

# ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO EM TRAÇÃO DE COMPÓSITOS HÍBRIDOS COM FIBRAS DE VIDRO E FIBRAS NATURAIS<sup>1</sup>

Hiury Voltz<sup>2</sup>  
 Rosana Vilarim da Silva<sup>3</sup>

## Resumo

O objetivo principal deste trabalho é o desenvolvimento e a caracterização de compósitos poliméricos híbridos associando fibras sintéticas e naturais. Busca-se obter um material que combine baixo custo e bom desempenho mecânico e que tenha compromisso com a sustentabilidade e a preservação do meio ambiente. O compósito desenvolvido é um laminado de cinco camadas sendo três camadas de mantas de fibras de vidro-E intercaladas com duas camadas de fibras naturais, podendo estas ser fibras de sisal, coco ou bucha-natural. A técnica utilizada foi a de moldagem manual seguida de compressão. A matriz é a resina poliéster ortoftálica. Foi realizado um estudo comparativo das propriedades mecânicas em tração dos três tipos de laminados híbridos e de um laminado unicamente com fibras de vidro e com mesmo número de camadas. Entre os três tipos de compósitos híbridos, o de sisal/vidro é o que apresentou melhor comportamento se aproximando do desempenho do compósito apenas com fibra de vidro, sendo um potencial substituto.

**Palavras-chave:** Compósito híbrido; Fibras naturais; Fibras de vidro.

## TENSILE MECHANICAL BEHAVIOR OF HYBRID COMPOSITES WITH GLASS AND NATURAL FIBERS

### Abstract

The aim of this work is to develop a polymeric hybrid composite associating synthetic and natural fibers. The objective is to obtain a material that associates a good mechanical performance, low cost and commitment to the environment preservation. The composite is a laminated with five layers formed by a matrix of polyester resin reinforced by alternated layers of glass-E mats and vegetal fibers that could be, sisal, coir or natural sponge. The technique used was hand-lay-up. The tensile mechanical behavior of the hybrid composites was evaluated and compared with a glassfiber composite. The hybrid composite sisal/glass presented the best behavior approaching of the glassfiber composite. This composite may be a potential replacement

**Key words:** Hybrid composite; Natural fibers; Glassfiber.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 68<sup>o</sup> Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.

<sup>2</sup> Engenharia Metalúrgica. Instituto Federal do Espírito Santo (IFES), Campus Vitória, ES, Brasil.

<sup>3</sup> Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais, Profa. Dra. da Coordenadoria de Metalurgia, Instituto Federal do Espírito Santo (IFES), Campus Vitória, ES, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

Conforme as aplicações tornam-se variadas e sofisticadas um único material deixa de cumprir a todas as expectativas. Isto tem obrigado ao homem a conjugar diferentes materiais, através de suas propriedades individuais, para alcançar as propriedades e características finais desejadas, dando origem a um novo tipo de material classificado como compósito.<sup>(1)</sup> Segundo a Norma ASTM D3878-95c:<sup>(2)</sup> “Compósito é uma substância consistindo de dois ou mais materiais, insolúveis entre si, que são combinados para formar um material de engenharia útil com certas propriedades que não se encontram nos materiais isoladamente”.

Na atualidade, tanto o desempenho estrutural quanto as propriedades dos compósitos sintéticos, em muitos aspectos, ainda supera o dos compósitos naturais.<sup>(3)</sup> Entretanto, com a constante preocupação mundial com a preservação do meio ambiente, cresce o interesse na utilização de matérias primas recicláveis e/ou renováveis em materiais para aplicações de engenharia. Além das questões ambientais, os compósitos poliméricos com fibras vegetais apresentam inúmeras vantagens, tais como: baixa densidade, boas propriedades mecânicas específicas, baixo custo, biodegradabilidade, não-abrasividade e baixo consumo de energia.<sup>(4)</sup> As principais limitações são o baixo desempenho mecânico e alta absorção de umidade devido à natureza hidrofílica das fibras vegetais. Essas limitações podem ser minimizadas com a hibridização, associação de diferentes tipos de fibras. Uma boa alternativa é a associação da fibra vegetal com a fibra de vidro. A fibra de vidro melhora o desempenho mecânico do compósito com fibra vegetal e reduz a absorção de umidade, pois age como barreira de proteção para as fibras vegetais.

