

COMPÓSITO DE MATRIZ POLIÉSTER ISOFTÁLICA COM CARGA DE RESÍDUO DE MÁRMORE E GRANITO*

Karla Suellen Lino Barbosa¹
Ana Caroline de Miranda Lima²
Bruno Henrique Alves Mendes³
Iara Ferreira Santos⁴
Deibson Silva da Costa⁵
José Antônio Silva Souza⁶

Resumo

Resíduos estão sendo empregados na fabricação de materiais compósitos com o intuito da obtenção de boas propriedades físico-mecânica e do desenvolvimento sustentável. Portanto, foram fabricados materiais compósitos de matriz polimérica com carga de resíduo de mármore e granito na granulometria de 100 mesh utilizando o método *hand lay-up*. Para cada série foram produzidos 5 (cinco) corpos de prova. A matriz polimérica apresentou proporções de acelerador 1,5 % e catalisador 1 %. O resíduo de mármore e granito proporções de 5, 15 e 25 %. 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 de ensaios de flambilidade horizontal (ASTM D-635) e de resistência mecânica á tração (ASTM D-3039). Os resultados mostram uma redução de aproximadamente 48 % na propagação à chama na proporção de 25 % de resíduo, para os resultados de resistência à tração o compósito com 10 % de resíduo apresentou o melhor desempenho mecânico, sinalizando bons impactos econômicos e ambientais.

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

ISOFTÁLICA POLYESTER COMPOUND WITH MARBLE AND GRANITE WASTE CHARGE

Abstract

Waste is being used in the manufacture of composite materials in order to obtain good physical-mechanical properties and sustainable development. Therefore, composite materials of polymeric matrix with marble and granite residue load were manufactured in 100 mesh granulometry using the hand lay-up method. For each series five (5) test specimens were produced. The polymer matrix showed proportions of 1.5% accelerator and 1% catalyst. The marble and granite residue proportions are 5, 15 and 25%. The physical characteristics of these materials were evaluated through ASTM D-792, water absorption (ASTM D-570) and apparent porosity (ASTM D-2734), as well as horizontal flambility tests (ASTM D-635) and tensile strength (ASTM D-3039). The results show a reduction of approximately 48% in the flame propagation in the proportion of 25% of the residue, for the results of tensile strength the composite with 10% of residue presented the best mechanical performance, indicating good economic and environmental impacts.

Keywords: Sustainable development; Polymer matrix; Marble and granite waste.

¹ *Bacharel em Ciência e Tecnologia, Mestranda em Engenharia Química, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará-Brasil.*

² *Graduanda de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará, Ananindeua, Pará-Brasil.*

³ *Engenheiro Químico, Mestre, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará e Brasil.*

⁴ *Engenheira Química, Mestra, Doutoranda em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará-Brasil.*

⁵ *Engenheiro Mecânico, Doutor, Professor do magistério superior, UFPA – Campus Ananindeua, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará-Brasil.*

⁶ *Engenheiro Químico, Doutor, Professor do magistério superior, UFPA – Campus Belém, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará-Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

As constantes mudanças que norteiam o progressivo desenvolvimento na sociedade acabam por consumir uma maior demanda de materiais e com isso há uma produção e acúmulo de resíduos industriais cada vez maiores. Pesquisas são realizadas em busca de alternativas para a diminuição desses rejeitos na natureza.

O estudo sobre materiais compósitos ganham enfoque com a inserção de resíduos em materiais como uma forma de reforço para melhorar qualidades de um material, além de diminuir a retirada de recursos naturais do meio ambiente.

Trabalhos utilizando resíduos industriais ganham destaque, o que comprova a preocupação de pesquisadores em conhecer novas alternativas sustentáveis de incorporação desse resíduo, conforme trabalhos de Barbosa et al. [1], Santos et al. [2] e Rodrigues [3].

