

ESTUDO DA INSERÇÃO DE FIBRAS CURTAS DE BAMBU E RESÍDUO SÓLIDO INDUSTRIAL DE COBRE EM MATRIZ POLIMÉRICA: ANÁLISE MECÂNICA DE TRAÇÃO

K.S.L. Barbosa, karllaslb@gmail.com¹
B.H.A.Mendes, bruno_mendes15@hotmail.com²
D. R. Borges, danielreisborges@hotmail.com²
N. R. S. Nunes, naomricardo@gmail.com¹
D.C. Farias, doryh.farias@gmail.com¹
N.G.Rodrigues, nayla4star@gmail.com¹
A.J.G. dos Santos, ajgs@ufpa.br³
D. S. Costa, deibsonsc@yahoo.com.br³
J. A.S. Souza, jass@ufpa.br³

¹Universidade Federal do Pará - Campus Universitário de Ananindeua - UFPA, PA, Brasil

²Programa de Pós-graduação em Engenharia Química – PPGEQ – UFPA, PA, Brasil

³Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Naturais- PRODERNA – UFPA, PA, Brasil

Resumo: Atualmente a fabricação de materiais compósitos que buscam o desenvolvimento sustentável tem ganhado espaço em vários setores industriais. Dessa forma, o uso de materiais compósitos poliméricos reforçados com fibras vegetais, tem despertado o interesse de empresas e pesquisadores na fabricação em nosso cotidiano. Neste trabalho foram produzidos materiais compósitos de matriz polimérica com inserção de fibras vegetais de bambu e resíduo industrial de cobre. O resíduo industrial de cobre foi caracterizado através de análise de Difração de Raios-X (DRX). Os compósitos foram confeccionados de acordo com o método hand lay-up. Foram realizados ensaios de tração dos compósitos pela norma ASTM D-3039. Diante disso, este trabalho visa avaliar o comportamento mecânico de tração de compósitos híbridos de matriz polimérica reforçados com fibras de bambu (15 mm) tratadas quimicamente com hidróxido de sódio 5% v/v e com inserção de resíduo de cobre. Para cada série foram produzidos 5 (cinco) corpos de prova. As fibras inseridas tiveram valores de fração mássica de 1%, 2% e 3% e o resíduo industrial de cobre foi de 10%, 20%, 30%, 40% e 50% e os híbridos: fibra 3%/Resíduo 10%, 20% e 30%. Os resultados mostraram que houve aumento no limite de resistência a tração dos compósitos em relação à matriz pura. Os melhores resultados de limite de resistência foram: 33,05 MPa para a fração de 3% de fibras de bambu, 40,25 MPa para 40% de resíduo de cobre e 34,46 MPa para o compósito híbrido RC 20 + F 3%.

Palavras-chave: Novos materiais, Matriz Poliéster, Fibras Vegetais, Resíduo de Cobre.

1. INTRODUÇÃO

O aumento do uso de materiais compósitos em vários domínios tecnológicos modernos despertou atenção nas pesquisas de materiais reforçados e processos avançados de produção. Esses materiais compósitos apresentam baixo peso (leveza) e um desempenho, principalmente o mecânico, superior aos materiais convencionais^[5].

Este aumento surgiu com mais intensidade no início da década de 90 devido às exigências das autoridades legislativas quanto ao uso e destino final de fibras sintéticas, resinas derivadas do petróleo, da maior conscientização dos consumidores, da necessidade de preservação do meio ambiente e de fontes naturais renováveis^[4].

Idícula et. al. 2005, relata que está ocorrendo um aumento na hibridização dos materiais compósitos, já que com esse processo pode-se melhorar as propriedades mecânicas sem alterar de forma significativa o preço do produto final. Essa hibridização ocorre quando um material compósito apresenta dois ou mais materiais incorporados em sua matriz polimérica.

O desempenho e o custo de compósitos podem ser alterados por hibridização e, neste sentido, é relativamente comum o uso combinado de fibras e reforços minerais no desenvolvimento destes materiais.

Este trabalho tem por objetivo avaliar o comportamento mecânico (Tração) de compósitos híbridos de matriz polimérica reforçados com fibras de bambu (15 mm) tratadas quimicamente com hidróxido de sódio 5% v/v e com inserção de resíduo de cobre.

