



## **UTILIZAÇÃO DE FRP PARA REFORÇO DE VIGAS DE MADEIRA**

**Juliano Fiorelli (1); Antonio Alves Dias (2)**

(1) Aluno de mestrado Escola de Engenharia de São Carlos EESC USP, e-mail: [fiorelli@sc.usp.br](mailto:fiorelli@sc.usp.br)

(2) Professor do Departamento de Engenharia de Estruturas SET EESC USP, e-mail: [dias@sc.usp.br](mailto:dias@sc.usp.br)

### **RESUMO**

Problemas relacionados a baixa eficiência de elementos estruturais, aumento da sobrecarga e degradação por envelhecimento vem motivando o desenvolvimento de novas técnicas de reforço e recuperação para estruturas. Recentemente, novos materiais vêm sendo estudados para desempenhar esta função. Entre os que estão apresentando bom desempenho estão as fibras reforçadas com polímeros (FRP), como por exemplo, fibras de vidro e fibras de carbono. Este trabalho apresenta resultados experimentais de vigas de madeira reforçadas com fibras de vidro. As vigas foram avaliadas por meio de ensaios de flexão de acordo com a norma ASTM D198/84 – Methods of Static Tests of Timbers in Structural Sizes. Pôde-se constatar um significativo aumento da resistência e da rigidez destes elementos estruturais.

### **Palavras chaves**

Madeira, reforço estrutural, fibra de vidro

## INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil constantemente se depara com problemas relacionados a baixa eficiência de elementos estruturais, aumento da sobrecarga e degradação por envelhecimento. Estas patologias vêm motivando o desenvolvimento de novas técnicas de reforço e recuperação para estruturas. Recentemente, novos materiais vêm sendo estudados para desempenhar esta função. Entre os que estão apresentando bom desempenho estão as fibras reforçadas com polímeros (FRP), como por exemplo fibras de vidro e fibras de carbono.

Segundo **Hull (1995)**, muitas composições de minerais tem sido utilizadas para produzir fibras. As fibras de vidro são produzidas a partir da sílica ( $\text{SiO}_2$ ), através da adição de óxido de cálcio, boro, sódio e alumínio. Dentre as vantagens para o uso de fibra de vidro em reforços de estruturas pode-se destacar: baixo custo (aproximadamente R\$5,00/m<sup>2</sup>), alta resistência ao impacto e à corrosão, além de ser um produto nacional. Como desvantagens um módulo de elasticidade ( $E \approx 70\text{GPa}$ ) inferior ao das fibras de carbono ( $E \approx 200\text{GPa}$ ).

Dentre os produtos derivados da fibra de vidro, os tecidos de fibras unidirecionais são os que estão sendo usados para reforço e recuperação de elementos estruturais. Dentre estes tecidos, os multi-axiais, formados pela superposição de fibras unidirecionais unidas por uma costura de fio poliéster, são os que apresentam melhores condições para manuseio, além de apresentar excelentes propriedades mecânicas, em comparação aos outros produtos. Este material pode ser obtido em qualquer comprimento, proporcionando a execução de reforço sem emendas, com contornos variados e até complexos. A figura 01 ilustra o tecido multi-axial.



**Figura 01:** Tecido multi-axial de fibra de vidro

Devido à alta tecnologia empregada na fabricação de tecidos multi-axiais, consegue-se alcançar teores de vidro maiores, com a mesma quantidade de fibras, reduzindo o peso final do laminado. A redução do peso conseguida com o uso de tecidos multi-axiais faz com que o custo do laminado seja menor. Além disso, ainda são alcançados níveis de produtividade maiores com a utilização de tecidos multi-axiais, baixando ainda mais o custo do laminado.

