

## CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA EM TRAÇÃO DE COMPÓSITOS DE POLIÉSTER E REFORÇO HÍBRIDO DE TECIDO DE FIBRAS DE JUTA/MANTAS DE FIBRA DE VIDRO

**Resumo:** O uso de recursos naturais para a fabricação de novos materiais tem sido fonte de pesquisa para a indústria e comunidade científica, reconhecendo-os como uma alternativa de grande potencial e promissora em aspectos de biodegradabilidade e resistência específica. Dentro desta perspectiva, o presente trabalho visa estudar materiais compósitos híbridos, constituídos de tecido de fibras de juta e manta de fibras de vidro. O tecido de fibras de juta é de fácil acesso na região metropolitana de Belém, assim como as mantas de fibra de vidro. A matriz dos compósitos foi do tipo poliéster tereftálica insaturada, de baixo custo e de fácil acesso. Foram fabricadas placas com diferentes composições e corpos de prova para ensaio de tração. Após os ensaios de tração, foram efetuadas caracterizações do aspecto fractográfico para avaliar o comportamento de falha dos materiais. Os corpos de prova do compósito VVV desenvolveram o maior valor médio de tensão de ruptura, correspondendo à 105,58 Mpa, os demais compósitos (VVJ, VJV, VJJ, JVJ) sofreram quedas de desempenho mecânico devido à adição de mantas de juta, sendo estas 30,40%, 30,83%, 54,10% e 36,42%, respectivamente. O aspecto fractográfico demonstra diversos mecanismos de falha como arrancamento de fibras, ponte de fibras e falha de interface matriz-reforço. Os compósitos com fibra de vidro nas camadas externas apresentaram um aspecto de rompimento da matriz e exposição de fibra de vidro, comprometendo o desempenho mecânico. O compósito JVJ contornou este fenômeno, pois a fibra de vidro foi posicionada na camada central permitindo melhor transferência de esforços.

**Palavras-chave:** Fibra de Juta. Fibra de Vidro. Compósito. Ensaio de Tração.

### 1 INTRODUÇÃO

O crescente aumento do uso da tecnologia tem exigido materiais que possuam propriedades incomuns aos utilizados outrora, características que muitas vezes não podem ser atendidas por ligas metálicas, cerâmicos, madeira e etc. A combinação de materiais nos permite explorar e expandir novas áreas do conhecimento humano, o que seria impossível com o uso de materiais convencionais. Surgem aí os compósitos, materiais multifásicos que demonstram significativa proporcionalidade em ambas as fases constituintes, com as quais uma melhoria é realizada. (CALLISTER, 2007).

As fibras de celulose como o sisal, coco, juta, bambu, malva, piaçava, dentre inúmeras outras, abrem um leque renovável, inesgotável e alternativo de uso como elemento de reforço para compósitos de matriz frágil. No entanto, deve-se levar em consideração algumas questões relevantes ao seu uso, como sua durabilidade, reação e aderência a matriz e outros fatores que questionam sua aplicação. (MARTINS NETO, 2010).

O presente estudo tem como objetivo geral o desenvolvimento de uma metodologia de fabricação, simples e acessível, de placas de material compósito híbrido de manta de fibra de vidro e tecido de fibra de juta.

## 2 MATERIAIS

### *Resina Poliéster*

O polímero utilizado no desenvolvimento do trabalho foi a resina poliéster tereftálica insaturada e pré-acelerada, fabricada pela Royal Polímeros sob a denominação comercial de Denverpoly 754. O agente de cura utilizado foi o peróxido de MEK (Butanox M-50), nas proporções de 0,7% (v/v) determinada no trabalho RODRIGUES 2008. A resina foi adquirida já pré-acelerada com naftenato de cobalto (CoNap), na proporção de 0,15% em massa.

### *Tecido de Fibra de Juta*

A fibra natural foi adquirida no comércio popular da cidade de Belém (PA) na forma de tecido. E foi extraída de áreas de mata da região Amazônica.

