

# **Caracterização física e mecânica de rocha artificial com resíduo de pó de vidro sódico-cálcico e resina poliéster insaturada por meio de moldagem por prensagem**

E. F. Souza<sup>1</sup>; C. R. S. Morais<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Centro de  
Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Av. Aprígio  
Veloso, 882, Bodocongó, Campina Grande – PB, 58429-900

\*Autor correspondente: C. R. S. Morais ([crislene.morais@ufcg.edu.br](mailto:crislene.morais@ufcg.edu.br))

## **Resumo**

O Brasil importa uma quantidade considerável de materiais conhecidos como rochas artificiais. O que motivou esforços para a fabricação de uma pedra similar. Assim, foi fabricada uma rocha artificial por meio de moldagem por Compressão, com resíduos de pó de vidro sódico-cálcico, misturados em suas devidas proporções e granulometrias, a uma resina de poliéster ainda fluida, já com um catalisador, despejada no molde metálico e prensada. Após a cura, foram analisadas densidade, a absorção de água e porosidade aparente, também foi submetido a ensaios mecânicos de compressão e flexão. Os compósitos obtidos alcançaram uma tensão de Compressão média de 13,96 MPa. No estudo do comportamento das condições do processo de flexão os compósitos obtidos alcançaram uma tensão de ruptura média de 6,1 MPa.

**Palavras-chave:** Rocha artificial; Reaproveitamento; Vidro sódico-cálcico; Compósito polimérico; Resina poliéster.

## **Abstract**

Brazil imports a considerable amount of materials known as artificial stone. What motivated efforts for the manufacture of a similar stone. Thus, an artificial rock was fabricated by Compression molding, with sodium-calcium glass powder residues, mixed in due proportions and granulometry, to a still flowing polyester resin, already with a catalyst, poured into the metal mold and pressed. After curing, density, water absorption and apparent porosity were analyzed, and mechanical compression and bending tests were also performed. The composites obtained reached an average Compression stress of 13.96 MPa. In the study of the behavior of the conditions of the bending process, the obtained composites reached an average rupture stress of 6.1 MPa.

**Keywords:** Artificial stone; Reuse; Sodium-calcium glass; Polymeric composite; Polyester resin.

## 1. Introdução

Com a conscientização do ser humano sobre a importância da preservação da natureza, surgiram novas técnicas construtivas que garantem menos impacto ambiental utilizando rejeitos e resíduos. Mundialmente tem-se registrado um aumento significativo no uso do vidro reciclado em substituição à matéria-prima mineral virgem. Mata [6] já afirmava que a incorporação de vidro reciclado às matérias-primas naturais tinha adquirido grande importância no processo de fabricação, devido às questões ambientais e econômicas.

Neste contexto, O Brasil importa uma quantidade considerável de materiais conhecidos como rochas artificiais, que consistem em materiais compósitos que apresentam propriedades mecânicas similares às das rochas naturais, possuindo ainda uma menor absorção de água. Apesar destes materiais apresentarem preço ainda elevado para o consumidor brasileiro, as vantagens apresentadas pelos mesmos, especialmente através de suas propriedades mecânicas e estéticas (como resistência à flexão e brilho superficial), são geralmente superiores às das cerâmicas ditas de “primeira linha”, fazendo deste material uma excelente alternativa à rocha natural. Tais materiais apresentam ainda uma grande vantagem que consiste na possibilidade de serem facilmente fabricados utilizando resíduos particulados, como os resíduos de vidro citados anteriormente [1,4,10].

Apesar do termo “Rocha Artificial” se referir à maior parte do compósito ser de origem mineral direta, ao longo dos anos outros agregados foram incorporados, no intuito de aproveitar uma maior diversidade de resíduos sólidos, contribuindo para fornecer outras propriedades físicas, químicas e até estéticas [6,8,9].

Segundo Jacobi e Besen um dos maiores desafios da sociedade moderna é equacionar a geração excessiva e a disposição final ambientalmente segura dos resíduos. É cada dia mais claro a necessidade de gerenciamento adequado dos resíduos pode reduzir consideravelmente os impactos ambientais [5].