2. MATERIAIS E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1. Equipamentos utilizados

ESTUFA, DE LEO – Equipamentos Laboratoriais, T 50°C a 250° C. (Laboratório de Engenharia Química);

BALANÇA ANALÍTICA, URANO BRASIL, (Laboratório de Engenharia Química);

PRENSA HIDRÁULICA, MARCON, modelo MPH-15, com capacidade de 15 Ton. (Laboratório de Engenharia Química);

MOLDE METÁLICO, Dimensões (320 mm x 172,5 mm x 5 mm), (Laboratório de Engenharia Química);

2.2. Materiais sintéticos usados

A Resina utilizada no trabalho foi a Resina Poliéster Isoftálico (Resina AM 910 AEROJET), de média reatividade, amarelada, não acelerada (ausência de promotor de reticulação), baixa viscosidade, boa resistência química. O acelerador de Cobalto (Promotor de Reticulação) utilizado no presente trabalho foi o produto comercial denominado CAT MET UMEDECIDO 1,5 % (Solução de Octoato de cobalto 1,5%). Utilizou-se como catalisador o produto comercial BUTANOX M-50 marca de AEROJET (Peróxido de metil etil cetona [MEK-P]). Ambos adquiridos da empresa Aerojet Brasileira de Fiberglass LTDA.

2.3. Matérias primas usadas

2.3.1. Resíduos Industriais: Cobre

O Resíduo de cobre utilizado no decorrer do trabalho, foi fornecido pela empresa VALE S.A, advindo da Mina do Sossego, Localizada no Município de Canaã dos Carajás, Sudeste do Pará, o material possuía granulometria variando entre finos e grossos, o material foi primeiramente levado à estufa por 24 h à temperatura de 105 °C. Posteriormente o Resíduo de cobre sofreu peneiramento manual em peneira de abertura 100 mesh da série Tyler (tamanho da partícula 0,147 mm), no intuito de separar a amostra desejada para o trabalho.

2.3.2. Fibra Natural – Bambu

As fibras de bambu utilizadas no presente trabalho foram extraídas do campus profissional I (Um) da Universidade Federal do Pará – UFPA. A Figura 1 mostra o resíduo de cobre e as fibras de bambu extraídas.



Figura 1: Materiais. (a) Resíduo de cobre após o peneiramento; (b) Fibras de Bambu.

3. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

3.1. Tratamento químico nas fibras de bambu

As Fibras de bambu após serem extraídas dos colmos de bambu, foram colocadas em um recipiente plástico e em seguida foi adicionado ao recipiente uma solução alcalina de hidróxido de sódio – NaOH, concentração 5% v/v, feito isso, as fibras permaneceram na solução durante 24 h (Fig. 2), em seguida foram lavadas em água corrente, e colocadas para serem secadas, para posteriormente serem cortadas (auxílio de uma tesoura metálica), no tamanho de 15 mm.



Figura 2: Fibras de bambu em solução alcalina de hidróxido de sódio.

3.2. Produção dos compósitos

Para a produção dos compósitos de fibra de bambu tratadas quimicamente com hidróxido de sódio 5 % v/v, de compósitos com carga de resíduo de cobre e dos compósitos híbridos fibra/resíduo, foi utilizado um molde metálico na forma de placa retangular (Dimensões: 320 mm x 172,5 mm x 5 mm). O método aplicado foi o método manual também chamado *hand layup*, sendo o resíduo de cobre utilizado com a granulometria de 100 mesh (0,147 mm) e as fibras sendo cortadas manualmente (com auxílio de uma tesoura metálica) no comprimento de 15 mm. As placas de compósitos foram produzidas no molde e em seguida prensadas em prensa hidráulica com carga de 2,6 kN durante 20 minutos.

A Tabela 1 a seguir mostra a quantidade de placas produzidas com seus respectivos corpos de prova obtidos.

Tabela 1 – Quantidades de placas e corpos de prova fabricados.

Proporção	Fração Mássica (%)	Placas	Quantidade
Matriz Sem Carga	100	1	5
Resíduo Cobre	RC 10	1	5
Resíduo Cobre	RC 20	1	5
Resíduo Cobre	RC 30	1	5
Resíduo Cobre	RC 40	1	5
Resíduo Cobre	RC 50	1	5
Bambu 15 mm com trat.	F 1	1	5
Bambu 15 mm com trat.	F 2	1	5
Bambu 15 mm com trat.	F 3	1	5
Matriz + Res. Cobre + Bambu 15 mm com trat.	RC 10 + F 3	1	5
Matriz + Res. Cobre + Bambu 15 mm com trat.	RC 20 + F 3	1	5
Matriz + Res. Cobre + Bambu 15 mm com trat.	RC 30 + F 3	1	5

A Figura 3 mostra um fluxograma do processo de confecção e preparação dos compósitos com reforço de fibras de bambu e compósitos com adição de resíduo de cobre.

