

Influência das partículas de mármore e granito nas propriedades mecânicas dos compósitos poliméricos**Influence of marble and granite particles on the mechanical properties of polymeric composites**

DOI:10.34117/bjdv6n9-588

Recebimento dos originais: 08/08/2020

Aceitação para publicação: 24/09/2020

Ingrid Moreira Reis

Bacharela Interd. em Ciência e Tecnologia com ênfase em Mecânica pela Universidade Federal do Pará

Instituição: Universidade Federal do Pará, campus Ananindeua

Endereço: Universidade Federal do Pará, 67130-660, Ananindeua, PA, Brasil

E-mail: ingridmoreira593@gmail.com

Karla Suellen Lino Barbosa

Mestranda em Engenharia Química, Bacharela Interd. em Ciência e Tecnologia com ênfase em Mecânica pela Universidade Federal do Pará

Instituição: Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, campus Belém

Endereço: Universidade Federal do Pará, 66075-110, Belém, PA, Brasil

E-mail: karllaslb@gmail.com

Gabrilly Monteiro Melo

Graduanda Interd. em Ciência e Tecnologia com ênfase em Mineral pela Universidade Federal do Pará

Instituição: Universidade Federal do Pará, campus Ananindeua

Endereço: Universidade Federal do Pará, 67130-660, Ananindeua, PA, Brasil

E-mail: gabrillymonteiro@yahoo.com.br

Willam Rayplam Pereira Coelho

Graduando em Engenharia de Bioprocessos pela Universidade Federal do Pará

Instituição: Universidade Federal do Pará, campus Belém

Endereço: Universidade Federal do Pará, 66075-110, Belém, PA, Brasil

E-mail: williamatl96@gmail.com

Iara Ferreira Santos

Doutoranda em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, Mestra em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pará

Instituição: Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, campus Ananindeua

Endereço: Universidade Federal do Pará, 66075-110, Belém, PA, Brasil

E-mail: iaraferreira.eq@gmail.com

Disterfano Lima Martins Barbosa

Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Pará

Instituição: Universidade Federal do Pará, Professor do magistério superior, Faculdade de Ciência e Tecnologia, campus Ananindeua

Endereço: Universidade Federal do Pará, 67130-660, Ananindeua, PA, Brasil

E-mail: delimamb@gmail.com

Reginaldo Saboia de Paiva

Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará

Instituição: Universidade Federal do Pará, Professor do magistério superior, Faculdade de Ciência e Tecnologia, campus Ananindeua

Endereço: Universidade Federal do Pará, 67130-660, Ananindeua, PA, Brasil

E-mail: regisabo@ufpa.br

Deibson Silva da Costa

Doutor em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia pela Universidade Federal do Pará

Instituição: Universidade Federal do Pará, Professor do magistério superior, Faculdade de Engenharia de Materiais, campus Ananindeua

Endereço: Universidade Federal do Pará, 67130-660, Ananindeua, PA, Brasil

E-mail: deibsonsc@yahoo.com.br

RESUMO

Como forma de viabilizar a utilização de resíduos industriais como carga em compósitos poliméricos, foram fabricados compósitos contendo resíduo de mármore e granito nas proporções de 10 % e 20 % nas granulometrias de 200 e 400 Meshs da série Tyler, mediante o método de fabricação *hand lay up* associado a prensagem em molde fechado. A matriz polimérica utilizada foi a resina poliéster isoftálica em conjunto com o acelerador de cobalto (1,5 % v/v) e o catalizador (1 % v/v). No qual, foi realizada a inquirição morfológica no resíduo por meio do microscópio eletrônico de varredura e feito o ensaio de resistência à tração (ASTM D3039) nos compósitos. Com base no desempenho mecânico dos compósitos, a proporção de 10 % RMG na granulometria de 400 Mesh obteve um aumento de aproximadamente 73 % e a proporção de 10 % RMG na granulometria de 200 Mesh apresentou o melhor desempenho de tração com aumento de aproximadamente 100 %, ambos em relação a matriz plena, o que comprova a atuação do compósito como reforço efetivo no sistema matriz/carga, tornando-o uma alternativa viável de utilização como carga em compósitos para revestimento interno em gerais.

