

AVALIAÇÃO MECÂNICA E RESISTÊNCIA À CHAMA DE RESÍDUOS DE CINZAS VOLANTES E MÁRMORE-GRANITO EM COMPÓSITOS POLIMÉRICOS*

Mario Henrique Moreira de Moraes¹
Diogo Pontes de Queiroz¹
Victor Hugo Mafra Monfredo Ferreira¹
Denilson da Silva Costa²
Wassim Raja El Banna³
Deibson Silva da Costa⁴

Resumo

Fabricaram-se compósitos de matriz polimérica, utilizando-se os resíduos industriais de Cinzas Volantes (CV) e Mármore-Granito (MG), com granulometria de 100 mesh. A confecção seguiu o método de fabricação manual "hand lay-up", com proporções em massa variando entre 0 %, 5 %, 15 %, 25 % e 35 %. Utilizou-se resina poliéster isoftálica como fase matriz, com catalisador na proporção de 1 % em v/v. Adicionou-se, ainda, acelerador na proporção de 1,5 % para os compósitos com CV, e 1 % para os de MG. A análise mineralógica dos resíduos foi realizada pela técnica de Difração de Raios-X. Após a etapa de confecção dos materiais, realizaram-se ensaios físicos (NBR 12766) e ensaios mecânicos de flexão (ASTM 790) e tração (ASTM 3039), bem como o ensaio de flamabilidade (ASTM 635). Verificou-se que as propriedades físicas aumentaram conforme se elevaram as composições, o que já era esperado devido o aumento gradual de massa. Mecanicamente, obtiveram-se resultados positivos em relação as composições envolvendo o resíduo de MG para flexão, e o resíduo de CV para tração. Ambos os materiais ensaiados exibiram boas propriedades de resistência à chama quando comparados com as recomendações da norma de flamabilidade utilizada.

Palavras-chave: Materiais Conjugados; Resina Poliéster; Resíduos Sólidos; Propriedades.

MECHANICAL CHARACTERIZATION AND FLAME RESISTANCE OF POLYMERIC COMPOSITES WITH THE ADDITION OF FLY ASH AND MARBLE-GRANITE WASTES

Abstract

Polymer matrix composite materials were made using the following industrial wastes: fly ash and marble-granite. The mass proportions used ranged from 0 %, 5 %, 15 %, 25 % and 35 %, with granulometry of 100 mesh. Isophthalic polyester resin was used with catalisator (proportion of 1 % v/v) and accelerator (in proportions of 1.5 % and 1 % in v / v). The preparation followed the hand lay-up method. Waste analysis was performed using the XRD technique. In addition, physical and flammability tests were performed in accordance with standards NBR 12766 and ASTM 635, as well as mechanical tensile tests (ASTM 3039) and flexure (ASTM 790). The physical properties increased as the compositions increased, due to the gradual increase of density. Mechanical results were expressive for flexure test involving marble granite compositions and tensile test involving fly ash compositions. Tested materials showed flame retardancy when compared to the recommendations.

Keywords: Composite Materials; Polymers; Solid Wastes; Properties.

¹ Graduando em Engenharia de Materiais, Faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará (UFPA), Ananindeua - PA, Brasil: demoraesmario@gmail.com; diogo.femat@gmail.com; hvictor921@gmail.com.

² Engenheiro Químico, Doutor em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Professor Adjunto I, Faculdade de Engenharia de Minas e Meio Ambiente da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA), Marabá - PA, Brasil: denilson@unifesspa.edu.br.

³ Engenheiro Mecânico, Doutor em Engenharia de Recursos Naturais, Professor Adjunto I, Diretor da Faculdade de Engenharia de Mecânica, UFPA, Tucuruí - PA, Brasil: wassim@ufpa.br.

⁴ Engenheiro Mecânico, Doutor em Engenharia de Recursos Naturais, Professor Adjunto I, Faculdade de Engenharia de Materiais, UFPA, Ananindeua - PA, Brasil: deibsonsc@yahoo.com.br.