O resíduo de mármore e granito é resultado do corte de blocos rochosos, sendo o Brasil privilegiado no que tange a quantidade de reservas de rochas ornamentais. O estado do Rio Grande do Norte é um dos maiores produtoras do País, sendo a utilização do resíduo de mármore e granito como aditivo a argamassa, onde ficou confirmada a viabilidade desta técnica que influencia as propriedades das argamassas no estado fresco [4,5].

Dessa forma, o presente trabalho reverte-se como uma pesquisa adicional no campo dos materiais compósitos com resíduo. Visando, assim, avaliar o comportamento de um compósito de matriz polimérica poliéster com carga de resíduo de mármore e granito visando melhoria nas propriedades físico-mecânica e na resistência à chama através do ensaio de inflamabilidade horizontal.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais de Partida

A matriz polimérica utilizada foi a Resina Poliéster Insaturada Isoftálica produzida pela empresa Centerglass Ind. Com. R. e Fibras Ltda e, 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, como mostra a Figura 1.



Figura 1. Matriz polimérica: (a) Resina; (b) iniciador MEK-P e acelerador de cobalto.

O resíduo de mármore e granito (RMG) foi fornecido pela empresa Brilasa Britagem e Laminação de Rochas S/A.

2.2 Metodologia Experimental

2.2.1 Resíduo de Mármore e Granito

O resíduo de mármore e granito (RMG) sofreu secagem em estufa por aproximadamente 24 horas. Após esse período, o resíduo passou pelo processo de cominuição e por seguinte peneiramento manual em peneira de 100 mesh da série Tyler. A Figura 2 apresenta o material após o peneiramento.



Figura 2. Resíduo de Mármore e Granito.

2.2.2 Produção dos Compósitos

Para a confecção dos compósitos adotou-se o método hand *lay-up* associado com prensagem em molde fechado. Foi determinada, com base no volume da resina, a utilização de 1,5 % de acelerador de Cobalto e 1,0 % de Butanox M-50 em todos os experimentos, variando a resina e o resíduo de mármore e granito em massa. Sendo assim, foram utilizadas as proporções de 0, 5, 15 e 25 % para a fabricação dos compósitos, adotando a proporção de 0 % (matriz plena) como método comparativo. O resíduo foi primeiramente levado à estufa a uma temperatura de 105° C durante um período de 30 minutos para a redução da umidade superficial do material, o que poderia dificultar ainda mais a interação entre as fases. O preparo da resina consistiu da inserção do sistema catalítico (1,5 % acelerador de Cobalto e 1,0% de Butanox M-50) e do resíduo de mármore e granito 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 3 ilustra a sequência de produção dos compósitos.



Figura 3. Sequência da produção dos compósitos.

2.2.3 Caracterização física

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

O material foi primeiramente seco em estufa durante 24 h e posteriormente resfriado à temperatura ambiente. Após o resfriamento, cada corpo foi pesado em balança de precisão para determinação da massa seca. Em seguida, foi feita a imersão desses corpos de prova em água destilada por 24 h para se determinar a massa úmida e depois pesado hidrostáticamente para obtenção da massa submersa. A Figura 4 mostra esses corpos de prova.



Figura 4. Corpos de prova para ensaios físicos.

2.2.4 Ensaio de flamabilidade horizontal

A caracterização dos compósitos foi feita por meio do ensaio de flamabilidade horizontal, 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. O intervalo de tempo começa a ser registrado quando a chama atinge

a primeira marcação e termina até a chama apagar ou chegar à outra marcação. A Figura 5 mostra a representação esquemática do ensaio realizado.