Vale ressaltar que o emprego do tecido de fibra de vidro para reforço de estruturas de madeira, deve ser feito em conjunto com algum tipo de adesivo, formando um compósito que consiste na combinação de dois materiais para produzir um produto que exceda as propriedades individuais de cada um. Em particular, as fibras reforçadas com polímeros (FRP), são formadas pela combinação das fibras a uma matriz. As fibras são responsáveis pela resistência do compósito, e a matriz é o produto que as une, sendo responsável pela transmissão dos esforços, (**Norris & Saadatmanesh, 1994**).

As fibras de carbono vem sendo utilizadas nas indústrias aeroespaciais, automotivas e de equipamentos esportivos nos últimos cinquenta anos, principalmente por apresentar alta resistência, baixo peso e facilidade em associar a outros materiais.

O polímero reforçado com fibras de carbono, ou mais especificamente carbon fiber reinforced polymers (CFRP), é o material que vêm sendo utilizado como alternativa para reforçar peças estruturais, mostrando-se altamente promissor no desempenho desta função, além de apresentar uma excelente resistência à corrosão [**Taylor et al., (1994) apud Beber et al., (1999)**].

As fibras de carbono são caracterizadas por uma combinação de baixo peso próprio, grande durabilidade, facilidade de assumir formas complexas, alta resistência e grande rigidez.

Muitas pesquisas vem sendo conduzidas no sentido de analisar as propriedades mecânicas destes materiais. No entanto, este trabalho apresentará um estudo mais detalhado referente a combinação de fibras vidro reforçadas com polímeros (GFRP) à madeira, para fins de promover o reforço de peças estruturais.

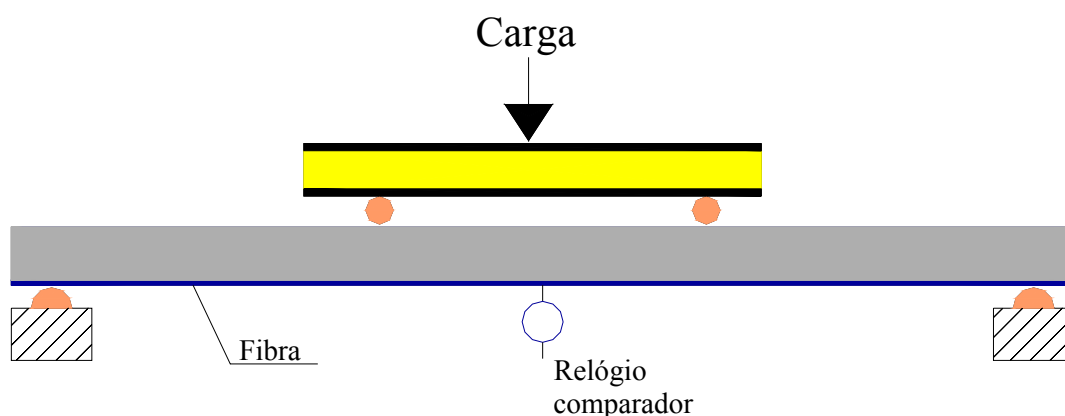
Para o uso em reforço de estruturas, as fibras devem ser laminadas com algum tipo de adesivo formando desta forma um compósito FRP (Fiber Reinforced Polymers). Entre os adesivos mais utilizados na laminação destes tecidos pode-se destacar as resinas poliéster, vinílicas e epoxídicas.

Segundo **Askeland (1996)**, os materiais compósitos são formados através da combinação de propriedades de resistência, rigidez, densidade, condutividade, resistência à corrosão entre outras. Os fabricantes das respectivas fibras estão constantemente melhorando as propriedades mecânicas de resistência e rigidez, impulsionando sua associação aos materiais da construção (**Jang, 1994**).

## MATERIAIS E MÉTODOS

O respectivo trabalho avaliou o aumento da capacidade de carga de vigas de madeira das espécies pinus e eucalipto reforçadas com fibra de vidro. As vigas foram avaliadas por meio de ensaios de flexão de acordo com a norma ASTM D198/84 – Methods of Static Tests of Timbers in Structural Sizes, da American Society for Testing Materials.

