

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS TERMOFIXOS REFORÇADOS COM RESÍDUO DE COBRE E FIBRA DE BAMBU TRATADA QUIMICAMENTE.

B.H.A. Mendes, bruno_mendes15@hotmail.com¹.

K.S.L. Barbosa, karllaslb@gmail.com³.

D.R. Borges, danielreisborges@hotmail.com¹

N. R. S. Nunes, naomricardo@gmail.com³.

D.C. Farias, doryh.farias@gmail.com³.

A.J.G. dos Santos, ajgs@ufpa.br^{3,2}.

D. S da COSTA, deibsonsc@yahoo.com.br³.

J. A.S. Souza, jass@ufpa.br².

¹Programa de Pós-graduação em Engenharia Química – PPGEQ – UFPA, PA, Brasil

²Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Naturais – PRODERNA – UFPA, PA, Brasil

³Universidade Federal do Pará - Campus Universitário de Ananindeua - UFPA, PA, Brasil

Resumo: A utilização de materiais compósitos é expressiva e o desenvolvimento industrial requer materiais com características adequadas para as mais variadas aplicações. No trabalho desenvolvido objetivou-se a avaliação da influência de resíduo de cobre e fibra de bambu tratada quimicamente na resistência mecânica de compósitos de matriz poliéster isoftálico, sendo produzidos corpos de prova com matriz polimérica sem carga, com matriz polimérica reforçadas unicamente por fibras de bambu tratadas e unicamente por resíduo de cobre, e compósitos híbridos com fibra e resíduo de cobre. O resíduo de cobre foi classificado em peneira 100 Mesh e caracterizado através de Difração de Raios-X - DRX, enquanto as fibras de bambu foram tratadas com solução de hidróxido de sódio à 5 % v/v. O método de produção de compósitos adotado foi a moldagem manual (Hand-LayUp) com compressão e a temperatura ambiente. Foram avaliadas as propriedades físicas dos compósitos através da determinação da massa específica aparente, absorção de água e porosidade aparente, a propriedade mecânica dos compósitos foi avaliada por meio de ensaios de tração. Os compósitos com fração de 40 % de resíduo de cobre tiveram um valor de 40,24 MPa de resistência à tração, já os compósitos com reforço de fibras de bambu atingiram um valor de 32,14 MPa, e os compósitos híbridos com inserção de resíduo de cobre e fibras de bambu atingiram 32,10 MPa. Todas as variações se mostraram significativamente superior ao resultado mostrado pela matriz plena.

Palavras-chave: Materiais Compósitos, Ensaios de Tração, Fibras de Bambu, Resíduo Cobre.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de materiais compósitos é antiga e a busca crescente por novas tecnologias põe em foco a necessidade de materiais que atendam às demandas atuais. Nesse contexto, os compósitos poliméricos mostram uma grande flexibilidade de aplicação por apresentar a possibilidade de melhorias em suas propriedades e a adequação às exigências para seu uso (Silva, 2003; Askeland e Phulé, 2008; Callister e Rethwisch, 2012).

Os compósitos podem ser produzidos através da combinação entre dois ou mais materiais, resultando em outro material com propriedades melhores do que as demonstradas individualmente. Esses materiais são compostos pela fase matriz e carga (reforço). A fase matriz pode ser composta por polímeros, metais e cerâmicos, embora seja muito comum a utilização de uma matriz polimérica com reforço de fibras para a utilização estrutural. A carga é usualmente composta por uma fibra ou material particulado. As possíveis combinações são baseadas e condicionadas às estruturas de processamento e em possíveis incompatibilidades entre os componentes. A opção por polímeros para compor a matriz do compósito é baseada em sua maior facilidade para moldagem e sua leveza, quando comparado a outros materiais (Silva, 2003).

Os compósitos apresentam em sua composição um significativo volume de matriz. Esta matriz apresenta uma série de funções, dentre as quais: manter a sua forma, em conjunto com o reforço, inibindo a deformação mediante compressão; distribuir as cargas as quais está submetido; proteger o reforço das influências externas que podem ocasionar degradação.

A fase de carga pode proporcionar ao material força e rigidez, podendo o material que compõe essa fase ser mais forte e resistente do que a matriz ao qual é aplicado. Compósitos particulados normalmente são mais fracos e menos resistentes do que os compósitos reforçados por fibras, contudo geralmente são menos onerosos (Campbell, 2010; Davallo, Pasdar e Mohseni, 2010).

