



## **COMPARAÇÃO ENTRE AS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UM COMPÓSITO HÍBRIDO FORMADO POR UM TECIDO RECICLADO DE PET /FIBRA DE VIDRO E/POLIÉSTER COM UM COMPÓSITO CONSTITUÍDO POR POLIÉSTER/FIBRA DE VIDRO E**

Lílian G. ARAÚJO (1); Asenete F. COSTA (2); Moema, B. DIAS (3); Renata C. T. S. FELIPE (4)

(1) Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio Grande do Norte – CEFET/RN, Av. Senador Salgado Filho, 1559, Tirol, CEP: 59015-000, 4005-2693, e-mail: [liliangomes@yahoo.com.br](mailto:liliangomes@yahoo.com.br)

(2) Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio Grande do Norte - CEFET/RN, e-mail: [asenetefc@yahoo.com.br](mailto:asenetefc@yahoo.com.br)

(3) Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio Grande do Norte - CEFET/RN, e-mail: [moemamat@yahoo.com.br](mailto:moemamat@yahoo.com.br)

(4) Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio Grande do Norte - CEFET/RN, e-mail: [rcfelipe@cefetrn.br](mailto:rcfelipe@cefetrn.br)

### **RESUMO**

No mundo moderno, novos materiais e novas tecnologias sempre estão surgindo, neste contexto ocorre à geração de resíduos e estes devem ter destino adequado para evitar a poluição do meio ambiente e dano a população que faz parte do entorno. Então surge a necessidade da utilização de materiais reciclados, pois estes deixarão de fazer parte da parcela agressiva ao meio ambiente e ao homem. Com isto, neste trabalho fez o uso das garrafas conhecidas como PET, usadas como recipientes para armazenagem de refrigerantes, confeccionando um tecido feito a partir da fiação e tecimento, utilizando o mesmo como material de reforço de uma matriz polimérica. Para tanto foi feito um compósito híbrido a partir da utilização dos reforços de tecido PET e manta de fios picados de vidro E com matriz de poliéster; e, um outro compósito com a mesma matriz porém utilizando somente reforço de fibra de vidro. Foram realizados ensaios de flexão e impacto depois feito uma análise comparativa entre as respectivas propriedades mecânicas para as duas configurações de compósito. Diante dos resultados obtidos o compósito híbrido apresentou melhores propriedades no que diz respeito ao impacto podendo ser utilizado em solicitação onde essa propriedade seja indispensável.

**Palavras-chave:** compósitos, PET, fibra de vidro, poliéster, propriedade mecânicas.

## 1. INTRODUÇÃO

Os materiais compostos são uma alternativa para a uso em estruturas pois estes materiais são formados a partir da junção de dois ou mais materiais diferentes objetivando obter um único material com propriedades diferentes aos individuais. Na indústria este material vem ocupando gradativamente os materiais ditos convencionais como os metálicos, pois estes materiais são leves, chegando inclusive a superar as propriedades específicas dos materiais ditos convencionais (Ferro, 1996). Ao se utilizar os materiais compostos, principalmente os plásticos reforçados por fibras de vidro (PRFV), o mecanismo de dano nestes materiais é bastante complexo, no entanto sabe-se que são materiais que possuem uma excelente resistência à corrosão, aspecto bastante relevante a ser considerado quando o ambiente é agressivo e necessitar desta propriedade. Estes materiais, atualmente têm aberto um campo vasto para pesquisa pois são materiais que necessitam sempre de análise direcionada pois possuem propriedades únicas e específicos em cada situação. Dentro dos materiais compostos têm os materiais híbridos que são materiais formado mediante o uso de vários tipos de reforços diferentes, segundo (Pardini et al., 2006). No entanto, hoje a utilização de materiais alternativos vem ocupando um lugar na indústria inclusive sendo objeto de pesquisa em grandes centros. Dentro destes materiais alternativos, se pode mencionar o uso do PET que após se dá uma nova forma, mediante a reciclagem, este pode ser adicionado como material de reforço em um material composto. A reciclagem de materiais, é o reaproveitamento dos materiais como matéria-prima para um novo produto, esta vem tendo um avanço no mundo atual podendo também ser usada como uma excelente alternativa. As maiores vantagens da reciclagem são a minimização da utilização de fontes naturais, muitas vezes não renováveis; e a diminuição da quantidade de resíduos que necessita tratamento final, como aterramento, ou incineração (<http://www.ambientebrasil.com.br> e Rowell et al., 1996). Desta forma, este trabalho visa a obtenção de dois materiais compostos com diferentes composições, obtidos todos eles pelo processo de fabricação de laminação manual, nos quais os mesmos são formados pela matriz poliéster ortoftálica e reforço, no entanto um é reforçado somente com manta de fios picados de fibra de vidro E e o outro formando um composto híbrido reforçado com manta de fios picados de fibra de vidro E e tecido unidirecional de PET fabricado a partir da reciclagem de garrafas PET, nas quais esta foram transformadas em fio e depois confeccionado um tecido usando um tear tipo tabuleiro. Estes materiais são formados por cinco camadas de reforços, no entanto o composto híbrido foi configurado com cinco camadas de reforço, sendo quatro camadas de fibra de vidro E e uma apenas de tecido PET ficando este tecido entre duas camadas. Depois de obtido estes materiais foram confeccionados corpos de provas nos quais foram submetidos aos ensaios de flexão em três pontos seguindo a norma ASTM D 790 e o outro seguindo a norma ASTM D 256 para o impacto, obtendo o módulo e resistência a flexão e energia de impacto absorvida. Feito isto, foi realizada uma análise comparativa entre as respectivas propriedades mecânicas para as duas configurações do material composto o PRFV e o híbrido.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Como definição de um material composto, o mesmo é um conjunto de dois ou mais materiais diferentes, combinados em escala macroscópica, para funcionarem como uma unidade, visando obter um conjunto de propriedades que nenhum dos componentes individualmente apresenta (Mendonça, 2005). No entanto, sabe-se que este material permite ao engenheiro, até um determinado momento, criar um novo material, dando ênfase a determinadas propriedades e minimizando outras mediante a combinação dos componentes que farão parte deste material composto. A vantagem de utilizarmos os materiais compostos é que ao combinarmos dois ou mais matérias diferentes, serão obtidas propriedades mecânicas específicas como resistência e módulo, com características desejadas, possibilitando desta forma, o uso em diversas aplicações (Hull, 1988). Estes materiais são formados a partir de uma matriz e de um ou mais tipos de reforço. Os compostos mais utilizados são os plásticos reforçados, onde a resina poliéster ortoftálica é a mais utilizada, sendo esta usada como matriz e os reforços mais usados são de fibras de vidro E. Dentro da classificação dos materiais compostos podemos destacar os compósitos híbridos que são formados por mais de um tipo de reforço.

