

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE COMPÓSITOS REFORÇADOS COM FIBRAS NATURAIS

João Alberto Günther Neto², Gustavo Zucco², Ricardo de Medeiros³

¹ Vinculado ao projeto “Modelagem computacional e experimental de estruturas de material compósito”

² Acadêmico do Curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica – CCT – Bolsista PIBIC/CNPq

³ Orientador, Departamento de Engenharia Mecânica – CCT – ricardo.medeiros@udesc.br

Materiais compósitos são a combinação de dois ou mais materiais, formando um novo material com propriedades que não seriam possíveis separadamente. Materiais compósitos de resina reforçada com fibras são largamente utilizados na indústria aeroespacial e naval por conta da sua alta razão entre resistência e peso. Neste contexto, estruturas sanduíche são formadas por duas faces de materiais compósitos com alta resistência mecânica separadas por um núcleo de baixa densidade. Assim, formando uma estrutura com alta rigidez e baixo peso.

Diante do movimento global em busca de materiais mais sustentáveis, este trabalho investiga alternativas para aplicações estruturais. Para isso, será realizado uma análise de estruturas sanduíche submetidas a ensaios de flexão, utilizando faces de fibras naturais: juta, linho e algodão, em comparação com materiais amplamente utilizados na indústria, como fibras de carbono e de vidro. A análise considerará o momento fletor aplicado, a tensão normal, a massa da viga e o custo das fibras.

A manufatura dos corpos de prova foi realizada através do processo de laminação pelo método de Moldagem por Transferência de Resina Assistida por Vácuo (VARTM). Nesse processo, a fibra impregnada com resina é aplicada em um molde de vidro, seguida por uma placa de PVC expandido e, por fim, mais uma camada de fibra impregnada com resina. Uma camada de *peel ply* e *flow media* é utilizada na parte externa da estrutura sanduíche para melhorar o acabamento das faces e facilitar o escoamento da resina. O sistema é então selado com uma bolsa de plástico posicionada sobre a placa de vidro. A bomba de vácuo aplica uma pressão de aproximadamente 600 mmHg, mantendo essa condição por 6 horas. Após um período de 24 a 48 horas, o processo de cura é concluído.

Quatro corpos de prova de cada fibra foram cortados e ensaiados conforme as normas ASTM D7249 e ASTM D7250. O ensaio de flexão em quatro pontos foi realizado utilizando a máquina universal de ensaios INSTRON EMIC 23-100. Os dados de deslocamento e força foram exportados para análise (Figura 1).

Com os ensaios realizados, foi possível calcular as tensões aplicadas, seguindo a metodologia descrita em [1]. Para isso, é necessário calcular a rigidez equivalente da seção da estrutura sanduíche, definida por

$$(EI)_{eq} = \frac{E_n bc^3}{12} + 2E_f \frac{bt^3}{12} + 2E_f bt \left(\frac{c+t}{2}\right)^2 \quad (1)$$

sendo E_n o módulo de elasticidade do núcleo [MPa], E_f o módulo de elasticidade das faces [MPa], b a largura do corpo de prova [mm], c a espessura do núcleo [mm] e t a espessura das faces [mm].

