

DESENVOLVIMENTO DE ROCHA ARTIFICIAL UTILANDO RESÍDUO DE GRANITO E POLIURETANO DERIVADO DO ÓLEO DE MAMONA*

Maria Luiza Pessanha Menezes Gomes¹

Elaine Aparecida Santos Carvalho Costa²

Sérgio Neves Monteiro³

Juan Peixoto⁴

Renan da Silva Guimarães⁵

Carlos Maurício Fontes Vieira⁶

Resumo

Na atualidade, pesquisas que visam desenvolver novos materiais através da reciclagem e da utilização de matérias primas que agridam o mínimo possível o meio ambiente são importantes, tendo em vista a grande quantidade de resíduos gerados pela sociedade. A utilização de resíduos provenientes de rochas ornamentais, e o uso de polímero oriundo de fonte renovável para a fabricação de rocha artificial é uma alternativa para a criação de um material tecnicamente viável, além de minimizar problemas ambientais, já que visa a redução de resíduos e a utilização de polímero biodegradável. Essa pesquisa objetiva produzir e caracterizar uma rocha artificial com resíduo de granito branco e poliuretano, oriundo do óleo de mamona, a fim de ser usado no ramo da construção civil. Para tal, foi feita uma mistura com ambos e transferida para um molde metálico, sob vibração e vácuo e, posteriormente, comprimido. As rochas foram submetidas a testes de absorção de água, porosidade aparente, densidade, desgaste abrasivo, ensaio de flexão em três pontos, e análise microestrutural. O material produzido apresentou boa resistência mecânica, dentro da faixa esperada assim como, suas propriedades físicas quando comparada com outras rochas artificiais. Fator comprovado pela boa aderência carga/matriz através de micrografias.

Palavras-chave: Rocha artificial; Granito; Poliuretano

DEVELOPMENT OF ARTIFICIAL STONE USING GRANITE WASTE AND POLYURETHANE FROM MAMONE OIL

Abstract

Currently, research aimed at developing new materials through recycling and the use of raw materials that attack the least possible environment are important, given the large amount of waste generated by society. The use of residues from ornamental rocks, as well as the use of polymer from a renewable source for the manufacture of artificial stone is an alternative for the creation of a technically feasible material, in addition to minimizing environmental problems, since it aims at reducing waste and the use of biodegradable polymer. This research aims to produce and characterize an artificial stone with white granite and polyurethane residue, from castor oil, in order to be used in the construction industry. To do this, a mixture was made with both and transferred to a metal mold under vibration and vacuum and then compressed. The stones were submitted to water absorption tests, apparent porosity, density, abrasive wear, three point bending test, and microstructural analysis. The material produced showed good mechanical resistance, within the expected range as well as its physical properties when compared with other artificial stones. Factor proven by good load/matrix adhesion through micrographs.

Keywords: Artificial stone; Granite; Polyurethane.

- ¹ *Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Mestre, Doutoranda, LAMAV, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.*
- ² *Química, Doutora, Pós Doutoranda, LAMAV, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil..*
- ³ *Engenheiro Metalúrgico, Doutor, Professor Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, Brasil. Formação/graduação, titulação, cargo/função, setor/departamento, Instituição de trabalho e/ou estudo, cidade, estado e país.*
- ⁴ *Engenheiro Metalúrgico, Graduando, Bolsista de Iniciação Científica, LAMAV, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.*
- ⁵ *Técnico de Mecânica, Técnico do laboratório de Superduros, LAMAV, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil..*
- ⁶ *Engenheiro Mecânico, Doutor, Professor, LAMAV, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

Os resíduos gerados em praticamente todos os setores industriais são mais do que nunca uma preocupação global, devido não apenas à ampla poluição ambiental, mas também a mudanças climáticas inquestionáveis [1].