O Poli Tereftalato de Etila ou PET, polímero termoplástico ou plástico, formado pela reação entre o ácido tereftálico e o etileno glicol, formando um poliéster. Possui propriedades termoplásticas, pois quando aquecidos a temperaturas adequadas, eles se fundem podendo desta forma serem moldados novamente, são utilizados normalmente na forma de fibras para tecelagem e de embalagens para bebidas. As garrafas produzidas com este polímero só começaram a ser fabricadas na década de 70, após cuidadosa revisão dos aspectos de segurança e meio ambiente. Com a melhoria da qualidade do PET reciclado, surgiram aplicações importantes, como tecidos, lâminas e garrafas para produtos não alimentícios. É importante ressaltar que este polímero pode ser reciclado e com a reciclagem vários fatores podem ser minimizados como: redução do lixo nos aterros sanitários, redução de energia, minimização do uso de recursos não renováveis como o petróleo que é a matéria prima para a fabricação deste plástico, entre outros fatores. Além disso, com a reciclagem poderá haver uma maior geração de rendas e empregos ( <http://www.pt.wikipedia.org>).

(Kelly, 1991) Ao confeccionarmos estes materiais podemos utilizar os vários processos de fabricação como laminação manual, projeção, enrolamento, injeção de resina entre outros. Porém o processo de fabricação de laminação manual é o mais utilizado visto ser um processo relativamente econômico, não necessitando de grandes investimentos para a sua execução. São vários os fatores que influenciam nas propriedades mecânicas dos materiais compostos, conhecido também como compósito, que são a interface fibra/matriz, teor de vazios, distribuição e orientação dos reforços, grau de homogeneização entre os materiais, parâmetros geométricos entre outros (Pardini, et al., 2006 e Gay, 1991).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios mecânicos e os compósitos utilizados nesta análise foram confeccionados no Centro Federal de Educação Tecnológica do RN.

#### **Materiais**

Fio PET - os fios de PET (Poli tereftalato de etila) foram confeccionados utilizando uma máquina artesanal a partir de um processo manual, como pode ser verificada nas figuras abaixo.



**Figura 1 – Equipamento utilizado para fiação da garrafa PET**



**Figura 2 – Fio PET obtido mediante utilização do equipamento**

A partir da obtenção do fio de PET, foi obtido mediante a fabricação de um tear manual podendo chamar de tabuleiro de tear, construído de pregos e uma placa em madeira, o tecido unidirecional do respectivo fio. O processo de obtenção do tecido pode ser verificado nas figuras a seguir.