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com a geração de resíduos sólidos industriais no Brasil e no mundo é cada vez mais extensa, devido ao dano ambiental resultante da alocação indevida e negligente de tais resíduos, oriundos dos mais numerosos e diversos setores de beneficiamento de minérios. Tal destinação imprópria acarreta, também, um eventual desperdício mercadológico, visto que as massas de resíduos permanecem inúteis ao estarem armazenadas. Destarte, destaca-se a importância do fomento de aplicações que promovam a reutilização desses resíduos, evitando a propensão de acidentes ambientais e favorecendo avanços tecnológicos através de sua utilização no estudo e fabricação de novos materiais, tais como os compósitos.

Um material compósito é formado por dois ou mais componentes com naturezas químicas diferentes, cujas interfaces macroscópicas são bem definidas. O material obtido tem como objetivo exibir melhores propriedades através da sinergia dos seus constituintes, atuando de maneira mais eficiente do que os seus componentes de maneira separada [1]. Dentre as subclassificações dos compósitos, estão os materiais compósitos com matriz polimérica, onde um constituinte, geralmente fibroso ou particulado, atua como uma fase dispersa [2].

A respeito dos resíduos industriais utilizados neste trabalho, as cinzas volantes são provenientes da combustão em altas temperaturas de carvão mineral [3] e apresentam qualidade heterogênea, cuja composição depende fortemente das características do carvão utilizado e dos parâmetros envolvendo a calcinação [4]. O tamanho das partículas das cinzas variam em diâmetros de menos de 1 até cerca de 300 μm . Tais partículas se formam com resfriamento rápido de gotículas viscosas, fundidas ou até mesmo matéria mineral vaporizada, inicialmente presente no produto de combustão [5].

Já o resíduo de mármore-granito é proveniente direto do processo de usinagem das chamadas rochas ornamentais, que são tradicionalmente utilizadas na construção e adorno de pisos, paredes e revestimentos. O granito é geralmente rotulado como rocha silicática, enquanto que o mármore é tido como rocha carbonática [6].

Tendo em vista os conceitos elucidados, foram produzidos materiais compósitos de matriz polimérica com resíduos industriais (cinzas volantes e mármore-granito), seguido de caracterizações mineralógicas dos resíduos. Seguido de ensaios físicos, mecânicos e de resistência à chama das placas fabricadas.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Materiais e Métodos

Os materiais compósitos foram fabricados na Usina de Materiais, do Laboratório de Engenharia Química (LEQ) da Universidade Federal do Pará (UFPA), utilizando-se a técnica denominada *hand lay-up*, um método manual para confecção de placas.

O processo inicial de preparação consiste na determinação das massas dos constituintes da fase matriz e fase dispersa, procedimentos realizados em uma balança digital, ELETRONIC COMPACT SCALE modelo SF-400. Para que a determinação da massa fosse efetiva, os resíduos foram submetidos anteriormente a uma peneira de 100 mesh da série Tyler e a um processo de secagem em uma estufa da marca DE LEO – Equipamentos Laboratoriais, durante oito horas.

Concluída a etapa inicial de preparo dos resíduos e de determinação das massas, aplicou-se desmoldante a um molde metálico de aço inoxidável, com dimensões de 32 x 17 cm. O desmoldante evita o contato direto do molde com o compósito e facilita sua retirada posteriormente.

Em sequência, fez-se o preparo da mistura seguindo a seguinte ordem de colocação (onde cada constituinte foi misturado até ser homogeneizado): resina poliéster, acelerador, resíduo industrial e catalisador. Vazou-se a mistura no molde metálico, com desmoldante já aplicado, de maneira uniforme. O molde foi, então, conduzido até uma prensa hidráulica da marca MARCON, modelo MPH-15, com capacidade de 15 toneladas.

Depois de atingido o tempo de gel (variante, dependendo diretamente do resíduo utilizado e da composição estabelecida), o molde foi selado e iniciou-se a prensagem com uma carga fixa de 25 kN por um tempo determinado de 20 minutos. A Figura 1 apresenta um Fluxograma com o resumo da fabricação realizada dos materiais compósitos através do método manual:



Figura 1 - Fluxograma de confecção do material compósito.