O uso de fibras vegetais possui algumas vantagens, dentre as quais baixo custo de processo e efeitos socioeconômicos positivos. Contudo, para um melhor resultado em compósitos poliméricos reforçados por fibras, o contato interfacial entre as fases precisa ser suficiente para uma boa adesão, sendo em muitos casos necessária modificações superficiais das fibras (Paula, 2011; Sanadi, 2002). As cargas minerais são substâncias inorgânicas compostas por grãos com baixa flexibilidade e que podem ser incorporados à massa de matriz polimérica. Dentre os diversos resíduos minerais disponíveis, não são todos que atendem as necessidades previamente estabelecidas, sendo necessária a realização de estudos sobre quais materiais são mais adequados para determinadas aplicações (Lima, 2007).

Os materiais compósitos são obtidos pela combinação das propriedades dos materiais que os compõem. A escolha do material que será utilizado é dada pela necessidade de características como rigidez, resistências, peso, rendimento a altas temperaturas, corrosão, dureza e condutividade. O conhecimento das propriedades mecânicas dos materiais é extremamente importante e sua determinação pode ser feita através da execução de experimentos em laboratório que objetivam representar o mais próximo possível às condições reais de aplicação. Um dos testes mais utilizados para determinação de várias propriedades mecânicas é o teste de tração. Nesse teste uma amostra é deformada até a fratura, mediante uma carga aplicada uniaxialmente ao longo de eixo da amostra (Askeland e Phulé, 2008; Callister e Rethwisch, 2012).

Este trabalho teve por objetivo avaliar o comportamento mecânico, resistência a tração, de compósitos híbridos de matriz poliéster termofixo com carga mineral composta por resíduo de cobre e reforçada por fibras curtas (30 mm) de bambu (*Bambusa vulgaris*) tratadas quimicamente com hidróxido de sódio 5% v/v.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1. Equipamentos utilizados

- Estufa (DELEO – Equipamentos Laboratoriais) - T 50 °C à 250 °C. (USIMAT/FEQ/UFPA);
- Balança analítica (URANO BRASIL), precisão de 0,0001 g (USIMAT/FEQ/UFPA);
- Prensa hidráulica (MARCON - MPH-15), capacidade de 15 Ton. (USIMAT/FEQ/UFPA);
- Molde metálico - dimensões 320x172,5x5 mm, (USIMAT/FEQ/UFPA);

2.2. Materiais utilizados

- Resina poliéster isoftálico - Resina AM 910 AEROJET - (Aerojet Brasileira de Fiberglass LTDA), de média reatividade, amarelada, não acelerada (ausência de promotor de reticulação), baixa viscosidade, boa resistência química.
- CAT MET UMEDECIDO 1,5 % (Aerojet Brasileira de Fiberglass LTDA), solução de Octoato de cobalto 1,5%
- Butanox M-50 (Aerojet Brasileira de Fiberglass LTDA), peróxido de metil etil cetona [MEK-P].
- Resíduo de cobre (VALE S.A) - advindo da Mina do Sossego, Localizada no Município de Canaã dos Carajás, Sudeste do Pará.
- Fibras de bambu (UFPA) – Os colmos de bambu, *Bambusa vulgaris*, foram extraídos do bosque do Campus Profissional da Universidade Federal do Pará.

2.3. Extração e tratamento das fibras.

Os colmos de bambu obtidos foram acondicionados em recipientes com água, para mantê-los hidratados e facilitar a extração manual das fibras. Os feixes de fibras foram extraídos manualmente com auxílio de lâminas e acondicionados para posterior corte na dimensão requerida para a confecção dos corpos de prova. A Figura 1 representa as diferentes fases de preparo das fibras antes do tratamento químico.