**Figura 3 – Tecido de fio PET obtido mediante utilização do tabuleiro de tear**



**Figura 4 – Tecido de fio PET obtido mediante utilização do tabuleiro de tear**

Foram utilizadas a fibra de vidro E na forma de uma manta de fios picadas aleatoriamente com uma gramatura de  $400 \text{ g/m}^2$ , resina poliéster tipo ortoftálica catalisada com (metil-etil-cetona – MEKP) e acelerada com (octoato de cobalto).

## Métodos

Os compósitos foram obtidos mediante o processo de laminação manual na forma de placa. Nos quais se colocou 0,5% de acelerador e 1,5% de catalisador em volume referente à resina poliéster para efetivar o processo de cura do composto, obtendo duas placas uma formada por um compósito reforçado de fibra de fibra E (PRFV – plástico reforçado com fibras de vidro) com cinco camadas de manta de fibra de vidro e uma outra formada por uma compósito híbrido também com cinco camadas, sendo que uma camada foi de tecido unidirecional PET e as outras quatro manta de fibra de vidro E, ficando o reforço de PET entre duas camadas de fibra de vidro, como pode ser visto esquema abaixo.

Fibra de vidro E
Fibra de vidro E
Tecido PET
Fibra de vidro E
Fibra de vidro E

**Figura 5 – Configuração do compósito híbrido (fibra de viro E/tecido de fio PET )**

### Ensaio de flexão em três pontos

Segundo a norma ASTM D 790 as dimensões dos corpos de prova (CP) variam conforme espessura do material. Desta forma estes ficaram com as seguintes dimensões: 100 x 13 x 3,40 mm e 130 x 13 x 4,90mm (comprimento, largura e espessura) compósito formado apenas com reforço de fibra de vidro E e compósito híbrido, respectivamente. A velocidade de ensaio foi 0,8 m/min, sendo ensaios para cada situação cinco corpos de prova.

Equipamento utilizado: máquina de ensaio universal Pavitest fabricante CONTENCO

### Ensaio de impacto

Não se utilizou na íntegra a respectiva norma ASTM D256 por questões técnicas da máquina que se tem no CEFET-RN, obrigando desta forma a não utilização do entalhe que a mesma exige que se tenham os CP. As dimensões dos CP foram 133 x 25 mm sendo ensaios para cada condição, compósito híbrido e compósito utilizando somente reforço de fibras de vidro, cinco corpos de prova.

Equipamento utilizado: máquina para ensaio Charpy.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos respectivos ensaios podem ser vistos logo a seguir:

### Ensaio de flexão em três pontos

A seguir será apresentada uma tabela onde será possível verificar o limite de resistência à flexão para os dois tipos de compósitos:

**Tabela 1 – Limite de resistência à flexão**

Compósito	Limite de resistência à flexão (MPa)	
	Valor médio	Desvio padrão
PRFV	315,5	18,8
Híbrido	151,7	5,1

Como pôde ser visto os dados da tabela acima, o plástico reforçado com fibra de vidro apresentou um limite de resistência à flexão superior ao compósito híbrido, no entanto o híbrido apresentou uma menor variação dos valores do limite durante os ensaios.

A próxima tabela apresenta os dados referentes ao módulo de elasticidade à flexão para os dois tipos de materiais confeccionados, objeto da pesquisa.

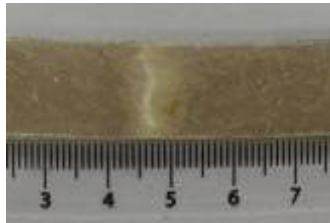
**Tabela 2 – Módulo de elasticidade à flexão**

Compósito	Módulo de elasticidade à flexão (GPa)	
	Valor médio	Desvio padrão
PRFV	16,9	2,2
Híbrido	8,1	0,8

A partir dos dados apresentados acima, pode se observar que o PRFV também apresentou um maior desempenho.

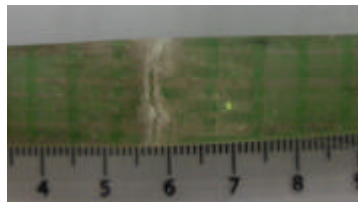
A seguir será apresentado o corpo fraturado após a realização do ensaio de flexão em três pontos:

Como pode ser observada na figura abaixo, o corpo de prova de PRFV, após a realização do ensaio não se conseguiu romper o material em partes separadas. A fratura aconteceu somente na parte externa do material e de forma bem fina na região de compressão.



**Figura 6 – Fratura do corpo de prova de PRFV**

A figura abaixo, se refere ao compósito híbrido, este apresentou as propriedades de flexão bem inferiores ao PRFV. Como pode ser visto o aspecto da fratura o material tendeu a haver uma separação entre as partes, no entanto isto também não aconteceu, no entanto a fratura foi bem mais agressiva, na região de compressão.



