

DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES EFETIVAS PARA MATERIAIS COMPÓSITOS ESTRUTURAIS

José Luís Medeiros Thiesen¹, Lucas Wagner Crestani², Ricardo de Medeiros³

¹ Acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica - UDESC/CCT - bolsista PROBIC/UDESC

² Acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica - UDESC/CCT

³ Orientador, Departamento de Engenharia Mecânica - UDESC/CCT – Ricardo.Medeiros@udesc.br.

Palavras-chave: Propriedades efetivas. Volume Elementar Representativo, Material Compósito.

O estudo do comportamento mecânico, dos materiais e das estruturas em compósitos reforçados por fibras, vem crescendo em uma variedade de campos da engenharia, e isto deve-se ao fato de sua grande importância, principalmente, em termos das propriedades de resistência mecânica e baixa densidade. O presente estudo tem como objetivo determinar as propriedades efetivas destes materiais, através do método dos elementos finitos (MEF), utilizando o software comercial HyperWorks da Altair™. Ainda, avalia-se a variação destas propriedades de acordo com a fração volumétrica de fibra (FVF). Os resultados são comparados com os resultados obtidos na literatura.

Considerando a hipótese de um meio contínuo e periódico, no caso uma fibra embebida em uma matriz polimérica, utilizamos o conceito de Volume Elementar Representativo (VER), que consiste na menor porção do material que respeite a condição de representação das propriedades e as fases do material em que está inserido. Assim, a determinação das propriedades de um meio heterogêneo, calculando suas propriedades em cada parte homogênea, é reduzido através de uma homogeneização. Portanto, a Fig. 1 mostra o VER utilizado neste trabalho, considerando as fases matriz e fibra, e contato perfeito.

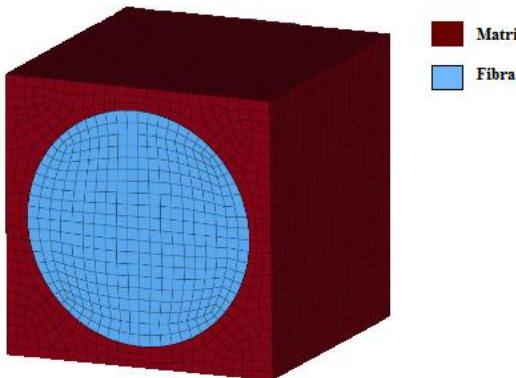


Fig. 1 Volume elementar representativo – arranjo quadrático

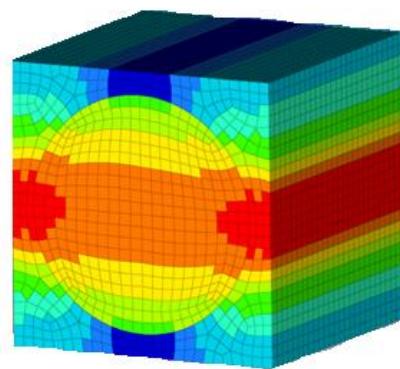


Fig. 2 Tensão σ_{11} obtida na primeira análise (c_{11} e c_{12}) para FVF = 55%

Para o cálculo dos coeficientes efetivos, foram feitas análises via MEF, através do pacote Hyperworks, utilizando condições de contorno adequadas. Considerando um material elástico linear, a relação entre suas tensões e deformações pode ser escrita,

$$\sigma = c \cdot \varepsilon, \quad (1)$$

onde σ , c e ε são a tensão, a rigidez e deformação da estrutura, respectivamente. Para o sólido transversalmente isotrópico, a matriz de rigidez possui 6 coeficientes independentes, e aplicando condições de periodicidade, através de 4 análises é possível determinar seus respectivos coeficientes. Assim, assumindo que as propriedades médias do material compósito são iguais as propriedades médias do VER, e tendo as seguintes relações de tensão e deformação no VER,

$$\bar{\sigma}_{ij} = \frac{1}{|V|} \int_V \sigma_{ij}^0 dV, \quad \bar{\varepsilon}_{ij} = \frac{1}{|V|} \int_V \varepsilon_{ij}^0 dV, \quad (2)$$

onde σ_{ij}^0 e ε_{ij}^0 são as tensões e deformações da célula unitária, e $|V|$ é o volume da mesma. Através da discretização em elementos finitos do VER (Fig. 1), podemos transformar estas integrais em um somatório discreto do produto das deformações/tensões de cada elemento, pelo volume de cada elemento. Ainda, podemos ressaltar que o volume da célula é unitário.

Na modelagem via MEF da célula unitária, foi utilizada uma malha 2D de elementos do tipo QUAD4, de quatro nós na face, de interpolação linear. Com isto, utilizou-se uma função do software Hypermesh que extruda a malha 2D em uma distância definida, formando elementos sólidos de 8 nós. Para os cálculos foi utilizada uma matriz com módulo de elasticidade 70 MPa, e coeficiente de poisson 0.3, e a fibra com 450 MPa e 0.17, respectivamente. O software Optistruct™ foi utilizado para resolver o problema e obter as tensões e deformações de cada elemento. Além disso, desenvolveu-se um script em linguagem TCL para obter cada volume dos elementos da célula. Como a quantidade de elementos na discretização foi elevada, um algoritmo em Scilab foi programado para calcular as propriedades efetivas em cada caso particular.

Na Tab. 1 e Fig. 2 pode-se observar a comparação dos resultados obtidos via ABAQUS™ e via Optistruct para os 6 coeficientes efetivos do material.

	%FVF	5%	20%	35%	55%
c₁₁/c_{11m}	<i>Presente trabalho</i> <i>Abaqus</i>	1,06760 1,05561	1,26923 1,26069	1,62156 1,54361	2,13732 2,11448
c₁₂/c_{12m}	<i>Presente trabalho</i> <i>Abaqus</i>	1,04309 1,04048	1,16642 1,15645	1,26597 1,25993	1,43239 1,39577
c₁₃/c_{13m}	<i>Presente trabalho</i> <i>Abaqus</i>	1,01931 1,02229	1,10079 1,10014	1,20653 1,20013	1,39499 1,39235
c₃₃/c_{33m}	<i>Presente trabalho</i> <i>Abaqus</i>	1,20768 1,20099	1,82107 1,80520	2,55014 2,41191	3,25905 3,22746
c₄₄/c_{44m}	<i>Presente trabalho</i> <i>Abaqus</i>	1,09212 1,07837	1,35460 1,35550	1,80997 1,72007	2,44252 2,45841
c₆₆/c_{66m}	<i>Presente trabalho</i> <i>Abaqus</i>	1,07540 1,06247	1,26597 1,26192	1,60624 1,50411	2,02786 2,00529

Tab. 1 Comparação dos resultados via ABAQUS e Optistruct

A metodologia foi avaliada ao se comparar os resultados obtidos, com resultados presentes na literatura. Em geral, verificou-se que os resultados numéricos apresentados neste trabalho são muito semelhantes aos resultados relatados na literatura. Portanto, a abordagem numérica



proposta para determinar os coeficientes efetivos para compósitos é relativamente eficiente. Todavia, os resultados podem ser ainda melhorados em função de um estudo mais aprofundado da imposição das condições de contorno.