O compósito desenvolvido neste trabalho utiliza recursos renováveis - as fibras de sisal, coco e bucha natural - na sua composição. Estas fibras, associadas com a fibra de vidro, são utilizadas como agentes de reforço em uma matriz polimérica gerando compósitos híbridos.

A fibra de vidro foi escolhida por ser amplamente utilizada em compósitos de uso geral e por apresentar uma boa relação custo/benefício. A escolha das fibras de sisal, coco e bucha natural foi feita em função das suas características, disponibilidade e questão social. Estas fibras possuem plantio, colheita, beneficiamento e processamento bem difundidos no Brasil, sobretudo no Nordeste.<sup>(5,6)</sup> A fibra de sisal tem destaque por apresentar propriedades mecânicas elevadas se comparada às demais fibras vegetais sendo amplamente utilizada em compósitos poliméricos.<sup>(7)</sup> A *Luffa cylindrica*, vulgarmente conhecida como bucha, é uma planta abundante nos países da América Central e do Sul. Sua fruta, da mesma família do pepino, tem um sistema vascular que, quando seca, forma uma manta tridimensional natural, o que é vantajoso, pois confere uma maior tenacidade aos compósitos.<sup>(8,9)</sup> Não foram encontrados, nas bases de dados pesquisadas, trabalhos referentes ao uso da fibra de bucha natural em compósitos laminados híbridos. Especificamente no caso da fibra de coco, o seu uso contribui com o aproveitamento da casca do coco verde, que gera um grande volume de lixo e serve de foco de proliferação de doenças. Além disso, deve ser considerada a viabilidade econômica regional, tendo em vista o grande consumo da água de coco nas cidades litorâneas do estado do Espírito Santo.

A proposta deste trabalho é testar a viabilidade do emprego das fibras de sisal, coco e bucha natural em compósitos laminados híbridos em associação com a fibra de vidro.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

A matriz foi uma resina poliéster insaturada do tipo ortoftálica (Novapol L120) catalisada com peróxido orgânico tipo D líquido (1:100 em peso de resina). O reforço consiste de fibras de vidro-E (450 g/m<sup>2</sup>), e fibras vegetais: sisal, coco e bucha natural. A Fibra de vidro é adquirida na forma de manta e não exige preparação adicional, basta cortá-la para adequação ao tamanho do molde (Figura 1d). Já as fibras vegetais exigem preparação prévia. As Figuras 1a a 1c) mostra as fibras de sisal, coco e bucha nas diferentes etapas da preparação: como recebidas, após o corte e após compactação para a formação da manta. As fibras de sisal foram recebidas com aproximadamente 1m de comprimento sendo cortadas com aproximadamente 17 mm. Em seguida foram distribuídas aleatoriamente num molde metálico e prensadas para adquirir o formato de uma manta. As fibras de coco foram recebidas com aproximadamente 30 cm de comprimento sendo cortadas e prensadas do mesmo modo que as fibras de sisal. A bucha já apresenta naturalmente a forma de manta, a sua preparação consiste em abrir a bucha, retirar as sementes e cortá-la no tamanho do molde.