Após a obtenção das placas em formato retangular, e dado o tempo necessário para o processo de cura total das mesmas (cerca de 24 h, dispostas sob pesos padrões), realizou-se o corte das placas com um cortador serra mármore para o preparo dos corpos de prova, com as medidas seguindo as recomendações das normas NBR 12766/1992 [7] para os ensaios físicos. Respectivamente, ASTM D 790 [8] e ASTM D 3039 [9] para os ensaios de flexão e tração, e ASTM D 635 [10] para o ensaio de flamabilidade (horizontal).

2.2 Resultados e Discussões

2.2.1 Difração de Raios-X

A partir da análise das características dos picos exibidos no difratograma, é possível comparar-se e obter-se, juntamente a uma base de dados, os principais minerais presentes nos resíduos estudados. As Figuras 2 e 3 demonstram, respectivamente, os difratogramas para os resíduos de cinzas volantes e mármore-granito.

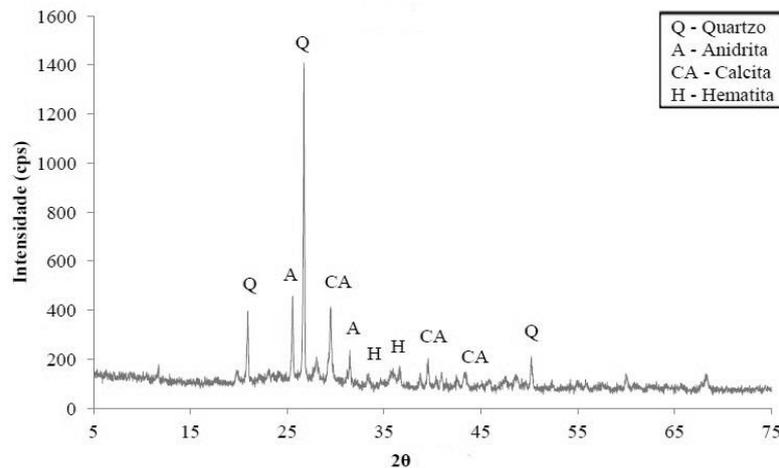


Figura 2 - Difratograma obtido para a amostra de Cinzas Volantes.

A composição química das cinzas está diretamente relacionada com o tipo de carvão utilizado e com os parâmetros estabelecidos para o processo de calcinação da mesma. É possível observar no material ensaiado, picos que sinalizam a presença de minerais identificados pelas suas respectivas fichas PDF: quartzo (Q - 03-05-0466), anidrita (A - 01-074-2421), calcita (CA - 00-005-0586) e hematita (H - 01-073-2234). Os resultados estão de acordo com trabalhos semelhantes realizados por COSTA [11] e SIQUEIRA [12].

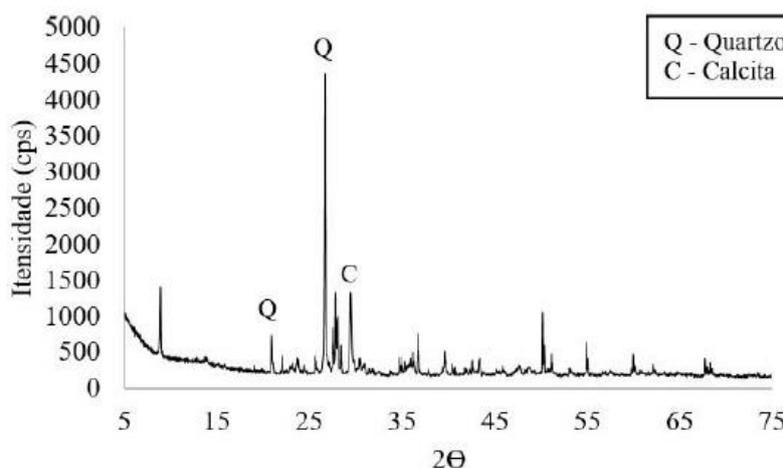


Figura 3 - Difratograma obtido para a amostra de Mármore-Granito.