### *Manta de Fibra de Vidro*

A fibra de vidro na forma de manta também foi encontrada no comércio popular de Belém, na especificação de gramatura 200 g/m<sup>2</sup>.

## 3 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

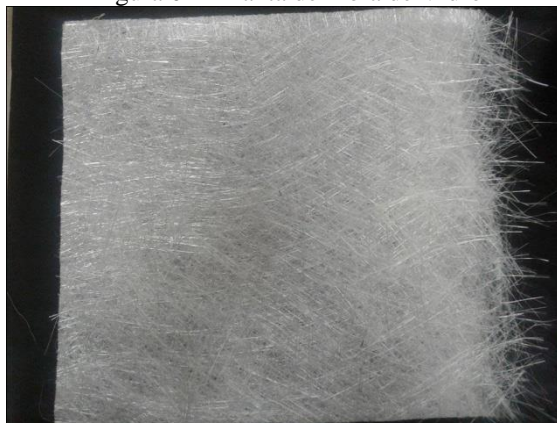
### *Preparação das camadas para laminação*

Primeiramente a manta e tecido foram cortadas em forma de um retângulo de dimensões 28x32 cm conforme mostram as figuras 01 e 02.

Figura 01 - Tecido de Fibra de Juta.



Figura 02 - Manta de Fibra de Vidro





A fibra de juta passou por um processo de secagem a 70°C por 10 minutos em um forno antes da fabricação para eliminar um pouco de umidade que possa prejudicar a cura da resina de poliéster.

### ***Metodologia de preparação das superfícies do molde***

Placas de compensado foram utilizadas como molde para fabricação das placas de compósito. Para garantir fácil desmoldagem e uma superfície sem imperfeições, a superfície destas placas foi revestida com filme de transparência poliéster como mostra a figura 03.

Figura 03– Revestimento da placa de compensado



### ***Preparação da Resina***

A resina poliéster foi pesada em uma balança de precisão marca Marte, Modelo BI3200H. O agente de cura com proporção de 0,7% do peso da resina foi adicionado em seguida.

### ***Metodologia de fabricação das placas***

O processo selecionado para fabricação foi hand-lay-up, ou fabricação por laminação manual. Foi determinada uma quantidade de resina suficiente para devidamente impregnar todas as camadas, correspondendo a 80g para cada tecido de juta e 50g para cada grama de manta de fibra de vidro além de 40g foram colocados diretamente na placa revestida. Foi utilizada uma espátula plástica para espalhar a resina em cada uma das camadas como mostra a figura 4.

Figura 4 – Espalhamento manual de resina



Após impregnação das camadas do compósito as o molde foi fechado pelas placas de compensado e imediatamente posicionado em uma prensa hidráulica, um peso de 500 kg foi admitido pelo molde com propósito de extração de ar contido entre as camadas laminadas e diminuir a ocorrência de descontinuidades, além de conformidade com a espessura especificada na norma de ensaio.

A cura da resina sob pressão ocorreu durante 24 horas, após esse período a placa foi desmoldada e deixada curar em superfície plana ao ar livre por 6 dias, completando 7 dias de cura da resina antes da etapa subsequente. A seguir na figura 5 uma foto do molde posicionado na prensa hidráulica para processo de cura.

Figura 5 – Molde na prensa hidráulica



#### ***Metodologia para preparação dos corpos de prova.***

O corte dos corpos de prova nas dimensões da norma ASTM D3039 a partir das placas, foi feito com uma bancada de corte manual com batente, confeccionada no próprio laboratório de materiais compósitos.

Pedaços de uma folha de madeirite foram cortados na mesma bancada usada para obter os corpos de prova, e colados com cola instantânea nas extremidades dos mesmos, para assim, evitar esmagamento pelas garras da máquina de ensaio de tração. A área útil de ensaio foi respeitada, a figura 6 demonstra um corpo de prova finalizado.

Figura 6 – Corpo de prova finalizado.