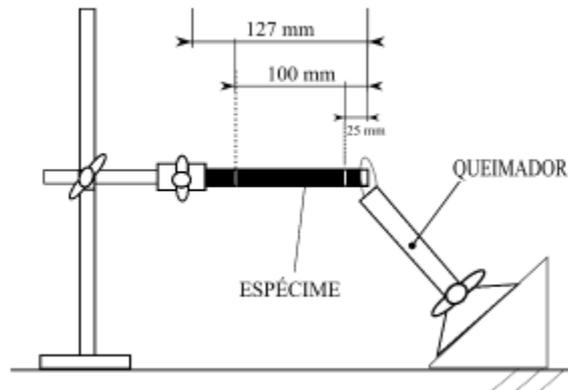


Figura 5. Representação esquemática do ensaio de flamabilidade horizontal.
Fonte: MENDES, 2019 [6]

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 seguindo recomendações da norma ASTM D-3039-08, conforme a Figura 6.

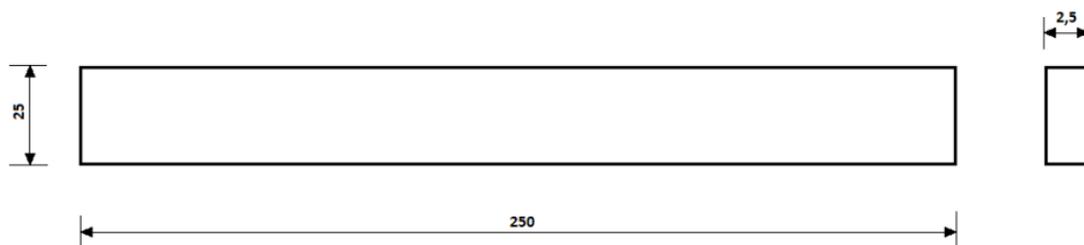


Figura 6. Dimensões (em mm) dos corpos de prova para ensaios de tração.
Fonte: ASTM D-3039-08, 2005 [7]

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.3.1 Propriedades físicas

A Tabela 1 apresenta os valores obtidos de Massa Específica Aparente (MEA), Absorção de Água (AA) e Porosidade Aparente (PA) de compósitos com carga de resíduo de mármore e granito.

Tabela 1. Resultados das propriedades físicas do resíduo de mármore e granito

PROPORÇÃO DE RESÍDUO (%)	MEA (g/cm ³)	AA (%)	PA (%)
0 % (MATRIZ PLENA)	1,1719 (±0,0102)	2,8324 (±0,7880)	3,3129 (±0,8893)
5 % RMG	1,2530 (±0,0077)	1,7690 (±0,4573)	2,2138 (±0,5596)
15 % RMG	1,4117 (±0,0071)	1,6347 (±0,3229)	2,3058 (±0,4439)
25 % RMG	1,5531 (±0,0163)	1,7736 (±0,5996)	2,7467 (±0,8932)

É possível observar através dos resultados presentes na Tabela 1 que a massa específica aparente dos compósitos com carga de resíduo de mármore e granito

apresentou valores maiores quando comparados à matriz plena, onde a carga de 25 % de resíduo obteve um aumento de 24,54 % em relação à matriz plena. Fato este é devido à densidade do resíduo de mármore e granito (2,60 g/cm³) ser maior que a densidade da resina (1,15 g/cm³) e conforme resultados previstos pela regra da mistura.

No que diz respeito às propriedades de absorção de água e porosidade aparente, essas propriedades diminuíram em comparação à matriz plena. Fato este pode ser devido o resíduo não possuir propriedade hidrofílica. Foi possível observar também que na propriedade de absorção de água a proporção de 15 % RMG obteve o menor valor apresentado seguido de um acréscimo na proporção de 25 % RMG. Esses fatores também foram observados nos trabalhos de Santos et al. [2] e Rodrigues [3]. Segundo Santos et al. [2] as propriedades de absorção de água e porosidade aparente são sensíveis quanto à variação de teor de resíduo na mistura polimérica, onde algumas proporções apresentam valores acentuados.

3.3.2 Flamabilidade horizontal

A Tabela 2 apresenta o resultado do ensaio de resistência à chama dos compósitos com carga de resíduo de mármore e granito.