O Brasil é um grande produtor de rocha ornamental, sendo o granito um dos materiais mais utilizados e consumidos pela população [2]. Todavia, durante todo o processo produtivo desse tipo de material, desde a extração até a obtenção do produto acabado é gerado uma grande quantidade de resíduos. Estima-se que na etapa primária, extração dos blocos, seja gerado cerca de 40% a 60% da produção. Enquanto, durante a etapa de corte e lapidação são gerados de 30% a 35% [3]. Grande parte desses rejeitos não tem destinação adequada, na maioria das vezes são depositados em lugares impróprios, indo parar em rios, oceanos contribuindo para a poluição do meio ambiente [4]. Atualmente, pesquisas dedicadas a reciclagem desse tipo de resíduo a fim de emprega-los para a produção de novos matérias, especialmente compósitos têm sido de suma importância [5,6,7].

Ademais, o consumo de materiais poliméricos vem sendo cada vez mais utilizados, seu consumo vem crescendo ao longo dos anos, conseqüentemente gerando uma grande quantidade de resíduos, que muitas vezes também são descartados de maneira inadequada. Esse fato se agrava visto que esse tipo de material leva muitos anos para se degradar aumentando os impactos causados por eles. A utilização de polímeros biodegradáveis surge como uma alternativa para minimizar esse problema, pois sua viabilidade técnica e econômica apresenta grande potencial de expansão [8]. Desse modo, uma alternativa com finalidade de diminuir os sérios impactos ambientais causados pelos resíduos poliméricos e o emprego de polímeros oriundos de fontes renováveis, capazes de substituir os polímeros derivados dos combustíveis fósseis [9].

Tal pesquisa tem como objetivo agregar a reciclagem dos resíduos da etapa de corte do granito e o emprego de uma resina biodegradável, poliuretano vegetal oriundo do óleo de mamona, para a produção de um novo tipo de rocha artificial. Além de contribuir com o meio ambiente, agrega valor ao resíduo desenvolvendo um material tecnologicamente viável e com boas perspectivas de mercado.

As rochas artificiais são materiais compostos por um alto teor de agregados naturais aglutinados por uma pequena quantidade de material polimérico. Além disso, essa classe de rochas artificiais têm tido uma demanda crescente em todo o mundo [10].

A possibilidade de utilizar uma rocha artificial em vez de uma ornamental baseia-se em vantagens técnicas da primeira como a menor densidade da matriz polimérica. Outra vantagem é a baixa quantidade de poros e falhas, fator mais evidente nas rochas ornamentais naturais o que pode causar mais facilmente a propagação de trincas e sua contaminação por fluidos externos [11]

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.2 Materiais utilizados

- Granito Branco: foi utilizado o resíduo proveniente da etapa de corte do granito branco, fornecido pela empresa Brumagran, localizada em Cachoeiro de Itapemirim, Espírito Santo, Brasil. O resíduo foi marretado e submetido ao britador de mandíbulas a fim de ser peneirado segundo a norma técnica ABNT NBR

7181 e assim classificado em três faixas granulométricas: grosso (2 mm até 0,42 mm), a média (entre 0,42 mm até 0,075 mm), e fina (grãos de granulometrias inferiores a 0,075mm) [12]

- Poliuretano vegetal, oriundo do óleo de mamona: A resina é formulada pela mistura a frio de um pré-polímero (Componente A) e um polioli (Componente B) resultando assim no polímero. A resina foi fornecida pela empresa IMPERVEG.

2.3 Métodos

2.3.1 Determinação da composição granulométrica de maior empacotamento

Com base nas três faixas granulométricas (grosso, médio, fino) foram propostas dez misturas de partículas de composições diferentes, baseado no Modelo Simplex Centroid apresentado na Figura 1.