### ***Metodologia do Ensaio de Tração.***

O ensaio de tração foi realizado com uma máquina de ensaios universal Kratos TRCv61403 localizada nas dependências do Laboratório de Metalografia da UFPA. Como a norma especifica a velocidade de ensaio foi de 2mm/min. Cinco corpos de prova de cada série de placas foram ensaiados.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### ***Avaliação do método de fabricação das placas.***

O método de fabricação das placas mostrou-se satisfatório em vários aspectos, o primeiro foi baixa presença de vazios e descontinuidades nas placas como se pode observar na figura 9, além de um bom acabamento superficial, planicidade e rigidez. A pressão aplicada nas primeiras 24 horas de cura e o revestimento das placas do molde foram fundamentais para a obtenção destes resultados.

Figura 7 – Placa após processo de cura.



### ***Avaliação da fabricação dos corpos de prova***

Os corpos de prova apresentaram superfícies lisas e sem trincas que pudessem prejudicar a veracidade dos resultados do ensaio de tração. A figura 8 mostra o aspecto dos corpos de prova produzidos.

Figura 8 – Aspecto dos corpos de provas produzidos.



### Resultados do ensaio de tração dos corpos de prova

A tensão é medida nos sólidos a partir da equação:

$$\sigma = \frac{F_{max}}{A} \quad (1)$$

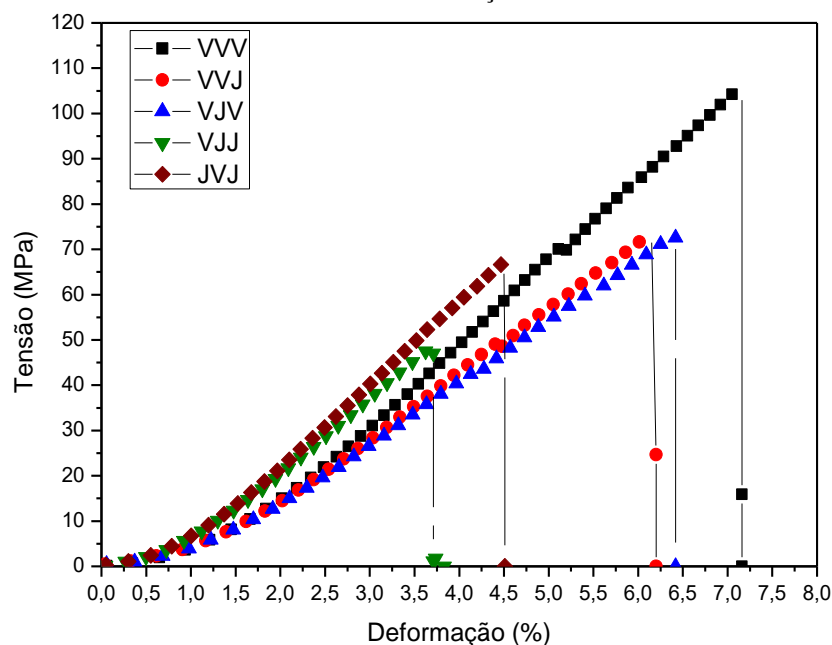
Com a caracterização mecânica dos corpos de prova por meio do ensaio de tração. É visível que o corpo de prova com três camadas de manta de fibra de vidro obteve os melhores resultados. A tabela 01 a seguir foi gerada com o resultado médio de cada série de corpos de prova..

Tabela 01 – Resultados do ensaio de tração

COMPÓSITO	RESISTÊNCIA A TRAÇÃO (MPa)	DEFORMAÇÃO (%)
VVV	105,58 ( $\pm 7,16$ )	7,16
VVJ	73,48 ( $\pm 5,78$ )	6,20
VJV	73,03 ( $\pm 3,58$ )	6,42
VJJ	48,46 ( $\pm 4,16$ )	3,83
JVJ	67,13 ( $\pm 4,86$ )	4,51
Média	73,54	5,62
Desv. Padrão	20,60	1,40

A seguir o gráfico 01 demonstra tensão x deformação da média dos compósitos.

Gráfico 01 – Tensão deformação das amostras.



