

Potencial aplicabilidade de compósitos poliméricos com resíduos minerais e da construção civil em revestimentos internos**Potential applicability of polymeric composites with mineral waste and civil construction in internal coatings**

DOI:10.34117/bjdv6n9-697

Recebimento dos originais: 30/08/2020

Aceitação para publicação: 30/09/2020

Krishana Carvalho de Alencar

Graduanda em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Pará.
Instituição: Universidade Federal do Pará, campus Ananindeua.
Endereço: Universidade Federal do Pará, 67130-660, Ananindeua, PA, Brasil.
E-mail: krishanacalencar@gmail.com

Pedro Ricardo Carrias Carvalho

Bacharel em Engenharia civil pela Universidade da Amazônia (UNAMA) e Graduando em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Pará.
Instituição: Universidade Federal do Pará, campus Ananindeua.
Endereço: Universidade Federal do Pará, 67130-660, Ananindeua, PA, Brasil.
E-mail: pricardo.com@gmail.com

Lucas Rezende Almeida

Graduando em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Pará.
Instituição: Universidade Federal do Pará, campus Ananindeua.
Endereço: Universidade Federal do Pará, 67130-660, Ananindeua, PA, Brasil.
E-mail: lucasreezende@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

Emerson Rodrigues Prazeres

Doutorando em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia e mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Pará.
Instituição: Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, campus Belém.
Endereço: Universidade Federal do Pará, 66075-110, Belém, PA, Brasil.
E-mail: eng.emersonrodrigues@gmail.com

Wassim Raja El Banna

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 Mecânica, campus Tucuruí.
Endereço: Universidade Federal do Pará, 68464-000, Tucuruí, PA, Brasil.
E-mail: wassim@ufpa.br

Denilson da Silva Costa

Doutor em Engenharia Metalúrgica e de Minas (Tecnologia Mineral) pela Universidade Federal de Minas Gerais.
Instituição: Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Professor do magistério superior, Faculdade de Engenharia de Minas e Meio Ambiente, campus Marabá.
Endereço: Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, 68505-080, Marabá, PA, Brasil.
E-mail: denilson@unifesspa.edu.br

Deibson Silva 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

A fabricação de materiais compósitos a partir do reaproveitamento de resíduos industriais vem sendo estudado com o objetivo de desenvolver materiais com boas propriedades físico-mecânicas aliado ao desenvolvimento sustentável. Com isso, foram confeccionados compósitos poliméricos com reforços de resíduo de mármore e granito, resíduo de construção e demolição e resíduo de minério de ferro, nas proporções de 10 e 20 % na granulometria de 100 mesh da série Tyler. O método utilizado para a fabricação das placas compósitas foi o *hand lay-up*. A matriz polimérica utilizada foi a poliéster isoftálica insaturada com proporções de 1,5 % de acelerador de cobalto e 1 % de catalisador MEK-P (Butanox M-50). Foram realizados ensaios de caracterização física de massa específica aparente (ASTM D-792), absorção de água (ASTM D-570) e porosidade aparente (ASTM D-2734) e ensaios de flamabilidade horizontal, seguindo a norma ASTM D-635. Os resultados obtidos mostram que a composição com 20 % de minério de ferro obteve menores valores de porosidade aparente e absorção de água. Todos os compósitos apresentaram retardo de chama, em destaque os compósitos com 20 % de resíduo de minério de ferro com retardo à chama em aproximadamente 85 % em relação à matriz plena. Portanto, esses materiais mostram-se viáveis para revestimentos internos na indústria automobilística e revestimentos internos na área da construção civil, além de reduzir os custos de produção e minimizar os impactos ambientais.

Palavras-chave: Meio ambiente, Compósitos, Resíduos industriais.