Palavras-chave: Sustentabilidade, Compósitos, Resíduo de mármore e granito.

ABSTRACT

In order to make the use of industrial waste as filler in polymeric composites feasible, composites containing marble and granite waste in the proportions of 10 % and 20 % in the 200 and 400 Meshs granulometries of the Tyler series have been manufactured using the hand lay up method associated with closed mould pressing. The polymeric matrix used was the isophthalic polyester resin together with the cobalt accelerator (1,5 % v/v) and the catalyst (1 % v/v). In which the morphological survey on the residue was performed by means of the scanning electron microscope and the tensile strength test (ASTM D3039) on composites. Based on the mechanical performance of composites, the proportion of 10 % RMG in the 400 Mesh grain size obtained an increase of approximately 73 % and the proportion of 10 % RMG in the 200 Mesh grain size showed the best traction performance with an increase of approximately 100 %, both in relation to the full matrix, which proves the

performance of the composite as an effective reinforcement in the matrix/load system, making it a viable alternative for use as load in composites for internal coating in general.

Keywords: Sustainability, Composites, Marble and Granite Waste.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Chiodi Filho (2019), o setor de rochas ornamentais no Brasil vem crescendo de forma veemente em decorrência das atividades industriais empregadas. A produção brasileira de materiais rochosos, para ornamentação e revestimento estimada pela ABIROCHAS, foi de aproximadamente 9 milhões de toneladas no ano de 2018, sendo as rochas de granito responsáveis por 50 % do total produzido, seguido do mármore com 23 %.

Em razão dessa elevada produção, ocorre o acúmulo de toneladas de rejeitos oriundos dos processos de beneficiamento de minérios, como em destaque o mármore e granito que gera cerca de 20 % a 30 % de pó de mármore dos blocos rochosos, no qual são classificados como inertes e não biodegradáveis. Na maioria das vezes o descarte desses rejeitos acontece de forma indevida, sendo despejados ao ar livre (FRANÇA et al., 2017).

Para auxiliar na redução dos impactos ocasionados pela geração dos resíduos industriais no meio ambiente, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) determina normas que devem ser seguidas com o intuito de reciclar ou reaproveitar os materiais, como também incentivar o descarte de modo correto.

Desse modo, uma alternativa sustentável para a reintrodução desses resíduos é a utilização como carga em compósitos, no qual de acordo com Barbosa et al. (2019) estudos a respeito dos materiais compósitos com a incorporação de resíduos como forma de reforço ganham destaque em razão da qualidade obtida, além de significar uma fonte alternativa de matéria prima para o setor industrial.

Tendo em vista as pesquisas existentes sobre a reutilização dos resíduos industriais, os resultados obtidos evidenciaram potencial uso do resíduo como matéria prima alternativa na produção de materiais compósitos, conforme os trabalhos de Santos et al. (2014), Rodrigues (2016) e Barbosa et al. (2019).

Uma questão relevante a ser ressaltada é a influência da granulometria do resíduo nos compósitos poliméricos. Conforme Castro e Pandolfelli (2009), a distribuição granulométrica é de fundamental importância no processo de mistura de um material, onde as propriedades físicas de porosidade são influenciadas pela uniformidade da distribuição das partículas, na qual garantem uma melhor compactação e preenchimento de vazios existentes entre os grãos.

Dessa forma, em virtude das crescentes pesquisas realizadas a respeito da influência granulométrica nos compósitos, este trabalho busca analisar as possíveis interferências provenientes das partículas dentro da matriz, utilizando granulometrias distintas de 200 e 400 Meshs.