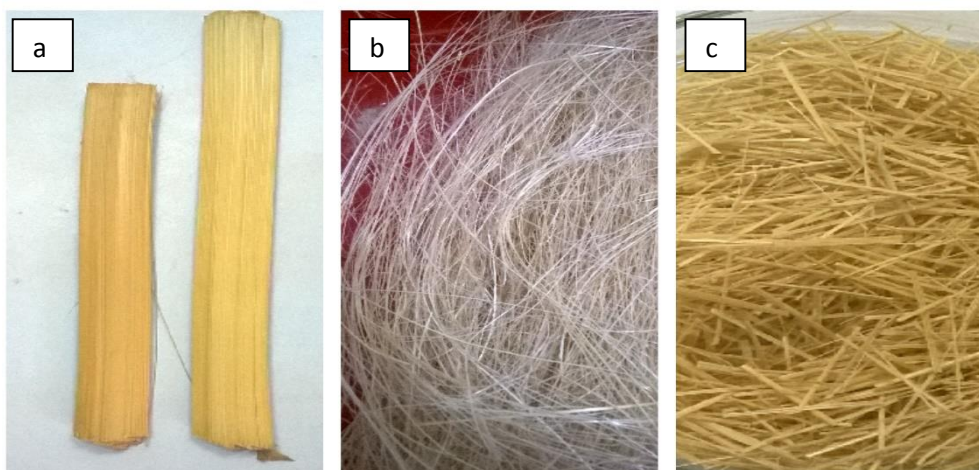


Figura 1 - Preparo das fibras. a) Colmos de bambu. b) Fibras extraídas. c) Fibras cortadas

O tratamento químico foi realizado com solução de hidróxido de sódio em concentração de 5% v/v. Os feixes de fibra foram depositados em recipientes contendo a solução e permaneceram por 24 h. Após o término do processo, o material foi lavado abundantemente com água destilada para remoção de resíduos e posteriormente seco em estufa.

2.4. Classificação e Caracterização do resíduo de Cobre

O resíduo de cobre foi inicialmente seco em estufa por 24 h à uma temperatura de 105 °C e posteriormente passou por um processo de classificação em peneira com abertura de 100 Mesh da série Tyler (tamanho da partícula 0,147 mm), visando melhor homogeneização do material aplicado nos compósitos, sendo utilizado o material passante na malha. Uma amostra de cobre foi utilizada para a análise por difração de raio-x (DRX), onde foi possível determinar qualitativamente as fases presentes no material.

A análise de DRX foi realizada em um difratômetro de Raios – X: D8 Advance da Bruker, com tubo de Raios – X, de ânodo de Cu ($K\alpha_1 = 1,540598 \text{ \AA}$), com filtro $K\beta$ de Ni, nas seguintes condições instrumentais: varredura de 5° a $75^\circ 2\theta$, voltagem: 40 kv, corrente 40 mA, tamanho do passo: $0,02^\circ 2\theta$ e tempo/passo 5s. A aquisição dos dados foi realizada com software X Pert Data collector, versão 3.0 d, e o tratamento através do software X Pert High Score Plus, versão 3.0 e, da PANalytical com banco de dados PDF (Power Diffraction File) do ICDD (International Center for Diffraction Data).

2.5. Produção dos compósitos

O processo de produção escolhido para confecção dos corpos de prova foi o método manual (*hand layup*) com utilização de um molde metálico em forma de placa retangular e mediante pressão imposta por uma prensa hidráulica, com carga de 2,6 kN, por 20 minutos. Após o término processo de compressão, a placa obtida passou por um processo de cura de 24 h, seguida do corte com serra de bancada dos corpos de prova destinados aos ensaios.

No processo de corte, cada placa produzida permitiu a obtenção de 5 corpos de prova, conforme exigência da norma. Para avaliar a influência da adição de fibras e carga mineral, foram confeccionadas placas com as seguintes variações: 100% resina (Matriz Plena); resina e cobre, com as frações de 10, 20, 30, 40 e 50% de cobre (RC10, RC20, RC30, RC40 e RC50); resina e fibra, com as frações de 1, 2 e 3% de fibra de bambu (F1, F2 e F3); e as híbridas, formadas pela adição de resíduo (10, 20 e 30%) e fibra (3%), conforme a Tab. 1.

Tabela 1 - Variações produzidas para a obtenção dos corpos de prova.

Variação	Número de Placas
Matriz Plena	1
Cobre 10% - RC10	1
Cobre 20% - RC20	1
Cobre 30% - RC30	1
Cobre 40% - RC40	1
Cobre 50% - RC50	1
Fibra 1% - F1	1
Fibra 2% - F2	1
Fibra 3% - F3	1
Resíduo 10% + Fibra 3% - RC10F3	1
Resíduo 20% + Fibra 3% - RC20F3	1

2.6. Ensaio de Tração

Os ensaios de tração dos compósitos foram realizados no laboratório do curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará. O equipamento utilizado foi uma máquina universal de tração, marca KRATOS modelo IKCL3 com sistema de aquisição de dados, célula de carga de 5 kN, velocidade de 2 mm/min e comprimento útil para medição entre garras de 180 mm.