Os ensaios foram realizados em pares de corpos-de-prova, com o esquema estático de viga simplesmente apoiada, e aplicação de duas cargas iguais localizadas nos terços do vão, conforme mostra a figura 02. Este ensaio objetiva avaliar a resistência e a rigidez a flexão em peças estruturais de madeira.



**Figura 02:** Modelo do ensaio de flexão em vigas simplesmente apoiadas

O comportamento dos elementos estruturais, reforçados com fibras de vidro, foi avaliado ensaiando pares de corpos-de-prova. Cada par foi obtido da mesma peça de madeira. Foram ensaiados um total de quatro pares para cada espécie (*Pinus caribea* var. *hondurensis* e *Eucaliptus grandis*), variando-se o número de camadas de fibra de vidro. A seção transversal também foi alterada, ensaiou-se peças de madeira com seção (3x6 cm) e (3x12 cm).

Inicialmente ensaiou-se um par de vigas sem reforço. Os outros pares foram reforçados com duas, quatro e seis camadas de fibra de vidro. As fibras foram coladas com adesivo epóxi na face interna da peça, por ser esta a região solicitada por maior tensão. A figura 03 apresenta o modelo de vigas reforçadas.

Com a realização destes ensaios foi possível determinar o aumento da capacidade de carga das respectivas vigas reforçadas com fibra de vidro, o aumento no momento máximo resistido e também a diminuição da flecha na posição central da viga.

Também foram determinados valores de resistência e rigidez na compressão e tração paralela às fibras, seguindo os procedimentos estabelecidos na NBR 7190/97 – “Projetos de Estruturas de Madeira”, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (1997).

## RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados apresentados a seguir foram obtidos experimentalmente através do ensaio de flexão. As tabelas estão divididas por espécie e por seção transversal.

**Tabela 1:** Valores médios de resistência e módulo de elasticidade

Pinus caribea var. hondurensis			
Resistência		Módulo de elasticidade	
<b>fc0</b>	37MPa	<b>Ec0</b>	11593MPa
<b>ft0</b>	67MPa	<b>Et0</b>	10940MPa

**Tabela 2:** Valores de carga e momento fletor de ruptura

Vigas de pinus seção (3x6 cm)								
	Vigas sem reforço		2 camadas de fibra		4 camadas de fibra		6 camadas de fibras	
Carga ruptura (kN)	V1	8,30	V3	9,45	V5	10,45	V7	10,60
	V2	8,00	V4	9,50	V6	10,60	V8	11,00
Momento fletor de ruptura (kN.cm)	V1	138,33	V3	157,50	V5	174,16	V7	176,67
	V2	133,33	V4	158,33	V6	176,67	V8	183,33

**Tabela 3:** Valores de carga e momento fletor de ruptura

Vigas de pinus seção (3x12 cm)								
	Vigas sem reforço		2 camadas de fibra		4 camadas de fibra		6 camadas de fibras	
Carga ruptura (kN)	V1	27,00	V3	30,70	V5	30,00	V7	31,20
	V2	28,00	V4	30,00	V6	31,00	V8	32,00
Momento fletor de ruptura (kN.cm)	V1	450,00	V3	511,67	V5	500,00	V7	520,00
	V2	466,67	V4	500,00	V6	516,67	V8	533,33

Para as vigas de eucalipto foram determinados, também, valores de resistência e módulo de elasticidade a compressão e a tração paralela, conforme apresentado nas tabelas a seguir.