O presente projeto de pesquisa traz uma alternativa para a aplicação do resíduo de vidro, tendo em vista futuras aplicações deste resíduo como reforço de compósitos poliméricos a um custo mais competitivo. Assim se propõe a produção e caracterização físico-mecânica de compósito de matriz polimérica com carga mineral de reaproveitamento de vidro particulado para aplicação como revestimento de ambientes na construção civil.

## **2. Materiais e métodos**

Dois materiais básicos foram utilizados neste estudo o resíduos de vidro sob a forma de partículas, adquiridos a partir de garrafas de vidro azul de um mesmo tipo de bebida, adquiridas na cidade de Campina Grande - PB, Brasil. Como matriz compósita foi utilizada a resina poliéster insaturada Polylite® 10336-00 da Reichhold doada pela empresa Equifiber também situada em Campina Grande/PB, disponível comercialmente, com viscosidade média. O endurecedor de metil-etil-cetona foi misturado na quantidade de 2% em conjunto com para reduzir a viscosidade da resina e facilitar o preenchimento do molde.

O resíduo de vidro foi esmagado e peneirado para tamanhos de partículas entre 35, 28 e 9 mesh (0,042 e 2.000 mm). As partículas secas em uma quantidade de 75% em volume total (70g de cada uma das granulometrias) foram misturadas a resina poliéster e então colocadas dentro de um molde retangular, de 100x100 mm e

10 mm de espessura, como parte da moldagem por compressão. O molde carregado com 75% em volume de resíduo e 25% em volume de resina foi submetido a 10t de pressão durante 16h e depois a placa composto de Rocha Artificial foi extraído do molde [9].

A densidade, a absorção de água e a porosidade aparente foram determinadas para as Rochas Artificiais produzidas, de acordo com o teste especificado pelo padrão ASTM C 373-72. Foram utilizadas 12 amostras com peso entre 50 e 100 g. Compressão e testes de flexão de três pontos foram realizados em um Prensa Servo Pulser SFL-100kN da Shimadzu de acordo com os Padrões ABNT NBR 15845:2015, respectivamente. Um mínimo de cinco espécimes com 10x10mm de seção transversal quadrada e 30mm de altura, para testes de compressão e 70x20x10mm, para a curva testes, foi utilizado. Todos os testes foram conduzidos à temperatura ambiente com uma velocidade de crosshead da máquina de 0,5 mm / min [4,6].

### **3. Resultados e discussão**

#### **3.1 Propriedades das Placas de Rocha Artificial**

A Tabela 1, e abaixo a imagem, expõe os valores obtidos para a rocha artificial de vidro produzida na metodologia de compressão em prensa hidráulica, em densidade aparente, absorção de água e porosidade aparente.

Pode-se dizer que a densidade encontrada de  $1,99 \pm 0,065$ , está bem próxima aos valores das rochas artificiais de mercado, como mármore composto, nanoglass e outros, que surgem com valores entre 2,4~2,7, produzidas industrialmente, ou ligeiramente menos denso. Segundo Martins [5] essa densidade bem maior que a do vidro (cerca de  $1,5\text{g/cm}^3$ ) pode ser indicio de eficiência de compactação, que tende a gerar maior densidade ao compósito.

Diante de pesquisas anteriores que utilizam o pó vidro como carga, os dados mais comparativos encontram-se em Lee et al. [4], que alcançou valores que variam de 2,03 a 2,45g/cm<sup>3</sup>, apesar de também fazer uso do resíduo de granito e um processo de fabricação com metodologia e tecnologia diferentes. Já na pesquisa de Martins [6] também se encontra valores de densidade de 2,60±0,32, que apesar de um pouco maiores que os dados encontrados, ficam próximo dos valores encontrados na placa em estudo. Os valores para densidade apresentados por Ribeiro [10,11,12,13,14,15,16,17,18,19] para ambas as formas de produção por ele estudadas, ficam em torno de 2,28 a 2,38tg/cm<sup>3</sup>.