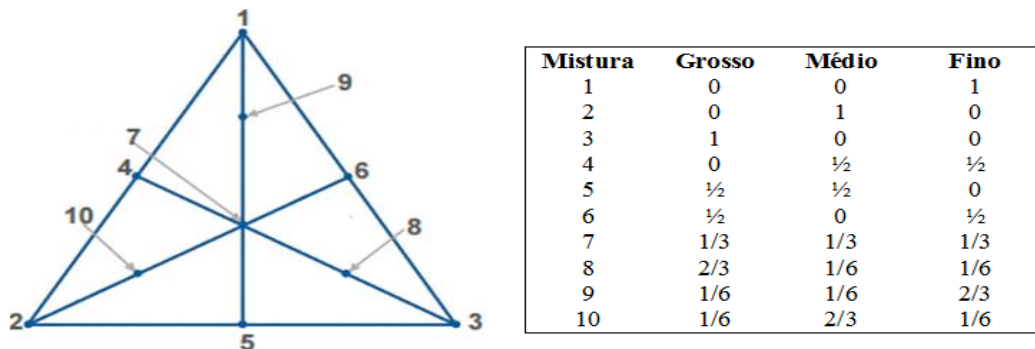


Figura 1. Diagrama ternário com as 10 misturas baseado no Modelo Simplex Centroid.

O ensaio foi baseado na norma brasileira ABNT MB-3388 (1991) [13]. As misturas foram colocadas num recipiente de volume conhecido, colocado um peso de 10 Kgf sobre a mistura de partículas e o sistema foi vibrado em um vibrador de peneiras, da marca Produtest localizado no LAMAV/UENF, com frequência de 60 Hz por 10 minutos. No fim da vibração, a mistura foi pesada e a densidade vibrada calculada. Esse procedimento foi repetido três vezes para cada mistura. O empacotamento das misturas foi associado com a densidade vibrada das misturas, sendo a maior densidade aparente seca considerada a de maior empacotamento de partículas.

2.3.2 Produção das placas de rocha artificial

Inicialmente, o resíduo foi seco em estufa a 100°C por vinte e quatro horas para retirada de umidade. As placas da rocha artificial foram fabricadas através da mistura de 85% em massa de partículas de granito e 15% de poliuretano vegetal, submetida a um sistema de vácuo (600 mmHg). Posteriormente, a mistura foi vertida num molde metálico (100x100x10 mm³) e vibrado por dois minutos antes de ser levado à prensa hidráulica sob pressão de 10 MPa a uma temperatura de 80°C, onde permaneceu por vinte minutos. Foi realizado um processo de pós cura nas placas da rocha artificial, elas permaneceram em estufa por 3 dias a 60°C e mais um dia a 80°C.

2.3.3 Propriedades físicas

Os valores da densidade, absorção de água e porosidade aparente da RAG e do granito foram encontrados de acordo com a norma NBR 15845 [14].

2.3.4 Desgaste abrasivo

Este ensaio tem por objetivo verificar as modificações sofridas pelo material após seu desgaste em uma pista giratória circular, em presença de areia normatizada. O ensaio será realizado conforme a norma NBR 12.042:2012 [15]. Os corpos de prova têm suas espessuras medidas antes do ensaio, após 500 metros, e após 1000 metros de pista percorrida.

2.3.5 Propriedade Mecânica

A tensão de ruptura em flexão foi determinada para as placas de rocha artificial, para o granito branco e para o poliuretano vegetal.

O ensaio flexão em três pontos foi realizado em máquina universal, marca Instron modelo 5582. Foram seguidas orientações das normas EN 14617-2 (2008) e do anexo F da norma NBR 15.845 (2010) [16,14].

2.3.6 Análise microestrutural da região de fratura

Os corpos de prova anteriormente submetidos ao ensaio de flexão tiveram sua região de fratura observadas para estudo da microestrutura do material, utilizando microscópio eletrônico de varredura através do aparelho Super Scan SSX-550 da SHIMADZU. O objetivo foi analisar a adesão das partículas na resina bem como, a existência de vazios.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Composição granulométrica de maior empacotamento

A Tabela 1 mostra os valores obtidos da densidade vibrada para dez misturas de granito branco.