É possível perceber que comparadas ao compósito de maior resistência que é o VVV, os compósitos com duas mantas de vidro desenvolveram resistência superiores ao que tinham apenas uma, isso se deve a maior resistência mecânica da fibra de vidro. Outro fator que



influenciar é a isotropia maior da manta aleatória em comparação ao tecido que tem ordenação ortogonal.

Em comparação com o compósito VVV, todos os demais compósitos (VVJ, VJV, VJJ, JVJ) sofreram quedas de desempenho mecânico devido à adição de juta, sendo estas 30,40%, 30,83%, 54,10% e 36,42% respectivamente.

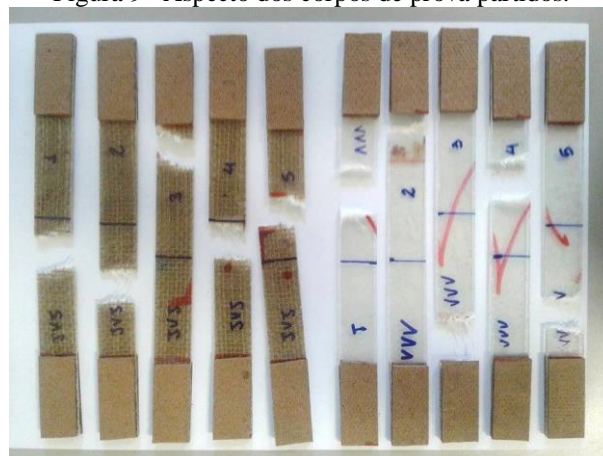
Não foi percebida muita diferença de resistência mecânica entre os compósitos VVJ e VJV (pouco mais de 2%), porém os compósitos VJJ e JVJ tiveram uma diferença de resistência considerável (17,69 %), isso mostra que é provável que a camada do centro influencie diretamente na aderência entre as camadas de mantas e tecidos, no caso a manta de vidro seria vantajosa e geraria uma maior aderência entre as camadas.

As mesmas tendências dos resultados de tração foram observadas quando comparadas as deformações e servem pra reforçar as conclusões anteriores. Os compósitos com duas camadas de tecido de juta tiveram uma diferença de 0,68% na deformação absoluta contra 0,22% nos compósitos onde temos duas camadas de manta de fibra de vidro.

O compósito JVJ apresentou resultado de resistência mecânica próxima à média dos compósitos VVJ e VJV, sendo apenas 8,36% inferior.

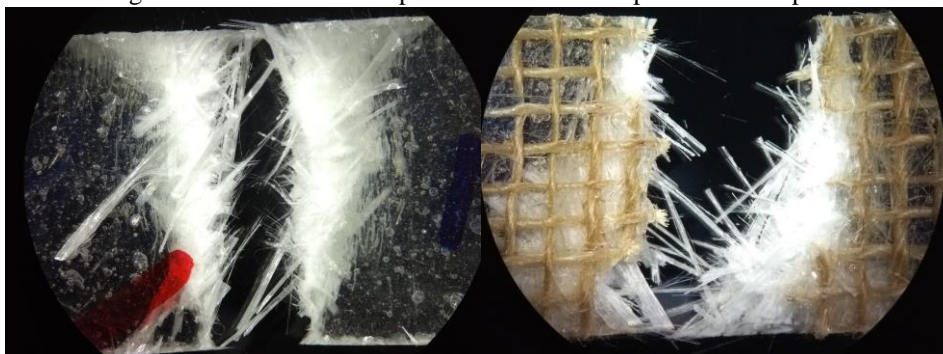
Os corpos de prova ensaiados tiveram comportamento regular e se partiram em sua maioria dentro da área útil. A seguir uma foto (figura 9) de alguns corpos de prova ensaiados.

Figura 9– Aspecto dos corpos de prova partidos.



O aspecto da fratura dos corpos de prova é explorado nas imagens a seguir.