Quanto a Absorção de água e Porosidade aparente, no presente trabalho encontramos valores de 1,59±0,109 para absorção e 3,16±0,235 para porosidade, bem melhores que os encontrados nas demais pesquisas, em Martins [6] quanto a absorção os valores ficam entre 7,01±0,52% e os valores médios de 18,31±3,36% para porosidade. Segundo Ribeiro [10,11,12,13,14,15,16,17,18,19] os valores ficam entre 2,60 e 0,16% para absorção e 5,93 e 0,39% para porosidade aparente, lembrando que seu processo de fabricação foi bem diferente tecnicamente, a vácuo, o que segundo o autor contribui para a captura do ar e gases decorrentes da cura da resina, e a vibração da amostra que tende a mover as bolhas para a superfície.

A porosidade aparente baixa demonstra que há uma pequena porção de espaços vazios dentro da estrutura, esse fato pode ser favorável a aplicações da rocha de vidro, especialmente em bancadas, pois dificultam a proliferação de bactérias e o acúmulo de impurezas. De acordo com os Parâmetros tecnológicos propostos por Chiodi [3], o material desenvolvido fica na categoria de alta porosidade e absorção de água.

### 3.2 Resistência à flexão

A partir dos valores de força dados pelo equipamento, foram calculadas a tensão máxima para as amostras produzidas. A Tabela 2 apresenta os valores de força e tensão de ruptura alcançada pelo compósito, vale observar que a tensão de ruptura apresentou um valor pouco disperso, o que proporciona certa confiabilidade ao material.

Fazendo uma análise comparativa de nossa rocha artificial de resíduos de vidro contra as pedras de mercado e as desenvolvidas em trabalhos anteriores como os de **Ribeiro [Nº10,11,12,13,14,15,16,17,18,19]** temos a seguinte **Tabela 3**.

Conforme especificado na norma ASTM C503 (2003), é esperado para o mármore calcífico uma tensão de ruptura em flexão maior que 7MPa. A rocha artificial de vidro estudada apresentou resistência de  $6,1 \pm 1,8$ MPa próxima, porém ainda inferior, quanto a recomendação de Chiodi [3], acima de 20 MPa. Assim segundo Martins [6] pode-se concluir que com um melhoramento na compactação das partículas, por exemplo com uso de tecnologia de vibro-compressão a vácuo, tal material seria uma opção de substituto na aplicação de interiores. Acarretando uma economia de material devido as menores dimensões das partículas que compõem a seção resistiva e um menor custo, desde a produção até a comercialização.

Ao comparada com o mármore artificial obtido por Ribeiro [15,16,17,18] de  $21,5 \pm 1,9$  MPa, vê-se que a resistência de  $6,1 \pm 1,8$ MPa demonstra propriedade inferior, o que se pode dar pelo processo de fabricação do Ribeiro [14] ser caracterizado pelo vácuo durante todo o processamento. De acordo com Martins e Silva [6], o vácuo permitiria um melhor escoamento dos gases, o que geraria menos vazios estruturais (porosidade) e melhor compactação nas partículas de vidro, melhorando assim as propriedades mecânicas.

Pôde-se verificar nos corpos de prova que a trinca se propagou no meio do material e de maneira esperada, o que sugere que o material pode ser uniforme, dados que não houve direções preferenciais de trinca. O fato de o rompimento acontecer de forma abrupta pode indicar baixa ou alta adesão do reforço à matriz do compósito, sendo assim analisada via Microscopia de varredura.

### **3.3 Resistência à compressão**

No teste de compressão os valores encontrados estão na **Tabela 4**, e como media e desvio encontramos  $13,95 \pm 2,77 \text{MPa}$ , verifica-se que está bem abaixo das demais pesquisadas, o que se supõe que na confecção das rochas artificiais não houve uma satisfatória reticulação da resina, o que facilita o escorregamento das disposições de partículas de resíduo.