Para o resíduo de mármore-granito, os picos característicos indicam, de acordo com suas fichas PDF, os minerais de quartzo (Q – 05-0490) e calcita (C – 00-005-0586), estando de acordo com trabalho anterior de MELLO [13].

2.2.2 Ensaio Físicos

A Tabela 1, apresentada a seguir, exhibe os resultados dos ensaios físicos utilizando o resíduo de Cinzas Volantes, efetuado mediante os parâmetros estabelecidos pela norma NBR 12766 [7]:

Tabela 1 - Resultado dos ensaios físicos para os compósitos com resíduo de Cinzas Volantes

Cinzas Volantes 100 #	Absorção de Água (%)	Porosidade Aparente (%)	Massa Específica Aparente (g/cm³)
Resina Plena	0,41	0,41	0,99
5 %	1,04	1,28	1,20
15 %	1,11	1,43	1,29
25 %	1,25	1,70	1,37
35 %	1,31	1,96	1,46

É notável o aumento nos valores de massa específica aparente de acordo com a inserção progressiva de resíduos na matriz. Ao compara-se a maior composição fabricada (35 %), com a composição sem resíduos (resina plena), observa-se um aumento massa específica de cerca de 47 %. Isso ocorre devido ao aumento da fração volumétrica dos constituintes, e é explicado pela regra das misturas: onde cada fase do material compósito contribui diretamente para as propriedades efetivas do mesmo.

O aumento gradativo nos índices de absorção de água (AA) e porosidade aparente (PA) também é evidente, e são explicados de forma semelhante ao aumento da massa específica, com o adendo, também, de que o método de fabricação manual (*hand lay-up*) de forma alguma é isento ao surgimento de falhas e vazios, o que pode vir a contribuir para tais aumentos.

Vale ressaltar, ainda, que a resina poliéster apresenta característica hidrofóbica. Porém, os resíduos utilizados apresentam certo grau de hidrofilia, o que pode eventualmente favorecer o aumento desses percentuais na medida em que a matriz é saturada. Ao compararem-se os valores de AA e PA da menor composição confeccionada (5 %) com os valores da maior composição (35 %), nota-se um aumento de respectivamente 26 % e 53 %. A Tabela 2 exhibe os dados obtidos para o resíduo de Mármore-Granito:

Tabela 2 - Resultado dos ensaios físicos para os compósitos com resíduo de Mármore-Granito

Mármore-Granito 100 #	Absorção de Água (%)	Porosidade Aparente (%)	Massa Específica Aparente (g/cm³)
Resina Plena	0,41	0,41	0,99
5 %	1,08	1,31	1,22
15 %	1,45	1,86	1,29
25 %	1,87	2,54	1,38
35 %	2,25	3,20	1,42

Os mesmos conceitos aplicam-se ao resíduo de Mármore-Granito, que além do aumento gradual de massa específica aparente, apresenta aumentos respectivos de aproximadamente 108 % e 144 %, para AA e PA, comparando as composições de 5 % e 35 %.

2.2.3 Ensaio de Flexão

A relação entre uma carga ou força aplicada e a resposta de deformação ou fratura de um material é reflexo direto das suas propriedades mecânicas. A obtenção de dados referentes a propriedades como, por exemplo, ductilidade, tenacidade e módulos de resistência, facilitam o projeto, desenvolvimento e cumprimento de exigências dos materiais, bem como o controle de qualidade e a implementação de fatores de segurança mediante a aplicação desejada [2].

O ensaio de flexão nos materiais compósitos confeccionados seguiu as diretrizes da norma ASTM D 790 [8], que explana dois tipos de ensaios: flexão de 3 pontos ou de 4 pontos, sendo o primeiro o mais utilizado. De acordo com a norma, os dados gerados pelo ensaio de flexão são geralmente obtidos para selecionar quais partes do material irão suportar solicitação sem que se flexionem ou fraturem.