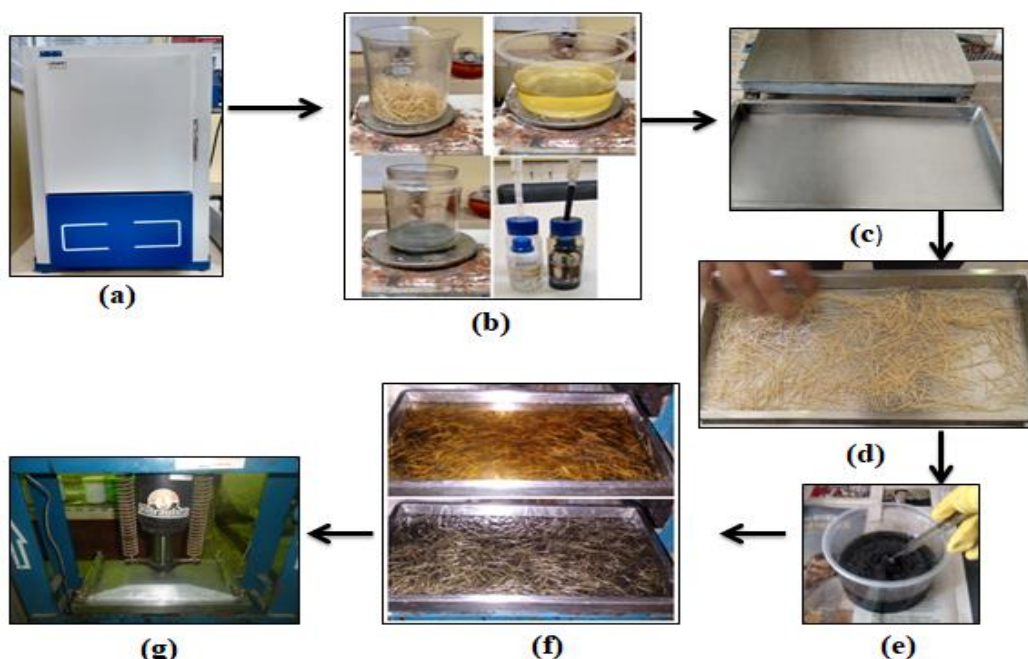


Figura 3: Etapas de produção dos compósitos: (a) estufa; (b) mostra a pesagem de todos os materiais usados na produção dos compósitos; (c) mostra a aplicação de produto Desmoldante no molde metálico; (d) mostra as fibras sendo disposta aleatoriamente no molde metálico; (e) mostra a mistura da resina com os outros produtos (promotor, catalisador (MEK –P), Resíduo de cobre); (f) mostrado o início do processo de cura (endurecimento) dos compósitos; (g) mostra o compósito sendo prensado na prensa hidráulica.

3.3. Ensaio de resistência à tração

Os ensaios de tração foram realizados seguindo a norma ASTM D3039 e adotaram as seguintes medidas como demonstrado esquematicamente na Figura 4.

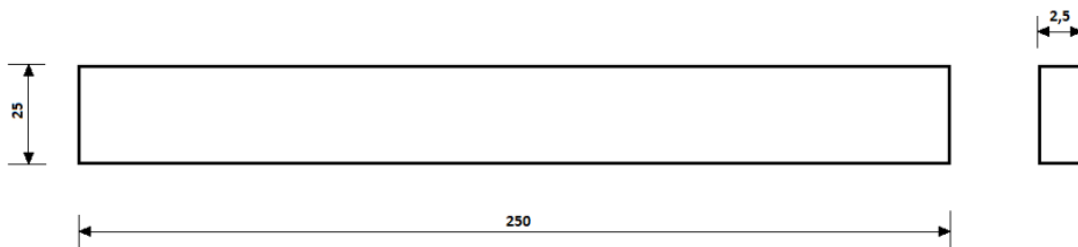


Figura 4: Dimensões (em mm) dos corpos de prova para ensaios de tração.