ABSTRACT

The manufacture of composite materials from the reuse of industrial waste has been studied with the objective of developing materials with good physical-mechanical properties combined with sustainable development. With this, polymeric composites were made with reinforcements of marble and granite residues, construction and demolition residues and iron ore residues, in the proportions of 10 and 20% in the 100 mesh size of the Tyler series. The method used to manufacture the composite boards was the hand lay-up. The polymeric matrix used was the unsaturated isophthalic polyester with proportions of 1.5% of cobalt accelerator and 1% of MEK-P catalyst (Butanox M-50). Tests for physical characterization of apparent specific mass (ASTM D-792), water absorption (ASTM D-570)

and apparent porosity (ASTM D-2734) and horizontal flammability tests, following the ASTM D-635 standard. The results obtained show that the composition with 20% iron ore obtained lower values of apparent porosity and water absorption. All composites showed flame retardancy, especially composites with 20% iron ore residue with flame retardancy of approximately 85% in relation to the full matrix. Therefore, these materials prove to be viable for internal coatings in the automobile industry and internal coatings in the area of civil construction, in addition to reducing production costs and minimizing environmental impacts.

Keywords: Environment, Composites, Industrial waste.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da sociedade ocasiona maiores consumos de materiais e, conseqüentemente, aumenta o descarte de resíduos industriais no meio ambiente. A Ciência dos Materiais, em busca de reduzir esses rejeitos na natureza, tem feito pesquisas para produzir novos materiais a partir desses resíduos minerais, como os compósitos.

Os compósitos são formados por uma fase contínua (matriz) e uma fase dispersa (carga ou reforço), que apresentam uma proporção significativa das propriedades de cada fase, de tal modo que é obtida uma melhor combinação de propriedades (Callister, 2016).

Esses resíduos industriais vêm sendo empregados na fabricação de materiais compósitos com o intuito de melhorar a qualidade das propriedades físico-mecânicas, além de serem matérias-primas abundantes no Brasil. O mármore é um calcário metamórfico cristalino, basicamente constituído de calcita (CaCO_3) e o granito é uma rocha ígnea, constituída principalmente por feldspatos, quartzo e micas (J.B. Silva et al., 2005). O resíduo de construção e demolição tem como principais componentes mineralógicos o quartzo (SiO_2) e a calcita (Carvalho, 2019). O resíduo de minério de ferro é um material fino, denso e cristalino e é composto por óxidos de ferro, sílica e alumina (Pedroso, 2020).

Atualmente há um grande interesse da indústria automobilística na utilização de novas tecnologias, seja para reduzir os impactos ambientais ou na tentativa de reduzir os custos de produção. Sendo assim, os materiais compósitos apresentam um grande potencial de aplicabilidade em revestimentos internos de automóveis, pois estes são provenientes de fontes naturais e renováveis, além de apresentarem boas propriedades mecânicas.

Além disso, segundo o engenheiro Willian Kurilov (2019), a aplicação de materiais compósitos na indústria automobilística também oferece a redução da massa, mantendo-se a elevada resistência, implicando em uma diminuição de emissões de gases poluentes e melhoria no consumo de combustível.

Logo, o objetivo deste estudo é avaliar o comportamento físico e de resistência à chama de compósitos de matriz polimérica com inserção de resíduo de Mármore e Granito (RMG), resíduo de

Construção e Demolição (RCD) e resíduo de Minério de Ferro (RMF), visando à utilização em revestimentos internos de automóveis, contribuindo para a fabricação de um material sustentável e com menor custo.

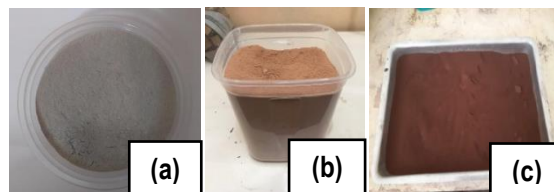
2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS

A matriz polimérica utilizada para a fabricação dos compósitos foi a Resina Poliéster Insaturada Isoftálica produzida pela empresa Centerglass Ind. Com. R. e Fibras Ltda e com densidade de 1,15 g/cm³ (dados fornecidos pelo fabricante). Também utilizou-se acelerador de Cobalto e iniciador MEK-P (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, com densidade de 2,70 g/cm³ (Spala et al., 2017). O Resíduo de Construção e Demolição (RCD) foi proveniente das sobras de demolição de uma reforma de um residencial na região metropolitana de Belém no Estado do Pará, este tem massa específica de 2,74 g/cm³, conforme Carvalho (2019). O Resíduo de Minério de Ferro (RMF) foi oriundo de empresas locais do Sudeste do Pará, com densidade de 2,50 g/cm³ (Almeida, 2019). Estes materiais passaram por um processo de moagem, cominuição e peneiramento em peneira de 100 mesh da série Tyler. A Figura 1 mostra os resíduos utilizados.