As dimensões dos corpos de prova foram as recomendadas pela norma ASTM D3039, com fibras distribuídas randomicamente, resultando em corpos de prova retangulares com dimensões 250x25x2,5 mm (comprimento x largura x espessura).

2.7. Determinação da Massa Específica Aparente (MEA), Porosidade Aparente (PA) e Absorção de água (AA).

Para determinação das propriedades físicas dos compósitos, os corpos de prova foram cortados em *chips* retangulares de 25x25 mm, em um total de 10 *chips* para cada variação. Os *chips* foram secos em estufa por 24 h à uma temperatura de 105 °C, seguido da pesagem para determinação da massa seca. Após isso, o material ficou submerso em água destilada por 24 h e posteriormente foi determinada a massa úmida e a massa submersa, onde os corpos de prova tiveram sua massa determinada quando estavam cobertos por um filme de água destilada, conforme metodologia adotada por SANTOS (1989) e a estabelecida na norma ASTM, 1984-92. As Equações (1), (2) e (3) representam a Porosidade Aparente (PA), Absorção de Água (AA) e Massa Específica Aparente (MEA), respectivamente.

$$PA (\%) = \frac{(M_U - M_S)}{(M_U - M_i)} \times 100 \quad (1)$$

$$AA (\%) = \frac{(M_U - M_S)}{(M_S)} \times 100 \quad (2)$$

$$MEA \left(\frac{g}{cm^3} \right) = \frac{(M_S \times \rho_L)}{(M_U - M_i)} \quad (3)$$

Onde, M_U é a massa úmida (g), M_S é a massa seca (g), e M_i é a massa imersa (g) e ρ_L é a massa específica da água (g/cm³).

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

3.1. Difração de Raio X

A realização da difração no resíduo de cobre indicou a presença de picos bem característicos dos componentes do resíduo. Os principais componentes indicados foram o quartzo (Q) – PDF 01-085-0795, calcopirita (C) – PDF 00-001-0842 e magnetita (M) – PDF 01-087-0246. Através da análise do difratograma é possível inferir uma significativa presença do quartzo, podendo influenciar significativamente na porosidade do material e consequentemente nas propriedades mecânicas.

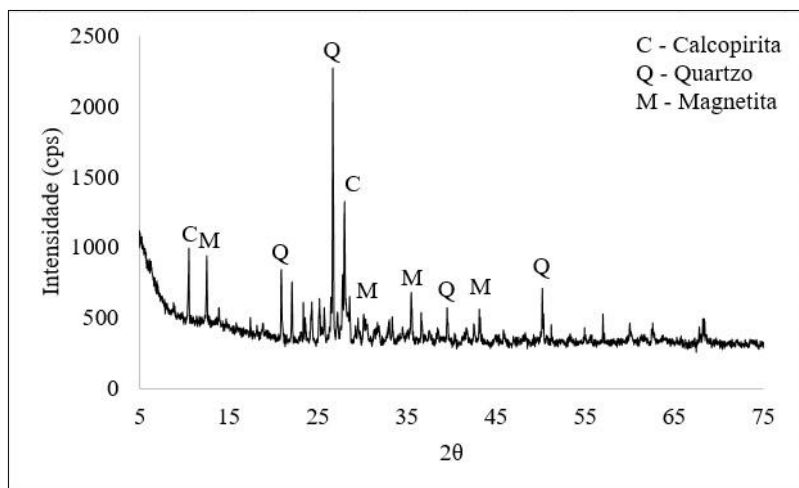


Figura 2 – Difratograma do resíduo de cobre.

3.2. Massa Específica Aparente (MEA), Porosidade Aparente (PA) e Absorção de água (AA).

A Tabela 2 representa os valores obtidos para as propriedades físicas estudadas para cada variação de corpos de prova confeccionados, bem como seu desvio padrão, onde pode-se notar um significativo aumento na massa específica aparente com a inserção dos resíduos de cobre e ausência de mudanças com a inserção das fibras, ocasionados pelas diferenças entre os materiais aplicados. Analisando os resultados de absorção de água e porosidade aparente se observa um aumento nessas propriedades com o aumento da fração aplicada, condição que pode ser atribuída a diferentes fatores, dentre os quais: a indicação de presença significativa do quartzo, dificuldade de adesão mecânica entre as fases, aumento da viscosidade e dificuldade de percolação da mistura matriz/cobre nos compósitos híbridos com fibra.