Neste viés, o presente trabalho tem como objetivo realizar análise morfológica no resíduo de mármore e granito afim de verificar a influência desse material constituinte na propriedade mecânica de tração dos compósitos poliméricos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A matriz polimérica utilizada foi constituída pela resina poliéster isoftálica insaturada proveniente da empresa Centerglass Ind, Com. R. e Fibras Ltda e com densidade de $1,15 \text{ g/cm}^3$, segundo dados fornecidos pela fabricante, junto com um sistema catalítico, em volume, formado por acelerador de cobalto (1,5 % v/v) e o iniciador MEK-P (1 % v/v) produzidos pela empresa AEROJET Brasileira de Fiberglass Ltda.

O Resíduo de Mármore e Granito (RMG) utilizado foi fornecido pela empresa Brilasa Britagem e Laminação de Rochas S/A, localizada no Estado do Pará, onde a densidade adotada para o resíduo foi entre $2,7 \text{ g/cm}^3$, segundo o trabalho de Spala et al. (2017). Para o processo de desagregação o resíduo de mármore e granito sofreu secagem em estufa por aproximadamente 24 horas. Posteriormente, o resíduo passou pelo processo de cominuição e peneiramento manual em peneira de 200 e 400 Meshs com abertura de 0,074 mm e 0,037 mm, respectivamente. A Figura 1 apresenta o resíduo de mármore e granito utilizado e o resíduo após passar pelo processo de desagregação.

Figura 1. (a) Resíduo utilizado e (b) Resíduo desagregado.



Microscopia eletrônica de varredura

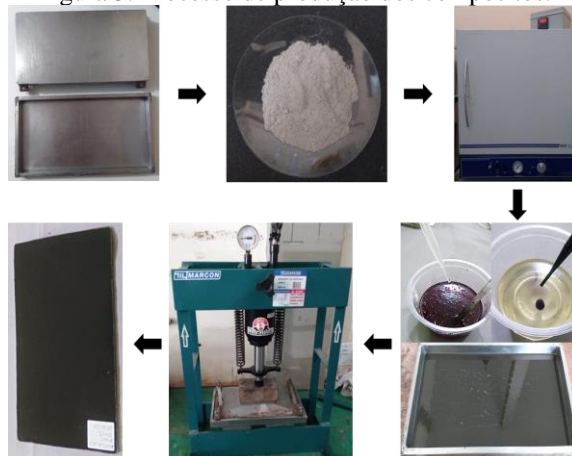
Para análise morfológica do resíduo de mármore e granito foi utilizado o microscópio eletrônico de varredura, marca HITACHI, modelo TM 3000, com aumento de 1.0 k para análise do resíduo na granulometria de 200 e 400 Meshs.

Produção dos compósitos

Para a confecção dos compósitos poliméricos utilizou-se o método de fabricação *hand lay up* associado à prensagem em um molde fechado. No qual, foram fabricados compósitos em formato de placas retangulares nas dimensões de 320 mm x 172,5 mm x 5 mm. Para a realização dos experimentos foi determinada com base no volume da resina, a utilização de 1,5 % de acelerador de Cobalto e 1,0 % do Iniciador MEK-P em todos os experimentos, sendo variada a quantidade de resina e de resíduo de mármore e granito em massa. Dessa forma, foram fabricados compósitos contendo proporções mássicas de 10 % e 20 % do resíduo com granulometria de 200 Mesh e 400 Mesh, considerando a fração de 0 % de RMG como método comparativo.

Para início da produção dos compósitos, o resíduo foi primeiramente levado a estufa a uma temperatura de 105° C durante um intervalo de tempo de 30 minutos afim de reduzir a umidade superficial do material. Posteriormente, foi realizado o preparo da mistura polimérica, constituída da resina isoftálica com a incorporação do acelerador de cobalto, resíduo e o iniciador MEK-P, no qual foram homogeneizados durante um período de 5 minutos, após esse intervalo, a mistura foi posta no molde até atingir o ponto de gel no período de tempo de 10 a 15 minutos e para finalizar o processo de fabricação, o material foi prensado com carga de 25 kN durante 20 minutos. A Figura 3 apresenta as etapas realizadas para a produção dos compósitos poliméricos.