Os ensaios de tração dos compósitos foram realizados em máquina universal de tração, marca KRATOS modelo IKCL3 com sistema de aquisição de dados, com célula de carga de 5 kN, adotando velocidade de 2 mm / min e comprimento útil para medição entre garras de 180 mm.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Caracterização do resíduo de cobre

4.1.1. Difração de Raios-X

A análise difratométrica realizada na amostra de resíduo de cobre, Figura 5, apresentou os principais componentes mineralógicos do material de acordo com suas respectivas fichas PDF, os principais picos correspondem ao quartzo (Q) – PDF 01-085-0795, Calcopirita (C) – PDF 00-001-0842 e Magnetita (M) – PDF 01-087-0246.

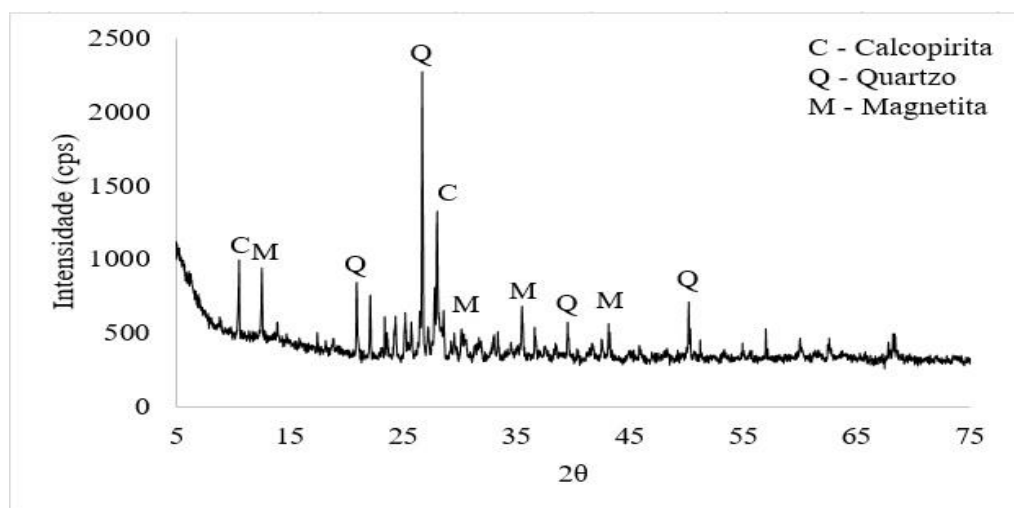


Figura 5: Difração de Raios – X do resíduo de cobre.

4.2. Caracterização física dos compósitos produzidos

4.2.1. Ensaio de Massa Específica Aparente (MEA), Absorção de Água (AA) e Porosidade Aparente (PA)

A Tabela 2 mostra os resultados determinados através dos ensaios de massa específica aparente (MEA), absorção de água (AA) e porosidade aparente (PA).

Tabela 2 – Resultados dos ensaios de MEA, AA e PA.

Fração mássica dos reforços (%)	MEA (g/cm ³)	AA (%)	PA (%)
Matriz sem Carga	1,2032 (± 0,0009)	0,2548 (± 0,0510)	0,3074 (± 0,0616)
RC 10	1,2756 (± 0,0013)	0,2576 (± 0,0442)	0,3286 (± 0,0565)
RC 20	1,3689 (± 0,0026)	0,2477 (± 0,0401)	0,3400 (± 0,0552)
RC 30	1,4742 (± 0,0108)	0,1797 (± 0,0334)	0,2648 (± 0,0482)
RC 40	1,5732 (± 0,0116)	0,5415 (± 0,9190)	0,8420 (± 1,4138)
RC 50	1,7166 (± 0,0070)	0,2036 (± 0,0553)	0,3495 (± 0,0948)
FB 1 15 T	1,2035 (± 0,0010)	0,4796 (± 0,0693)	0,5772 (± 0,0830)
FB 2 15 T	1,2040 (± 0,0007)	0,4148 (± 0,0322)	0,4994 (± 0,0389)
FB 3 15 T	1,2048 (± 0,0010)	0,3276 (± 0,0436)	0,3948 (± 0,0523)
RC 10 F3 15 T	1,3426 (± 0,1837)	0,4138 (± 0,1006)	0,5407 (± 0,1047)
RC 20 F3 15 T	1,3751 (± 0,0062)	0,5326 (± 0,1616)	0,7316 (± 0,2179)
RC 30 F3 15 T	1,4714 (± 0,0098)	0,8751 (± 0,1880)	1,2861 (± 0,2692)

4.3. Ensaios de resistência à tração

4.3.1. Resultados de Resistência à Tração dos Compósitos com Inserção de Resíduo de Cobre

Os compósitos poliméricos com inserção de resíduo de cobre foram avaliados quanto a sua resistência mecânica por meio do ensaio de tração, onde foram obtidos os seguintes resultados conforme a tabela 3.

