

COMPÓSITOS POLIMÉRICOS HÍBRIDOS COM CARGA DE RESÍDUO DE MÁRMORE E GRANITO E INSERÇÃO DE FIBRAS DE JUTA*

Karla Suellen Lino Barbosa¹
Bruno Henrique Alves Mendes²
Iara Ferreira Santos³
Deibson Costa da Silva⁴
José Antônio Silva Souza⁵

Resumo

Em busca de uma melhor destinação aos resíduos industriais, pesquisadores têm desenvolvido materiais utilizando carga residual em combinação com fibras vegetais para obtenção de um material com boas propriedades físico-mecânicas. Com isso, foram fabricados materiais compósitos híbridos de matriz poliéster isoftálica com carga de resíduo de mármore e granito na granulometria de 100 mesh e inserção de fios de fibras de juta no comprimento de 15 mm utilizando o método *hand lay-up*. Para cada série foram produzidos 5 corpos de prova. A matriz polimérica apresentou proporções de acelerador 1,5 % e catalisador 1 % em volume. As fibras inseridas tiveram valor fixo de 5 % variando as proporções de resíduo em 5, 15 e 25 % em massa. Foram realizados ensaios de caracterização física através da massa específica aparente (ASTM D-792), absorção de água (ASTM D-570) e porosidade aparente (ASTM D-2734), além dos ensaios de resistência à chama (ASTM D-635) e resistência mecânica à tração (ASTM D-3039). Os compósitos com resíduo de mármore e granito apresentaram bom desempenho na resistência à chama, apresentando uma redução de aproximadamente 24 % na proporção de 5 % de resíduo / 5 % de fibras, para os resultados de resistência à tração os compósitos se comportaram como carga de enchimento, diminuindo a resistência mecânica dos compósitos.

Palavras-chave: Desenvolvimento sustentável; Matriz polimérica; Resíduo de mármore e granito; Fibras vegetais.

HYBRID POLYMERIC COMPOSITIONS WITH CHARGE OF MARBLE AND GRANITE RESIDUE AND FIBER INSERT OF JUTA

Abstract

In search of a better destination for industrial waste, researchers have developed materials using residual load in combination with plant fibers to obtain a material with good physical-mechanical properties. In this way, hybrid composites of isophthalic polyester matrix with marble and granite residue load were produced in the 100 mesh granulometry and the insertion of jute fiber strands in the length of 15 mm using the hand lay-up method. Five specimens were produced for each series. The polymer matrix showed proportions of 1.5% accelerator and 1% by volume catalyst. The inserted fibers had a fixed value of 5%, varying the proportions of residue in 5, 15 and 25% in mass. (ASTM D-792), water absorption (ASTM D-570) and apparent porosity (ASTM D-2734), as well as the flame resistance tests (ASTM D-635) and mechanical tensile strength (ASTM D-3039). The composites with marble and granite residue presented a good performance in the flame resistance, presenting a reduction of approximately 24% in the proportion of 5% of residue / 5% of fibers, for the results of tensile strength the composites behaved as filling, reducing the mechanical strength of composites.

Keywords: Sustainable development; Polymer matrix; Marble and granite residue; Vegetable Fibers.

- ¹ *Bacharel em Ciência e Tecnologia, Mestranda em Engenharia Química, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará-Brasil.*
- ² *Engenheiro Químico, Mestre, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará e Brasil.*
- ³ *Engenheira Química, Mestra, Doutoranda em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará-Brasil.*
- ⁴ *Engenheiro Mecânico, Doutor, Professor do magistério superior, UFPA – Campus Ananindeua, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará-Brasil.*
- ⁵ *Engenheiro Químico, Doutor, Professor do magistério superior, UFPA – Campus Belém, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará-Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

O crescente aumento populacional e industrial tem ocasionado uma série de prejuízos ambientais para o planeta, dentre eles pode-se destacar o acúmulo de resíduos referentes a praticas industriais. Tendo em vista a redução de impactos ambientais, pesquisadores buscam uma forma adequada de reutilização dessas matérias-primas consideradas rejeitos de produção, reintroduzindo estes materiais no ciclo de produção de forma racional em novos produtos, visando assim o reaproveitamento.

No Brasil, a legislação ambiental junto à política Nacional de resíduos sólidos exige que sejam pesquisadas soluções técnicas para o aproveitamento de resíduos, para que haja uma menor retirada de matérias primas da natureza [1]. Dessa forma, como opção sustentável, destaca-se a fabricação de compósitos incorporando resíduos industriais como uma alternativa de reinserção desse tipo de material.