**Figura 7 – Fratura do corpo de prova de híbrido**

### **Ensaio impacto**

No que se refere à energia absorvida pelo material durante o impacto pode ser verificada na tabela abaixo:

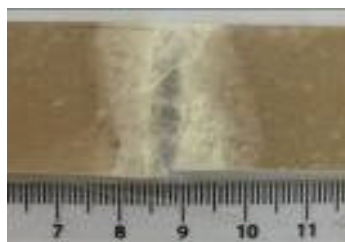
**Tabela 2 – Energia de impacto**

Compósito	Limite de resistência ao impacto (J)	
	Valor médio	Desvio padrão
PRFV	7	1
Híbrido	13	2

Como pôde ser verificado os valores acima, verifica-se que o compósito híbrido (resina poliéster/fibra de vidro/tecido PET) apresentou uma maior capacidade de absorção de energia durante o impacto. Este comportamento se dá devido a maior capacidade de absorção de energia devido a utilização do tecido PET, pois este serviu como barreira para a propagação de trincas.

A seguir será apresentado o corpo fraturado após a realização do ensaio de impacto:

A figura a seguir apresenta a fratura do PRFV após a realização do ensaio. Pode ser observado que houve o rompimento total do corpo de prova, separação entre as partes.



**Figura 8 – Fratura do corpo de prova de PRFV**

A próxima figura mostra a característica da fratura do corpo de prova híbrido. Como pode ser visto não se conseguiu separar fisicamente este material, pois a fratura aconteceu de fora para dentro, no entanto a trinca caminhou ao longo do tecido PET, mostrando uma delaminação, desta forma mostrando que este tecido pode ser utilizado como absorvedor de energia.



**Figura 9 – Fratura do corpo de prova de híbrido**

## **5. CONCLUSÃO**

Conforme observado os dados obtidos no ensaio de flexão em três pontos o compósito que apresentou melhores propriedades mecânicas, tanto o limite de resistência quanto o módulo de elasticidade à flexão, foi o PRFV, cerca de 100 % acima das propriedades obtidas pelo compósito híbrido, acrescentando ainda que a característica da fratura no compósito híbrido foi mais agressiva, porém para ambos os materiais não ocorreu separação entre as partes.

No que se refere à resistência ao impacto, pôde ser observado que o compósito híbrido (PET/FV) apresentou uma capacidade de absorção de carga superior ao PRFV, chegando a um patamar de 85,0% no que se refere a esta propriedade mecânica, também no que diz respeito à fratura pode ser observado que o tecido PET funcionou como um elemento de absorção de energia. Verifica-se desta forma, que o compósito híbrido pode ser utilizado onde a resistência ao impacto seja uma propriedade a ser considerada, desde que atendam as especificações solicitadas.

É importante salientar quando se trabalha com compósito no que se referem as suas propriedades mecânicas, sabe-se que para se fazer uma comparação entre as respectivas propriedades de um material com outros tem que levar em consideração muitas variáveis como o processo de fabricação que foi utilizado, o tipo de resina

e reforço, teores de vazios entre outros fatores que podem vir influenciar no comportamento do produto final, (HULL, 1988).

## REFERÊNCIAS

American Society for Testing and Materials, ASTM D 790-90: Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials, 1990.

American Society for Testing and Materials, ASTM D 256 – Determining the pendulum impact resistance of notched specimens of plastics - American Society for Testing and Materials, 1993.

CALLISTER, W. D. Jr – Ciências e Engenharia de Materiais: Uma Introdução – Rio de Janeiro: 5ª ed., Editora LTC, 2002.

FERRO, S. – Pultudrado Suporta Meio Agressivo e Desinformação – Revista Plástico Moderno, Editora QD Ltda., n. 269, p. 8 – 17, São Paulo, 1996.

GAY, D. – Matériaux Composites – Editions Hermès, Paris, 1991.

MENDONÇA, P. T. R. – Materiais Compostos & Estruturas-Sanduíches – Barueri, SP: Manoele, 2005.

PARDINI, L. C. ; NETO, F. L. – Compósitos Estruturais – Ciência e Tecnologia – Edgard Blucher, 2006.

ROWELL, R. M., SANADI, A. R., CAULFIELD, D. F., JACOBSON, R. E. – Utilization of Natural Fibers in Plastic Composite: Problems and Opportunities – First International Lignocelluloses Plastics Composites, Sao Paulo, 1996.

HULL, D. - An Introduction to Composite Materials - Ed. Cambridge University Press, 1988.

<http://www.pt.wikipedia.org>

<http://www.ambientebrasil.com.br>

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio do aluno bolsista Marcel Araújo pela realização dos ensaios mecânicos e ao Sr. Geone pelo fornecimento da máquina para fiação da garrafa PET.