A Tabela 3 exibe os dados obtidos para os materiais compósitos com resíduos de Cinzas Volantes (CV) e Mármore-Granito (MG):

Tabela 3 - Resultados obtidos com o ensaio de flexão

COMPOSIÇÃO	TENSÃO DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO (MPa)
Resina Plena	62,44 ± 4,08
CV 5 %	47,19 ± 3,75
CV 15 %	49,23 ± 5,09
CV 25 %	74,71 ± 3,54
CV 35 %	39,85 ± 2,14
MG 5 %	88,60 ± 2,48
MG 15 %	82,15 ± 4,33
MG 25 %	84,75 ± 3,99
MG 35 %	67,22 ± 1,89

Observa-se que os resultados em relação ao resíduo de CV, apenas a composição CV (25 %) manteve-se acima do patamar de 62,44 MPa estabelecido pela resina plena. Tendo em vista que a matriz, ao ser saturada de resíduos, resulta no aumento da massa específica e rigidez do compósito, justifica-se a perda gradual de flexibilidade do corpo de prova para alguns casos. Entretanto, tal saturação não impactou para o caso das composições envolvendo o resíduo de MG, onde a maior diferença fica por conta da composição MG (5 %) que com 88,60 MPa promoveu uma melhora de aproximadamente 35 % na tensão de resistência à flexão do material.

Pode-se dizer que os resíduos de CV, então, que para o caso do ensaio de resistência à flexão, atuaram mais como carga de enchimento. Enquanto que os resíduos de MG favoreceram a resistência a flexão.

2.2.4 Ensaio de Tração

Ao se aplicar uma tensão com característica uniaxial e crescente em um material compósito, é possível mensurar o seu comportamento de maneira precisa até o momento da sua ruptura, que varia dependendo das propriedades de ductilidade, fragilidade e adesão entre a matriz e o reforço estudado.

O ensaio de tração permite medir satisfatoriamente diversos parâmetros de resistência mecânica, o que justifica sua ampla utilidade como teste para os materiais compósitos de engenharia, empregados desde estudos laboratoriais até processos de cunho industrial [14]. A Figura 4 demonstra os corpos de prova após a ruptura:



Figura 4 - Corpos de prova de CV e MG após o ensaio de tração.

A Tabela 4 a seguir exibe os dados obtidos para o ensaio de tração dos compósitos com resíduos de Cinzas Volantes (CV) e Mármore-Granito (MG).

Tabela 4 - Resultados obtidos com o ensaio de tração.

COMPOSIÇÃO	TENSÃO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa)
Resina Plena	15,04 ± 0,80
CV 5 %	15,14 ± 0,99
CV 15 %	16,30 ± 2,02
CV 25 %	16,40 ± 1,77
CV 35 %	19,85 ± 1,05
MG 5 %	10,19 ± 1,10
MG 15 %	13,49 ± 1,54
MG 25 %	15,70 ± 1,90
MG 35 %	16,32 ± 1,09

Na medida em que o corpo de prova é tracionado, as tensões interiores são distribuídas pela fase dispersa, que ajuda a manter a integridade da matriz, isso fica evidente através dos resultados obtidos, no qual é possível observar que tanto o resíduo de Cinzas Volantes quanto de Mármore-Granito, em suas maiores proporções (35 %) promoveram uma melhora da resistência à tração em relação ao patamar de 15,04 MPa estabelecido pela matriz plena. Em relação à inserção de CV na matriz, notou-se que até 35 % houve uma melhora

nas propriedades mecânicas chegando a uma resistência de 19,85 MPa, um aumento de aproximadamente 31,98 %.

Alguns fatores relacionados às propriedades físicas dos materiais compósitos têm influência direta no comportamento mecânico dos mesmos, tal qual o percentual de porosidade. O que, a respeito do resíduo de Mármore-Granito, pode explicar o motivo da redução da tensão de resistência para 10,19 MPa na composição de MG (5 %). Tendo em vista que ao compara-se com os dados de porosidade aparente obtidos nas Tabelas 1 e 2, o resíduo de Mármore-Granito apresenta percentuais maiores do que os corpos de prova de Cinza Volante, o que indica menor homogeneidade de sua estrutura. Ainda sim, sua composição MG (35 %) obteve um resultado de 16,32 MPa, 8,5 % maior que da resina plena.