**Tabela 4:** Valores médios de resistência e módulo de elasticidade

Eucalyptus grandis			
Resistência		Módulo de elasticidade	
<b>fc0</b>	36MPa	<b>Ec0</b>	14292MPa
<b>ft0</b>	70MPa	<b>Et0</b>	19064MPa

**Tabela 5:** Valores de carga e momento fletor de ruptura

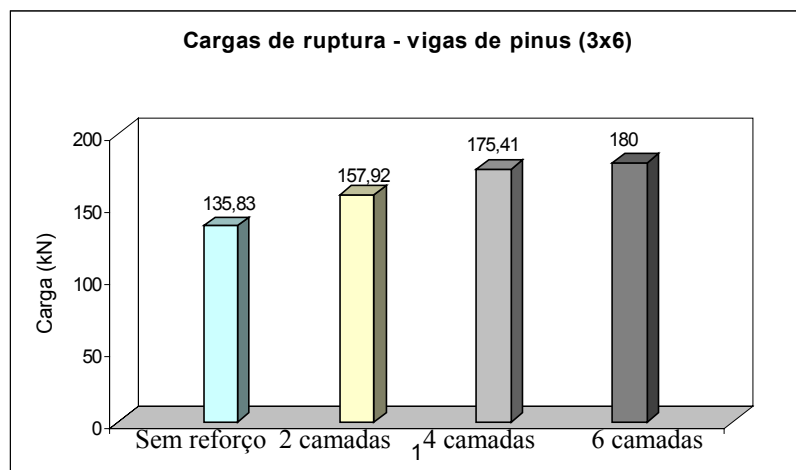
Vigas de eucalipto (3x6 cm)								
	Vigas sem reforço		2 camadas de fibra		4 camadas de fibra		6 camadas de fibras	
Carga ruptura (kN)	V1	7,10	V3	9,20	V5	11,40	V7	13,50
	V2	6,50	V4	9,80	V6	12,20	V8	11,60
Momento fletor de ruptura (kN.cm)	V1	118,33	V3	153,33	V5	190,00	V7	225,00
	V2	108,33	V4	163,33	V6	203,33	V8	193,33

**Tabela 6:** Valores de carga e momento fletor de ruptura

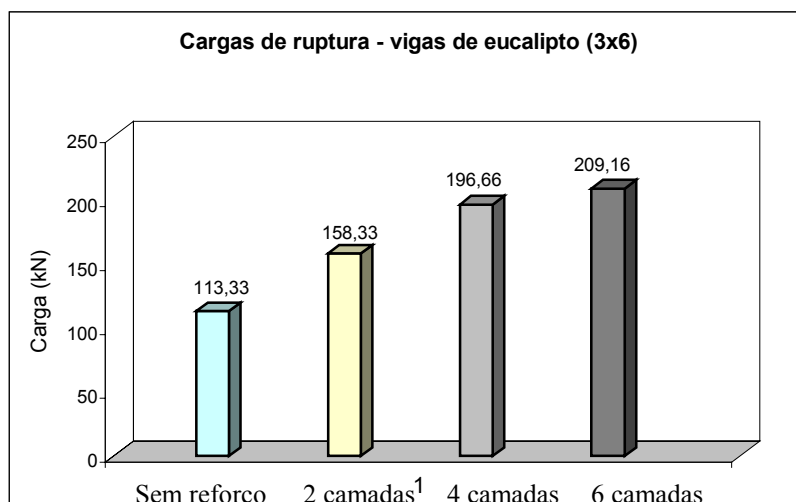
Vigas de eucalipto seção (3x12 cm)								
	Vigas sem reforço		2 camadas de fibra		4 camadas de fibra		6 camadas de fibras	
<b>Carga ruptura (kN)</b>	<b>V1</b>	25,40	<b>V3</b>	31,60	<b>V5</b>	40,80	<b>V7</b>	31,00
	<b>V2</b>	27,50	<b>V4</b>	29,00	<b>V6</b>	33,80	<b>V8</b>	32,00
<b>Momento fletor de ruptura (kN.cm)</b>	<b>V1</b>	423,33	<b>V3</b>	526,67	<b>V5</b>	680,00	<b>V7</b>	516,67
	<b>V2</b>	458,33	<b>V4</b>	483,33	<b>V6</b>	563,33	<b>V8</b>	533,33

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados apresentados anteriormente mostram o aumento da capacidade de carga e do momento máximo resistido pelas vigas reforçadas com fibras de vidro na região solicitada por maiores esforços de tração. Os gráficos a seguir comparam os valores médios do momento fletor de ruptura, para corpos-de-prova reforçados com duas, quatro e seis camadas de fibra.