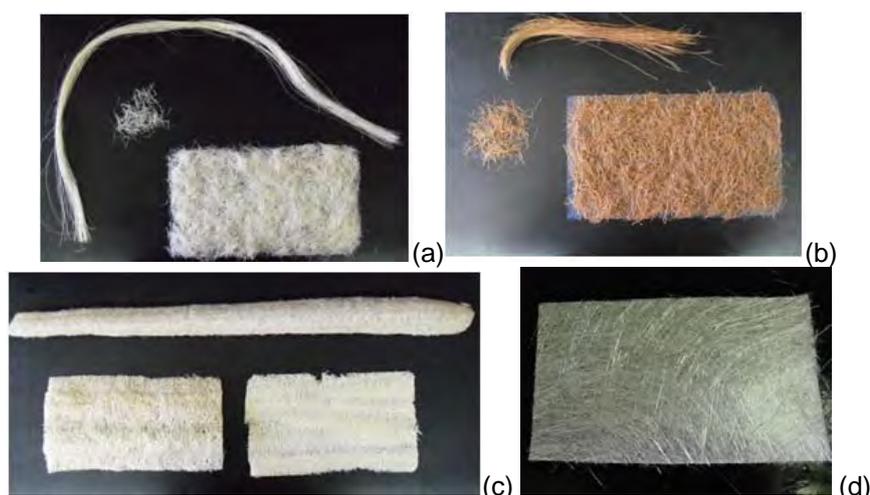
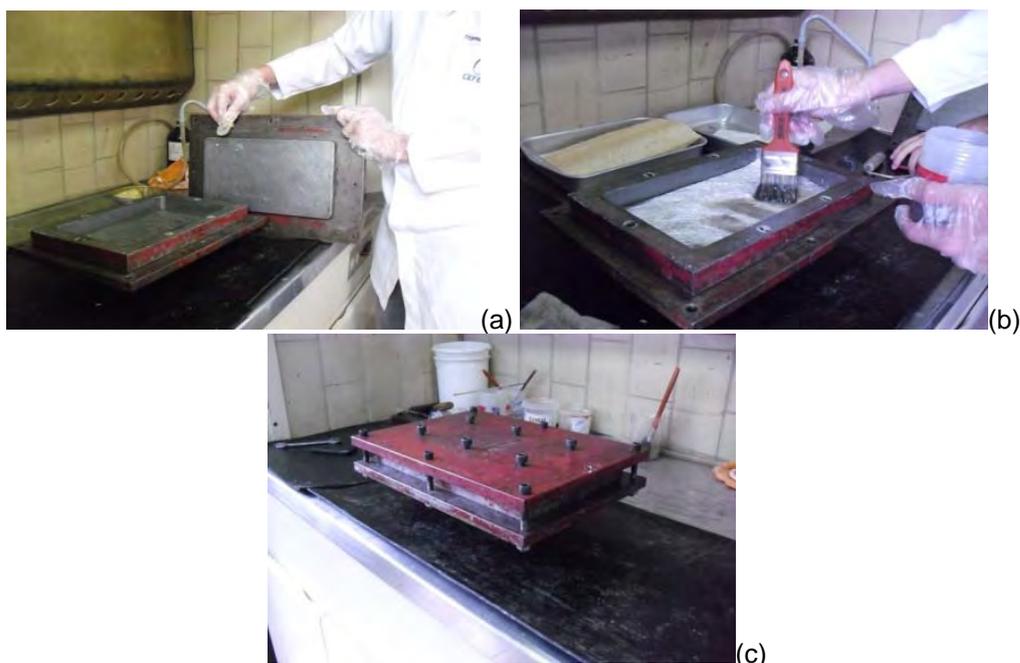


Figura 1. (a) Fibras de sisal; (b) fibras de coco; (c) bucha natural; e (d) manta de fibra de vidro.

### 2.2 Fabricação dos Compósitos

Foram fabricados três compósitos híbridos, sisal/vidro, coco/vidro e bucha/vidro, e um compósito apenas com fibra de vidro. Os compósitos híbridos têm a forma estrutural de um laminado com um total de cinco camadas, três camadas de fibra de vidro intercaladas por duas camadas de fibra vegetal.

O processo utilizado foi o de laminação manual seguida de compressão. A laminação foi feita em um molde de aço de 290 x 170 mm, a Figura 2 mostra fotos do molde e do processo de laminação. O procedimento é iniciado com a aplicação de desmoldante no molde (cera de carnaúba). Em seguida inicia-se a laminação que consiste em alternar camadas de fibra de vidro e fibra vegetal, sempre as impregnando com a resina (Figura 2). Finalizado o processo o laminado é recoberto com forro plástico e o excesso de resina e bolhas são retirados com o auxílio de um rolete. O molde é fechado para compressão do laminado e a desmoldagem é realizada após cerca de 24 h. A espessura média dos laminados foi de 3,5 mm.