Figura 3. Processo de produção dos compósitos.

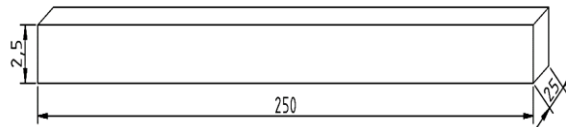


Posterior as etapas de fabricação dos compósitos foram realizados cortes nas placas com o auxílio de uma máquina de corte para obtenção dos corpos de prova em dimensões conforme a norma ASTM D 3039 referente ao ensaio de tração.

Ensaio de resistência à tração

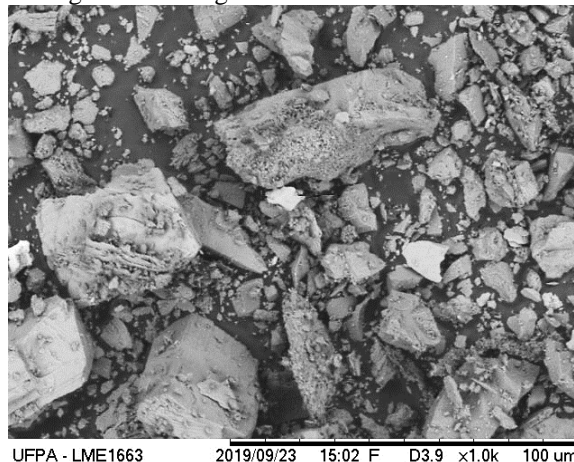
Para a realização do ensaio mecânico utilizou-se nove corpos de prova em conformidade com a norma ASTM D 3039. Foram ensaiados por meio da máquina universal de ensaios (Modelo IKLC3, marca KRATOS), com célula de carga de 5 kN e velocidade de ensaio de 2 mm/min. A Figura 4 apresenta as dimensões utilizadas dos corpos de prova para o ensaio de tração.

Figura 4. Dimensões em mm dos corpos de prova.

**3 RESULTADOS E DISCUSSÃO****Microscopia do resíduo de mármore e granito**

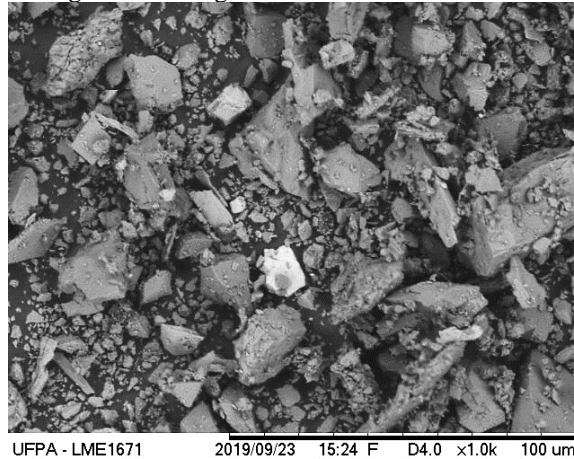
A microscopia eletrônica de varredura foi realizada no resíduo de mármore e granito nas granulometrias de 200 e 400 Mesh com aumento de 1.0 k. As Figuras 5 e 6 mostram as micrografias obtidas conforme o aumento e as respectivas granulometrias.

Figura 5. Micrografia do resíduo de 200 Mesh.



Por meio da micrografia presente na Figura 5 do resíduo de mármore e granito na granulometria de 200 Mesh é possível observar que o resíduo apresenta partículas com ampla distribuição de tamanhos e morfologias diferentes, onde é possível identificar a presença de aglomerados porosos. De acordo com Taguchi et al. (2012), a morfologia irregular do resíduo é proveniente do processo de corte dos blocos oriundos de rochas ornamentais, no qual forma-se um pó fino, no entanto, com formato angular. Ainda, conforme Aguiar et al. (2016) a irregularidade da morfologia deve-se a presença de grãos de carbonato de cálcio (Calcita) e dolomita.