Tabela 3 – Resultados do ensaio de tração dos compósitos com inserção de resíduo de cobre.

Tipo de Amostra	Proporção de Carga (%)	Fração Mássica (FM) (g)	Resist. Tração (MPa) (Desvio Padrão)	Alongamento (mm)	Módulo de Elasticidade (GPa)
Resíduo Industrial de Cobre	Matriz Pura	0	317,40	19,54 (± 3,05)	4,84
	R 10	31,74	25,38 (± 1,45)	4,63	1,04
	R 20	63,48	25,18 (± 1,84)	4,78	0,98
	R 30	95,22	32,83 (± 2,81)	5,12	1,14
	R 40	126,96	40,25 (± 1,88)	5,46	1,39
	R 50	158,70	28,71 (± 4,06)	4,53	1,18

Pode-se observar de acordo com tabela 3 que a resistência à tração dos compósitos poliméricos com adição de resíduo de cobre, apresenta um aumento à medida que é aumentado a proporção de resíduo de cobre na matriz polimérica até a fração de resíduo de cobre de 40%, onde apresentou o resultado de 40, 25 MPa, pois continuando aumentando a proporção de resíduo de cobre acima de 40%, nota-se uma diminuição da resistência à tração do compósito polimérico com adição de 50% de resíduo de cobre. À medida que se aumenta a proporção de resíduo de cobre na matriz, tem-se uma melhor distribuição dentro do compósito, melhorando a trabalhabilidade, ocorre uma melhor homogeneização e uma melhor compactação, até a fração de 40 % de resíduo, pois quando chega à fração de 50 % de resíduo, ocorre uma diminuição da resistência, fato este gerado devido o resíduo de cobre pode estar se comportando como a matriz.

A Figura 6 ilustra o gráfico de barra comparativo da matriz sem carga e dos compósitos com adição de resíduo de cobre nas frações de RC 10, RC 20, RC 30, RC 40 e RC 50 quanto as sua resistência à tração.

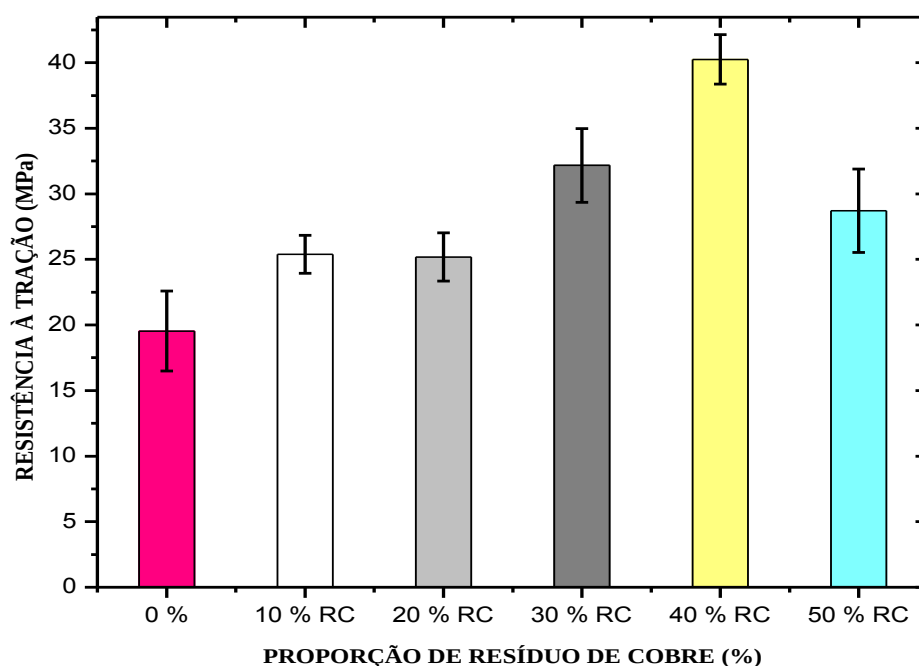


Figura 6: Comportamento de resistência à tração de material compósito em função dos resíduos de cobre.