**Figura 2.** Etapas de fabricação do laminado híbrido, (a) molde aberto; (b) laminação; e (c) molde fechado.

### 2.3 Análises e Ensaios

O cálculo da fração volumétrica e mássica dos componentes foi feito a partir do volume das placas laminadas (largura x espessura x comprimento), massa dos componentes (medidos antes da moldagem) e densidade teórica da resina, das fibras vegetais e do vidro (obtidos na literatura).

Os corpos de prova para o ensaio de tração foram usinados das placas moldadas. As suas laterais foram lixadas e polidas (com as técnicas comuns de metalografia), para eliminar eventuais danos ocasionados pelo corte. Os ensaios foram feitos de acordo com a norma ASTM D3039<sup>(10)</sup> em uma máquina universal de ensaios EMIC DL10000.

Para a caracterização microestrutural dos compósitos alguns corpos de prova foram lixados e polidos nas suas laterais e observados ao microscópio (marca: Leica DCM 3D).

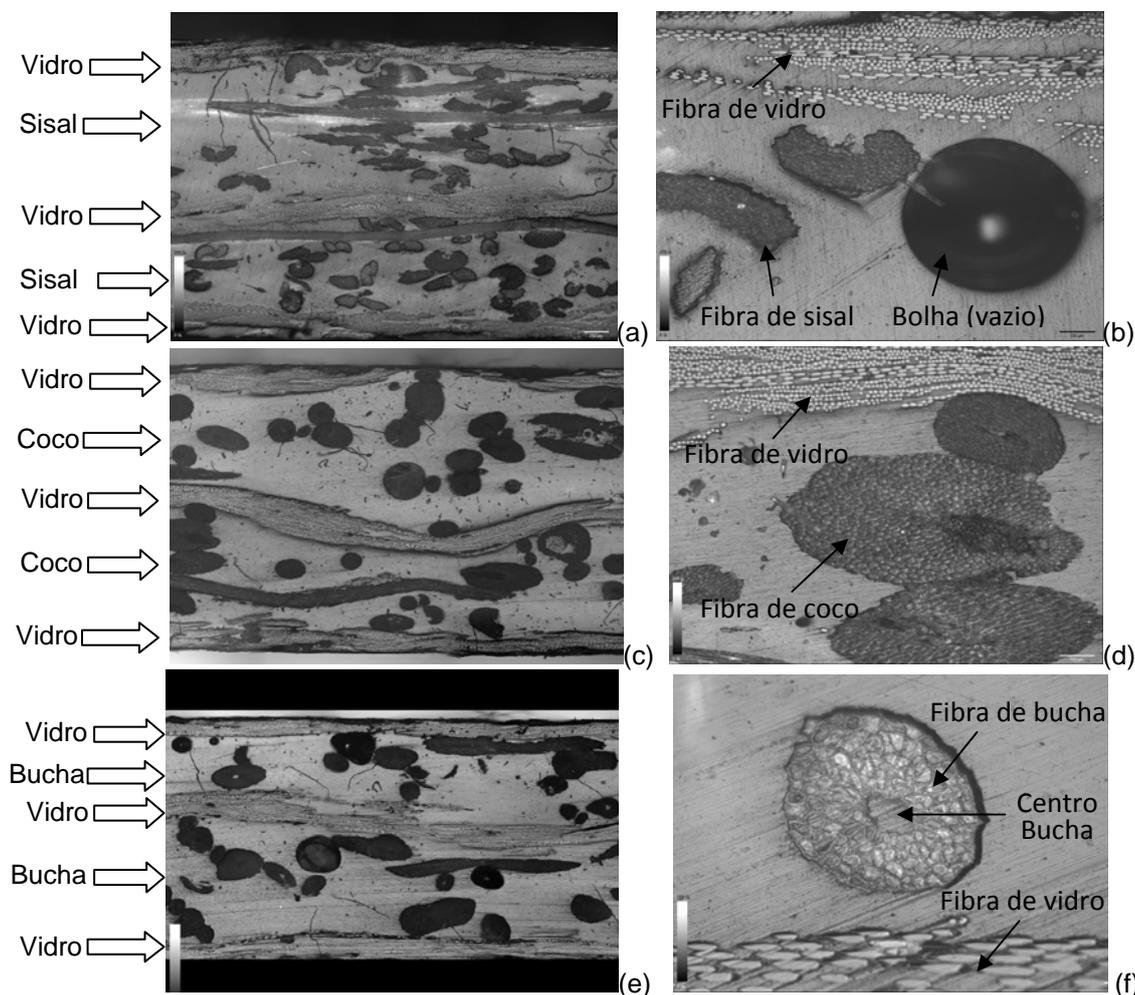
## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de constituintes de cada laminado é apresentado na Tabela 1. O percentual máximo de vazios é de 5,9% o que pode ser considerado baixo para um processo de laminação manual. O menor teor de vazios do híbrido bucha/vidro se justifica pelo formato da bucha que facilita a impregnação pela resina reduzindo os vazios. Observando a Tabela 1 nota-se que os valores de densidade e fração em massa e volume dos constituintes dos compósitos híbridos são bem próximos. Isso é importante na comparação do comportamento mecânico dos três compósitos híbridos. Vale salientar que estes resultados são baseados nos valores teóricos da densidade dos componentes e, portanto, estão sujeitos a erros.