Figura 1. Materiais utilizados: (a) RMG; (b) RCD; (c) RMF.



3 MÉTODOS

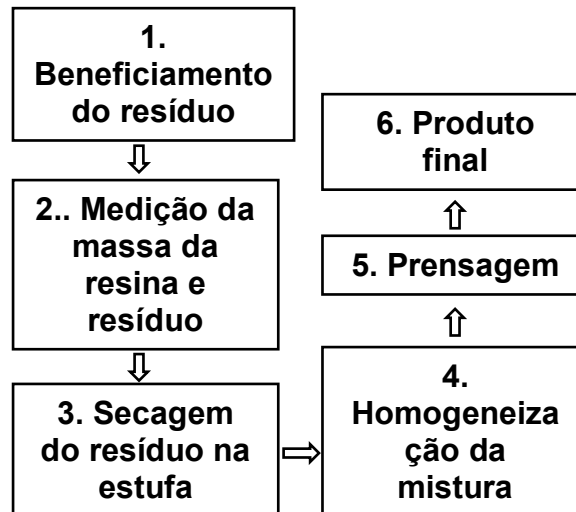
3.1 FABRICAÇÃO DOS COMPÓSITOS

Para a confecção das placas compósitas foi utilizado o método *hand lay-up*, associado à prensagem em molde fechado de aço inoxidável. Foi determinada, de acordo com o volume da resina, a utilização de 1,5 % de acelerador de Cobalto e 1,0 % de iniciador MEK-P em todos os experimentos, variando a resina e os resíduos em massa. Foram utilizadas as proporções dos resíduos em 10 e 20 % em comparação com a proporção de 0 % (matriz plena).

Os resíduos foram levados à estufa a uma temperatura de 105 °C por 30 minutos para redução da umidade superficial do material, para facilitar a interação entre as fases. Em seguida, a resina, o cobalto, o resíduo e o iniciador foram homogeneizados de forma manual, nessa ordem, até a sua

completa homogeneização por 4 minutos. Depois a mistura foi despejada no molde metálico até atingir o ponto de gel (10 a 15 minutos). Depois, as placas foram prensadas em prensa hidráulica com carga de 2,5 toneladas por 20 minutos. Após 24 horas sucedeu-se o processo de polimerização completo dos materiais, conforme mostra a Figura 2.

Figura 2. Esquema da fabricação dos compósitos.



3.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

As caracterizações físicas dos compósitos foram realizadas por meio da Absorção de Água (AA), Massa Específica Aparente (MEA) e Porosidade Aparente (PA), de acordo com as normas ASTM D 570, ASTM D 792 e ASTM D 2734, respectivamente. Foram produzidos cinco corpos de prova, nas dimensões de 25 x 25 mm, para cada proporção de resíduo.

O material foi seco em estufa por 24 horas e depois resfriado à temperatura ambiente. Em seguida, foram pesados em balança de precisão para determinação da massa seca. Depois, foi feita a imersão dos CP's em água destilada por mais 24 horas para se determinar a massa úmida e, por fim, pesado hidrosticamente, com auxílio de um aparato adaptado, para obtenção da massa submersa. A partir das massas secas, úmidas e imersas foi possível determinar as propriedades físicas, como mostra as Equações 1, 2 e 3.

$$MEA = \frac{m_s}{m_u - m_i} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (1)$$

