

## 14º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2023

### Granitos e mármore sintéticos com reciclagem de baixo custo.

VINICIUS RODRIGUES DOS SANTOS<sup>1</sup>, SILVETE M. SOARES<sup>2</sup>, JOSÉ AMÉRICO ALVES  
SALVADOR FILHO<sup>3</sup>, LUÍS M. GENOVA<sup>4</sup>.

<sup>1</sup>Discente, IFSP, Campus Caraguatatuba, vinicius.santos1@aluno.ifsp.edu.br

<sup>2</sup>Docente, Doutora, IFSP, Campus Caraguatatuba silvetemari@ifsp.edu.br

<sup>3</sup>Docente, Doutor, IFSP, Campus Caraguatatuba jasalvador@ifsp.edu.br

<sup>4</sup>Docente, Mestre, IFSP, Campus Caraguatatuba mateus.genova@ifsp.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.01.01.01-8 Materiais e componentes da construção civil

**RESUMO:** Na construção civil os granitos e mármore são utilizados para revestimentos de edificações. As vantagens que os tornam aptos para essas aplicações são resistência adequada, pouca porosidade e elevada dureza. Desta forma, houve um crescimento na exploração e utilização das pedras ornamentais no setor da construção civil. O impacto causado pela extração e descarte deste recurso mineral, está se tornando uma questão relevante no Brasil, exigindo soluções baseadas em reutilização. Mármore e granitos sintéticos são uma solução potencial para reuso desses resíduos na fabricação de novas peças, diminuindo o consumo de energia e o impacto ambiental. Por meio de revisão bibliográfica, verificaram-se técnicas de fabricação visando selecionar e executar mármore e granitos sintéticos com processos de reciclagem de baixo custo. Assim, os granitos sintéticos apresentaram maior resistência a flexão em relação ao mineral convencional, em detrimento do material aglutinante e o método de fabricação. O material obtido apresentou resultados satisfatórios para aplicação na construção civil, e para o meio ambiente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Granito sintético; mármore sintético; resina epóxi; resíduos da construção; pedras ornamentais.

### Granites and synthetic marbles with low-cost recycling.

**ABSTRACT:** In the construction industry, granite and marble are used for cladding buildings. The advantages that make them suitable for these applications are adequate strength, low porosity and high hardness. As a result, there has been an increase in the exploitation and use of ornamental stones in the construction sector. The impact caused by the extraction and disposal of this mineral resource is becoming a major issue in Brazil, requiring solutions based on reuse. Synthetic marbles and granites are a potential solution for reusing this waste in the manufacture of new pieces, reducing energy consumption and environmental impact. A literature review looked at manufacturing techniques for selecting and producing synthetic marble and granite with low-cost recycling processes. Synthetic granites showed greater flexural strength than conventional minerals, depending on the binder material and manufacturing method. The material obtained showed satisfactory results for use in construction and for the environment.

**KEYWORDS:** Synthetic granite; synthetic marble; epoxy resin; construction waste; ornamental stones.

### INTRODUÇÃO

Mármore e granitos são frequentemente utilizados em revestimentos, como: pisos, pias e bancadas de suporte, apresentando propriedades que os tornam aptos para estas aplicações; pouca porosidade, elevada dureza, pouca condutividade térmica e boa aparência estética. (LOVO, 2018).

Com a crescente utilização de pedras ornamentais na construção civil, houve um aumento significativo na geração de resíduos sólidos provenientes da exploração, extração e descarte destes

materiais, causando uma poluição preocupante. No Brasil, o impacto causado pelos resíduos minerais está se tornando uma questão relevante e exigindo soluções baseadas em alternativas de reuso. (RANA, 2016; FABRI, 2012).

Uma possível solução é a produção de mármore e granitos sintéticos, materiais industrializados compostos de resíduos minerais e resina polimérica. Imitando as características dos minerais naturais. A reciclagem desses materiais tem potencial de reduzir o consumo de energia, o descarte inadequado de resíduos sólidos e o impacto ambiental. Além de oferecer uma série de vantagens em relação ao mármore e granito natural. (BERA, 2012).

A resina epóxi é comumente utilizada como revestimentos para concreto, metais e madeiras, na construção civil. Sua versatilidade permite reagir com outros substratos, facilitando seu processamento e modificando suas propriedades. (FILHO; COSTA, 2022).