2.2.5 Ensaio de Flamabilidade

A flamabilidade dos compósitos poliméricos é determinada principalmente pela resina utilizada na matriz. A queima de compósitos poliméricos apresenta algumas características tais como: facilidade de ignição e propagação de chama, relativa taxa de liberação de calor, facilidade de extinção do fogo caso utilizado os meios certos, e, sobretudo, emissão de fumaça com elevado grau de toxicidade. A análise do comportamento do material mediante altas temperaturas é fundamental para avaliar sua resistência, o que facilita a sua classificação e adequação para futuras aplicações [15].

Existem diversos ensaios, normas e variações que podem ser adotadas para realizar os ensaios de flamabilidade em compósitos. Para as finalidades deste trabalho, foi utilizada a norma ASTM D 635 [10] com posicionamento horizontal. Posteriormente, utilizou-se também a resolução 675 do Conselho de trânsito (CONTRAN) [16] como medida de comparação. O ensaio foi realizado utilizando-se um aparato para o suporte do corpo de prova, demonstrado na Figura 5:



Figura 5 - Ensaio de flamabilidade horizontal.

Devido sua natureza química, a resina poliéster é mais suscetível à chama. Já os resíduos, por serem materiais com grande carga inorgânica, com sua constituição apresentando minerais como quartzo, hematita e calcita (todos observados através do ensaio de DRX), apresentam uma tendência a serem menos suscetíveis à queima.

Os dados obtidos para os resíduos de Cinza Volantes (CV) e Mármore-Granito (MG) podem ser observados na Tabela 5:

Tabela 5 - Resultados do ensaio de flamabilidade horizontal

COMPOSIÇÃO	TAXA (mm/min)
Resina Plena	25,22
CV 5 %	24,45
CV 15 %	21,08
CV 25 %	19,12
CV 35 %	17,60
RMG 5 %	37,38
MG 15 %	34,19
MG 25 %	31,56
MG 35 %	26,10

Destaca-se o resultado oriundo da composição CV (35 %), que com uma taxa de propagação de 17,60 mm/min, se mostrou cerca de 43 % menor que os 25,22 mm/min da resina plena. A Tabela 6 exibe uma comparação entre as composições com melhor desempenho de resistência à chama, com a norma utilizada e a resolução 675 do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN) [16]:

Tabela 6 - Comparação entre resultados obtidos com os parâmetros exigidos

COMPOSIÇÃO/ NORMA	TAXA OBTIDA / EXIGIDA (mm/min)
CONTRAN 675	250,00
ASTM D 635	40,00
CV 35 %	17,60
MG 35 %	26,10

O Conselho nacional de trânsito estabelece uma taxa de propagação máxima de 250,00 mm/min para materiais compósitos utilizados em revestimento automobilístico. Esse valor é estabelecido em cerca de 80 mm/min em outros países que realizam pesquisas semelhantes. Comparando-se as composições respectivas de CV (35 %) e MG (35 %) com a resolução 675, os valores obtidos são cerca de 92 % e 89 %.

Tal efeito de redução na taxa de propagação é desejável, pois quanto menor for maior é o tempo de queima do material, facilita-se que medidas de segurança e reação sejam tomadas. Pode-se afirmar através do parâmetro de 40,00 mm/min estabelecido pela norma da ASTM utilizada, que todos os materiais compósitos confeccionados, independente de suas composições, são classificados como HB. O nome é derivado de *horizontal burning*, ou teste de flamabilidade horizontal. Os valores permeiam com reduções de 56 % e 34 % para as composições respectivas de CV (35%) e MG (35 %), em relação a norma.

3 CONCLUSÃO

Para o ensaio mecânico de flexão as composições envolvendo o resíduo de cinzas volantes atuaram mais como carga de enchimento, enquanto que as de mármore-granito apresentaram aumento efetivo, com uma melhora de até 35 % na tensão de resistência à flexão para a composição MG (5 %).