No geral, os compósitos são formados por duas fases, uma denominada de matriz e outra reforço, sendo que este reforço pode ser reforço estrutural, reforço com fibra ou reforço com particulado [2]. Os materiais compósitos agregam tanto o viés sustentável quanto o econômico, já que na maioria dos casos os materiais se tornam mais rentáveis.

O mármore e o granito são rochas e fazem parte do conjunto de rochas ígneas ornamentais encontradas no Brasil, e sua utilização se destaca na confecção de pisos e revestimentos, tendo como características a alta resistência e durabilidade. Segundo Moura [3] a geração conjunta de mármore e granito resulta em um acúmulo de resíduo de cerca de 240000 toneladas de resíduos por ano.

A juta é uma planta tipicamente Indiana que foi introduzida no Brasil pelos japoneses, tornando-se fator de renda em comunidades ribeirinhas no Amazonas. Dentre suas propriedades, temos a excelente resistência à tração e a baixa densidade [4].

Portanto, este trabalho tem como objetivo avaliar as propriedades físico-mecânicas e de resistência á chama de um compósito híbrido de matriz poliéster isoftálica com inserção de fibras de juta e carga de resíduo de mármore e granito.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

A matriz polimérica utilizada foi a Resina Poliéster Insatura Isoftálica produzida pela empresa Centerglass Ind. Com. R. e Fibras Ltda, junto com um sistema catalítico, em volume, formado por acelerador de cobalto 1,5 % e iniciador MEK-P 1,0 % (Butanox M-50) produzidos pela empresa AEROJET Brasileira de Fiberglass Ltda.

O resíduo de mármore e granito (RMG) foi fornecido pela empresa Brilasa Britagem e Laminação de Rochas S/A, este material sofreu secagem em estufa por aproximadamente 24 horas. Após esse período, o resíduo passou pelo processo de cominuição e peneiramento manual em peneira de 100 mesh da série Tyler. As fibras de juta utilizadas em formato de fio foram adquiridas no Mercado Ver-o-Peso localizado em Belém do Pará, a mesma foi cortada com auxilio de escala milimétrica em comprimento de 15 mm. A Figura 1 apresenta o RMG e as fibras de juta.

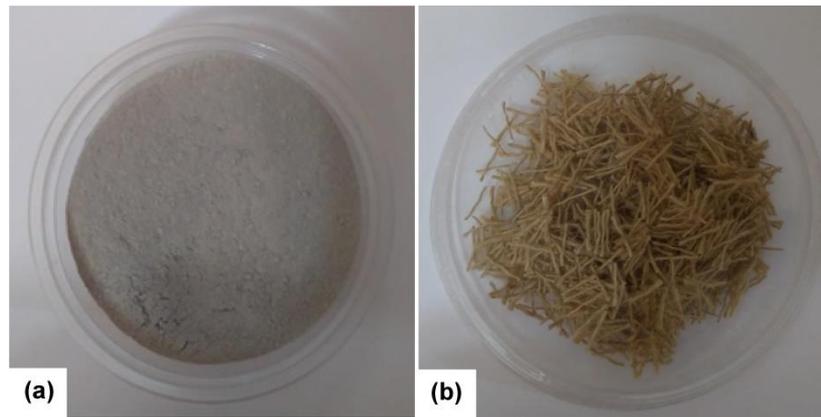


Figura 1. (a) Resíduo de mármore e granito; (b) Fibras de juta.

2.2 Métodos

2.2.1 Produção dos Compósitos

Para a confecção dos compósitos adotou-se o método hand *lay-up* associado com prensagem em molde fechado. Foram fabricados compósitos híbridos utilizando a proporção fixa de 5 % de fibra de juta para todas as séries produzidas, variando as proporções de resíduo em 5, 15 e 25 %. Adotou-se a proporção de 0 %, matriz plena, como método comparativo.

Tanto o RMG quanto as fibras foram levados à estufa a uma temperatura de 105° C durante 30 minutos para a redução da umidade superficial do material, o que poderia dificultar ainda mais a interação entre as fases. Após este período, as fibras foram dispostas de forma aleatória dentro do molde metálico, no qual posteriormente foi inserida a matriz polimérica devidamente preparada. O preparo da resina consistiu da inserção do sistema catalítico e do RMG seguido de homogeneização durante 4 minutos.