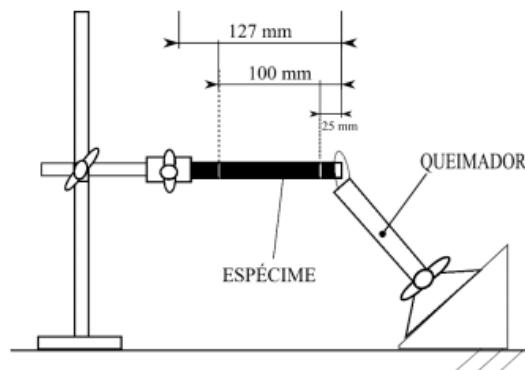
$$AA = \frac{m_u - m_s}{m_s} \times 100 \text{ (\%)} \quad (2)$$

$$PA = \frac{m_u - m_s}{m_u - m_i} \times 100 \text{ (\%)} \quad (3)$$

3.3 ENSAIO DE FLAMABILIDADE HORIZONTAL

A caracterização de resistência à chama dos compósitos foi feita por meio do ensaio de flamabilidade horizontal conforme a norma ASTM D 635. Para a realização do ensaio, os CP's foram marcados a 25 mm e 100 mm de um extremo, promovendo uma área útil de 75 mm entre as marcações, em seguida a chama foi posicionada próxima a uma marcação de 25 mm. A contagem do tempo de queima foi feita por um cronômetro digital, iniciado no momento em que a chama tocou a marcação e finalizado ao término da marcação de 75 mm, conforme a Figura 3.

Figura 3. Representação esquemática do ensaio de flamabilidade horizontal (Fonte: MENDES, 2019).

**4 RESULTADOS E DISCUSSÃO****4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA**

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos nos ensaios físicos para a matriz plena e para os compósitos com resíduos (RMG, RCD e RMF).

Tabela 1. Resultados das propriedades físicas.

COMPOSIÇÃO (100 #)	MEA (g/cm ³)	PA (%)	AA (%)
MP	1,2430 ± (0,0399)	0,834 ± (0,64)	0,7794 ± (0,50)
RMG10	1,3525 ± (0,0108)	2,2164 ± (0,64)	1,6418 ± (0,49)
RMG20	1,4966 ± (0,0922)	2,4192 ± (0,99)	1,6185 ± (0,64)
RCD10	1,4381 ± (0,0071)	1,2155 ± (0,19)	0,8455 ± (0,14)
RCD20	1,5801 ± (0,0054)	0,9546 ± (0,11)	0,6041 ± (0,07)

RMF10	1,5680 ± (0,0053)	0,6001 ± (0,14)	0,3826 ± (0,08)
RMF20	1,8795 ± (0,0109)	0,6068 ± (0,05)	0,3228 ± (0,02)

As caracterizações físicas de porosidade aparente, absorção de água e massa específica aparente são muito importantes, considerando a aplicabilidade dos materiais estudados, pois influenciam nas propriedades dos compósitos fabricados, como estabilidade térmica e dimensional, peso específico, propriedades mecânicas e durabilidade (Costa, 2016). Sendo assim, com base nos resultados obtidos nos ensaios físicos, os resíduos industriais utilizados mostraram-se promissores para revestimentos internos.

Analisando a Tabela 1 observa-se que, conforme o aumento do teor de resíduo na matriz há um aumento da massa específica aparente, em todas as composições. Isso se dá devido os resíduos de RMG, RCD e RMF apresentarem maiores valores de massa específica em relação à resina, e conforme os resultados esperados pela regra da mistura (Callister, 2012). O aumento mais significativo da MEA ocorreu no compósito contendo 20 % de minério de ferro, que foi aproximadamente 51,21 % superior a matriz plena.

É possível notar também que os valores obtidos para porosidade aparente e absorção de água estão diretamente ligados, pois uma menor PA implica em uma menor AA. A composição com 20 % de RMF apresentou valores menores, este resultado pode ser associado pelo alto teor hidrofílico do resíduo, facilitando a adesão do resíduo na resina.

Os compósitos com adição de RCD e RMG obtiveram valores superiores quando comparados com a matriz plena, este resultado pode ser explicado pelo método de fabricação manual utilizado, que pode ter facilitado a presença de bolhas de ar e vazios nos compósitos (Moraes, 2018). Outro fator, segundo Santos et al. (2014), deve-se a essas propriedades serem sensíveis quanto à variação do teor de carga na mistura.

Flamabilidade horizontal

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos de resistência à chama para os compósitos fabricados.