Figura 6. Micrografia do resíduo de 400 Mesh.



UFGA - LME1671 2019/09/23 15:24 F D4.0 x1.0k 100 um

Com base na micrografia da Figura 6, obtida do resíduo na granulometria de 400 Mesh, também é possível identificar partículas com morfologia irregulares e arestas angulosas, além de uma representativa porcentagem de partículas finas contidas no resíduo, o que de acordo com Aguiar (2012) a existência de partículas refinadas no resíduo pode contribuir para a redução do aparecimento de trincas no material. Neste viés, Ajayan et al. (2003) afirmam que quanto menor o tamanho das partículas, maior será a área superficial, o que pode resultar em benefícios às propriedades dos compósitos, no entanto, a tendência de formação de aglomerados entre as partículas pode inibir ou reduzir a melhora destas propriedades.

Ensaio de tração

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos através do ensaio de resistência à tração dos compósitos com resíduo de mármore e granito na granulometria de 200 e 400 Mesh.

Tabela 1. Resultado do ensaio de tração.

Composição (%)	Resistência à tração (MPa)	Alongamento (mm)	Módulo de elasticidade (GPa)
0 % RMG	16,50 ($\pm 3,25$)	1,88	1,57
10 % RMG (200 Mesh)	34,28 ($\pm 3,97$)	2,81	2,20
20 % RMG (200 Mesh)	31,27 ($\pm 2,63$)	2,66	2,12
10 % RMG (400 Mesh)	28,68 ($\pm 5,36$)	6,83	0,76
20 % RMG (400 Mesh)	20,09 ($\pm 1,39$)	5,61	0,65

Conforme os resultados obtidos na Tabela 1, observa-se que a resistência à tração dos compósitos com resíduo de mármore e granito na granulometria de 400 Mesh quando comparada com os compósitos contendo o resíduo na granulometria de 200 Mesh, apresentaram desempenho mecânico inferior. Fato este pode ser explicado em virtude de as partículas possuírem uma tendência natural em formarem agregados, onde a dificuldade de homogeneização colabora para tal formação, o que acarreta na limitação da dispersão das partículas. De acordo com Melo (2013) a granulometria e a dispersão das partículas são um fator importante a ser considerado, na qual a propensão natural das cargas consiste na formação de agregados. Portanto, embora as partículas mais refinadas possuam propriedades mecânicas eficientes, se elas não tiverem devidamente dispersas menor será a interação com a matriz polimérica.

Nesse contexto, Al-turaif (2010) afirma que a dispersão das partículas pode ser limitada em razão da formação de aglomerados devido à maior quantidade de forças de Van Der Waals entre as partículas de tamanho reduzido.

Referente ao teor de carga nos compósitos, nota-se que as resistências mecânicas a tração dos compósitos diminuiu conforme o aumento da proporção mássica de resíduo na matriz polimérica. Este fato pode ser explicado em razão da falta de trabalhidade ou molhabilidade da adesão carga/matriz. Conforme Bessa (2017) o aumento da quantidade de carga geralmente melhora as propriedades mecânicas de um compósito, no entanto, existe um limite de aumento, no qual ao ser ultrapassado ocorre um efeito adverso na propriedade do material.

Esses resultados também foram observados nos trabalhos que utilizaram o resíduo de mármore e granito para a fabricação de compósitos. No qual conforme Rodrigues (2016) e Barbosa et al. (2019) os valores de resistência à tração dos compósitos foram diminuindo progressivamente de acordo com o aumento na proporção do resíduo na matriz, tendo como maiores valores obtidos os compósitos com 20 % RMG (22,44 MPa) e 5 % RMG (38,62 MPa) na granulometria de 100 Mesh, respectivamente.