Após a mistura atingir o ponto de gel no interior do molde metálico (10-15 minutos), o material foi prensado com carga de 2,5 toneladas durante 20 minutos. A Figura 2 ilustra a sequência de produção dos compósitos.



Figura 2. Sequência da produção dos compósitos.

Fonte: BARBOSA et al., 2018 [5]

2.2.3 Caracterização física

Foram produzidos 5 (cinco) corpos de prova, nas dimensões de 25 x 25 mm, para cada proporção de compósitos. As caracterizações físicas dos compósitos foram realizadas por meio da Absorção de Água (AA), Massa Específica Aparente (MEA) e Porosidade Aparente (PA), seguindo recomendações das normas ASTM D 570-98, ASTM D 792-08 e ASTM D 2734-09, respectivamente.

Os corpos de prova foram primeiramente secos em estufa por um período de 24 h e posteriormente resfriados à temperatura ambiente. Após esta etapa, cada corpo de prova foi pesado em balança de precisão para determinação da massa seca. Em seguida, foi feita a imersão desses corpos de prova em água destilada durante 24 h para se determinar a massa úmida e depois pesado hidrosticamente para obtenção da massa submersa. A Figura 3 mostra esses corpos de prova.

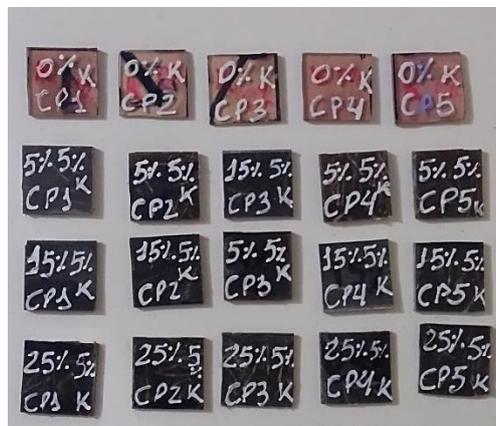


Figura 3. Corpos de prova para ensaios físicos.

2.2.4 Ensaio de flamabilidade horizontal

A caracterização dos compósitos foi feita por meio do ensaio de resistência à chama, conforme recomendações da norma ASTM D 635-03. Os corpos de prova com dimensões de 127 x 12,7 mm foram marcados a 25 mm e 100 mm de uma extremidade, deixando uma área útil de 75 mm. A chama foi posicionada como mostra a Figura 4, e o cronometro foi iniciado quando a chama atinge a primeira marcação e, termina até a chama apagar ou chegar à outra marcação de 25 mm.

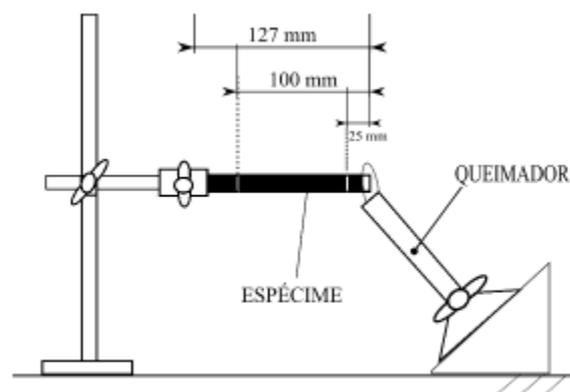


Figura 4. Representação esquemática do ensaio de flamabilidade horizontal.

Fonte: MENDES, 2019 [6]

2.2.5 Ensaios de resistência à tração

Para a realização do ensaio de resistência à tração os compósitos foram cortados com auxílio de serra de bancada segundo recomendações da norma ASTM D-3039-08, conforme a Figura 5.

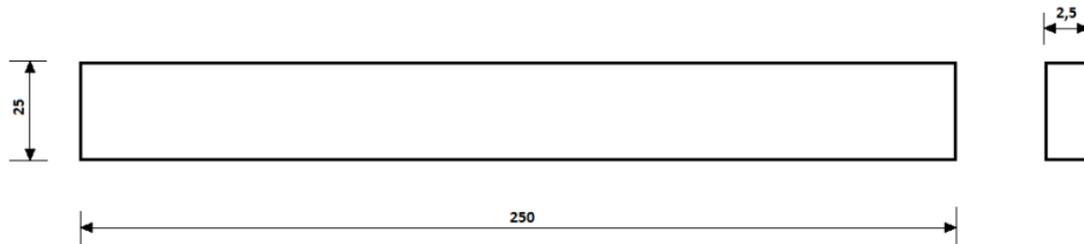


Figura 5. Dimensões (em mm) dos corpos de prova para ensaios de tração.