Tabela 2 - Variações produzidas e propriedades obtidas nos ensaios físicos

Variação	MEA (g/cm ³)	AA (%)	PA (%)
Matriz sem Carga	1,2032 (± 0,0009)	0,2548 (± 0,0510)	0,3074 (± 0,0616)
RC10	1,2756 (± 0,0013)	0,2576 (± 0,0442)	0,3286 (± 0,0565)
RC20	1,3689 (± 0,0026)	0,2477 (± 0,0401)	0,3400 (± 0,0552)
RC30	1,4742 (± 0,0108)	0,1797 (± 0,0334)	0,2648 (± 0,0482)
RC40	1,5732 (± 0,0116)	0,5415 (± 0,9190)	0,8420 (± 1,4138)
RC50	1,7166 (± 0,0070)	0,2036 (± 0,0553)	0,3495 (± 0,0948)
F1	1,2019 (± 0,0045)	0,2634 (± 0,0327)	0,3166 (± 0,0395)
F2	1,2059 (± 0,0021)	0,3131 (± 0,1060)	0,3775 (± 0,1275)
F3	1,2084 (± 0,0005)	0,3528 (± 0,0490)	0,4264 (± 0,0591)
RC10F3	1,2830 (± 0,0025)	0,4011 (± 0,0982)	0,5146 (± 0,1255)
RC20F3	1,3589 (± 0,0048)	0,7508 (± 0,1850)	1,0196 (± 0,2473)
RC30F3	1,4862 (± 0,0521)	0,6512 (± 0,1424)	0,9669 (± 0,2059)

3.3. Resistência à tração

A tabela 3 representa os valores obtidos para as propriedades mecânicas resultantes do ensaio mecânico de tração em função das variações de compósitos produzidos.

Tabela 3 - Variações produzidas e propriedades obtidas nos ensaios mecânicos.

Variação	Resist. Tração(MPa) (Desvio Padrão)	Alongamento (mm)	Módulo de Elasticidade (GPa)
Plena	19,54 (± 3,05)	4,84	0,81
RC10	25,38 (± 1,45)	4,63	1,04
RC20	25,18 (± 1,84)	4,78	0,98
RC30	32,83 (± 2,81)	5,12	1,14
RC40	40,25 (± 1,88)	5,46	1,39
RC50	28,71 (± 4,06)	4,53	1,18
F1	22,56 (± 3,23)	4,12	0,94
F2	28,20 (± 3,73)	4,87	0,92
F3	32,14 (± 3,71)	5,50	1,11
RC10F3	22,74 (± 2,30)	4,94	0,83
RC20F3	32,10 (± 4,21)	5,41	1,28
RC30F3	26,31 (± 3,22)	6,24	0,88

A Figura 3 – a) ilustra o resultado da resistência à tração comparativo da matriz sem carga e dos compósitos com adição de resíduo de cobre nas frações de trabalho, onde nota-se uma tendência ao aumento na resistência com o aumento do teor de cobre até um limite, 40%, a partir do qual a carga deixa de influenciar significativamente como reforço.

Da mesma forma, nota-se um aumento na resistência com o aumento na concentração de fibras de bambu, conforme Figura 3 – b), possivelmente ocasionado por uma melhor interação na interface matriz/fibra, com o tratamento químico, devido à redução no teor de lignina e hemicelulose, uma melhora na rugosidade da superfície e eliminação de impurezas nas fibras.

A Figura 3 – c) demonstra o resultado do ensaio de tração em compósitos híbridos, onde foi possível perceber que a resistência dos compósitos com 10% de Cobre e 3% de fibra teve um ganho pouco significativo, quando comparado

em números absolutos com a matriz plena, contudo as frações de RC20 e RC30 do compósito híbrido obtiveram um aumento significativo da resistência a tração do compósito e um aumento nos módulos de elasticidade.