Nesse trabalho será apresentada uma revisão bibliográfica sobre o mármore e granito sintéticos feitos de resina, fornecendo um parâmetro geral desses compósitos sintéticos. Também será realizado um estudo experimental da influência do teor de resinas na resistência a flexão do material.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Análise de propriedades e parâmetros para aplicação e produção do granito sintético**

Inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica dos principais artigos e normas para auxiliar, como instrumento para definição da metodologia experimental dos compósitos sintéticos e na discussão dos resultados, analisando vantagens, desvantagens, propriedades mecânicas e o beneficiamento ecológico.

### **Análise granulométrica**

O método utilizado para a análise granulométrica é o peneiramento, que consiste na passagem dos agregados por uma série de peneiras com diferentes tamanhos de abertura, dispostos verticalmente, quantificando-se a fração do material retido em cada uma. A análise granulométrica consiste em dividir as partículas em grupos por suas dimensões e determinar a proporção relativa ao peso total da amostra. Assim é importante analisar a composição granulométrica, de modo a obter as propriedades e parâmetros máximos, correspondentes aos materiais que serão sintetizados na composição do mármore sintético. Onde a utilização da mistura de agregados miúdos e graúdos, apresente menor índice de vazios, a compactação é aumentada, melhorando significativamente a resistência mecânica, permeabilidade e a durabilidade do material. Portanto, para obtenção do melhor custo-benefício e alta resistência, serão analisados agregados graúdos, variando a proporção da resina epóxi, material aglutinante, entre 5 a 20% nos corpos de prova.

Deste modo, serão sintetizados 4 corpos de prova com distintas proporções de resina, entretanto com a mesma razão entre os três tamanhos de agregados.

Para obter tamanhos de resíduos distintos todo o material foi quebrado manualmente em quantidades menores, posteriormente o material foi peneirado em diferentes classes granulométricas. Tendo em vista que a utilização de resíduos muito pequenos pode inviabilizar ser menos sustentável, por conta do gasto energético empregado para obtê-los. E também aumentando os custos, tornando o novo material desvantajoso economicamente em relação aos compósitos ornamentais naturais.

Foi sugerido um traço em uma escala maior do realizado no estudo de Lovo et al. (2018). As escalas dos valores obtidos estão exemplificadas na tabela 1, onde mantivemos as percentagens e modificamos os tamanhos utilizados, proporcionalmente, a fim de garantir um empacotamento tão vantajoso quanto, com menor quantidade de vazios.

**TABELA 1. Ensaios realizados por Lovo et al. (2018) - Melhores graus de compactação obtidos em porcentagem.**

| Ensaios           | Agregados        |                  |                  |
|-------------------|------------------|------------------|------------------|
|                   | Graúdo           | Médio            | Fino             |
| Lovo, 2018        | 2,0-1,2 mm (50%) | 0,6-0,3 mm (15%) | 0,2-0,1 mm (35%) |
| Presente trabalho | 9,56 mm (50%)    | 2,38 mm (15%)    | 1,18 mm (35%)    |

### Confecção dos corpos de prova.

Inicialmente, com o auxílio de beakers de plástico, são adicionados a proporção em massa dos agregados, posteriormente ainda sem o material aglutinante, é realizado a mistura dos agregados, após a realização da homogeneização, a resina epóxi, é despejada sobre os agregados, e é novamente efetuado a homogeneização. É adicionado o catalisador, que irá proporcionar endurecimento a peça. É importante salientar que o tempo de cura do composto se inicia 10 minutos após o catalisador entrar em contato com a resina, então, é preciso homogenizar tudo e despejar sobre os moldes antes do tempo estipulado para garantir os parâmetros de eficiência proposta pelos fabricantes do polímero.

A resina utilizada é do tipo epóxi, de baixa viscosidade, com alta transparência e resistência mecânica e química, a proporção de uso é 2:1 do endurecedor, ou seja, para cada 100g de resina utiliza-se 50 g de endurecedor. Ademais, antes de ocorrer o endurecimento do composto, os moldes são preenchidos e transferidos para a mesa vibratória por cerca de três minutos, e em seguida preenchidos por inteiro. O procedimento é repetido, a fim de obter a menor quantidade de vazios. Todo processo é executado para as 4 amostras, variando o teor de resina em sua composição em 5%, 10%, 15%, 20%, para analisar os ganhos mecânicos que a utilização da resina proporciona ao novo material.