Tabela 2. Resultado do ensaio de flamabilidade horizontal

PROPORÇÃO DE RESÍDUO (%)	TAXA (mm/min)
0 %	27,97 (±0,81)
5 %	25,64 (±1,00)
15 %	16,76 (±0,53)
25 %	14,50 (±0,23)

É possível observar na Tabela 2 que os compósitos com carga de resíduo de mármore e granito apresentaram valores menores quando comparados a matriz plena, onde a proporção de 25 % de RMG obteve uma baixa de aproximadamente 48 %. Esses resultados estão de acordo com as recomendações da norma ASTM D 635-03, recebendo classificação HB por apresentarem valores inferiores a 40 mm/min. Além de atenderem as especificações do Conselho Nacional de Trânsito (COTRAN) 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.

Esses resultados obtidos estão superiores ou semelhantes à literatura pesquisada de compósitos com resíduo de mármore e granito e com demais resíduos. Onde pesquisadores encontraram aumentos de 17,96 % em compósito fabricado com resíduo de lama vermelha na fração de 25 % e uma diminuição de 8,7 % em compósito fabricado com resíduo de cobre na fração de 25 % encontrados por Queiroz et al. [8], Mendes et al. [6] obteve na fração de 30 % de resíduo de caulim um aumento de 47 % em relação a seu compósito de matriz plena e Rodrigues [3] apresentou no seu trabalho um aumento de 54 % em compósitos fabricados com resíduo de mármore e granito na proporção de 30 %.

3.3.3 Resistência à tração

Os compósitos poliméricos com inserção de resíduo de mármore e granito foram avaliados de acordo com sua resistência mecânica à tração, no qual foram obtidos os seguintes resultados apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Resultado de resistência à tração

PROPORÇÃO DE RESÍDUO (%)	RESIST. TRAÇÃO MPa (desvio padrão)
0 %	35,78 ($\pm 3,45$)
5 %	38,62 ($\pm 1,31$)
15 %	31,34 ($\pm 3,99$)
25 %	24,24 ($\pm 2,76$)

É possível observar através dos dados presentes na Tabela 3 que a resistência mecânica de tração diminuiu de acordo com o acréscimo de resíduo de mármore e granito na matriz polimérica. Fato este pode ser devido à falta de trabalhabilidade ou molhabilidade da adesão matriz/carga ou devido o resíduo estar se comportando como matriz, ou seja, carga de enchimento. No entanto, os compósitos fabricados na proporção de 5 % RMG e 15 % RMG obtiveram resultados significativos na resistência mecânica, destacando-se o compósito com 5 % de resíduo que obteve o melhor desempenho mecânico quando comparado a matriz plena.

Esses resultados foram semelhantes ou superiores aos encontrados na literatura por pesquisadores que utilizaram resíduos industriais na fabricação de compósitos. Onde para o resíduo de mármore e granito Rodrigues [3] obteve uma redução de 29 % quando comparado a sua matriz plena nos compósitos com 20 % de RMG, sendo esse seu maior valor apresentado (22,44 MPa), em comparação com outros resíduos industriais, o resíduo de lama vermelha 10% (24,85 MPa) e resíduo de cinza 20 % (22,27 MPa) utilizados por Costa [9] obtiveram uma redução no desempenho mecânico comparado com sua matriz plena de 22 % e 30 %, respectivamente, sendo esses seus melhores resultados na produção de compósitos com carga industrial, para o resíduo industrial de caulim confeccionado por Barbosa et al. [1] houve um aumento em relação a sua matriz de comparação de 16 % na proporção de 40 % de caulim (25,71 MPa), sendo esse seu melhor resultado.

A Figura 7 mostra o gráfico de barra comparativo dos compósitos fabricados, onde é possível observar o comportamento da resistência à tração com a quantidade de resíduo inserido da matriz polimérica.