Tabela 1. Densidade vibrada das misturas

Mistura	Densidade Média (g/cm ³)
1	1,493 ± 0,041
2	1,778 ± 0,017
3	1,600 ± 0,079
4	1,812 ± 0,032
5	1,913 ± 0,037
6	1,813 ± 0,060
7	1,923 ± 0,087
8	1,951 ± 0,018
9	1,906 ± 0,013
10	1,678 ± 0,019

Consoante, os resultados mostrados na tabela, tem-se que a mistura que apresentou maior empacotamento foi a oito, cuja densidade foi de 1,951 g/cm³, correspondendo a mistura que contém 67% de partícula grossa, 17% de partícula média e 16% de partícula fina. Tal mistura foi considerada com maior empacotamento e conseqüentemente, a utilizada para a produção da rocha artificial.

3.2 Propriedade Física

A Tabela 2 apresenta os valores encontrados para densidade, absorção de água e porosidade aparente do granito branco e da RAG.

Tabela 2. Propriedades físicas do granito e da rocha artificial

Propriedades Físicas	Granito	RAG
Densidade (g/cm ³)	2,62 ± 0.01	2,24 ± 0.01
Absorção de água (%)	0,38 ± 0.02	0,19 ± 0.02
Porosidade Aparente (%)	0,99 ±	0,42 ± 0.05

O valor da densidade do granito foi de 2.62 ± 0.01g/cm³, enquanto o encontrado para a RAG foi de 2.24 ± 0.01 g/cm³. O menor valor encontrado para a rocha artificial quando comparado ao granito pode ser explicado pelo uso do polímero como matriz, tendo em vista a baixa densidade desse tipo de material. Lee et al.(2002) em sua pesquisa fabricou rocha artificial utilizando fibra de vidro e PET variando as condições de vácuo, vibração e pressão de compactação e achou resultados entre 2,03 – 2,45 g/cm³. A densidade encontrada para RAG nesse estudo está dentro dos valores mensurados pelo autor [17].

No que diz respeito a absorção de água do granito e da RAG os valores encontrados foram respectivamente 0,38 ± 0,02 % e 0,13 ± 0,02 %, ou seja a rocha artificial desenvolvida teve resultado três vezes menor do que a rocha ornamental. De acordo com Chiodi and Rodriguez (2009) um revestimento com baixa absorção de água deve ter valores entre 0,1 – 0,4% [18]. Ribeiro et al. (2014) em seu mármore composto utilizando resina poliéster obteve valor de 0,19%, enquanto Borsellino et al. (2009) desenvolveu o mesmo material, mas utilizando resina epóxi obteve 0,25% para absorção de água [11,19]. Com essas comparações verifica-se o bom resultado obtido pela rocha em estudo, podendo ser utilizada em ambientes úmidos.

O valor da porosidade aparente do granito branco foi 0,99 ± 0,06 % e da AOG foi de 0,31 ± 0,02 %. A absorção de água da RAG foi aproximadamente três vezes menor do que a do granito. Chiodi e Rodriguez (2009) classificam que materiais de revestimento de qualidade alta devem ter porosidade abaixo de 0,5% [18].

3.3 Desgaste abrasivo

A Tabela 3 apresenta os resultados do teste de desgaste para a RAG e o granito.

Tabela 3. Resultado do teste de desgaste abrasivo

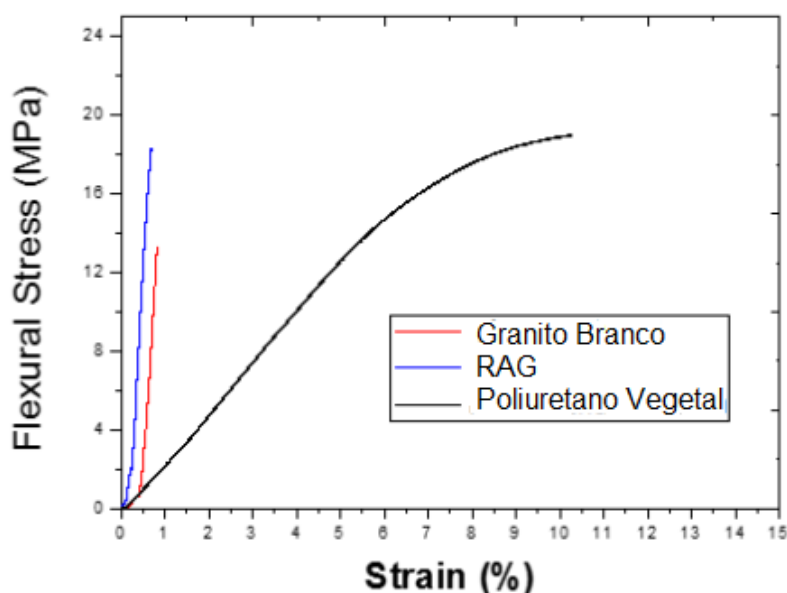
Distância percorrida	Redução de espessura durante desgaste abrasivo	
	500m	1000m
RAG	0,97	1,75
Granito	0,53	1,13