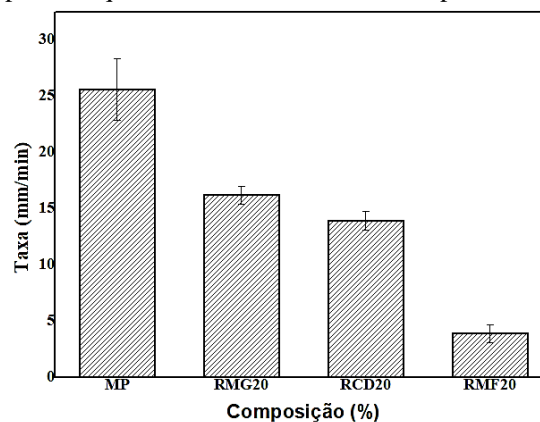
Tabela 2. Resultados do ensaio de flamabilidade horizontal.

COMPOSIÇÃO (100 #)	Taxa de queima (mm/min)
MP	25,61 ± (2,74)

RMG10	20,94 ± (1,13)
RMG20	16,23 ± (0,79)
RCD10	18,71 ± (0,51)
RCD20	13,93 ± (0,80)
RMF10	21,42 ± (0,96)
RMF20	3,91 ± (0,80)

De acordo com os resultados obtidos na Tabela 2 é possível observar que houve um decréscimo na taxa de queima dos corpos de prova à medida que foi incorporado o resíduo na matriz polimérica, em todas as composições. Ressalta-se que os compósitos poliméricos com 20 % de resíduo de minério de ferro (RMF20) obtiveram os menores valores, com retardo à chama em aproximadamente 85 % em relação à matriz plena. A Figura 4 apresenta um gráfico comparativo entre as composições de 20 % de resíduo e as taxas de queima.

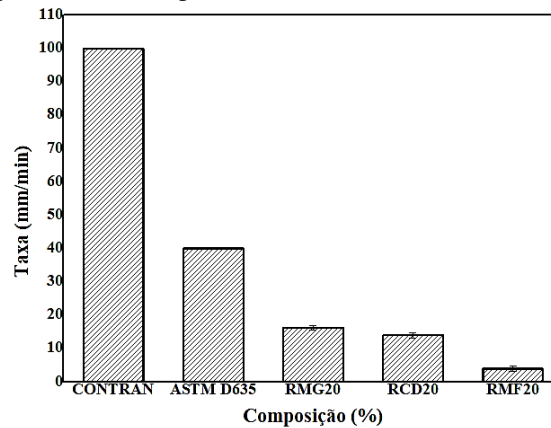
Figura 4. Gráfico comparativo quanto à flamabilidade dos compósitos com RMG, RCD e RMF.



Através do gráfico da Figura 4 é possível notar o efeito expressivo de retardantes de chama dos resíduos utilizados em comparação com a matriz plena. Conforme Ribeiro et al. (2013), quanto maior for o tempo de queima, mais facilmente ocorrerá a extinção da chama, além de dificultar a propagação do fogo.

No Brasil, o Conselho Nacional de Transito, seguindo a resolução CONTRAN nº 675, determina que os revestimentos internos da indústria automobilística tenham uma velocidade de propagação de chama de até 100 mm/min. O gráfico da Figura 5 apresenta uma comparação entre as composições com 20 % de resíduos e os padrões exigidos pela norma, onde é possível notar o desempenho dos corpos de prova durante o ensaio.

Figura 5. Gráfico comparativo dos compósitos com 20 % de resíduo e a norma CONTRAN n° 675.



Comparando-se os resultados obtidos com a norma, observa-se o excelente desempenho dos compósitos fabricados, pois apresentaram valores bem menores que os exigidos. Além de atenderem o solicitado pela norma ASTM D 635, a qual especifica que, para uma amostra ser classificada como HB, a propagação à chama deve ser menor que 40 mm/min.

5 CONCLUSÃO

O método associado à prensagem mostrou-se eficiente para a fabricação dos compósitos de matriz polimérica reforçados com resíduos de mármore e granito, construção e demolição e minério de ferro, visto que os compósitos atingiram a polimerização da cadeia na matriz e apresentaram poucos defeitos.

Na caracterização física, o aumento da massa específica nas composições estudadas obtiveram valores esperados, devido à resina apresentar densidade inferior aos resíduos utilizados.