Em comparação com outros tipos de resíduos industriais, nota-se que a resistência dos compósitos com resíduos de lama vermelha, cinza e caulim utilizados por Costa (2016) obtiveram uma redução conforme o aumento da proporção de resíduo na matriz polimérica. Obtendo como melhores resultados os compósitos com 10 % de lama vermelha (24,85 MPa), 10 % de Caulim (23,83 MPa) e 20 % de Cinza (22,27 MPa) na granulometria de 100 Mesh. A Tabela 2 apresenta uma comparação dos melhores resultados obtidos das propriedades mecânicas de resistência à tração dos compósitos de resíduos industriais mencionados e dos compósitos estudados no presente trabalho.

Tabela 2. Comparação da resistência à tração.

Constituintes	Fração Mássica (%)	Resistencia à Tração (MPa)	Literatura
RMG (200 Mesh)	10 % RMG	34,28 (±3,97)	Neste trabalho
RMG (400 Mesh)	10 % RMG	28,68 (±5,36)	Neste trabalho
RMG (100 Mesh)	5 % RMG	38,62 (±1,31)	Barbosa et al. (2019)
RMG (100 Mesh)	20 % RMG	22,44 (±5,05)	Rodrigues (2016)
RLV (100 Mesh)	10 % LV	24,85 (±1,22)	
R.CAULIM (100 Mesh)	10 % CAULIM	23,83 (±1,13)	Costa (2016)
R.CINZA (100 Mesh)	20 % CINZA	22,27 (±1,28)	

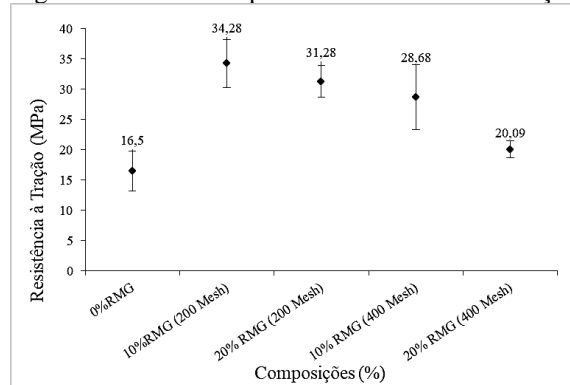
Os resultados apresentados na Tabela 1 também mostram que embora os compósitos tenham apresentado diminuição na resistência mecânica com o acréscimo do resíduo, os resultados ainda assim foram superiores ao da matriz de comparação, no qual a proporção de 10 % RMG na granulometria de 400 Mesh obteve um aumento de aproximadamente 73 % e a proporção de 10 % RMG na granulometria de 200 Mesh apresentou a melhor resistência mecânica com aumento de aproximadamente 100 %, o que comprova a atuação do compósito como reforço efetivo no sistema matriz/carga.

Em relação ao módulo de elasticidade dos compósitos com resíduo de mármore e granito na granulometria de 200 Mesh, observa-se um aumento em relação aos compósitos na granulometria de 400 Mesh. Este comportamento ocorre em razão do caráter representativo da rigidez do material. Conforme Callister (2016) quanto maior o módulo de elasticidade, mais rígido será o material, ou menor será sua deformação elástica mediante a aplicação de uma dada tensão.

Em comparação a matriz plena, os compósitos na granulometria de 200 Mesh apresentaram um módulo de elasticidade semelhante ao da matriz, este fato está relacionado a característica menos dúctil dos materiais, por tanto, o material se rompe se sofrer grande deformação. No que diz respeito aos compósitos na granulometria de 400 Mesh, nota-se que o módulo elástico obteve um resultado inferior ao da matriz, em razão dos materiais terem apresentado um comportamento dúctil. De acordo com Factori (2009) um maior alongamento no material indica uma maior ductilidade.

A Figura 7 apresenta o gráfico de dispersão comparativo dos compósitos confeccionados, no qual observa-se o comportamento da resistência à tração de acordo com a proporção mássica dos constituintes utilizados.

Figura 7. Gráfico comparativo da resistência a tração.



