – UDESC/CCT – Ricardo.Medeiros@udesc.br

Palavras-chave: Teoria Clássica dos Laminados, Materiais Compósitos, Critérios de Falha.

Os materiais compósitos são considerados materiais multifásicos que apresentam uma combinação de propriedades, o que representa também uma combinação de valores de resistência e rigidez, características estas atrativas para indústria aeronáutica e aeroespacial [1]. O correto projeto de tais estruturas é função do carregamento externo atuante. Diante disso, este trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de uma ferramenta computacional para a análise de tensão e deformação de materiais compósitos, com base na Teoria Clássica dos Laminados (TCL), além da verificação da ocorrência de falha em cada lâmina que constitui o laminado pela aplicação dos critérios de falha de Tsai-Hill e Tsai-Wu.

Inicialmente realizou-se uma revisão bibliográfica sobre a Teoria Clássica dos Laminados e critérios de falha em laminados, em que foi possível analisar os conceitos sobre a regra das misturas para determinação das propriedades de rigidez e resistência e os critérios de falha. Na etapa seguinte, realizou-se a estruturação do algoritmo (*cf. Fig. 1*), em que se optou por dividir em blocos, para isso escolheu-se por desenvolver no Scilab. Portanto, o primeiro bloco do código consiste em inserir a quantidade de lâminas, a quantidade de materiais e a variação de altura de cada lâmina. Definidos estes três parâmetros a próxima etapa consiste em inserir a orientação angular de cada lâmina em graus, a espessura de cada lâmina em milímetros e as propriedades de cada material utilizado. As propriedades implementadas são o Módulo de Elasticidade Longitudinal em X e Y, o Módulo de cisalhamento transversal no plano XY, Poisson no plano XY, a resistência a tração e compressão em X e Y e a resistência ao cisalhamento no plano XY.

Implementados os parâmetros presentes no primeiro bloco, foi possível realizar o segundo bloco. Neste ocorre a montagem das matrizes de rigidez local e global, que dependem das propriedades de cada lâmina. Primeiro é realizada a montagem da matriz de rigidez local, que se caracteriza por ser  $3 \times 3$  e ser independente da orientação de cada lâmina. Com a matriz local montada, o próximo passo é a montagem da matriz de rigidez global, que apresenta mesma dimensão da matriz local, porém é dependente da orientação de cada lâmina, sendo necessário para sua montagem a utilização de uma matriz de transformação de coordenadas. Realizada a montagem das matrizes de rigidez a etapa seguinte é a construção da matriz ABBD, onde a matriz A representa a resistência à tração e compressão, a B o acoplamento entre a rigidez no plano e a rigidez à flexão e D a rigidez à flexão ou à torção. A última etapa do bloco é determinada os vetores de deformação e tensões local e global em cada plano da lâmina. A seguir, analisa-se a ocorrência de falha em cada lâmina. Os critérios de falha utilizados são os da Máxima Tensão, Tsai-Hill e Tsai-Wu. Por serem representados através de funções, os critérios de Tsai-Hill e Tsai-Wu são analisados em gráficos (*cf. figura 2*). Além dos critérios de falha, a distribuição de tensão no laminado e a variação das propriedades com a orientação angular também são representadas através de gráficos.



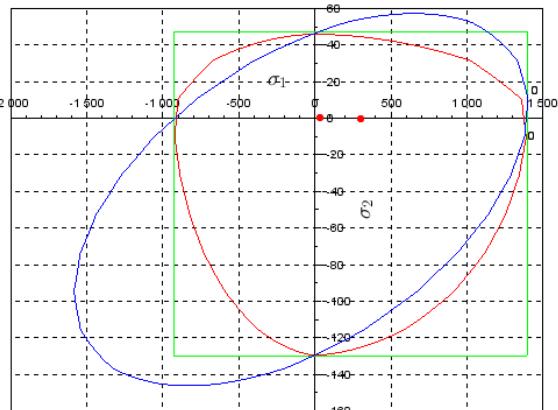
**Fig. 1** Fluxograma do trabalho desenvolvido

Para a validação da ferramenta foram comparados os dados calculados, com os apresentados por Nettles [2], considerando o laminado com orientação  $[0^\circ, +45^\circ]_s$  e propriedades  $E_{11} = 137,96413 \text{ GPa}$ ,  $E_{22} = 8,97008 \text{ GPa}$ ,  $G_{12} = 6,90165 \text{ GPa}$ ,  $v_{12} = 0,30$  e  $N_x = 89,79224 \text{ N/mm}$ . Os resultados obtidos apresentaram erros próximo a zero, com exceção de um valor de tensão em  $45^\circ$ , demonstrando as potencialidades da utilização da ferramenta desenvolvida.

Variável	Referência [2]	Presente Trabalho	Diferença Relativa [%]
$\varepsilon_x^0$	0,00221	0,00221	0,000
$\varepsilon_y^0$	-0,0007	-0,0007	0,000
$\gamma_{xy}^0$	-0,00115	-0,00115	0,000
$\sigma_x$ Local $0^\circ$	304,84	305,43	0,019
$\sigma_y$ Local $0^\circ$	-0,33	-0,34	3,000
$\tau_{xy}$ Local $0^\circ$	-7,94	-7,96	0,025
$\sigma_x$ Local $45^\circ$	40,62	40,61	0,002
$\sigma_y$ Local $45^\circ$	0,46	0,34	26,087
$\tau_{xy}$ Local $45^\circ$	8,05	7,96	0,110

**Tab. 1** Módulo volumétrico transversal

O desenvolvimento da ferramenta permitiu a análise de estruturas de materiais compósitos, pois não apenas avalia as tensões e deformação resultantes da aplicação de carregamentos externos, mas também avalia se ocorreu ou não a falha em cada lâmina, além das propriedades em cada direção. Diante disso, esta ferramenta apresenta potencial para ser utilizada no projeto preliminar de estruturas em material compósito.



**Fig. 2** Módulo volumétrico transversal

[1] V. Tita, **Projeto e Fabricação de Estruturas em Material Compósito Polimérico**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, Novembro de 2006.

[2] A. T. Nettles, **Basic Mechanics of Laminated Composite Plates**. NASA reference publication, 1994.