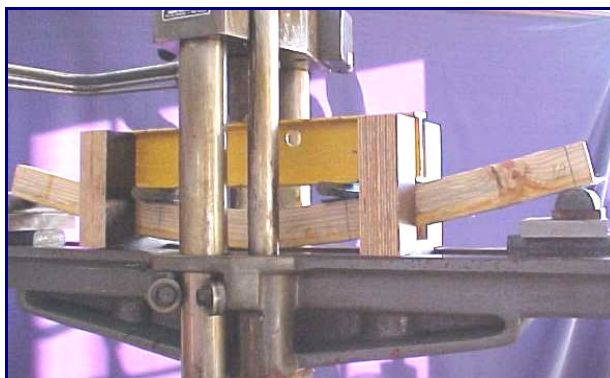
**Figura 04:** Momento fletor de ruptura médio - viga de pinus (3x6)



**Figura 05:** Momento fletor de ruptura médio - viga de eucalipto (3x6)

Observando os valores apresentados nos gráficos, para vigas de pinus com seção (3x6cm), ocorreu um aumento no momento fletor de ruptura de aproximadamente 35% para vigas reforçadas com 6 camadas de fibra de vidro. Para as vigas de eucalipto de mesma seção, o aumento do momento fletor foi ainda mais significativo, sendo da ordem de 90%.

Cabe dizer que o emprego do reforço impediu o aparecimento da forma de ruptura mais comum da madeira quando solicitada por esforços de flexão, que é a ruptura das fibras inferiores. As vigas de madeira, quando reforçadas com 4 e 6 camadas de fibra de vidro, apresentaram ruptura por compressão na fibras superiores. Este aspecto é importante, em termos de segurança estrutural, pois a ruptura da madeira por tração é frágil, enquanto que, no outro caso, o colapso se faz anunciar por maiores deformações. A figura 06 ilustra uma viga de pinus com flecha bastante acentuada e a não ocorrência de ruptura por tração.



**Figura 06:** Viga de pinus – ruptura por compressão

Para as vigas reforçadas com duas camadas de fibra, tanto as de pinus como as de eucalipto, apesar de ocorrer esmagamento das fibras superiores por compressão, houve aumento na capacidade de carga da viga até o ponto de ruptura por tração na madeira, próxima a linha de cola (figura 07).