Fonte: ASTM D-3039-08, 2005 [7]

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Propriedades físicas

Os compósitos poliméricos híbridos com inserção de resíduo de mármore e granito e fibras de juta foram avaliados através das propriedades físicas de Massa Específica Aparente (MEA), Absorção de Água (AA) e Porosidade Aparente (PA) como mostra os resultados presentes na Tabela 1.

Tabela 1. Resultado dos ensaios físicos para os compósitos híbridos

RMG + FIBRAS	MEA (g/cm ³)	AA (%)	PA (%)
MATRIZ PLENA	1,1719 (±0,0102)	2,8324 (±0,7880)	3,3129 (±0,8893)
5 % RMG + 5 % FIBRAS	1,2504 (±0,0031)	2,3833 (±0,4564)	2,9790 (±0,5622)
15 % RMG + 5 % FIBRAS	1,4119 (±0,0045)	1,8671 (±0,1352)	2,6360 (±0,1875)
25 % RMG + 5 % FIBRAS	1,3896 (±0,0071)	2,7817 (±0,9050)	3,8606 (±1,2345)

É possível observar na Tabela 1 que a massa específica aparente dos compósitos híbridos sofreu um aumento em relação à matriz plena em todas as proporções de resíduo e fibras inseridas, onde a proporção de 15 % RMG + 5 % FIBRAS apresentou 16,99 % de aumento em comparação a matriz plena. Tal aumento nos compósitos já era esperado devido à densidade da resina (1,15 g/cm³) ser menor que a densidade do resíduo de mármore e granito (2,60 g/cm³), embora a densidade da fibra de juta possuir densidade de 1,1 g/cm³.

É possível observar também que os valores presentes de absorção de água e porosidade aparente estão diretamente ligados, pois uma menor porosidade aparente implica em uma menor absorção de água. A proporção de 15 % RMG + 5 % FIBRAS apresentou o menor valor registrado, este resultado pode ser devido o material compósito ter apresentado bolhas de ar e vazios. Contudo, no geral, esses valores foram semelhantes em comparação a matriz plena. Fato este pode ser devido às fibras vegetais possuírem alta propriedade hidrofílica e o resíduo possuir baixa propriedade hidrofílica.

3.2 Flamabilidade horizontal

A Tabela 2 apresenta os dados coletados durante o ensaio de resistência à chama realizada de acordo com a norma ASTM D 635-03.

Tabela 2. Resultado do ensaio de flamabilidade

RMG + FIBRAS (%)	TAXA (mm/min)
0 %	27,97 ($\pm 0,81$)
5 % RMG + 5 % FIBRAS	21,36 ($\pm 0,99$)
15 % RMG + 5 % FIBRAS	22,29 ($\pm 0,50$)
25 % RMG + 5 % FIBRAS	27,58 ($\pm 1,02$)

É possível observar na Tabela 2 que os compósitos híbridos fabricados com carga de resíduo de mármore e granito e inserção de fibras de juta apresentaram valores crescentes na medida em que se aumentou a proporção de resíduo no compósito, contudo os resultados ainda são menores quando comparados à matriz plena. Onde a proporção de 5 % RMG + 5 % FIBRAS obteve uma diminuição de 23,63 %. Esses resultados recebem classificação de HB, de acordo com as recomendações da norma ASTM D 635-03, por apresentarem valores inferiores a 40 mm/min. Além de também atenderem as especificações do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN) através da Resolução nº 498 de 29 de julho de 2014, onde os materiais empregados no revestimento interno de habitáculos de veículos não devem exceder 100 mm/min.

3.3 Resistência à tração

A Tabela 3 apresenta os valores obtidos dos ensaios de resistência mecânica à tração dos compósitos de matriz polimérica fabricados com carga de resíduo de mármore e granito e inserção de fibras de fios de juta.