Para o ensaio de tração, uma distribuição homogênea durante a etapa de fabricação possivelmente contribuiu para a dispersão e interação entre a matriz e o resíduo de CV, o que pode ter favorecido de maneira positiva quando o material foi submetido à solicitação mecânica, distribuindo de maneira mais eficiente as tensões internas. Dessa forma, uma melhora de até 31,98 % na resistência à tração com a composição CV (35 %) foi alcançada.

O ensaio de flamabilidade horizontal assegurou uma classificação HB para os materiais confeccionados, de acordo com a norma ASTM D 635 [10], garantindo-os com características de retardado de chama. As composições de 35 % tanto para o resíduo de CV quanto o de MG obtiveram excelente desempenho, com valores de taxa de propagação bem menores do que o máximo exigido pela resolução 675 do CONTRAN [16].

Destaca-se, sobretudo, a utilidade dos materiais compósitos com resíduos industriais, como opção viável de destinação para os resíduos industriais estudados, que outrora seriam imprópriamente descartados no meio ambiente, ou inconvenientemente armazenados nos pátios das indústrias.

Financeiramente, a facilidade de obtenção, fabricação e o baixo custo dos materiais constituintes viabilizam a confecção do compósito, sem grandes transtornos energéticos ou aparatos complexos, o que ressalta seu custo-benefício e praticidade.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Engenharia Química (LEQ), a Universidade Federal do Pará (UFPA) e ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC), por todo suporte concedido para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] MARINUCCI, G., *Materiais Compósitos Poliméricos*. 1 Ed. São Paulo: Artliber, 2011.
- [2] CALLISTER, W. *Ciência e Engenharia de Materiais - uma introdução*. 8 Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.
- [3] WARPECHOWSKI SILVA, N.I. L. M. Calarge, F. Chies, J. E. Mallmann, O. Zwonok et al. Caracterização de cinzas volantes para aproveitamento cerâmico. *Cerâmica*, São Paulo, v. 45, n. 296, p. 184-187, dez. 1999.
- [4] KIHARA, Y. *O estudo mineralógico das cinzas volantes brasileiras: origem, características, e qualidade*. Tese de doutorado (Doutorado em Geociências), Universidade de São Paulo, São Paulo, 1983.

- [5] SNELLINGS, R.; MERTENS G.; ELSEEN J. (2012). "Supplementary cementitious materials". *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. 74: 211–278. doi:10.2138/rmg.2012.74.6.
- [6] CHIODI FILHO, C., CHIODI, D. K. Relatório técnico 33 – Perfil de rochas ornamentais e de revestimento. Ministério de Minas e Energia, 2009
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) - NBR 12766 "Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente, absorção d'água aparente." 1992. 2p.
- [8] ASTM D 790 "Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials", Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2010.
- [9] ASTM D 3039 "Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials", Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2000.
- [10] 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.
- [11] 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, 2016.
- [12] SIQUEIRA, J.S. Reciclagem de resíduo a partir de cinzas de carvão mineral: produção de argamassas. 91 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Química), Insituto Tecnológico, Universidade Federal do Pará, 2011.
- [13] MELLO, R. M. Utilização do resíduo proveniente do acabamento e manufatura de mármore e granitos como matéria-prima em cerâmica vermelha. Dissertação de mestrado, 2006. Programa de Tecnologia Nuclear, Universidade de São Paulo.
- [14] JONES, R. M. Mechanics of composite materials. 2 Ed. Washington, DC: Scripta Book Company, 1999.
- [15] KIM, Y.K. Handbook of Natural Fibres - Natural fibre composites (NFCs) for construction and automotive industries. Woodhead Publishing, Volume 2, 2012, p. 254-27. ISBN 9781845696986.
- [16] Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN). Resolução n°. 675 - "Requisitos aplicáveis aos materiais de revestimento interno do habitáculo de veículos e dá outras providências." Diário Oficial da União, Seção 1, página 13534, 09 de setembro de 1986.