4.3.2. Resultados de Resistência à Tração dos Compósitos com Reforço de Fibras de Bambu de 15 mm Tratadas

Os compósitos poliméricos com reforço de fibras de bambu 15 mm tratados foram avaliados quanto a sua resistência mecânica por meio do ensaio de tração, onde foram obtidos os seguintes resultados segundo a tabela 4.

Tabela 4: Resultados do ensaio de tração de compósitos reforçados com fibras de bambu 15 mm Com Tratamento.

Tipo de Amostra	Proporção de Fibras (%)	Fração Mássica (FM) (g)	Resist. Tração (MPa) (Desvio Padrão)	Alongamento (mm)	Módulo de Elasticidade (GPa)
Matriz Sem Carga	0	317,40	19,54 ($\pm$ 3,05)	4,84	0,81
Fibras de Bambu de 15 mm Tratadas.	1	3,17	20,34 ($\pm$ 2,69)	4,97	0,76
	2	6,34	29,56 ($\pm$ 3,71)	4,82	1,16
	3	9,51	33,05 ($\pm$ 4,07)	5,58	1,15

Na Tabela 4 nota-se um aumento de resistência do reforço de fibras de bambu, quando as mesmas são tratadas quimicamente. O tratamento alcalino causa o inchaço das fibras e remoção parcial da hemicelulose e da lignina, o que promove um melhor empacotamento das cadeias de celulose, que são responsáveis pela cristalinidade da fibra. Com relação às propriedades mecânicas, verifica-se aumento da resistência à tração e do módulo de elasticidade e aumento do alongamento, estando este comportamento geralmente associado ao aumento da cristalinidade. Obviamente, o

comportamento da fibra depende primariamente das condições do tratamento (concentração, tempo e temperatura) ^[2]. Conforme se observa na figura 7 a seguir:

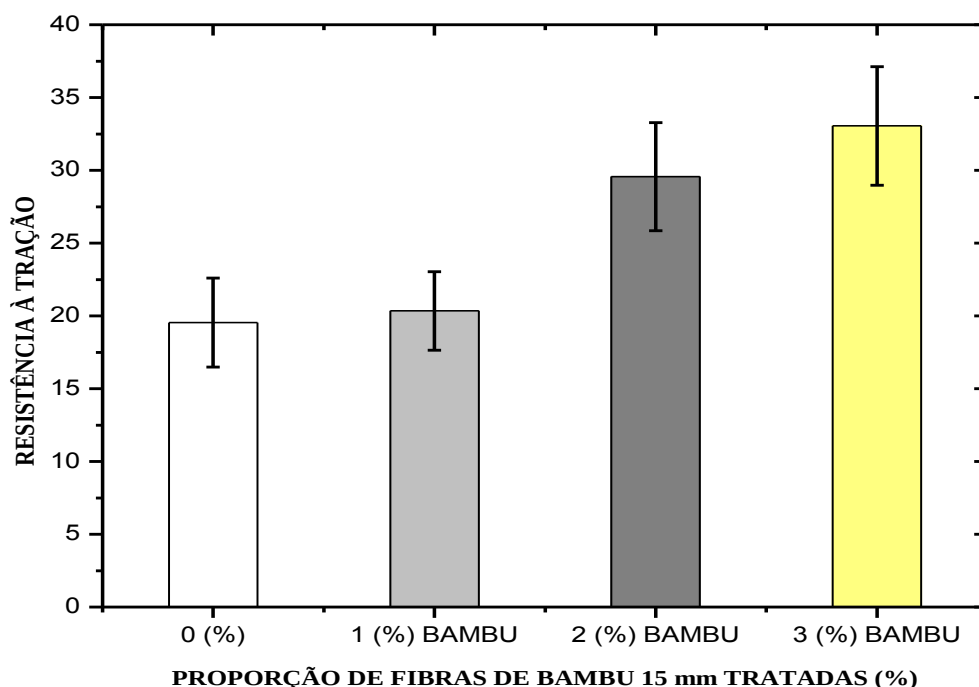


Figura 7: Comportamento de resistência à tração do material compósito em função das fibras de bambu de 15 mm tratada.