Não há normas brasileiras quanto a aplicação de rochas na construção civil, que exigem limites para o desgaste abrasivo. Entretanto, segundo pesquisa realizada por Chiodi Filho e Rodriguez (2009) um piso para ser considerado de alto tráfego, o desgaste deve ser menor que 1,5mm, para médio tráfego deve ser menor que 3mm, e para baixo tráfego o desgaste deve ser menor que 6mm [19]. Com base nesses parâmetros, após teste de desgaste tem-se que para rocha artificial o desgaste obtido na pista de 500m foi de 0,97mm e na de 1000m 1,75mm, ou seja, sua perda de espessura foi inferior a 3mm, podendo assim ser utilizado para piso de médio tráfego.

Já para o granito a redução de espessura no teste abrasivo para pista de 500m foi de e para a pista de 1000m a redução foi de 1.13mm, sendo portanto aplicável como piso de alto tráfego. Carvalho et al. (2015), ao testar uma rocha artificial utilizando 80% de resina epóxi e 20% de resíduo de um precipitador eletromagnético de uma etapa de sinterização apresentou uma redução de espessura de 1,04 mm e 2,16 mm para 500 e 1000 m, considerada piso de médio tráfego [20].

3.4 Resistência a Flexão

A Figura 2 mostra o gráfico Tensão em Flexão x Deformação curvas para a RAG, para o granito branco e para o poliuretano vegetal.

**Figura 3.** Curvas de Tensão de Flexão x Deformação para o granito e a RAG

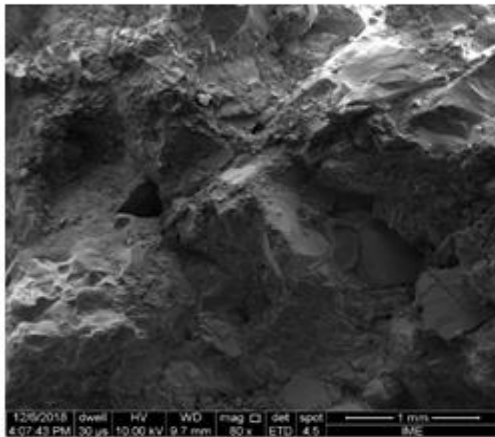
Os valores de tensão de ruptura para o granito, RAG e poliuretano vegetal foram de respectivamente $13,5 \pm 1,1$ MPa, $17,31 \pm 0,82$ MPa e $23 \pm 5,3$ MPa. Como o

esperado percebe-se que a incorporação de partículas de granito contribuiu para formação de um material mais rígido com maior módulo de elasticidade [21].

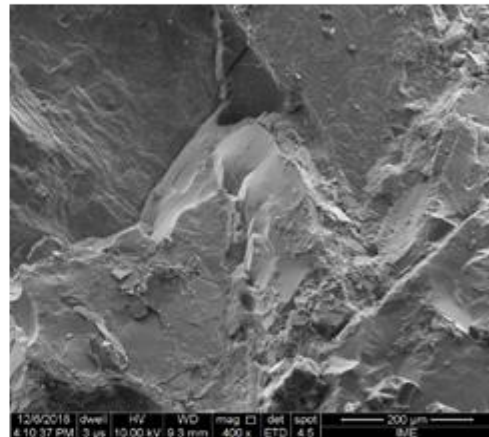
Nota-se também que o granito se mostrou menos resistente quando comparado a rocha artificial visto que o mesmo possui maior nível de porosidade, comprovado pelos resultados obtidos nos testes físicos.