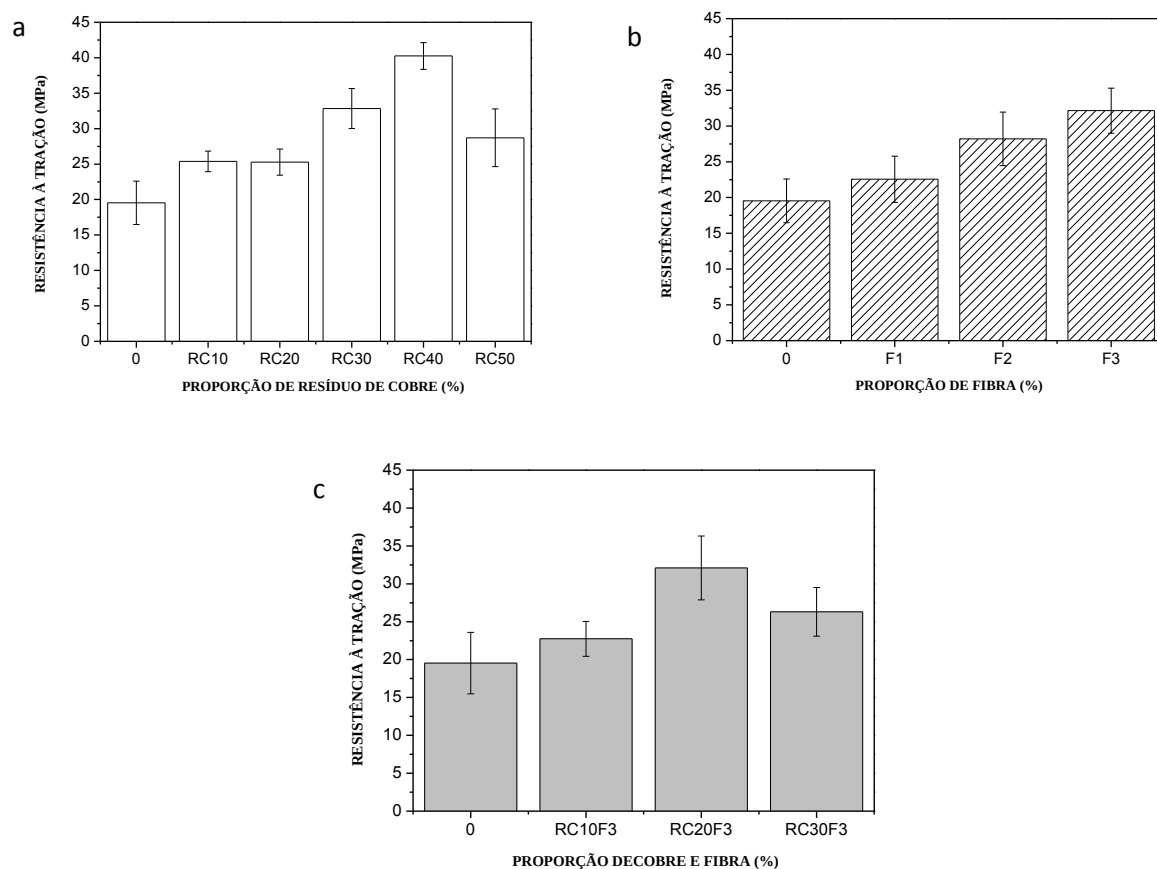


Figura 3 – Comparativo entre as resistências à tração. a) Compósitos com resíduo de cobre. b) Compósitos com fibras. c) Compósitos híbridos.

3.4. Tratamento e análise estatística

Por meio da Análise de Variância (ANOVA) e Teste de Tukey foram realizadas comparações entre os materiais estudados com o intuito de evidenciar diferenças significativas entre as resistências à tração. O tratamento foi realizado utilizando o *software* EXCEL, na função “ANOVA: único fator”, com 95% de confiança.

3.4.1 Compósitos com Resíduo de Cobre

A Tabela 4 apresenta as análises de variações para o ensaio de tração dos compósitos com inserção de resíduo de cobre, quando comparados à matriz plena.

Tabela 4 - Dados gerados pela ANOVA: único fator para ensaio de tração dos compósitos com a inserção de resíduo de cobre.

Fonte da Variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre Grupos	1008,899	5	201,7799	3,7767	0,011	2,6206
Dentro do Grupo	1282,232	24	53,42633			
Total	2291,131	29				

Como o $F_{\text{calculado}}$ (3,77) foi superior ao F_{tabelado} (2,62) ao nível de significância 5%, rejeita-se a hipótese nula (H_0 – Não há influência) e pode ser afirmado, com 95% de confiança que ao menos uma das resistências é, em média, diferentes. Como a hipótese nula foi rejeitada, realizou-se o teste de Tukey que permitiu uma comparação entre as médias, determinando quais diferem entre si. A Tabela 5 apresenta o resultado do teste de Tukey para os tratamentos.