Mesmo que não exista uma regulamentação específica para rochas artificiais existem estudos que trazem valores de referência, Chiodi [3] apresentam valores entre 70 e 130Mpa para resistência a compressão de rochas ornamentais de revestimento, como o valor encontrado é de  $13,95 \pm 2,77 \text{MPa}$ , o que demonstra que requer melhoramentos. Já Ribeiro [19] recomenda que esses valores sejam em média  $100 \pm 7 \text{MPa}$  para peças produzidas por Vibro-compressão à vácuo e  $25 \pm 2 \text{MPa}$  por moldagem por transferência de resina, que mais se aproxima dos valores encontrados, que foram de  $13,95 \pm 2,77 \text{MPa}$ .

Segunda a norma que regula rochas naturais a ASTM C503, os valores de compressão devem ser superiores a 52Mpa, os fabricantes de mármore composto fornecem valores em torno de 97 a 131Mpa, bem superior ao valor encontrado. Nas pesquisas de Lee et al (2008), apesar de variar as condições de produção chegou a valores entre 78,7 até 151,3Mpa, lembrando que esse autor misturou o resíduo de vidro com o de granito, que por sua vez possui uma maior resistência mecânica.



Ribeiro et al [15,16,17,18] nos apresenta a resistência de  $77,9 \pm 6,1$  Mpa, também bem superior ao material desenvolvido, podemos considerar também que apesar de ser a mesma resina que utilizamos, a carga de mármore possui maior resistência que a carga de pó de vidro, além do processo de fabricação o qual também proporciona maior aderência da carga com a matriz, e diminui a porosidade. Silva (2016) realizou um comparativo com o material alternativo desenvolvido por Ribeiro et al (2014-b,c), nas pesquisas foram utilizada a resina epóxi ao invés da poliéster e encontrou-se os valores de  $85,2 \pm 7,8$  MPa, onde se verificou que a epóxi possui maior resistência e menor dispersão dos valores, melhorando as características mecânicas do material.

Já o autor que produziu com maior semelhança foram o Martins [6], que utilizou o mesmo resíduo, porém a resina epóxi, a qual segundo Silva [20] proporciona melhores desempenhos mecânicos que a resina poliéster, assim já era esperado que nossos dados fossem de menores valores. Na **Tabela 5** apresentamos uma síntese da análise comparativa.

#### **4. Conclusões**

De forma geral, o processo se mostrou bastante viável, sendo a metodologia capaz de proporcionar o aproveitamento desse resíduo e despertou para a possibilidade de desenvolver novos materiais a custos competitivos com as rochas sintéticas e naturais de mercado. As características superficiais estéticas e visuais para todos os corpos de provas dos compósitos apresentavam as texturas e tonalidades similares.

No estudo do comportamento das condições do processo de compressão para a produção de compósitos com resina poliéster, com pó de vidro, ficou evidente que o compósito apresenta maior resistência do que a aparência evidência. Os

compósitos obtidos alcançaram uma tensão de ruptura média de 13,96 MPa. No estudo do comportamento das condições do processo de flexão os compósitos obtidos alcançaram uma tensão de ruptura média de 6,1 MPa.

Os resultados mostraram que o modelo estudado pode ser sustentável para o desenvolvimento de novos materiais compósitos para o setor da construção civil da área de rochas ornamentais, com melhorias nas propriedades mecânicas. A utilização dos rejeitos de vidro oco para o desenvolvimento de rochas sintéticas, mostra vantagens na diminuição da quantidade de rejeito a ser descartada na natureza, além de agregar valor a um resíduo indesejável, e possibilita também a geração de valor.