4.3.3. Resultados de Resistência à Tração dos Compósitos Híbridos com Inserção de Resíduo de Cobre e Reforço de Fibras de Bambu de 15 mm Tratadas

Os compósitos poliméricos híbridos com inserção de resíduo de cobre e reforço de fibras de bambu 15 mm tratados foram avaliados quanto a sua resistência mecânica através do ensaio de tração, onde foram obtidos os seguintes resultados conforme a tabela 5.

Tabela 5 – Resultados do ensaio de tração de compósitos com Inserção de Resíduo de Cobre e Reforço de Fibras de Bambu de 15 mm com tratamento.

Tipo de Amostra	Proporção de Resíduo + Fibras (%)	Fração Mássica (FM) (g)	Resist. Tração (MPa) (Desvio Padrão)	Alongamento (mm)	Módulo de Elasticidade (GPa)
Matriz Sem Carga	0	317,40	19,54 ($\pm$ 4,05)	4,84	0,81
Resíduo de Cobre + Fibras de Bambu de 15 mm Tratadas.	RC 10 + F 3%	31,7 + 9,51	30,22 ($\pm$ 1,82)	5,02	1,23
	RC 20 + F 3%	63,4 + 9,51	34,46 ($\pm$ 2,21)	5,59	1,26
		95,1 + 9,51	25,94 ($\pm$ 1,88)	4,98	1,04
	RC 30 + F 3%				

Na tabela 5 são mostrados os resultados de resistência à tração da matriz sem carga e dos compósitos híbridos com inserção de resíduo de cobre e reforço de fibras de bambu 15 mm tratadas, onde se observou que no geral houve um aumento da resistência à tração, com exceção dos compósitos com fração de resíduo de cobre RC 30, que ocorreu uma diminuição da resistência à tração, contudo todos os compósitos obtiveram valores de seus módulos de elasticidade superiores ao módulo de elasticidade da matriz sem carga. Conforme se observa na figura 8 a seguir:

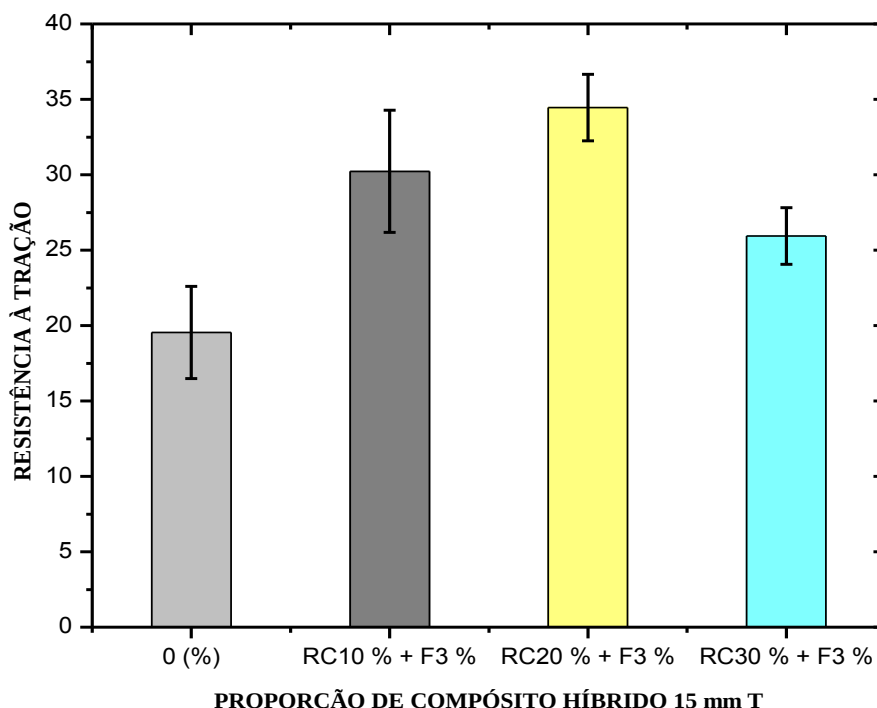


Figura 8: Comportamento de resistência à tração do material compósito em função da Inserção de Resíduo de Cobre e Reforço de Fibras de Bambu de 15 mm tratadas.

5. CONCLUSÃO

A técnica manual para a confecção dos materiais compósitos utilizada foi satisfatória, já que o processo de formação da matriz sem carga e dos compósitos atingiu o processo de polimerização da cadeia na matriz condizente para a fabricação dos corpos de prova utilizados nos ensaios de tração.