A Figura 3 apresenta a microestrutura dos compósitos. Esta análise permite observar a distribuição das camadas de fibra de vidro e fibra vegetal, bem como detalhes da estrutura de cada tipo de fibra e a ocorrência de vazios e bolhas.

**Tabela 1.** Densidade teórica, fração volumétrica e fração mássica dos constituintes

	Sisal/vidro	Bucha/vidro	Coco/vidro	Vidro
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	1,27 ± 0,01	1,33 ± 0,00	1,30 ± 0,00	1,38 ± 0,01
<b>Fração Volumétrica</b>				
Fibra de vidro (%)	15,1 ± 0,9	14,9 ± 0,5	14,9 ± 0,2	26,8 ± 0,1
Fibra vegetal (%)	9,2 ± 0,8	14,4 ± 1,1	11,3 ± 0,1	-
Resina (%)	69,8 ± 2,0	68,5 ± 0,7	69,5 ± 0,4	67,6 ± 0,8
Vazios (%)	5,9 ± 0,4	2,2 ± 0,2	4,2 ± 0,5	5,7 ± 0,8
<b>Fração Mássica</b>				
Fibra de vidro (%)	28,1 ± 1,43	28 ± 0,8	27,6 ± 0,3	45,3 ± 0,3
Fibra vegetal (%)	10,7 ± 0,9	10,6 ± 0,8	10,8 ± 0,1	-
Resina (%)	61,21 ± 2,2	61,5 ± 0,5	61,6 ± 0,4	54,7 ± 0,3

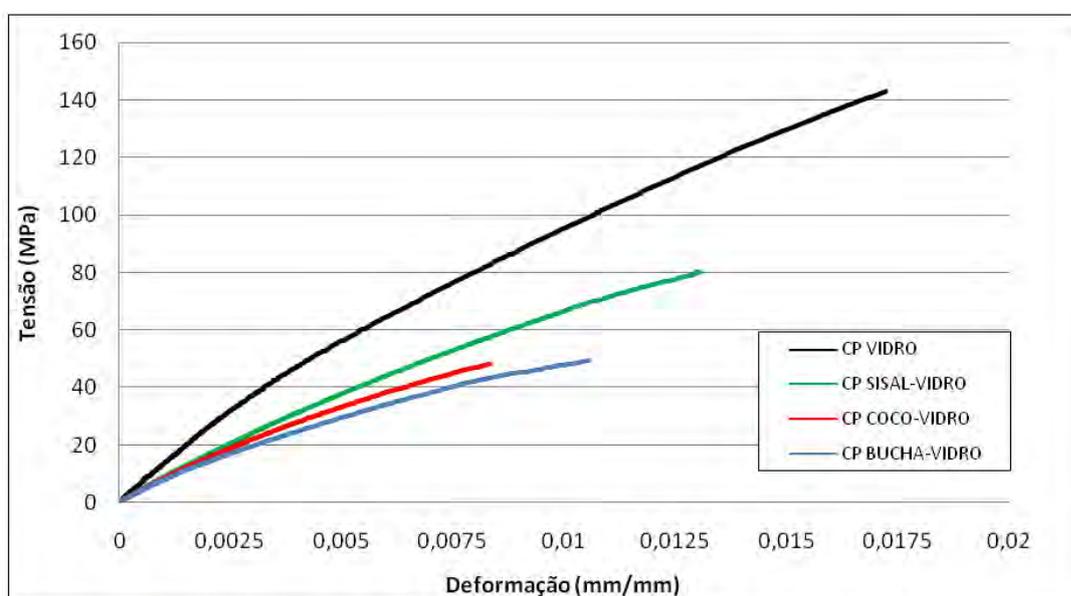


**Figura 3.** Microestrutura dos compósitos híbridos na seção transversal e detalhes das fibras vegetais e fibra de vidro. (a-b) Sisal/vidro, (c-d) Coco/vidro, (e-f) Bucha/vidro.

Observando a microestrutura dos laminados nas Figuras 3a, 3c e 3e fica evidente o grande percentual de resina comparado ao percentual de fibras vegetais. Isto decorre da dificuldade no processo de laminação; como as fibras têm baixa densidade é necessário trabalhar com um grande volume para alcançar o percentual desejado. Há dificuldade para impregnar e compactar este grande volume durante o processo de laminação. As camadas de fibra de vidro e fibra vegetal são facilmente identificadas nas imagens. Vale salientar que a opção de utilizar a fibra de vidro nas

camadas externas do laminado visa facilitar o processo de laminação e assegurar uma espessura mais uniforme ao laminado. A camada central de fibra de vidro aumenta a resistência ao cisalhamento do laminado. Além disso, as fibras de vidro atuam como camada de barreira protegendo as camadas internas de fibras naturais da ação do ambiente. Nas Figuras 3b, 3d e 3f, observam-se detalhes da estrutura das fibras vegetais. Todas apresentam estrutura similar, qual seja, pequenas fibrilas distribuídas ao redor de um centro oco, chamado de lúmem. Vazios e bolhas estão presentes em todos os compósitos.

A Figura 4 mostra as curvas tensão x deformação para os quatro tipos de compósitos confeccionados, obtidas a partir do ensaio de tração. Estas curvas são representativas do comportamento geral observado. Analisando a Figura 5 é possível perceber um comportamento aproximadamente linear nas curvas. Este comportamento é comum à maioria dos compósitos que utilizam matrizes termofixas, nos quais, a matriz está, quase sempre, em maior percentual.



**Figura 4.** Curvas (Tensão x Deformação), representativas dos compósitos laminados produzidos.

As propriedades mecânicas em tração são apresentadas na Tabela 2. Conforme esperado, o melhor desempenho mecânico foi do compósito apenas com fibras de vidro. Entre os compósitos híbridos, destaque para o híbrido sisal/vidro, com valores aproximados de 80 MPa e 8 GPa para a resistência à tração e o módulo elástico respectivamente. Estes valores correspondem a aproximadamente 57% e 80% dos valores apresentados pelo compósito apenas com fibra de vidro. Os compósitos híbridos coco/vidro e bucha/vidro apresentaram propriedades mecânicas bem próximas, diferindo apenas no alongamento cerca de 1,0% para o híbrido bucha/vidro e 0,8% para o híbrido coco/vidro. Quando comparados com o compósito de fibra de vidro a redução é de aproximadamente 65% na resistência à tração, entre 23% e 38% no módulo de elasticidade e entre 44% e 55% no alongamento.