Borsellino et al (2009) encontrou valores entre 10,6 e 22,2MPa para o mármore artificial produzido, demonstrando que a rocha artificial obteve resultado dentro do esperado [19].

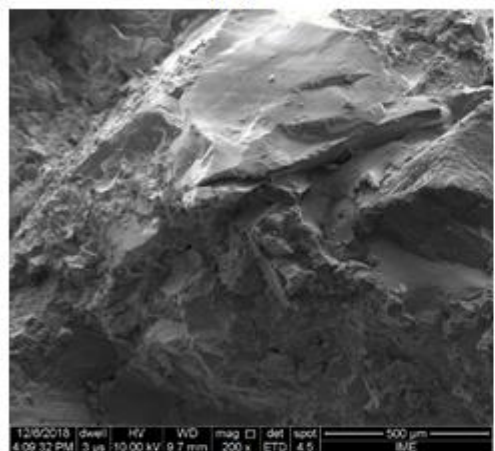
3.5 Microestrutura



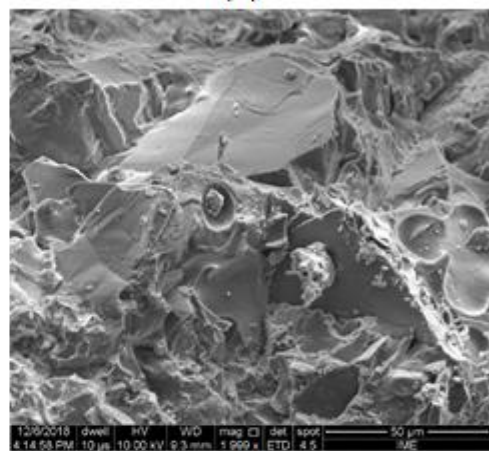
(a)



(b)



(c)



(d)

Verifica-se através da análise das micrografias obtidas que a carga teve uma boa aderência com a matriz, demonstrando a presença de uma interface eficiente no que diz respeito a transferência de carga. Tal fato explica a boa resistência mecânica do material.

Nota-se também a ocorrência moderada de porosidade, corroborando com os bons resultados obtidos nos ensaios físicos, além de também ser um fator que contribui para a resistência mecânica visto que, os poros atuam como concentradores de tensão.

3 CONCLUSÃO

- Foi produzida uma rocha artificial inovadora a partir da reciclagem do resíduo de granito branco e poliuretano vegetal do óleo de mamona.
- Para a produção da rocha artificial foi utilizada a composição granulométrica de partículas de granito de maior empacotamento.
- A rocha artificial desenvolvida apresentou propriedades superiores quando comparadas com o granito natural.
- Os valores de densidade, $2,24\text{g/cm}^3$, absorção de água, 0,19% e porosidade aparente 0,42% da RAG estão dentro do esperado tendo em vista as normas brasileiras.
- A rocha artificial produzida pode ser utilizada para fabricação de pavimentos de médio tráfego.
- A resistência a flexão de se mostrou satisfatória, dentro do estipulado em norma e compatível a outras rochas desenvolvidas por pesquisadores.
- As micrografias obtidas no MEV mostram a boa aderência da carga na matriz e , confirmando o bom comportamento mecânico e físico da rocha artificial.

Agradecimentos

Agradecemos a CAPES e a UENF pelo apoio. E a FAPERJ pelo financiamento cujo número do processo N: E.26/202.694/2016.