Quanto à confecção dos compósitos pode-se concluir que os mesmos têm limite de resistência à tração superior quando comparados com a matriz polimérica plena.

Os compósitos fabricados com resíduo industrial de cobre tiveram um aumento no seu limite de resistência a tração até a fração volumétrica de 40 %, quando o compósito atingiu um limite de resistência a tração de 40,25 MPa. Denotando a utilização até esse valor considerado como reforço na matriz.

Compósitos que tiveram a inserção de fibras de bambu tratados quimicamente com 15 mm tiveram um comportamento mecânico no valor de 33,05 MPa, com a fração mássica de 3 % em fibras.

Os compósitos híbridos com fibra 3% e resíduo 20% obtiveram limites de resistência a tração de 34,46 MPa que representa um resultado elevado quando comparado com a matriz polimérica plena.

6. REFERÊNCIAS

- [1] ASTM D 3039 - 08, "Standard Test Method for Tensile Properties of Plastic (Metric)", Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2005.
- [2] BLEDZKI, A. K. GASSAN, J. Composites Reinforced with cellulose based fibres, **Progress Polymer. Science**, 24, p.221 - 274 (1999).
- [3] IDÍCULA, M.; MALHOTRA S. K.; JOSEPH, K.; THOMAS, S. **Dynamic Mechanical Analysis of Randomly Oriented Intimately Mixed Short Banana/Sisal Hybrid Fiber Reinforced Polyester Composites**. Composites Science and Technology. p.1077-1087, 2005. INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMY (IAWA). List of microscopic features for wood identification. IAWA Bulletin, Leiden, 10(3), 226 (1989).
- [4] SILVA, R. V. **Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais**. 2003. 157 F. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais)- Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- [5] TORRES, R. B. **Desenvolvimento de compósito híbrido de fibra de vidro e micropartículas de sílica e cimento para uso em caneleiras**. 2013. 70 F. Dissertação (Mestrado em Materiais e Processos de Fabricação) - Universidade Federal de São João Del-Rei, MG, 2013.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

STUDY OF THE INSERTION OF BAMBOO SHORT FIBERS AND INDUSTRIAL SOLID WASTE OF COPPER IN POLYMERIC MATRIX: MECHANICAL DRAW ANALYSIS

K.S.L. Barbosa, karllaslb@gmail.com¹
B.H.A.Mendes, bruno_mendes15@hotmail.com²
D. R. Borges, danielreisborges@hotmail.com²
N. R. S. Nunes, naomricardo@gmail.com¹
D.C. Farias, doryh.farias@gmail.com¹
N.G.Rodrigues, nayla4star@gmail.com¹
A.J.G. dos Santos, ajgs@ufpa.br³
D. S. Costa, deibsonsc@yahoo.com.br³
J. A.S. Souza, jass@ufpa.br³

¹Federal University of Pará - University Campus of Ananindeua - UFPA, PA, Brazil

²Postgraduate Program in Chemical Engineering - PPGEQ - UFPA, PA, Brazil

³Postgraduate Program in Natural Resource Engineering PRODERNA - UFPA, PA, Brazil

Abstract. Currently the manufacture of composite materials that seek sustainable development has gained space in several industrial sectors. Thus, the use of polymeric composite materials reinforced with vegetable fibers has aroused the interest of companies and researchers in the fabrication of our daily life. In this work were produced composite materials of polymer matrix with insertion of vegetal fibers of bamboo and industrial residue of copper. The industrial copper residue was characterized by X-ray Diffraction (XRD) analysis. The composites were made according to the hand lay-up method. Traction tests of the composites were performed according to ASTM D-3039. Therefore, the aim of this work is to evaluate the tensile mechanical behavior of hybrid composites of polymer matrix reinforced with bamboo fibers (15 mm) chemically treated with 5% v / v sodium hydroxide and with copper residue insertion. For each series five (5) test specimens were produced. Inserted fibers had values of 1%, 2% and 3% mass fraction and the industrial copper residue was 10%, 20%, 30%, 40% and 50% and the hybrids: fiber 3% / Residue 10% , 20% and 30%. The results showed that there was an increase in the tensile strength limit of the composites in relation to the pure matrix. The best resistance limit results were: 33.05 MPa for the 3% fraction of bamboo fibers, 40.25 MPa for 40% of copper residue and 34.46 MPa for the composite RC 20 + F 3% .

Keywords: New materials, Polyester Matrix, Plant Fibers, Copper Residue.