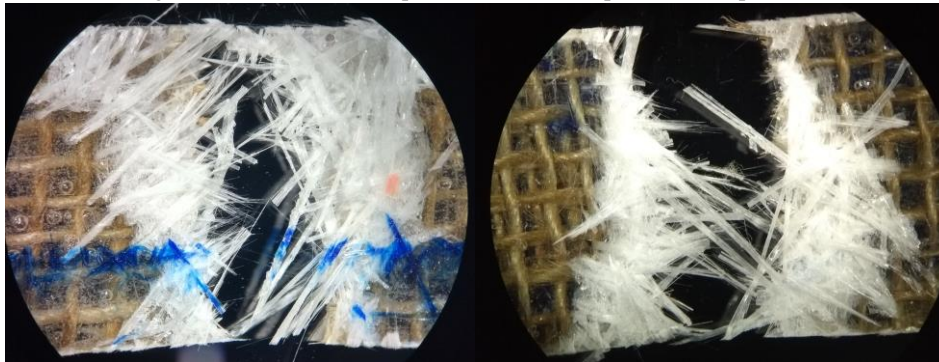
Figura 10 – Fratura do compósito VVV e no compósito VVJ respectivamente.



É possível observar que as fibras de vidro no compósito VVV sofreram ruptura de forma mais intensa que nos compósitos a seguir. Uma quantidade menor de fibras está fazendo ponte entre as partes do corpo de prova e a quantidade de defeitos superficiais é menor. Estes fatores justificam o compósito VVV ter desenvolvido a maior resistência a tração.

É perceptível no compósito VVJ a presença da ponte de fibras e fibras oblíquas não rompidas. O tecido de fibra de Juta parece ter contribuído para a propagação da trinca no rompimento pois a fratura se desenvolve ao redor de uma das fibras transversais.

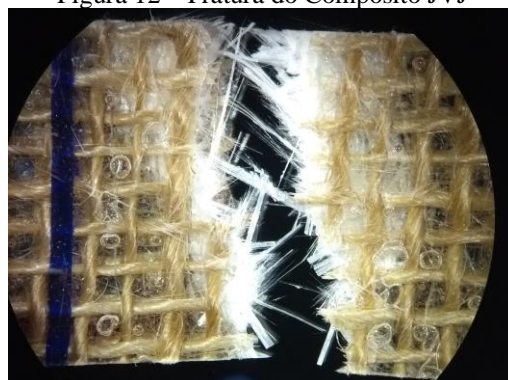
Figura 11 – Fratura do Compósito VJV e do compósito VJJ respectivamente



Novamente é apresentada no compósito VJV a ponte de fibras oblíquas, porém este compósito tem defeitos de vazios perceptivelmente maiores, isso pode estar associado à camada central de fibra de juta que aprisionou bolhas de ar durante o processo da laminação manual. A fibra de vidro está aparecendo na superfície do compósito muito mais que no compósito de comparação VVV, é provável que quando colocada na extremidade e em contato com uma camada de tecido de juta a manta de fibra de vidro tenha pouca ancoragem na matriz e esta seja menos capaz de transferir as solicitações mecânicas.

O compósito VJJ desenvolveu a menor resistência mecânica no estudo possui os defeitos observados nos anteriores porém a presença de duas camadas de fibra de juta ocasionou grande queda de desempenho mecânico. Novamente se percebe que a fibra de vidro quando na extremidade e em contato com a camada de tecido de juta tem pouca ancoragem e gera bastante ponte de fibras e arranchamentos.

Figura 12 – Fratura do Compósito JVJ



Este compósito apesar de apresentar vazios de grande diâmetro devido ao tecido de juta desenvolveu uma ruptura da fibra de vidro parecida com a do compósito VVV, com menor quantidade de fibras formando ponte e arranchadas. Sua localização no centro do compósito teve grande contribuição neste resultado pois a matriz conseguiu envolver melhor a fibra e melhorar



a transferência de esforços de forma mais eficiente do que quando a fibra de vidro está na parte externa do compósito.

## 5 CONCLUSÕES

A metodologia de fabricação das placas de compósito foi satisfatória em aspectos de acabamento superficial, quantidade de defeitos, homogeneidade dimensional e consistência de propriedades mecânicas por placa.