### Preparação do corpo de prova

Após a seleção e separação dos agregados, estipulamos uma massa capaz de ocupar todo o corpo de prova, sem que houvesse desperdícios, tendo como base, os percentuais de cada agregado estipulado anteriormente. Desta forma, os agregados foram pesados individualmente, e depois despejados sobre um mesmo recipiente, para que fossem misturados. Logo após, a quantidade estipulada para o primeiro corpo de prova (5%) da massa total, foi despejado sobre os agregados minerais, e com o auxílio de uma espátula de metal, os agregados foram homogeneizados com a resina. Posteriormente despejou-se o catalisador sobre a mistura, efetuando mais uma vez o processo de homogeneização, tendo em vista, a importância do intervalo preciso para ocorrer a cura, após 10 minutos. Enfim, o material pode ser despejado com cuidado sobre as formas de madeira. Após a dispersão do material sobre as formas, a amostra deve ser colocada em um local arejado, coberto, em temperatura ambiente para ocorrer a cura do corpo de prova. Em 12 horas o material apresentará propriedades poliméricas, certa dureza, embora o fabricante da resina, especifique e oriente, que é necessário um intervalo de 7 dias para ocorrer a cura total da resina. Não é permitida a execução dos ensaios mecânicos ou o contato com a água durante este intervalo. Todas as amostras sintetizadas nestes estudos podem ser observadas nas imagens abaixo.



FIGURA 2. Da esquerda para a direita, as amostras com menor teor de resina, para a com maior teor.

### Análise a flexão

No desenvolvimento do trabalho não foi possível encontrar normas específicas que atendessem perfeitamente as aplicações desejadas para o material de estudo. Mas considerando as propriedades atribuídas ao corpo de prova, por conta da utilização da resina, algumas literaturas recomendam a utilização da norma ABNT NBR ISO 178 Plásticos - Determinação de flexão para o ensaio de flexão

em corpos de prova de mármore e granitos sintéticos com resina. Entretanto, sua utilização se torna inviável, pois o tamanho dos agregados desejados para a aplicação do corpo de prova ultrapassa a espessura determinada pela NBR ISO 178, a qual especifica que as equações dadas são válidas para deflexões de corpo de provas com as seguintes dimensões (80 mm × 10 mm × 4 mm).

A norma que mais se aproxima do experimento a ser realizado, tendo em vista as exigências para as aplicações desejadas e limitações de infraestrutura disponível no laboratório, é a NBR 13279: 2005 para ensaios de flexão de argamassa, que fornece os parâmetros de ensaios, como tamanho de corpo de prova, que melhor simula o comportamento real que o material estudado sofrerá. A norma selecionada é frequentemente utilizada para ensaios de pedra ornamentais naturais, e seu uso se faz necessário, uma vez que selecionaremos uma granulometria dos agregados de 1 cm, obtendo uma espessura do corpo de prova de 2 a 3 cm de espessura, analogamente a mesma espessura aplicada na confecção de pias e bancadas de pedras ornamentais. Sendo assim, os princípios de Resistência dos Materiais simularão bem a aplicação desejada. O presente estudo segue os parâmetros impostos pela NBR 13279:2005, gerando resultados compatíveis com erro desprezível para definição da resistência a flexão do corpo de prova em relação à diferença dos parâmetros de ensaio das normas em questão.

Os ensaios ocorreram na prensa hidráulica com capacidade mínima de 100 KN, com carregamento contínuo e progressivo. A equação 1 foi utilizada para determinar a resistência a tração na flexão. O molde do corpo de prova utilizado possuirá 40 mm x 40 mm x 160 mm, com formato prismático, e a distância L dos roletes do equipamento utilizada é fixa, com valor de 100 mm. As amostras serão posicionadas sobre roletes, conforme especificado pela norma, no centro do corpo de prova que corresponde a L/2, e, em seguida, a velocidade do cutelo central será ajustada para aplicação de carga sobre o material de estudo, para dar início ao ensaio. A equação 1, permite efetuar o cálculo da tensão de ruptura, por meio da obtenção da resistência a tração (Rf) e a distância entre os suportes (L).