## **Referencias**

- [1] ALICANTE (2017), **Aglostone, Marmoglass, Technistone, Nanoglass, TheSize. Superfície de Quartzo**. Disponível em [www.superficiedequartzo.com.br](http://www.superficiedequartzo.com.br). Acessado em 12/05/2017. Página mantida pelo grupo Alicante.
- [2] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1972) **Water absorption, bulk density, apparent porosity, and apparent specific gravity of fired whiteware products**. United States of America.
- [3] CHIODI FILHO, C.; RODRIGUES, E. de P. **Guia de aplicação de rochas em revestimentos**. São Paulo: Abirochas, 2009. 118 p.
- [4] LEE, M.Y.; CHUN-HUN, C.; FANG-CHIH, L.; SHANG-LIEN, L. & JENG-CHING. **Artificial stones lab production using was glass, stone fragments and vacuum vibratory compaction**. Cement & Concrete Composites Vol 30, p. 583-587, 2008.
- [5] JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. **Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade**. Estud av [on-line], v. 25, n. 71, p. 135-58, 2011.

[6] MARTINS, L. B. S. **A Produção de Rocha Artificial Utilizando Resíduos de etapa de Laminação de Vidro Plano em Matriz de Resina Polimérica.**

Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2016.

[7] MATA, T. M. C. P. **Comparação de Processos de Reutilização/Reciclagem Usando a Metodologia de Análise do Ciclo-de-vida.** Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Faculdade de Engenharia do Porto, 1998.

[8] MOLINARI, E.J. **Reutilização dos resíduos de rochas naturais para o desenvolvimento de compósitos poliméricos com matriz termofixa na manufatura de pedras industriais.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia dos Materiais) – Florianópolis – SC, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 2007.

[9] PALHARES, L. B.; GONTIJO, A.A.B.; GALVÃO, D.F.; FERNANDES, L.S.R.; DOS SANTOS, C.G.; GUADANINI, A.T.G., OLIVEIRA, L.B. **Produção de um Compósito Resina/Rocha Ornamental com Pó de Ardósia Proveniente de Rejeitos.** 60º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 15 a 18 de maio de 2016, Águas de Lindóia, SP.

[10] RIBEIRO, C. E. G. **Produção de rocha artificial utilizando resíduo da indústria de mármore em matriz poliéster.** Dissertação de Mestrado em Engenharia e Ciência Dos Materiais), - Campos Dos Goytacazes, RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2011

[11] RIBEIRO, C. E. G. **Resistência Ao Manchamento De Rochas Artificiais Produzidas Com Resíduo De Mármore Calcítico E Poliéster Insaturado.** CBECIMAT, 2012a.

[12] RIBEIRO, C. E. G. **Produção De Rocha Artificial Utilizando Resíduos Do Processamento De Mármore**. CBECIMAT, 2012b.

[13] RIBEIRO, C. E. G. **Desenvolvimento De Um Mármore Artificial Alternativo Com Resíduo Da Indústria De Mármore E Poliéster Insaturado**. Tese de Doutorado - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Estadual Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2015a.

[14] RIBEIRO, C. E. G.; RODRIGUEZ, R. J. S. **Influence of Compaction Pressure and Particle Content on Thermal and Mechanical Behavior of Artificial Marbles with Marble Waste and Unsaturated Polyester**. Mat. Res. [online]. ahead of print, pp. 0-0. Epub Nov 24, 2015b.

[15] RIBEIRO, C.E.G.; RUBÉN, J. S. R.; CARLOS MAURÍCIO, F. V.; EDUARDO, A. C. & SERGIO, N. M. **Fabrication of artificial stone from marble residue by resin transfer molding**. Materials Sc.Forum Vol. 775-776, p. 336-340, 2014a.

[16] RIBEIRO, C. E. G.; RODRIGUEZ, R. J. S.; VIEIRA, C. M. F. **Determination of apparent dry density for ternary mixture of crushed marble waste**. The Minerals, Metals & Materials Society, San Diego, p.83-89, 2014b.

[17] RIBEIRO, C. E. G.; RODRIGUEZ, R. J. S.; VIEIRA, C. M. F. **Production of ornamental compound marble with marble waste and unsaturated polyester**. EPD Congress 2014. 1ed.: John Wiley & Sons, Inc., 2014, v., p. 129-136, 2014 c.