Tabela 3. Resultado de resistência à tração

PROPORÇÃO DE RESÍDUO (%)	RESIST. TRAÇÃO MPa (desvio padrão)
0 %	35,78 ($\pm 3,45$)
5 % RMG + 5% JUTA	13,69 ($\pm 1,88$)
15 % RMG + 5% JUTA	17,83 ($\pm 1,70$)
25 % RMG + 5% JUTA	15,28 ($\pm 2,80$)

Observa-se através dos resultados presentes na Tabela 3 que os compósitos com carga de resíduo de mármore e granito e inserção de fibras de juta obtiveram um desempenho inferior à matriz plena. Fato este pode ser devido os compósitos apresentarem defeitos pontuais e porosidades ou pela falta de molhabilidade e trabalhabilidade matriz/fibra/carga. Segundo Rodrigues et al. [8] a fibra de fios de juta por apresentarem diâmetro médio de 0,62 mm dificulta o preenchimento de vazios interfios durante a compressão, dificultando assim, a compactação que o compósito pode alcançar.

Rodrigues [9] confeccionou compósitos de matriz polimérica com carga de resíduo de mármore e granito com inserção de fibras de coco e também observou uma diminuição na resistência mecânica à tração de seus compósitos fabricados. Segundo Rodrigues [9] o aumento de componentes na matriz polimérica influencia diretamente na redução dessas propriedades de tração e dificulta na interação matriz/fibra/carga.

3 CONCLUSÃO

Com relação às propriedades físicas de massa específica aparente tal comportamento já era esperado devido às propriedades de densidade dos materiais utilizados, para absorção de água e porosidade aparente os valores foram semelhantes ao da matriz plena, devido o resíduo possuir baixa propriedade hidrofílica e a fibra possuir alta propriedade hidrofílica.

No que diz respeito ao ensaio de inflamabilidade horizontal os compósitos produzidos obtiveram boas propriedades de resistência à chama quando comparados a matriz plena, onde a proporção de 5 % RMG / 5 % FIBRAS obteve uma diminuição de 23,63 %.

Em relação ao desempenho mecânico de tração os compósitos confeccionados com carga de resíduo de mármore e granito e inserção de fibras de fio de juta se comportaram como carga de enchimento, diminuindo a resistência à tração dos compósitos.

Diante disso, no geral, os compósitos apresentaram boas propriedades físicas e de resistência à chama, viabilizando sua utilização para tal finalidade, no entanto se comportaram como carga de enchimento nas propriedades mecânicas de resistência à tração.

Agradecimentos

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

REFERÊNCIAS

- 1 Menezes RR, Almeida RR, Santana LNL, Neves GA, Lira HL, Ferreira HC. Análise de co-utilização do resíduo do beneficiamento do caulim e serragem de granito para produção de blocos e telhas cerâmicos. *Cerâmica*. 2007; V. 53: p.192-199.
- 2 Callister WD, Rethwisch DG. *Ciência e engenharia de materiais: uma introdução*. 9º ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros técnicos e científicos, 2016.
- 3 Moura WA, Gonçalves JP, Leite RS. Utilização do resíduo de corte de mármore e granito em argamassas de revestimento e confecção de lajotas para piso. *Sitentibus*. 2002; v. 26: p. 49-61.
- 4 Silva ILA, Propriedades e estrutura de compósitos poliméricos reforçados com fibras contínuas de juta. Tese de Doutorado em Ciência dos Materiais – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2014.
- 5 Barbosa KSL, Mendes BHA, Santos AJG, Costa DS, Souza JAS. Compósitos de matriz poliéster isoftálico com carga de resíduo industrial e reforço de fibras naturais curtas. 73º Congresso Anual da ABM. 2018; V. 73: P. 1868-1878.
- 6 Mendes, BHA. Estudo da influência da incorporação de resíduo de beneficiamento de caulim nas propriedades de compósitos de matriz polimérica reforçada com fibra de bambu (*Bambusa vulgaris*). Dissertação de Mestrado em Engenharia Química – Universidade Federal do Pará, 2019.
- 7 ASTM D 3039 - 08, "Standard Test Method for Tensile Properties of Plastic (Metric)". *Annual Book of ASTM Standards*, American Society for Testing and Materials, EUA, 2005.
- 8 Rodrigues J, Souza JÁ, Fujiyama R. Compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais da Amazônia fabricados por infusão. *Revista Matéria*. 2015; V.20:p. 946-960.

- 9 Rodrigues, DN. Influência da adição de resíduo de mármore e granito em compósitos de matriz polimérica reforçados com fibra de coco. Dissertação de mestrado em Engenharia Química – Universidade Federal do Pará, 2016.