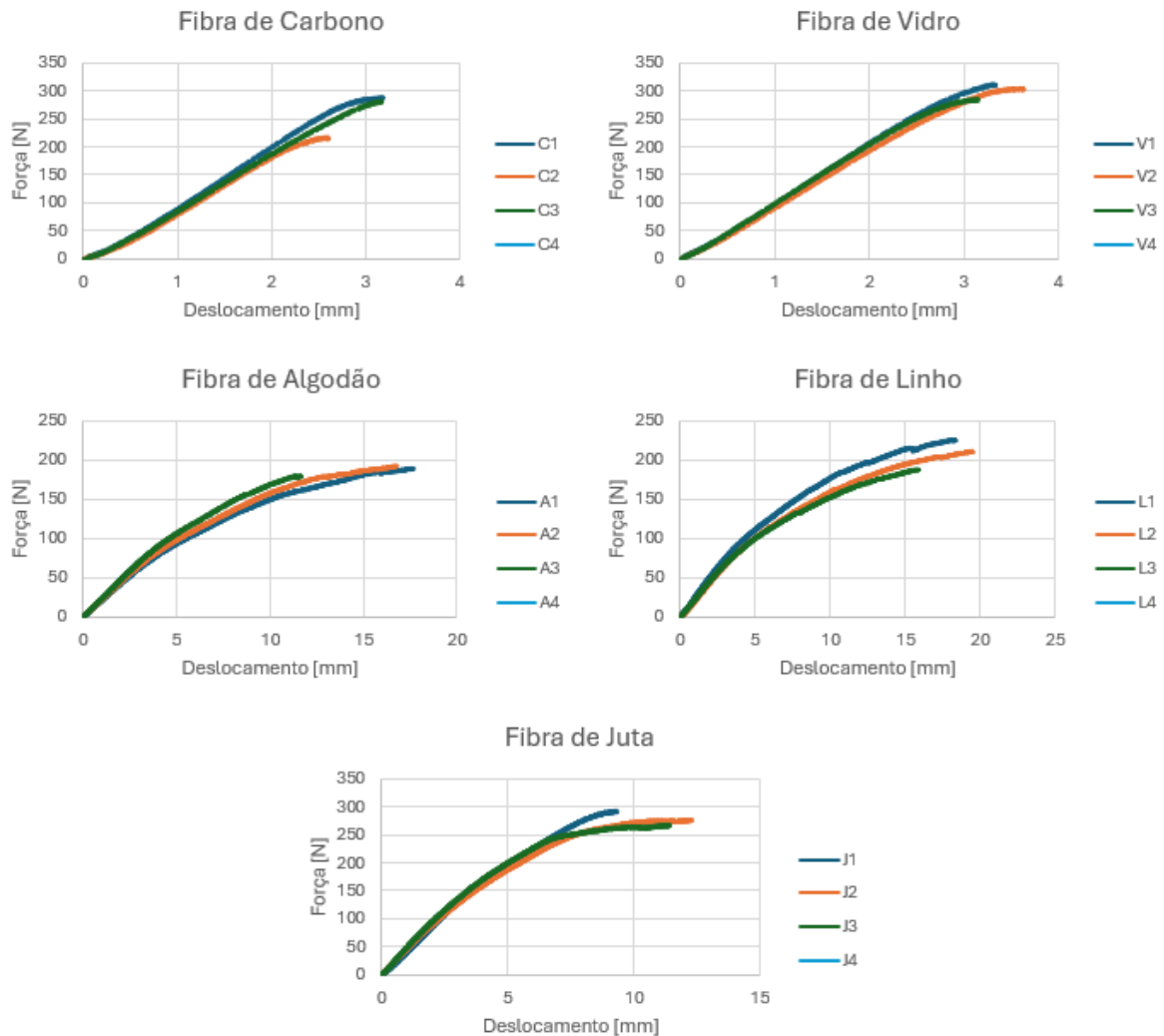


Figura 1. Gráfico de força por deslocamento dos corpos de prova ensaiados.

Dadas as condições:

- Faces com módulo de elasticidade muito maior que o núcleo;
- Núcleo com espessura muito maior que as faces.

A equação pode ser simplificada para:

$$(EI)_{eq} = 2E_f b t \left(\frac{c+t}{2}\right)^2 \quad (2)$$

Para o cálculo das tensões normais na estrutura foi utilizada a equação:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{E_f F_{m\acute{a}x} d (c + t/2)}{(EI)_{eq}} \quad (3)$$

onde $F_{m\acute{a}x}$ é a força máxima antes da falha [N], d a distância entre o apoio e local de aplicação da força.

Utilizando as Equações (2) e (3) em conjunto com os gráficos apresentados na Figura 1, foi possível calcular o módulo de elasticidade de cada fibra, bem como a tensão normal máxima aplicada. Vale destacar que o principal modo de falha observado nos corpos de prova com laminado de fibra de carbono foi a delaminação de uma das faces (Figura 2), o que não está em conformidade com as diretrizes da norma. Esse tipo de falha, caracterizado pela baixa rigidez do núcleo, sugere que a fibra poderia suportar tensões ainda maiores antes de falhar.



Figura 2. Detalhe da delaminação na fibra de carbono.

Além disso, o momento fletor na seção entre os pontos de aplicação da força é constante e foi determinado a partir de um diagrama de corpo livre, baseado nas condições do ensaio. A massa de cada corpo de prova foi medida em balança de precisão, enquanto o preço comercial de cada tipo de fibra foi obtido junto aos respectivos fornecedores. Os resultados desses cálculos estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Propriedades de resistência, rigidez, massa e preço dos CDPs

Fibra	Momento fletor [Nm]	E_f [MPa]	$\sigma_{m\acute{a}x}$ [MPa]	Massa [g]	Preço [$\frac{R\$}{m^2}$]
Carbono	6,79±0,27	11757,05±430,2	69,43±5,3	9±1	569,42
Vidro	7,04±0,32	12337,22±1609,1	71,77±5,8	10±1	37,07
Algodão	4,47±0,13	1380,50±178,2	26,97±3,0	12±1	9,54
Linho	4,84±0,44	1984,29±107,6	40,31±3,8	11±1	26,63
Juta	6,67±0,27	1487,63±67,6	22,16±1,0	14±1	12,88

Diante dos resultados, é possível verificar propriedades superiores para as fibras sintéticas, utilizados na indústria em termos de resistência a tensões normais. Contudo, devido à maior espessura de suas faces, as vigas fabricadas com fibra de juta apresentaram um momento fletor no ponto de falha muito próximo ao das fibras de carbono e vidro, demonstrando ser uma alternativa viável para aplicações estruturais onde a baixa massa não é o principal requisito. Além disso, como a rigidez equivalente aumenta quadraticamente em função da distância entre o centroide da seção

e o centroide das faces, outras fibras naturais poderiam alcançar resultados melhores, sem um aumento expressivo de peso, se fosse utilizado um núcleo de espessura maior.

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que, embora os materiais compósitos fabricados de fibras sintéticas, como as fibras de carbono e vidro, exibam superioridade em termos de resistência a tensões normais, as fibras naturais, como a juta, apresentam um desempenho competitivo, devida sua maior espessura, em certas condições estruturais. Isso indica que, em aplicações onde a redução de peso não é o fator determinante, as fibras naturais podem ser consideradas alternativas viáveis e mais sustentáveis. Além disso, o estudo sugere que o desempenho das fibras naturais poderia ser otimizado com ajustes na espessura do núcleo, o que aumentaria a rigidez equivalente da estrutura sem um aumento significativo de peso. Essas conclusões reforçam a importância de continuar explorando materiais alternativos e sustentáveis para aplicações estruturais, especialmente devido as crescentes demandas por soluções mais ecológicas na engenharia e na indústria.

Palavras-chave: Compósito, Fibras naturais, Estruturas sanduíche, Teste Experimental.

[1] GIBSON, Lorna. **Notas de Aula da Disciplina de Cellular Solids: Structure, Properties and Applications**. 2015. Instituto de Tecnologia de Massachusetts, Massachusetts, 2015.