4 CONCLUSÃO

As análises morfológicas do resíduo de mármore e granito foram eficientes para conhecimento dos formatos e distribuições das partículas presentes em cada faixa granulométrica.

Referente a resistência à tração, os compósitos com resíduo de mármore e granito na granulometria de 200 Mesh obtiveram os melhores resultados de comportamento mecânico, sugerindo a faixa granulométrica de 200 Mesh como a carga de reforço mais efetiva.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Materiais Porosos e Sintetizados (LAMPS), Laboratório de Engenharia Química (LEQ) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

- Aguiar, M.C. et al. Caracterização de resíduo de mármore para fabricação de rocha artificial. 22º CBEiMat – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos materiais. p. 7-9, 2016.
- Aguiar, Mariane Constalonga de. Utilização de resíduo de serragem de rocha ornamental com Tecnologia de fio diamantado em cerâmica vermelha. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Centro de Ciência e Tecnologia, Engenharia e Ciência de Materiais, 2012.
- Ajayan, P. M. et al. Nanocomposite Science and Technology. 1. ed. Weinheim: Wiley, 2003.
- Al-Turaif, H. A. Effect of nano TiO₂ particle size on mechanical properties of cured epoxy resin. Progress in Organic Coatings, vol. 69, n.3, p. 241-246, 2010.
- ASTM D 3039. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastic (Metric). Annual Book of Standards, American Society for Testing and Materials, EUA, 2008.
- Barbosa, K. S. L. et al. Compósito de matriz poliéster isoftálica com carga de resíduo de mármore e granito. 74º Congresso Anual da ABM-Internacional, 2019.
- Bessa, Magno Luiz Tavares. Estudo da dispersão e adesão de micropartículas de diamante em formulação de compósitos epoxídicos. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Centro de Ciência e Tecnologia, Engenharia e Ciência de Materiais, 2017.
- Callister jr, W.; Rethwisch, D. Ciência e Tecnologia de Materiais: Uma Introdução. Tradução Sergio Murilo Stamile Soares. 9ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. 845 p.
- Castro, A. L.; Pandolfelli, V. C. Revisão: Conceitos dispersão e empacotamento de partículas para a produção de concretos especiais aplicados na construção civil, 2009.
- Chiodi Filho, Cid. O setor brasileiro de rochas ornamentais: Produção brasileira de lavra. ABIROCHAS, 2019.
- Costa, D. S. da. Estudo da influência de resíduos gerados pela indústria de mineração nas propriedades de compósitos matriz poliéster reforçados com fibras naturais. Belém, 229 p., 2016. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Pará.
- Factori, Irina Marinho. Processamento e propriedade de compósitos de poliamida 6.6 reforçada com vidro reciclado. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, 2009.
- França, B. R. et al. 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
- Melo, Patricia Maria Alves de. Compósitos particulados de polietileno de alta densidade e concha de molusco: Efeito do teor e da granulometria. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do

Paraíba, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia de materiais, 2013.

Moura, W. A.; Gonçalves, J. P., Leite, R. S., Utilização do resíduo de corte de mármore e granito em argamassas para revestimento e confecção de lajotas para piso. In: Revista Sitientibus, UEFS, Feira de Santana/Ba, v.26, p.49 - 62, 2002.

Rodrigues, Diego Nery. Influência da adição de resíduo de mármore e granito em compósitos de matriz polimérica reforçados com fibra de coco. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, 2016.

Santos, I. F. et al. Reciclagem de resíduos de mármore e granito em matrizes poliméricas. XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química-COBEQ, 2014.

Spala, S. T. et al. Caracterização tecnológica de resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais para seu uso em concreto. XXV Jornada de Iniciação Científica em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação, 2017.

Taguchi, S. P. et al. Caracterização química e física do resíduo granítico Iberê Crema Boudex, Iberê Golden e Twilight proveniente do corte utilizando multifios. 20º CBEiMat – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos materiais. p. 5, 2012.