$$Rf = \frac{1,5 \times Ff \times L}{40^3}$$

Em que,

Rf - resistência a tração na flexão, MPa;

Ff - força de ruptura, N;

L - distância entre os suportes, mm.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Análise granulométrica

Os agregados foram separados em 7 peneiras diferentes, distintos um do outro, Os tamanhos foram definidos pela peneira eletrônica, obtendo-se agregados de 9,56 mm, 4,75 mm, 2,38 mm, 1,18 mm, 0,6 mm, 0,3 mm e 0,15 mm. O gráfico apresentado na figura 1, exemplifica a porcentagem obtida para cada tamanho de agregado durante o processo de desagregação do granito. É possível observar maior porcentagem dos agregados graúdos em relação aos demais agregados, havendo uma dificuldade na obtenção dos agregados médios, por conta das propriedades de dureza do granito. Entretanto, ao analisar o gráfico pode-se notar uma maior quantidade do agregado de tamanho 0,15 mm, referente a 6% da massa total, obtido no emprego maior de força, na tentativa de adquirir os agregados médios.

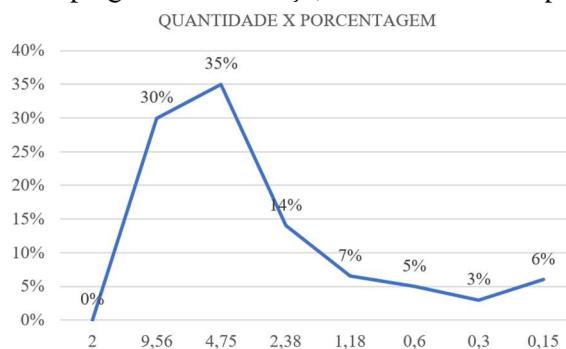


FIGURA 1. Gráfico referente a porcentagem dos agregados gerados no processo de desagregação do granito.

### Ensaio experimental de resistência à flexão

Os seguintes estudos obtiveram resultados favoráveis acerca dos mármore e granitos sintéticos; no estudo de Lovo et al. (2018), obteve-se uma resistência à flexão de 42 MPa, demonstrando um ganho de resistência significativa em relação às formulações de granito sintético tradicionais. Melhoria esta observada pela utilização de resina de alta resistência. O estudo realizado por Carvalho et al. (2017), apresentou resistências a flexão próximas de 30 MPa, obtidos a partir de testes de flexão de 3 pontos. Ambos os estudos adotaram processos de produção similares, porém se distinguiram durante a cura. Contudo, rochas ornamentais utilizadas como revestimentos na construção civil, são considerados materiais de alta resistência quando a tensão de ruptura ultrapassa 20 MPa. Todos os resultados obtidos podem ser observados na tabela 2.

TABELA 2. Resistência à flexão dos corpos de prova.

| Corpo de prova | Material              | Resistência à flexão (MPa) |
|----------------|-----------------------|----------------------------|
| I              | Granito – Epóxi (5%)  | 4,68                       |
| II             | Granito – Epóxi (10%) | 8,43                       |
| III            | Granito – Epóxi (15%) | 19,68                      |
| IV             | Granito – Epóxi (20%) | 28,36                      |

Os parâmetros estabelecidos pelas normas das propriedades e do mármore e granito natural, estão descritos na tabela 3, a seguir:

TABELA 3. Quadro ABNT NBR 15844 [4] – Propriedades do granito natural.

| Propriedades                                            | Requisitos | Norma              |
|---------------------------------------------------------|------------|--------------------|
| Módulo de ruptura (flexão por três pontos) (Mpa)<br>min | 10,00      | ABNT NBR 15845 - 6 |

Conforme os valores das tabelas 2 e 3, é possível afirmar que as amostras I e II confeccionadas obtiveram resultados favoráveis, embora menores que os definidos em norma, uma vez que a tensão de ruptura mínima aceitável do granito natural é de 10 Mpa, segundo a norma NBR 15845 – 6. Podendo ser observado um aumento na resistência a flexão, ao passo que houve aumento percentual da quantidade de resina em cada corpo de prova, em um comportamento quase linear. A partir da amostra III composta de 15% de resina o módulo de ruptura aumentou significativamente. Atingindo o dobro da resistência mínima exigida segundo a norma. Portanto, em questão de resistência, não houve necessidade de um maior teor de resina para as aplicações convencionais. Sendo que para aplicações de maior desempenho, é possível realizar uma dosagem com maior quantidade de aglutinante, já que a amostra IV também apresentou um bom aumento de resistência.