O compósito VVV demonstrou melhor desempenho mecânico e o VJJ o pior.

A adição do tecido de juta nas placas afetou negativamente a resistência e deformação em todos os casos com perdas de desempenho não menores que 30,40%. Quando maior parte das camadas consistiu de tecidos de juta os valores de tensão máxima e deformação entre as placas foram menos consistentes entre si, isso demonstra que o tecido tem caráter anisotrópico, logo, imprevisibilidade nas propriedades mecânicas deve ser esperada.

A heterogeneidade dos fios do tecido de juta pode contribuir, para os efeitos de disparidade observados na resposta mecânica dos compósitos.

O compósito JVJ desenvolveu resistência mecânica similar aos compósitos com duas camadas de manta de fibra de vidro. Este pode ser considerado uma boa opção de substituição dos anteriores, com vantagens de possuir menos reforço sintético e redução de gastos com manta de fibra de vidro.

O aspecto fractográfico das amostras pós-ensaio, demonstra que os mecanismos de falha predominante são de rompimento total das fibras longitudinais de juta e de vidro e arrancamento de fibras transversais e oblíquas. Fibras obliquamente ordenadas da manta de vidro aparecem não rompidas em todas as imagens, isto demonstra que a aderência da matriz é limitada, e que fibras com essa ordenação podem agir como concentradores de tensões. Os compósitos com fibra de vidro nas extremidades apresentaram um aspecto de quebra da matriz e exposição da fibra de vidro, mostrando que a solicitação mecânica fica comprometida. O compósito JVJ contornou este fenômeno pois a fibra de vidro ficou na camada central permitindo melhor transferência de esforços.

## Agradecimentos

A equipe de autores agradece à Universidade Federal do Pará pela estrutura oferecida.

## REFERÊNCIAS

ASTM D3039 / D3039M - 17

**Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials.**

CALLISTER, W. D. **Materials Science and Engineering: An Introduction.** 7. ed. Salt Lake: John Wiley, 2007.

MARTINS NETO, S. F. **Material compósito de matriz frágil reforçado com fibras naturais de sisal e malva: caracterização e correlações das propriedades mecânicas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Materiais e processos de Fabricação – Faculdade de Engenharia Mecânica, Belém-PA, 2010

RODRIGUES, J. S. **Comportamento mecânico de material compósito de matriz poliéster reforçado por sistema híbrido fibras naturais e resíduos da indústria madeireira.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Pará, Belém-PA. 2008.

## **MECHANICAL CHARACTERIZATION OF POLYESTER COMPOSITES AND HYBRID REINFORCEMENT OF JUTE FIBER FABRICS / GLASS FIBER MATERIALS**

**Abstract:** *The use of natural resources for the manufacture of new materials has been a source of research for the industry and the scientific community, recognizing them as a potential and promising alternative, in aspects of biodegradability and specific resistance. Within this perspective, the present work aims to study hybrid composite materials made from jute fiber fabric and glass fiber mat. The jute fiber fabric is easily accessible in the metropolitan area of Belém, and so are the mats of fiber glass. The matrix of the composites is the terephthalic unsaturated polyester, of low cost and easy access. Plates with different compositions and specimens for the tensile test were manufactured. After the tensile tests, fractography characterization was performed to evaluate the failure behavior of the materials. The test specimens of VVV composite developed the highest mean value of tensile stress corresponding to 105.58 MPa, the other composites (VVJ, VJV, VJJ, JVJ) suffered mechanical performance declines due to the addition of jute blankets, being 30,40%, 30,83%, 54,10% and 36,42%, respectively. The fractographic aspect demonstrates several failure mechanisms such as fiber pullout, fiber bridge and matrix-reinforcement interface failure. The composites with fiberglass in the outer layers presented an aspect of matrix rupture and glass fiber exposure, compromising the mechanical performance. The JVJ composite circumvented this phenomenon because the fiberglass was positioned in the central layer allowing better transfer of stress.*

**Key-words:** Jute Fiber. Fiber Glass. Composite. Tensile Test.