Tabela 5 - Resultado do Teste de Tukey para os tratamentos Plena, RC10, RC20, RC30, RC40 e RC50.

Grupo Tukey	Tratamentos	Médias
A	RC40	40,47
B	RC30	33,19
C	RC50	28,14
C	RC20	24,63
C	RC10	25,14
D	Plena	20,43

De acordo com a Tabela 5, os tratamentos Plena, RC40 e RC30 são diferentes significativamente dos demais e o melhor resultado, em média foi para 40% de cobre, enquanto que RC50, RC20 e RC10 são considerados iguais entre si.

3.4.2 Compósitos com fibras de bambu.

A Tabela 6 apresenta as análises de variações para o ensaio de tração dos compósitos com reforço de fibras de bambu, quando comparado com a matriz plena.

Tabela 6 – Análise de Variância de compósitos com fibras.

Fonte da Variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre Grupos	307,8724	3	102,6241	6,45737	0,004	3,2388
Dentro do Grupo	254,2809	16	15,8925			
Total	562,1533	19				

Como o $F_{\text{calculado}}$ (6,45) foi superior ao F_{tabelado} (3,23) ao nível de significância 5%, rejeita-se a hipótese nula (H_0 – Não há influência) e pode ser afirmado, com 95% de confiança que ao menos uma das resistências é, em média, diferente. Como a hipótese nula foi rejeitada, realizou-se o teste de tukey que permitiu uma comparação entre as médias, determinando quais diferem entre si. A Tabela 7 apresenta o resultado do teste de tukey para os tratamentos.

Tabela 7 - Resultado do Teste de Tukey para os tratamentos Plena, F1 F2 e F3.

Grupo Tukey	Tratamentos	Médias
A	F3	31,90
B	F2	26,65
C	F1	23,40
D	Plena	20,54

Conforme a tabela 7, todos os tratamentos são diferentes entre si e os compósitos com 3% de fibra apresentaram a maior resistência a tração.

3.4.3 Compósitos híbridos.

A Tabela 8 apresenta as análises de variações para ensaio de tração dos compósitos híbridos com inserção de resíduo de cobre e reforço de fibras de bambu 30 mm tratadas.

Tabela 8 - Dados gerados pela ANOVA: único fator para ensaio de tração dos compósitos híbridos com inserção de resíduo de cobre e reforço de fibras de bambu.

Fonte da Variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre Grupos	623,8398	3	207,9466	8,8856	0,010	3,2388
Dentro do Grupo	374,4386	16	23,4024			
Total	998,2784	19				

Como o $F_{\text{calculado}}$ (8,88) foi superior ao F_{tabelado} (3,23) ao nível de significância 5%, rejeita-se a hipótese nula (H_0 – Não há influência) e pode ser afirmado, com 95% de confiança que ao menos uma das resistências é, em média, diferentes. Como a hipótese nula foi rejeitada, realizou-se o teste de tukey que permitiu uma comparação entre as médias, determinando quais diferem entre si. A Tabela 9 apresenta o resultado do teste de tukey para os tratamentos.

Tabela 9 - Resultado do Teste de Tukey para os tratamentos Plena, R10F3, R20F3 e R30F3.

Grupo Tukey	Tratamentos	Médias
A	RC20F3	31,77
A	RC30F3	29,34
B	Plena	20,54
B	RC10F3	19,50

De acordo com a Tabela 9, os tratamentos Plena e RC10F3 são iguais entre si e diferentes do outro grupo, composto pelos tratamentos RC20F3 e RC30F3, que apresentaram os melhores resultados entre os compósitos híbridos.

4. CONCLUSÕES

A técnica de fabricação dos materiais compósitos (*hand lay-up*), sugerido foi satisfatória. E o tratamento químico facilitou no método de extração das fibras de bambu.

Os compósitos fabricados com resíduo 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 40,24 MPa.

Os compósitos que tiveram a inserção de fibras de bambu (até 3%) obtiveram uma melhoria no comportamento mecânico obtendo 32,14 Mpa, contudo inferior ao resultado máximo alcançado com o resíduo de cobre dentro dos contornos do trabalho.