REFERÊNCIAS

- 1 Gore A. . An inconvenient truth: The planetary emergency of global warming and what can we do about it. Emmaus, PA, USA: Rodale Press, 2006.
- 2 ABIROCHAS. (2018) *Balanco das Exportações e Importações em janeiro de 2017*. Disponível em http://www.abirochas.com.br/noticia.php?eve_id=3407 em 23/01/2018.
- 3 Çelik MY, Sabah E. Geological and technical characterization of Iscehisar (Afyon-Turkey) marble deposits and the impact of marble waste on environmental pollution. *Journal of Environmental Management*. 2008; 87: 106–116
- 4 Moura W A. (2002) Utilização do resíduo do beneficiamento de Rochas Ornamentais (Mármore e Granitos) na construção civil. *IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*. 2002, Foz do Iguaçu - Paraná. 7p.
- 5 Carvalho EAS, Vilela NF, Monteiro SN, Vieira, CMF, Silva LC. Novel artificial ornamental stone developed with quarry waste in epoxy composite. *Mater. Research*. In press. (<http://dx.doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2017-1104>).
- 6 Rana A, Kalla P, Verma HK, Mohnot JK. Recycling of dimensional stone waste in concrete: A review. *J. Cleaner Prod*. 2016; 135: 321-331.
- 7 Lim SK, Tan CS, Li B, Ling T-C, Hossain Mu, Poon CS. Utilizing high volumes quarry wastes in the production of lightweight foamed concrete. *Constr. Build. Mater*. 2017; 151: 441-448.
- 8 Brito GF, Agrawal P, Araújo EM., Mélo TJA. (2011) Biopolímeros, polímeros biodegradáveis e polímeros verdes. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*. 2011; 6(2): 127-139.

- 9 Marinho NP, Nascimento E., Nisgoski S, Magalhães WLE, Neto SC, Azevedo, EC. Caracterização física e térmica de compósito de poliuretano derivado de óleo de mamona associado com partículas de bambu. *Polimeros* 2012; 23 (2): 201-205.
- 10 Ribeiro CEG, Rodriguez RJS. (2015) Influence of Compaction Pressure and Particle Content on Thermal and Mechanical Behavior of Artificial Marbles with Marble Waste and Unsaturated Polyester. *Mat. Res. 2015* [acesso em 13 fev. 2019]. 18(2): 295-290. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1516-1439.372314>.
- 11 Ribeiro CEG, Rodriguez RJS, Vieira CMF, Carvalho EAS, Candido VS, Monteiro SN. Production of synthetic ornamental marble as a marble waste added polyester composite. *Mater Sci Forum* 2014; 445-776: 341-345.
- 12 Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984. Solo - Análise Granulométrica – NBR 7181. Rio de Janeiro.
- 13 Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1991. Solo: determinação do índice de vazios mínimo de solos não coesivos – NBR MB 3388. Rio de Janeiro.
- 14 Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2010. Rochas para revestimento: método de ensaio – NBR 15845. Rio de Janeiro.
- 15 Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2012. Materiais inorgânicos- Determinação do desgaste por abrasão - NBR 12.042. Rio de Janeiro.
- 16 Asociación Española de Normalización y Certificación, 2008. Piedra aglomerada Metodos de Ensayo Parte 2: Determinación de la resistencia a flexión - UNE-EN 14617-2, Madrid.
- 17 Lee DJ, Shin IJ. Effects of vacuum, mold temperature and cooling rate on mechanical properties of press consolidated glass fiber/PET composite. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2002; 33 (8), 1107-1114.
- 18 Chiodi CF, Rodriguez EP. Guia de aplicação de rochas em revestimentos. São Paulo: Abirochas, 2009. 118 p.
- 19 Borselino C, Calabrese L, Di Bella G. Effects of power concentration and type of resin on the performance of marble composite structures. *Construction and Building Materials* 2009; 23(5), 1915-1921.
- 20 Carvalho EAS, Marques VR, Rodriguez RJS, Ribeiro CEG, Monteiro SN, Vieira CMF. Development of epoxy matrix artificial stone incorporated with sintering residue from steelmaking industry. *Materials Research*. 2015; 18(2): 235-248.
- 21 Lee, MY, et. al. Artificial stones lab production using was glass, stone fragments and vacuum vibratory compaction. *Cement & Concrete Composites*. 2008; 30: 583-587.