Em relação aos ensaios de flamabilidade, os compósitos apresentaram resultados satisfatórios. Tendo o compósito com resíduo de minério de ferro como o material de reforço mais efetivo, com redução de aproximadamente 96,09 % para a resolução CONTRAN e 90 % para a norma ASTM D 635.

Ademais, a taxa de queima foi diretamente proporcional à quantidade de resíduo inserido para todas as proporções avaliadas.

Portanto, os materiais estudados neste trabalho mostram-se promissores para possíveis substituições em revestimentos internos na indústria automobilística, além de revestimentos internos na área da construção civil. Destacando-se ainda as vantagens do reaproveitamento desses resíduos industriais na redução dos custos de produção, minimização dos impactos ambientais e melhoramento da qualidade de vida da sociedade.

AGRADECIMENTOS

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

REFERÊNCIAS

Almeida, L. R.; Oliveira, G. C.; Silva, R. W.; Mendes, B. H. A.; Daniel, B. T. F.; Costa, D. S.; Costa, D. S.; Análise do Reaproveitamento de Resíduos de Minérios de Ferro em Materiais Compósitos: Resistência à Tração e Flamabilidade. 74º Congresso Anual da ABM – Internacional, São Paulo, 2019.

ASTM D 635 "Rate of Burning and/or Extent and Time of Burning of Plastics in a Horizontal Position" Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2010.

ASTM D-792–2013, Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement. Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials.

ASTM D-2734–2016, Standard Test Methods for Void Content of Reinforced Plastics. Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials.

ASTM D-570–2018, Standard Test Method for Water Absorption of Plastics. Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials.

Callister W. Ciência e Engenharia de Materiais - uma introdução. 8 Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

Callister WD, Rethwisch DG. Ciência e engenharia de materiais: uma introdução. 9º ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros técnicos e científicos, 2016.

Carvalho P. R. C. Reciclagem de resíduos de construção e demolição (rcd) em compósitos poliméricos: avaliação mecânica (tração) e flamabilidade. Trabalho de conclusão de curso, Faculdade de Engenharia Civil – UNAMA, 2019.

Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN). Resolução nº. 675- “Requisitos aplicáveis aos materiais de revestimento interno do habitáculo de veículos e dá outras providencias.” Diário Oficial da União, Seção 1, página 13534, 09 de setembro de 1986.

Costa, D. S. Estudo da influência de resíduos gerados pela indústria de mineração nas propriedades de compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras naturais. Tese de doutorado, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Naturais. Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

J. B. Silva, D. Hotza, A. M. Segadães, W. Acchar. Incorporação de lama de mármore e granito em massas argilosas. *Cerâmica* [online]. 2005, vol. 51, n.320, pp.325-330. ISSN 1678-4553.

Mendes, B. H. A. Estudo da influência da incorporação de resíduo de beneficiamento de caulim nas propriedades de compósitos de matriz polimérica reforçada com fibra de bambu. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia Química. Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

Moraes M.H.; D.P. Queiroz, L.S. Nascimento, J.S. Souza, R.T. Fujiyama, D.S. Costa. Caracterização mecânica e resistência à chama de compósitos poliméricos com adição de resíduos de lama vermelha e caulim. Ln: 23º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Foz do Iguaçu - PR, 2018.

Mundo Plástico. Aplicação de materiais compósitos na indústria automobilística, 2019. [acesso em 28 jul. 2020]; Disponível em: <https://mundodoplastico.plasticobrasil.com.br/pl-stico-brasil/aplica-o-de-materiais-comp-sitos-na-ind-stria-automobil-stica>.

Pedroso, Daniela Evaniki. Aproveitamento do rejeito de minério de ferro em compósitos para construção civil. Tese de doutorado, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2020.

Ribeiro, L. M.; Ladchumananandasivam, R.; Galvão, A. O.; Belarmino, D. D. Flamabilidade e retardância de chama do compósito: Poliéster insaturado reforçado com fibra de abacaxi (PALF). *HOLOS*, vol. 1, 2013, pp. 115-126. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil.

Santos I. F., Pires O. J. M., Silva C. R., Souza J. A. S. Reciclagem de resíduo de mármore e granito em matrizes poliméricas. XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química COBEQ. 2014; v. 1: p. 14108-14115.

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.