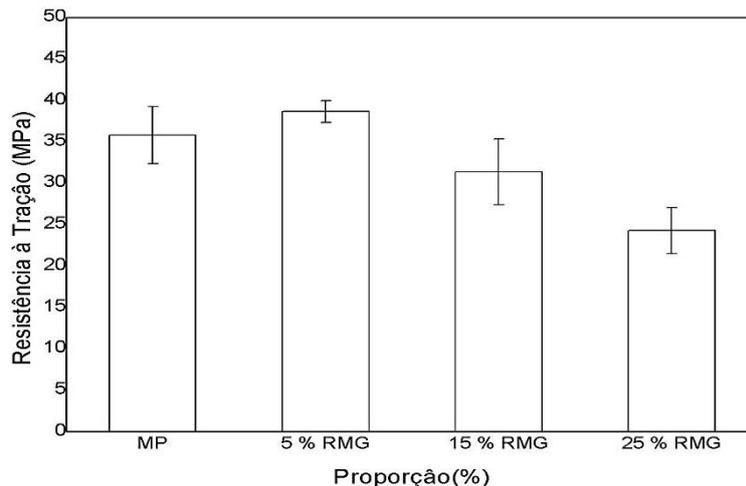


Figura 7. Gráfico de barra comparativo da resistência à tração.

3 CONCLUSÃO

O método *hand lay-up* mostrou-se eficiente para a fabricação dos materiais compósitos de matriz polimérica reforçados com resíduos de mármore e granito, visto que os compósitos atingiram a polimerização da cadeia na matriz.

Com relação ao comportamento físico, o aumento na propriedade de massa específica nos compósitos fabricados com resíduo de mármore e granito já era esperado devido à resina apresentar densidade inferior à densidade do resíduo. No que diz respeito às propriedades de absorção de água e porosidade aparente tais resultados já eram esperados devido o resíduo não possuir propriedade hidrofílica.

Em relação ao ensaio de resistência à chama dos compósitos fabricados foi possível verificar uma tendência no retardo da propagação da chama conforme aumentou-se a proporção de resíduo de mármore e granito na matriz polimérica, apresentando uma redução de aproximadamente 48 % na proporção de 25 % de RMG, mostrando assim, que a utilização deste resíduo foi eficiente na resistência à chama.

Para a resistência mecânica à tração os compósitos confeccionados com carga de resíduo industrial apresentaram boas propriedades mecânicas quando comparado a matriz plena, destacando-se o compósito com 10 % de RMG que apresentou o melhor desempenho de resistência à tração.

Diante disso, a inserção de resíduo de mármore e granito em compósitos de matriz poliéster foi eficiente na melhoria das propriedades físico-mecânica e de resistência á chama, sinalizando assim bons impactos econômicos e ambientais.

Agradecimentos

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

REFERÊNCIAS

- 1 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.

- 2 Santos IF, Pires OJM, Silva CR, Souza JAS. Reciclagem de resíduo de mármore e granito em matrizes poliméricas. XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química COBEQ. 2014; v. 1: p. 14108-14115.
- 3 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.
- 4 Carlos EM, Assis RB, Sousa RF, Oliveira TP, Mendes JUL. Avaliação do potencial de incorporação do resíduo de mármore na produção de gres porcelanato. 69º Congresso Anual da ABM. 2014; v. 69: p. 6937-6947.
- 5 França BR, Azevedo ARG, Zanelato EB, Alexandre J, Oliveira SRC, Monteiro SN, Marvila MT. Durabilidade de blocos de encaixe de solo-cimento com a incorporação de resíduo calcário do beneficiamento do mármore. 72º Congresso Anual da ABM. 2017; v. 72: p. 1056-1066.
- 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 Queiroz DP, Moraes MH, Costa DS, Pinheiro DR, Souza JS. Avaliação mecânica e flamabilidade de compósitos com resíduos de lama vermelha e cobre. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia de Materiais. 2018.
- 9 Costa DS. Estudo da influência de resíduos gerados pela indústria de mineração nas propriedades de compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras naturais [tese de doutorado]. Pará: Universidade Federal do Pará; 2016.