Já os compósitos híbridos atingiram um valor máximo de 32,10 Mpa, com 20% de cobre e 3% de fibra.

Dessa forma, mostra-se interessante a aplicação de resíduo de cobre como reforço ou mesmo um estudo mais amplo sobre o potencial das fibras de bambu, em frações superiores ao aplicado no trabalho.

5. REFERÊNCIAS

- Askeland, D. R.; Phulé, P. P. Ciência e engenharia dos materiais. São Paulo: Cengage Learning, 2008. xviii, 594 p. ISBN 9788522105984 (broch.).
- 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.
- Callister, W. D; Rethwisch, D. G. Ciência e engenharia de materiais: uma introdução. 8ª Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2012.
- Campbell, F. C. Introduction to Composite Materials. In: _____. *Structural composite materials*. ASM International, 2010. p. 1-10.
- Disponível em:
<http://www.asminternational.org/documents/10192/22833166/05287G_Sample_BuyNow.pdf/0804e1ca-913c-4c5b-909a-c5c12989d780>
- Acesso em: 10 Dez. 2016.
- Davallo, M.; Pasdar, H.; Mohseni, M. Mechanical properties of unsaturated polyester resin. *International Journal of ChemTech Research*, v. 2:p, 2113-2117, 2010. Disponível em:
<https://www.researchgate.net/publication/267225891_Mechanical_Properties_of_Unsaturated_Polyester_Resin>
- Acesso em: 15 Jul. 2016.
- Paula, G. P. Formulação e Caracterização de Compósitos com Fibras Vegetais e Matriz Termoplástica. 2011. 102 p. Dissertação (Mestrado), (Programa de Pós Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais), Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 2011.
- Sanadi, A. R. Natural Fiber Thermoplastic Composites: a Review. In: Leão, A. L., 2002.
- Lima, A. B. T. Aplicações de Cargas Minerais em Polímeros. 2007. 87f. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.
- Santos, P. S. Ciência e tecnologia de argilas. 2.ed. Edgard Blücher, 408 p. v. 1, 1989.
- Silva, R. V.; Spinelli, D. (Orient.) Compósitos de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais. 2003. 157 f. : Tese de Doutorado (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-29082003-105440/pt-br.php>> Acesso em: 15 Jul. 2016.

6. RESPONSABILIDADE AUTURAL

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

TENSILE STRENGTH OF THERMOSET POLYMER COMPOSITES REINFORCED WITH COPPER RESIDUE AND CHEMICALLY TREATED BAMBOO FIBER

B.H.A. Mendes, bruno_mendes15@hotmail.com¹.

K.S.L. Barbosa, karllaslb@gmail.com³.

D.R. Borges, danielreisborges@hotmail.com¹

N. R. S. Nunes, naomricardo@gmail.com³.

D.C. Farias, doryh.farias@gmail.com³.

A.J.G. dos Santos, ajgs@ufpa.br^{3,2}.

D. S da COSTA, deibsonsc@yahoo.com.br³.

J. A.S. Souza, jass@ufpa.br².

¹Graduate Program in Chemical Engineering – PPGEQ – UFPA, PA, Brazil

²Graduate Program in Natural Resource Engineering of the Amazon – PRODERNA – UFPA, PA, Brazil

³Federal University of Pará – Ananindeua University Campus - UFPA, PA, Brazil

Abstract: The use of composite materials is expressive and the industrial development requires materials with adequate characteristics for the most varied applications. The objective of this work was to evaluate the influence of copper residue and chemically treated bamboo fiber on the mechanical resistance of isophthalic polyester composites, being produced without a mineral load, with the matrix reinforced only by bamboo fibers and only by copper residue, and hybrid composites with fiber and copper residue. The copper residue was graded on a 100 mesh sieve and characterized by X-ray Diffraction (XRD), while the bamboo fibers were treated with 5% v/v sodium hydroxide solution. The composite manufacturing process was the manual molding (Hand-LayUp) with compression and at ambient temperature. The physical properties were evaluated by apparent density, water absorption and apparent porosity. The mechanical properties were evaluated by tensile tests. The composites with a fraction of 40% of copper residue had a value of 40.24 MPa of tensile strength, while the composites with reinforcement of bamboo fibers reached a value of 32.14 MPa, and the hybrid composites reached 32.10 MPa. All variations were significantly higher than the results shown by the full matrix.

Keywords: Composites Materials, Tensile Test, Bamboo Fibers, Copper Residue.