### CONCLUSÕES

É possível concluir que o produto obtido a base de granito e resina epóxi, desenvolvido, atingiu as expectativas e os resultados esperados. A reutilização dos resíduos de rochas ornamentais influencia positivamente na diminuição do impacto ambiental e economicamente, sendo possível desenvolver produtos com menor preço e desempenho maior ou similar ao dos compósitos naturais. Todo o resíduo apresentado ao longo do trabalho e não utilizado, será reaproveitado em estudos e ensaios futuros.

A resina do tipo epóxi é um polímero derivado de fontes de petróleo, matéria-prima não renovável e altamente poluente. Sendo passiva de maiores estudos sobre os malefícios de sua utilização na composição do mármore e granito sintético, e até mesmo a substituição parcial ou total do aglutinante por outro substrato. Portanto, o estudo do presente trabalho colabora para escolha de uma menor quantidade de resina possível conforme a resistência desejada para uma aplicação, assim otimizando o uso da resina e diminuindo o impacto.

A resistência a flexão obtida foi satisfatória para o estudo e se mostrou favorável em relação ao material convencional, uma vez que a resistência mínima para os granitos naturais, é de 10 MPa e os resultados obtidos foram superiores ao mínimo estabelecido pela norma. Mas também, a aplicação da resina, aumentou significativamente a resistência da amostra, além das características de versatilidade pouco exploradas neste trabalho, como a manipulação de propriedades e aparência.

Por fim, as pedras sintéticas que já são aplicadas na construção civil, para compor revestimentos, balcões e pias, podem diminuir mais seu impacto utilizando de resíduos. Pois proporcionar menor custo de produção, utilizando resíduos renováveis, ocasionando menor impacto ambiental, além dos ganhos mecânicos e estéticos.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CNPq pela bolsa concedida, ao Laboratório Integrado de Engenharia Civil (LIEC) e ao Centro de Pesquisa e Inovação em Cidades Inteligentes e Sustentáveis (CEPIN-CIS) do IFSP campus Caraguatatuba pelo suporte na realização dos experimentos e na análise dos resultados.

## REFERÊNCIAS

ABNT NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e compressão. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, 2005.

ABNT NBR 15844: Rochas para revestimento – requisitos para granitos. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, 2015.

ABNT NBR 15845 – 6: Rochas para revestimento parte6: Determinação do módulo de ruptura (flexão por carregamento em três pontos). **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, 2015

ABNT NBR ISO 178: Plásticos - Determinação de flexão – Propriedades. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, 2010.

BERA, Payel et al. Recent developments in synthetic marble processing. 2012.

CARVALHO, Elaine et al. Novel Artificial Ornamental Stone Developed with Quarry Waste in Epoxy Composite. **Scielo Brasil**, São Paulo. DOI: <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2017-1104>.

FABRI, E.; NALINI JUNIOR, H.; LEITE, M. Exploração de rochas ornamentais e meio ambiente: **UFPR** v. 26, p. 189-197, 2012.

FILHO, Cláudio Marinho Couto; COSTA, Darlan Inácio. Utilização do porcelanato e da resina epóxi no revestimento de piso: um comparativo econômico. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - **Centro Universitário Cesmac**. Maceió, 2017. Disponível em:< <https://portalidea.com.br/cursos/aplicao-de-porcelanato-lquido-apostila02.pdf>>. Acesso em: 8 set, 2022.

LOVO, J. F. P.; PEDROSO, M. P. G.; ERBERELI, R.; PURQUEIRO, B. M.; FORTULAN, C. A. Synthetic granite composite for precision equipment structures. **Matéria**. v. 23, n.4, 2018.

RANA, A.; KALLA, P.; VERMA, H. K.; MOHNOT, J. K. Recycling of dimensional stone waste in concrete: A review. **Journal of Cleaner Production**. v. 135, p. 312-331, 2016.