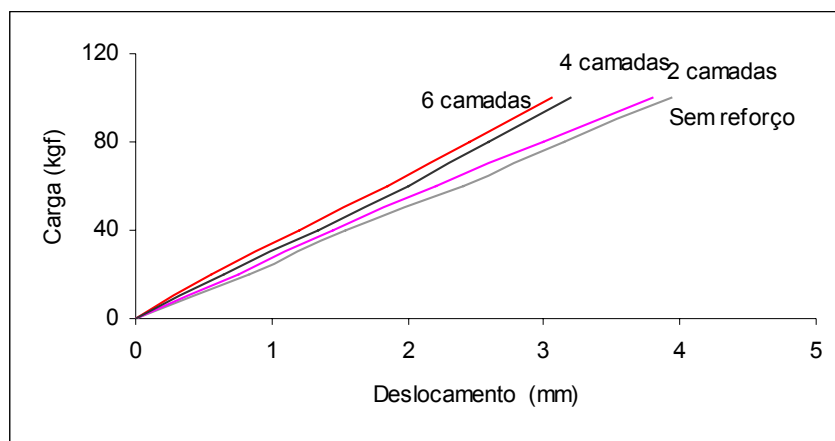


**Figura 07:** Ruptura por tração próxima a linha de cola

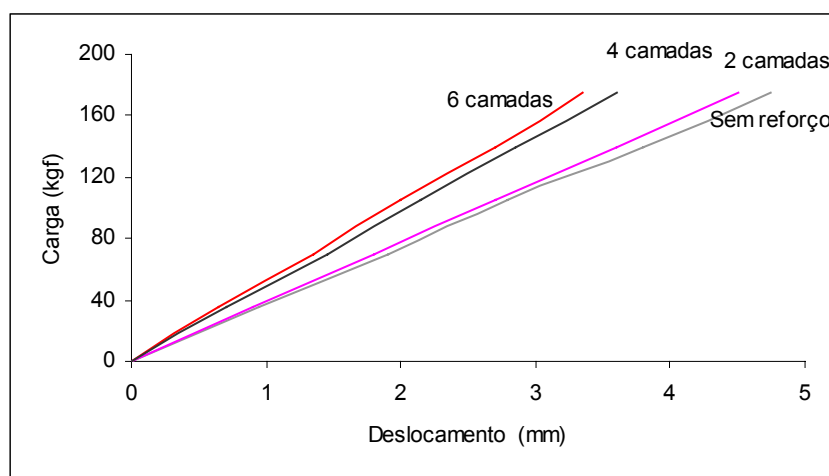
Para as vigas de seção (3x12cm), o aumento da capacidade de carga, tanto para vigas de pinus como para vigas de eucalipto, ficou em torno de 30%.

A ruptura das vigas de eucalipto de seção (3x12cm) reforçadas com 4 e 6 camadas de fibra ocorreu por cisalhamento, devido a sua esbeltez. Porém vigas com esbeltez elevada são utilizadas com pouca frequência na construção civil.

Os deslocamentos verticais de uma viga dependem do carregamento, vão, vinculação, geometria da seção e propriedades do material. A aplicação do reforço resulta em um aumento significativo da rigidez da seção transversal, embora o aumento da área seja muito pequeno. Este aumento pode ser evidenciado nas figuras 08 e 09, que apresenta o gráfico carga x deslocamento na seção transversal para vigas sem reforço e reforçadas com 2, 4 e 6 camadas de fibra de vidro.



**Figura 8:** Cargas x deslocamento - viga de pinus (3x6)



**Figura 9:** Cargas x deformação - viga de eucalipto (3x6)

A relação carga x deslocamento apresentada nas figuras 8 e 9, referente a vigas de pinus e de eucalipto sem reforço e reforçadas com 6 camadas de fibra de vidro, mostra uma diminuição de 40% da flecha na região central da viga, para uma mesma carga aplicada.

## CONCLUSÕES

Através dos resultados apresentados pode-se concluir que utilização de tecido unidirecional fibra de vidro reforçando vigas de madeira, proporciona a obtenção de ótimos resultados de ganho na capacidade de carga, no momento máximo resistido e na flecha central da viga.

Reforçando-se vigas com fibras de vidro, impede-se a ocorrência de ruptura frágil do material, pois os esforços de tração são absorvidos pela fibra. A forma de ruptura passa a ser por compressão nas fibras superiores na madeira, evitando a ocorrência de colapso frágil da estrutura.

Pode-se concluir pela viabilidade de aplicação das fibras de vidro no reforço e na recuperação de vigas de madeira.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASKELAND, D.R.. The Science and Engineering of Materials. (1996). Chapman & Hall.

BEBER, A.J., Campos, A .F., Campagnolo, J.L., Flexural Strengthening of R/C Beams with CFRP Sheets. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON STRUCTURAL FAULTS AND REPAIR, 1999, London, ECS Publications (CD-ROM).

HULL, D. INTRODUCTION TO COMPOSITE MATERIALS. Cambridge University (1995). 246p.

JANG, B.Z.. Advanced Polymer Composites. ASTM International (1994).

NORRI, T.; SAADATMANESH, H. (1994). Improving the Serviceability of Concrete Beams Using Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) Sheets, FHA, Grant No. DDEGRF-93-P-05.

### **AGRADECIMENTOS**

FAPESP – Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo