

# ANÁLISE METODOLÓGICA DE CONFECÇÃO DE COMPÓSITO DE POLIURETANO REFORÇADO COM JUTA\*

Juliana Peixoto Rufino Gazem de Carvalho<sup>1</sup>  
Anna Carolina Cerqueira Neves<sup>2</sup>,  
Felipe Perissé Duarte Lopes<sup>3</sup>,  
Sérgio Neves Monteiro<sup>4</sup>,  
Carlos Maurício Fontes Vieira<sup>5</sup>

## Resumo

Atualmente é crescente a preocupação da indústria em desenvolver materiais que sejam ecologicamente corretos e assim muitas pesquisas têm sido realizadas para o desenvolvimento de materiais que possam substituir aqueles de origem sintética ou até mesmo de fontes não renováveis. O uso da matriz de poliuretano a base de mamona representa uma opção ecologicamente correta ao uso de matrizes poliméricas, como por exemplos as resinas epóxi e poliéster. Para realização de uma análise dos compósitos poliméricos de matriz poliuretana vegetal (do óleo da mamona) reforçado com tecido de fibra de juta; inicialmente, determinou-se a densidade das fibras pelo método de Arquimedes, na qual obteve-se um valor de 2,390g/cm<sup>3</sup>. Uma análise visual das fibras também foi feita a fim de entender seu papel e comportamento como reforço nas matrizes de poliuretano vegetal, o que por sua vez, pode ser melhor avaliado por um ensaio de impacto na configuração Charpy; para compósitos com incorporação de 0 a 6 camadas de tecido de juta em matriz de poliuretano vegetal. Com os dados obtidos pelo ensaio citado, foi possível observar a energia máxima de impacto de 226,34J/m<sup>2</sup> para compósitos de matriz poliuretano vegetal com a incorporação de duas camadas de tecido, uma vez que a fissura teve menor distância para se propagar sem “obstáculos”, ao contrário do que foi observado nos compósitos de 4 camadas.

**Palavras-chave:** Charpy, Poliuretano, Juta, Caracterização.

## METHODOLOGICAL ANALYSIS OF POLYURETHANE BASED COMPOSITES REINFORCED WITH JUTE MANUFACTURING

### Abstract

There is a growing concern in the industry to develop materials that are considered eco-friendly materials and because of that researches have been done to develop materials that can replace those synthetic ones or even from nonrenewable sources. The use of the castor oil-based polyurethane matrix represents a more ecological option as replacement of other matrices such as epoxy and polyester. To perform an analysis of this material, initially, the density of the fibers was determined by the Archimedes method, in which a value of 2.390g / cm<sup>3</sup> was obtained. A SEM analysis of the fibers was also done in order to understand their role and behavior as reinforcement in the polyurethane matrix, which can be better evaluated by an impact test set in Charpy configuration, for composites from 0 to 6 layers of jute fabric in polyurethane matrix incorporation. Based on the data obtained by the mechanical test, it was possible to observe the maximum impact energy absorption of 226.34J/m for polyurethane matrix composites with the incorporation of two layers of fabric, since the crack had less distance to propagate without "obstacles", contrary to what was observed in the 4-layer composites.

**Keywords:** Charpy, Polyurethane, Jute, Characterization.

<sup>1</sup> *Doutoranda em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, LAMAV, UENF, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro - Brasil.*

<sup>2</sup> *Mestranda em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, LAMAV, UENF, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro - Brasil.*

<sup>3</sup> *Pós doutorando em Ciência e Engenharia de Materiais, Pós-Doutorando, LAMAV, UENF, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro - Brasil.*

<sup>4</sup> *Professor PhD, IME, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - Brasil.*

<sup>5</sup> *Pós doutorando em Ciência e Engenharia de Materiais, Pós-Doutorando, LAMAV, UENF, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro - Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

Embora seja facilmente observável o aumento do bem de consumo e por consequência, o aumento da produção de rejeitos, associados ao aumento do crescimento da população global, também tem sido crescente a preocupação com o meio ambiente e consequentemente as pesquisas para o desenvolvimento de materiais ambientalmente corretos. [1]

Uma das consequências dessa maior preocupação com o meio ambiente está na utilização das fibras naturais, e tecidos feitos com fibras naturais em consequente, para reforçar matrizes poliméricas já que além de fonte renovável, biodegradáveis, abundantes e de baixa toxicidade, são de baixo custo e possuem atrativas qualidades mecânicas, tais como baixa rigidez específica e boa resistência mecânica. Desse modo, o uso das fibras naturais em substituição às fibras sintéticas ou outros materiais cujas fontes são prejudiciais ao meio ambiente. [2]

Quanto as aplicações, essas são diversos os usos dos materiais compósitos, desde o uso em painéis internos de automóveis e outras peças até capacetes de ciclismo, sendo que no setor automobilístico algumas fibras já estão sendo usadas em escala industrial, tais como: coco, juta, curauá e sisal. [3, 4]

Também é de grande valia ressaltar que que as propriedades finais dos compósitos são resultado direto das propriedades e características do reforço de forma isolada, tais como geometria, forma das fibras, orientação, quantidade inserida nas matrizes e sua composição química. Essas características têm influência inclusive na interação entre matriz e reforço, uma vez que é através dessa interface que ocorrem as transferências de carga entre fibra e matriz de poliuretano. [5]

Desse modo, este presente trabalho se propõe a caracterizar e analisar o processo de manufatura dos corpos de prova de matriz poliuretano vegetal à base de óleo de mamona reforçados por 0 a 6 camadas de tecido de juta bem como seu comportamento quanto a absorção de energia de impacto, em configuração Charpy. Uma análise por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) também foi utilizada para que a caracterização das características superficiais das fibras, bem como sua disposição no tecido fossem observadas e pudessem ser associadas ao comportamento do mesmo enquanto reforço na matriz de poliuretano vegetal. Uma caracterização física também foi realizada por meio da determinação da densidade da fibra de juta.

Desse modo, o presente estudo visa avaliar os parâmetros para confecção de amostras com diferentes números de camadas de tecidos de juta adicionadas à matriz de poliuretano vegetal produzidas a partir de um molde de silicone aberto para a obtenção de um material compósito de bom desempenho mecânico e que seja o menos danoso possível ao meio ambiente.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Materiais e Métodos

O tecido de juta, Figura 1 (b), utilizado neste trabalho foi adquirido comercialmente em um centro comercial no município de Campos dos Goytacazes - RJ. O lote de 5m foi dividido em diversos retângulos com dimensões 155x125 mm. Após o corte com tamanho adequado para o molde, o tecido foi lavado em água corrente e disposto em estufa a 60º C por 24h.

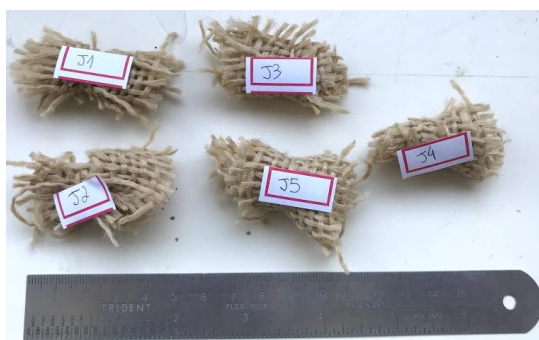
A resina utilizada na confecção dos corpos de prova, cedida pela Imperveg, é o poliuretano vegetal derivado de óleo de mamona (PU Vegetal). Esta resina é do tipo AGT 1315, Figura 1 (a), sendo um produto bi-componente formulado pela mistura a frio de um pré-polímero (componente A) e um polioli (componente B) em proporções de 1:1,8 (A:B).



**Figura 1.** (a) Resina PU Vegetal utilizada, (b) Tecido de Juta utilizado.

Após o processo de limpeza do tecido de juta descrito acima, bem como a preparação da resina, a última foi vertida no molde ao passo que iam sendo dispostas as camadas de Juta. É importante relatar que os tecidos utilizados foram retirados diretamente da estufa para a confecção dos compósitos, ou seja, foram utilizadas ainda quentes. De acordo com a literatura [6] este procedimento evita que eventual umidade, presente na superfície da carga, reduza o nível de interação entre matriz e reforço, melhorando a qualidade do compósito.

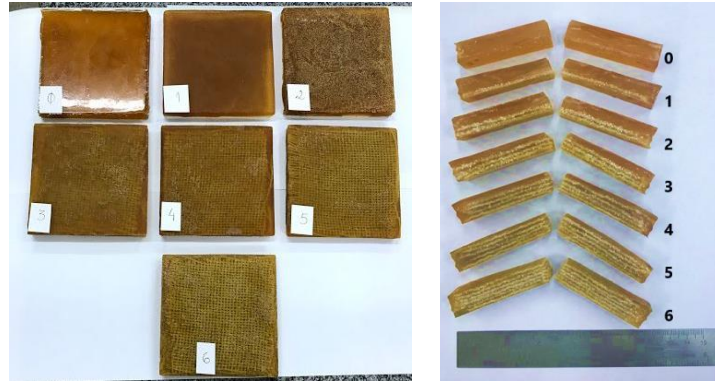
Inicialmente foram realizados MEVs para observar a morfologia do tecido e das fibras de juta que o compõe. O equipamento utilizado foi o microscópio modelo Superscan SSX, Shimadzu. Em seguida, utilizou-se o princípio de Arquimedes (empuxo), indicado para determinar a densidade de sólidos com densidade inferior a da água. Os equipamentos utilizados foram uma balança digital com acurácia de  $\pm 0,001$  g equipada com um suporte metálico capaz de fazer a imersão do corpo de prova em água destilada contida em um recipiente. O ensaio seguiu os procedimentos prescritos pela norma ASTM D792 [7]. Na Figura 2 é possível visualizar como foram preparadas as amostras para este teste.



**Figura 2.** Amostras de tecido de Juta preparadas para ensaio de densidade.

Para a confecção dos corpos de prova, foi produzido um molde utilizando de borracha de silicone, moldado com tamanho retangular e dimensões de 150 x 120 mm.

A quantidade de camadas inseridas na matriz de poliuretano variou de 0 a 6 camadas de tecido de juta e após a cura de 24h no molde, em temperatura ambiente, essas placas de compósito passaram por um processo de pós-cura em estufa por 7 dias e temperatura de 60°C. Posteriormente, as placas produzidas (Figura 3) foram cortadas em dimensões previstas pela norma [8] para realização de ensaio de impacto Charpy.

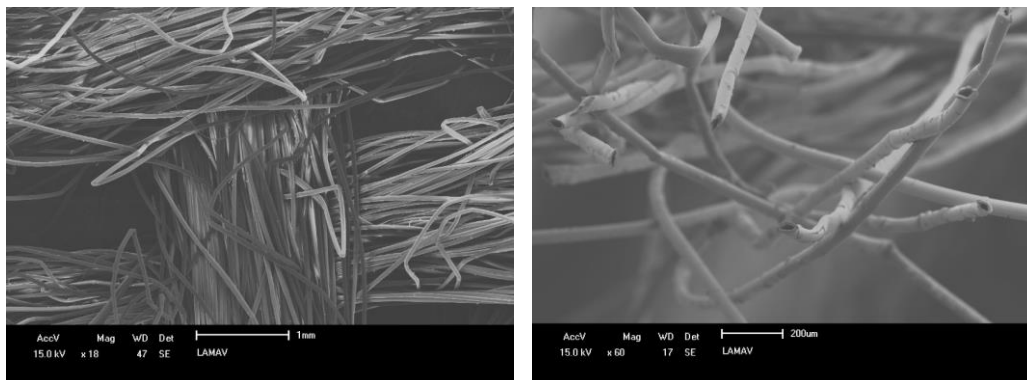


**Figura 3.** (a) Placas dos compósitos confeccionados antes de serem cortadas; (b) Cortadas nas dimensões da norma e rompidas após ensaio.

Por fim, a adesão fibra-matriz foi novamente observada com o auxílio de MEV. Todos os equipamentos utilizados encontravam-se disponíveis no LAMAV-UENF.

## 2.2 Resultados

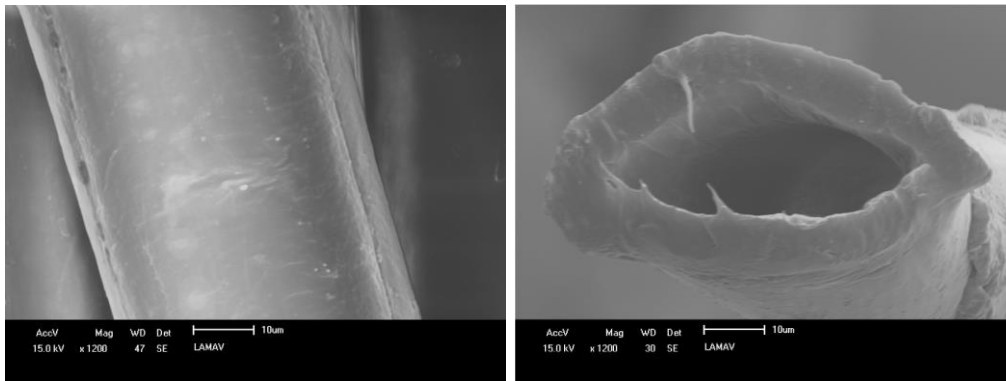
Através da análise por MEV, podemos observar na Figura 4 o entrelaçamento do tecido de juta e sua aparência nessa disposição. Percebe-se que o tecido é composto por uma série de fibras dispostas vertical e horizontalmente, que se cruzam formando a malha do tecido.



**Figura 4.** (a) Disposição das fibras no tecido – 10x; (b) Fibras 60x.

O tecido tem aparência superficial extremamente lisa característico para fibras de juta (Figura 5). A ausência de rugosidade pode gerar uma má adesão fibra-matriz e demandar um tratamento químico prévio a utilização do tecido como reforço. É visível também um grande orifício central existente na fibra, denominado lúmen ocupa uma porção considerável da seção transversal da mesma.





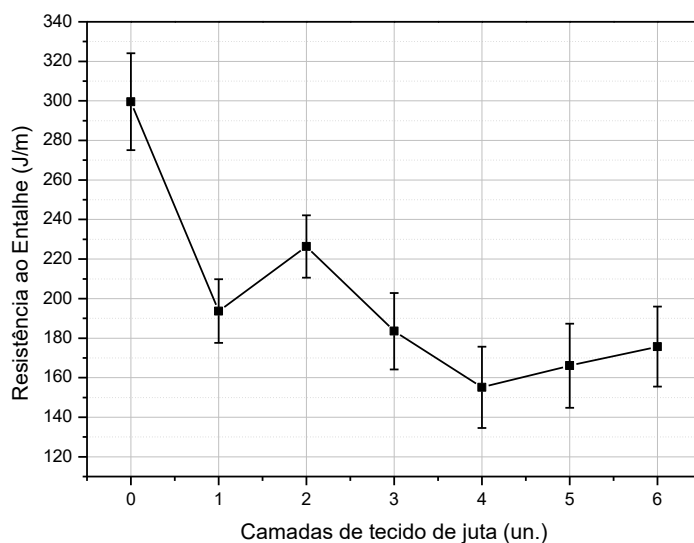
**Figura 5.** (a) Superfície da fibra – 1200x; (b) Seção transversal do lúmen – 1200x.

A Tabela 1 mostra os resultados determinados após a aplicação do princípio de Arquimedes. Dr refere-se à densidade real (ou relativa) da amostra, ou seja, obtida pela razão entre a sua densidade e a densidade da outra substância escolhida como padrão, no caso, a água. Esta leva em consideração o volume do conjunto analisado, ou seja, não exclui o espaço vazio contido entre as fibras. Já na Da, densidade aparente, os volumes dos espaços vazios são considerados e é contabilizado somente o volume da amostra, excluindo esses vazios. Logo, Dr encontrada foi maior que a aparente, corroborando com o indicado pela literatura [10]. Os dois valores encontrados (Dr e Da) encontram-se de acordo com outros autores [11] que usaram o mesmo método para determinação das densidades de tecido de juta e encontraram, respectivamente,  $Dr = 3,00$  e  $Da = 0,181 \text{ g/cm}^3$ . Vale lembrar que essa pequena diferença encontrada entre os resultados é explicada pela juta ser uma fibra natural de origem vegetal e como tal, suscetível a essa ínfima irregularidade. Pelo baixo valor, ao comparar com outros trabalhos existentes e fibras sintéticas, é possível afirmar que o a Da mostra que o tecido de juta é extremamente leve, o que o torna muito significativo para o estudo em compósitos.

**Tabela 1.** Resultados da aplicação dos princípios de Arquimedes.

	<b>Densidade Relativa (Dr)</b>	<b>Densidade Aparente (Da)</b>
	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>
Juta	2,390	0,255

A Figura 6 mostra o gráfico criado a partir dos resultados do ensaio de impacto do compósito de poliuretano vegetal com tecido de juta, variando o número de camadas. A Tabela 2 detalha os resultados obtidos. A energia absorvida refere-se ao que foi absorvido pela amostra durante o ensaio, a resistência ao entalhe é calculada segundo a norma do ensaio, ASTM D6110 [8].



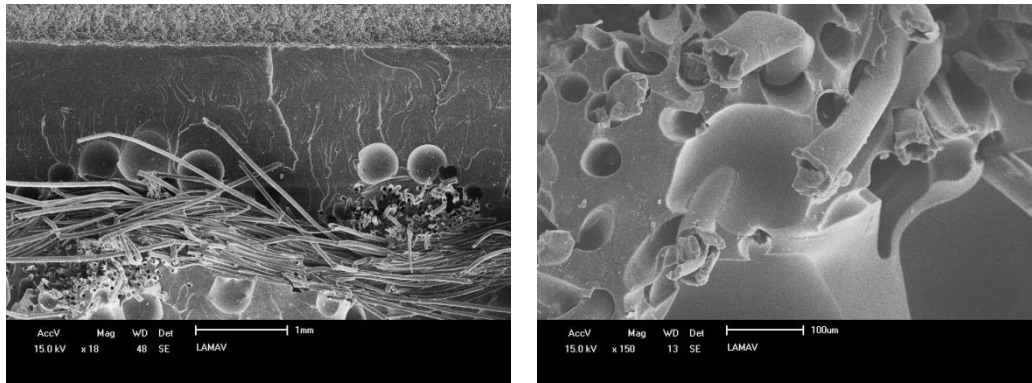
**Figura 6.** Correlação entre resistência ao entalhe (J/m) e o número de camadas incorporadas.

É sabido que durante a confecção de um compósito, a inserção de uma nova fase é capaz de reduzir a propriedade do produto puro. Isto realmente aconteceu no trabalho em questão. Após a inserção das camadas, houve uma redução da absorção de energia das amostras confeccionadas. Porém, ao comparar os resultados obtidos deste trabalho com outros encontrados na literatura, testando o tecido de juta com matriz de poliuretano [12] e epóxi [13] confeccionados com matriz de aço, observou-se que todos os resultados aqui encontrados foram superiores. Provavelmente, a confecção na matriz de silicone proporcionou melhor interação entre a fibra-matriz, resultando em energias absorvidas nitidamente maiores. Outra observação que podemos fazer com esses valores é que a resina PU vegetal é mais resistente que as resinas epóxis encontrados na literatura e que ao incorporar os tecidos de juta fragiliza-se o compósito.

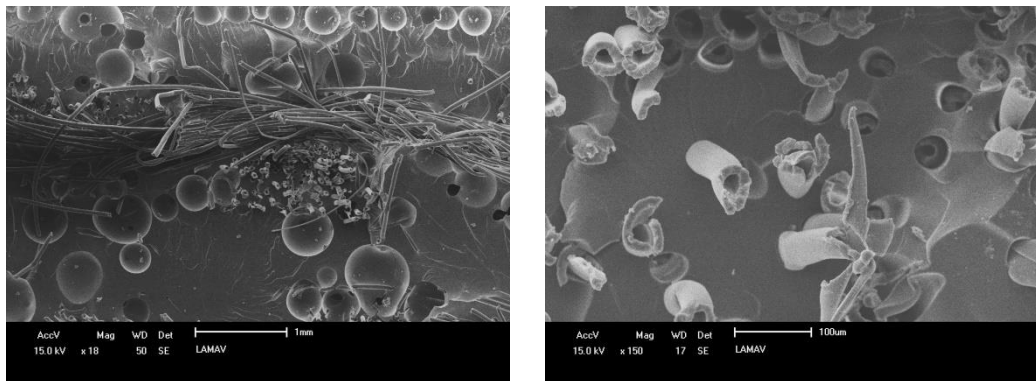
**Tabela 2.** Número de camadas x Energia absorvida x Energia de Impacto

Camadas (un.)	Energia Absorvida (J)	Resistência ao Entalhe (J/m)
0	3,74 ± 0,30	299,58 ± 24,47
1	2,14 ± 0,26	193,68 ± 16,07
2	2,79 ± 0,19	226,34 ± 15,75
3	2,29 ± 0,23	183,51 ± 19,31
4	1,97 ± 0,29	155,14 ± 20,54
5	2,09 ± 0,31	166,05 ± 21,28
6	2,32 ± 0,29	175,73 ± 20,19

Para uma análise morfológica após o ensaio, foi selecionado o compósito com o pior e o melhor resultado de energia absorvida encontrada, respectivamente. Ambos são apresentados nas Figuras 7 e 8. Nelas são apresentadas as imagens referentes a superfícies geral das peças, próximas e longe do entalhe. Em ambas as matrizes são visualizadas a presença de bolhas.



**Figura 7.** MEV da fratura do compósito com 4 camadas de tecido (a) visão do local do entalhe – 18x; (b) parte oposta ao entalhe – 150x.



**Figura 8.** MEV da fratura do compósito com 2 camadas de tecido (a) visão do local do entalhe – 18x; (b) parte oposta ao entalhe – 150x.

Observa-se também a presença de algumas fibras sacadas, com diferentes comprimentos, fenômeno denominado arrancamento (*pullout*). A Figura 7b demonstra uma maior quantidade de vazios provenientes do processamento, fragilizando a região ao redor, através da introdução de concentradores de tensão, cuja quais serão interligados pela propagação da trinca ao sofrer o impacto do pêndulo da máquina de ensaio de impacto. Ou seja, esse local possui uma possibilidade maior de falha. Isto não fica tão evidente ao observar a Figura 8b, que demonstra uma interface mais firme e fechada, possibilitando melhor comportamento do material quando o esforço foi solicitado.

### 3 CONCLUSÃO

- O resultado da determinação da densidade pelos princípios de Arquimedes é coerente com o encontrado na literatura;
- As amostras reforçadas com 2 camadas de tecido apresentaram o melhor valor da energia absorvida pelo impacto, uma vez que a fissura teve menor distância para se propagar sem “obstáculos”, ao contrário do que foi observado nos compósitos de 4 camadas.
- O aumento da energia de impacto com o aumento da quantidade de tecido de juta não é observado no presente trabalho;
- A fratura frágil foi observada;

- Os compósitos poliméricos confeccionados em matriz de silicone apresentaram melhor desempenho quando submetidos a impactos em relação a outros resultados encontrados na literatura.

## Agradecimentos

Os autores agradecem o suporte dado pela FAPERJ, à IMPERVEG pelo fornecimento da resina e ao Laboratório de Materiais Avançados da Universidade Estadual do Norte Fluminense – LAMAV/UENF.

## REFERÊNCIAS

- 1 Monteiro, S. N.; Perissé, F. D. L.; Costa, L. L.; Bevitori, A. B.; Silva, I. A. S. Barbosa A.P., (2011) Natural Lignocellulosic Fibers as engineering materials – 53 an overview. The minerals, metals & materials Society and ASM International 2011, 2966-Vol 42A, October 2011.
- 2 Sébe, G., Cetin, N. S., Hill, C. A. S., Hughes, M. (2000) RTM Hemp fibre-reinforced polyester composites. Applied Composite Materials, 7: 341-349.
- 3 Rohen, L. A., Margem, F. M., Neves, A. C. C., Monteiro, S. N., Gomes, M. A., Castro, R. G. Vieira, C. M. F., De Paula, P. (2015) Izod impact test in epóxi matrix composites reinforced with hemp fiber. Characterization of Minerals, Metals, and Materials.
- 4 Joseph, A.; Sreekala, M. S.; Oomens, Z.; Koshy, P.; Tothomas, S. A. (2002) “ A comparison of the mechanical properties of phenol formaldehyde composites reinforced with banana fibre and glass fibres”. Composites Science and Technology, v. 62, p. 1857-68, 2002.
- 5 Razera, I. A. T., Frollini, E. (2004) Composites based on jute fibers and phenolic matrices: Properties of fibers and composites. Journal of Applied Polymer Science, 91: 1077- 1085.
- 6 Simonassi, N. T. Estudo da resistência a tração e impacto izod de compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras naturais de curauá de alto desempenho. 79p. Dissertação (Mestrado), Instituto Militar de Engenharia – IME, Rio de Janeiro/RJ.
- 7 ASTM – American Society for Testing and Materials. (2000) Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement, D792, 2000.
- 8 ASTM – American Society for Testing and Materials. (2010) Standard test method for determining the charpy impact resistance of notched specimens of plastics, D6110, 2010.
- 9 Amiri, A., Triplett, Z., Moreira, A., Brezinka, N., Alcock, M., & Ulven, C. A. (2017). Standard density measurement method development for flax fiber. Industrial Crops and Products, 96, 196–202. doi:10.1016/j.indcrop.2016.11.060
- 10 SAMPAIO, J. A.; SILVA, F. A. N. G.. Determinação das densidades de sólidos e de polpa. IN: Tratamento de Minérios: práticas laboratoriais. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2007. p. 37-51.
- 11 Fonseca, C. S., Silva, M. F., Mendes, R. F., Hein, P. R. G., Zangiaco, A. L., Savastano, H., & Tonoli, G. H. D. (2019). Jute fibers and micro/nanofibrils as reinforcement in extruded fiber-cement composites. Construction and Building Materials, 211, 517–527. doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.03.236
- 12 De Almeida Machado, J. G., de Carvalho, J. P. R. G., Neves, A. C. C., Lopes, F. P. D., Monteiro, S. N., & Fontes Vieira, C. M. (2019). Impact Energy Evaluation of Natural Castor Oil Polyurethane Matrix Composites Reinforced with Jute Fabric. Medical Radiology, 63–68. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-10383-5\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-030-10383-5_7)



- 13 De Almeida Machado, J. G., de Carvalho, J. P. R. G., Neves, A. C. C., Lopes, F. P. D., Monteiro, S. N., & Fontes Vieira, C. M. (2019). Charpy Impact Test of Polymer Composites with Epoxy Resin Reinforced Jute Fabric. *Medical Radiology*, 203–207. doi:10.1007/978-3-030-10383-5\_23