**Tabela 2.** Propriedades mecânicas em tração dos compósitos

Compósito	Resistência à tração (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Alongamento (%)
Vidro	139,9 ( $\pm$ 4,8)	9,8 ( $\pm$ 0,67)	1,8 ( $\pm$ 0,17)
Híbrido Sisal/vidro	80,2 ( $\pm$ 7,5)	7,9 ( $\pm$ 0,83)	1,3 ( $\pm$ 0,39)
Híbrido Coco/vidro	48,9 ( $\pm$ 3,1)	7,5 ( $\pm$ 0,52)	0,8 ( $\pm$ 0,07)
Híbrido Bucha/vidro	47,7 ( $\pm$ 4,6)	6,1 ( $\pm$ 0,83)	1,0 ( $\pm$ 0,28)

## 4 CONCLUSÕES

Como já estabelecido na literatura, o desempenho mecânico dos compósitos com fibras vegetais é inferior aos compósitos com fibras sintéticas. Porém, este desempenho melhora com a hibridização como constatado neste trabalho.

O compósito híbrido sisal/vidro é o que apresenta melhor comportamento se aproximando do desempenho do compósito apenas com fibra de vidro, sendo um potencial substituto, não descartando os compósitos híbridos coco/vidro e bucha/vidro.

Na análise da microestrutura observa-se que as fibras vegetais estão dispersas em regiões ricas em resina. Vazios e bolhas estão sempre presentes, porém em baixo percentual.

## Agradecimentos

Ao CNPq/IFES pela bolsa concedida e à Professora Rosana Vilarim da Silva pela orientação.

## REFERÊNCIAS

- 1 J. K. M. PENHA, M. A. DAMASCENO, R. N. B. FELIPE, R. C. T. S. FELIPE. *Análise comparativa entre as propriedades mecânicas de Compósitos poliméricos reforçados por juta/vidro/juta e Juta/juta*. 17<sup>o</sup> CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Paraná. 2006.
- 2 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *D3878-95c*, Standard Terminology of High-Modulus Reinforcing Fibers and Their Composites, 1995.
- 3 NETO, F. L., PARDINI, L. C.. *Compósitos Estruturais: Ciência e Tecnologia*. Editora Edgard Blücher. São Paulo, 2006
- 4 EL-TAYEB, N.S.M. *Development and characterization of low-cost polymeric composite materials. Materials and Design*. Volume 30. N<sup>o</sup> 4. 2009.
- 5 GONDIM, T, M, S. SOUZA, L, C. Caracterização de Frutos e Sementes de Sisal. *Circular Técnica*, Campina grande, 2009. Disponível em <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/662606/1/CIRTEC127.pdf>> Acesso em: 01 de março de 2013;
- 6 BRAZILIAN FIBRES. Coco. Disponível em <http://www.brazilianfibres.com/portal/index.php/pt/pagina-inicial/18-conteudo-publico/portugues/empresas/21-o-coco>> Acesso em: 01 de março de 2013;
- 7 ROSÁRIO, F. PACHEKOSKI, W, M. SILVEIRA, A, P, J. SANTOS, S, F. JÚNIOR, H, S. CASARIN, S, A. *Resíduos de sisal como reforço em compósitos de polipropileno virgem e reciclado*. *Polímeros*, vol. 21, no. 2, p. 90-97. São Carlos, 2011.
- 8 d'Almeida, A. L. F. S., Calado, V., Barreto, D. W., *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 15, n. 1, p. 59 (2005).

- 9 Naglis, M. M. M. & d'Almeida, J. R. M., - "Aspectos do Emprego de Fibras Naturais Como Reforço em Compósitos: Análise da Morfologia da Luffa Cilíndrica", in: Anais do 4<sup>o</sup> MICROMAT, p.575, São Carlos – SP, out (1994).
- 10 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *ASTM D3039*: standard test method for tensile properties of polymer matrix composite materials, Philadelphia, 2006.