[18] RIBEIRO, C.E.G.; RUBÉN, J. S. R.; CARLOS MAURÍCIO, F. V.; EDUARDO, A. C. & SERGIO, N. M. **Production of synthetic ornamental marble as a marble waste added polyester composite**. Materials Sc. Forum Vol.775-776, p. 341-345, 2014d.

[19] RIBEIRO, C.E.G.; RUBÉN, J. S. R.; F. V.; EDUARDO, A. C. **Microstructure and mechanical properties of artificial marble**. Construction and Building Materials Vol.149, p. 149-155, 2017

[20] SILVA, F. S. **Desenvolvimento e caracterização de um mármore artificial produzido a partir do aproveitamento do resíduo de mármore calcítico e resina epoxídica**. Dissertação - Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2016.

## Tabelas

Tabela 1. Valores dos ensaios físicos para a placa produzida com 75% de resíduos e 25% de resina poliéster.

<b>Corpo de prova</b>	<b>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Absorção de água (%)</b>	<b>Porosidade aparente (%)</b>
<b>01</b>	2,11	1,58	3,32
<b>02</b>	2,06	1,48	3,06
<b>03</b>	1,95	1,55	3,02
<b>04</b>	1,99	1,61	3,21
<b>05</b>	1,96	1,74	3,42
<b>06</b>	2,01	1,77	3,56
<b>07</b>	2,08	1,49	3,10
<b>08</b>	1,92	1,43	2,76
<b>09</b>	1,91	1,53	2,92
<b>10</b>	1,91	1,60	3,07
<b>11</b>	1,99	1,54	3,06
<b>12</b>	1,99	1,73	3,45
<b>Média</b>	1,99±0,065	1,59±0,109	3,16±0,235

Tabela 2. Resultados encontrados no ensaio de resistência a flexão da rocha artificial desenvolvida.

Corpo de prova	Tensão de ruptura em flexão (MPa)
01	7,82
02	5,96
03	5,43
04	7,46
05	4,54
06	5,39
<b>Média</b>	<b>6,10±1,8</b>

Tabela 3. Análise comparativa de tensão de ruptura em flexão com as Rochas Artificiais desenvolvidas em trabalhos anteriores.

<b>Rochas Artificiais</b>	<b>Tensão de ruptura em flexão (MPa)</b>
<b>Rocha Em Estudo</b>	6,1±1,8
<b>Molinari (2007)</b>	10,0±1,27
<b>Martins (2016)</b>	<b>3,9±2,89</b>
<b>Silva (2016)</b>	<b>31,9± 2,58</b>
<b>Costa (2016)</b>	45,8
<b>Sales (2012)</b>	34,1
<b>Ribeiro (2014)</b>	21,5 ± 1,9
<b>Lee (2008)</b>	27,9 a 52,7
<b>Borsellino (2009)</b>	10,6 ± 22,2
<b>Chiodi (2009)</b>	acima de 20
<b>Ribeiro (2017)</b>	26,6 ± 1,6



Tabela 4. Resultados encontrados no ensaio de resistência a flexão da rocha artificial desenvolvida.

<b>Corpo de prova</b>	<b>Tensão de ruptura em Compressão (MPa)</b>
01	17,82
02	16,86
03	12,86
04	12,74
05	16,50
06	10,88
07	10,55
08	13,43
<b>Média</b>	<b>13,95±2,77</b>

Tabela 5. Resultados encontrados no ensaio de resistência a compressão da rocha artificial desenvolvida com as desenvolvidas em pesquisas anteriores.

<b>Rochas Artificiais</b>	<b>Tensão de ruptura em Compressão (MPa)</b>
<b>Rocha Em Estudo</b>	13,9±2,8
<b>Molinari (2007)</b>	107,4±8,1
<b>Martins (2016)</b>	58,1±9,7
<b>Silva (2016)</b>	85,2± 7,8
<b>Ribeiro (2014)</b>	77,9 ± 6,1
<b>Lee (2008)</b>	78,7 e 151,3
<b>Chiodi (2009)</b>	Entre 70 e 130
<b>Ribeiro (2017)</b>	25± 2