

# **VARIABILIDADE DE RESÍDUOS E RESINAS NA PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL DE ROCHAS AGLOMERADAS: UMA ANÁLISE DOS PROCESSOS E ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO.**

## **VARIABILITY OF WASTE AND RESINS IN THE SUSTAINBLE PRODUCTION OF AGGLOMERATED STONES: AN ANALYSIS OF PROCESSES AND CHARACTERIZATION TESTS.**

**Lahís Menon de Almeida**

Aluna de Graduação da Engenharia de Minas, 10º período

Instituto Federal do Espírito Santo

Período bolsa iniciação científica FAPES: setembro de 2023 a agosto de 2024

lahismenon18@gmail.com

**Mônica Castoldi Borlini Gadioli**

Orientadora, Engenheira Química, D.Sc.

mborlini@cetem.gov.br

**Mariane Costalonga de Aguiar**

Coorientadora, Química, D.Sc.

maguiar@cetem.gov.br

### **RESUMO**

As rochas ornamentais desempenham um papel significativo no setor de mineração do Brasil. O país, com sua vasta extensão territorial e diversidade geológica, possui uma ampla variedade dessas rochas, posicionando-se como um dos maiores produtores de rochas ornamentais do mundo. O estado do Espírito Santo por sua vez é um importante polo na produção e exportação de rochas ornamentais contribuindo significativamente para a economia regional e nacional. No entanto, a geração de resíduos durante o processo é um desafio. As rochas aglomeradas surgem como uma alternativa ecologicamente viável para utilizar esses resíduos, trazendo vantagens tanto ambientais quanto econômicas. Dessa forma, objetivo deste estudo foi analisar a variabilidade de resíduos e resina na produção de rochas aglomeradas, visando avaliar as propriedades físicas e mecânicas por meio de ensaios de caracterização tecnológica. Foram produzidas rochas aglomeradas de 200 x 200 mm com resíduos de quartzito, granito e mármore e com resinas epóxi e PUV, o que resultou em seis combinações de resíduo com resina. Posteriormente, foram realizados ensaios de densidade, absorção de água, porosidade, resistência à flexão 3 pontos e impacto de corpo duro. Os resultados indicaram que a rocha aglomerada produzida apresentou viabilidade técnica para ser utilizada como revestimento no setor de construção civil. Além disso, o aproveitamento desses resíduos pode contribuir significativamente para a minimização do impacto ambiental, uma vez que são gerados em ordem de milhões de toneladas.

**Palavras-chave:** rochas aglomeradas, resina, caracterização tecnológica.

### **ABSTRACT**

Ornamental stones play a significant role in Brazil's mining sector. The country, with its vast territorial extension and geological diversity, has a wide variety of these stones, positioning itself as one of the largest producers of ornamental stones in the world. The state of Espírito Santo, in turn, is an important hub in the production and export of ornamental stones, contributing significantly to the regional and national economy. However, generating waste during the process is a challenge. Agglomerated stones emerge as an ecologically viable alternative for using this waste, bringing both environmental and economic advantages. Therefore, the objective of this study was to analyze the variability of waste and resin in the production of agglomerated stones, aiming to evaluate the physical and mechanical properties

through technological characterization tests. Agglomerated stones measuring 200 x 200 mm were produced with quartzite, granite and marble waste and with epoxy and PUV resins, which resulted in six combinations of waste with resin. Subsequently, density, water absorption, porosity, 3-point flexural strength and impact resistance were carried out. The results indicated that the agglomerated stone produced presented technical feasibility to be used as a coating in the civil construction sector. Furthermore, the use of this waste can significantly contribute to minimizing environmental impact, as it is generated in the order of millions of tons.

**Keywords:** agglomerated stones, resin, technological characterization.

## 1. INTRODUÇÃO

A crescente preocupação global com as questões ambientais, como o uso sustentável dos recursos e a adequada gestão dos resíduos das atividades industriais, tem impulsionado o desenvolvimento de tecnologias avançadas, envolvendo práticas que visam minimizar o impacto ambiental da extração e o processamento das rochas ornamentais. Um exemplo é a utilização do método de vibro-termo-compressão a vácuo que se aplicada na produção de rochas aglomeradas. Estas iniciativas espelham o modelo de Economia Circular, na qual os materiais são reutilizados, recuperados e reciclados, resultando num ciclo fechado e desperdício zero. (GADIOLI, et al. 2023).

As rochas ornamentais são uma parte significativa do setor de mineração do Brasil. O país possui uma ampla variedade devido a sua vasta extensão territorial e diversidade geológica, que são amplamente utilizadas na construção civil, decoração e design de interiores. O estado do Espírito Santo é um importante polo na produção e exportação de rochas ornamentais contribuindo significativamente para a economia regional e nacional. (ABIROCHAS, 2024).

Um desafio enfrentado na fabricação de rochas ornamentais é a geração de resíduos. Calcula-se que no Brasil, sejam produzidas cerca de 22 (Mt) de resíduos, divididos em aproximadamente 20 Mt de resíduos mais volumosos provenientes das pedreiras e 2,5 Mt de resíduos mais finos provenientes das indústrias. (VIDAL, et al. 2014). Em um maciço rochoso de 30 m<sup>3</sup>, são aproveitados apenas 10 m<sup>3</sup> em forma de bloco, o restante é armazenado na forma de resíduos. Esses resíduos geralmente consistem em blocos que não atendem aos padrões, apresentando formas irregulares e com defeitos, fragmentos de rochas e casqueiros. (VIDAL, et al. 2014).

A produção de rochas aglomeradas emerge como uma alternativa sustentável diante da crescente preocupação com questões ambientais, especialmente no que diz respeito ao uso responsável dos recursos naturais e à gestão adequada dos resíduos industriais. Tecnologias avançadas, como o método de vibro-termo-compressão a vácuo aplicado na produção dessas rochas, representam um passo importante na redução do impacto ambiental associado à extração e processamento de rochas ornamentais. Desse modo ao adotar essa abordagem, a indústria de rochas ornamentais não apenas atende às demandas do mercado, mas também contribui para a preservação do meio ambiente, alinhando-se aos objetivos de sustentabilidade global.

## 2. OBJETIVOS

O objetivo deste estudo foi analisar a variabilidade de resíduos e resina na produção de rochas aglomeradas, visando avaliar as propriedades físicas e mecânicas por meio de ensaios de caracterização tecnológica.

## 3. METODOLOGIA

Para a fabricação das rochas aglomeradas foram utilizados como agregado natural resíduo de quartzito, granito e mármore, oriundos do beneficiamento primário (esquadrejamento dos blocos) e resíduos da serragem de blocos, por meio da tecnologia de tear multifio, denominado como FiBRO. O material utilizado foi britado, moído e peneirado para a obtenção de partículas

grossas (0,063 mm de diâmetro até 0,053 mm), médias (0,053 mm de diâmetro até 0,044 mm) e finas (diâmetro menor do que 0,044 mm).

Foram utilizados dois tipos de resina: Epóxi e resina poliuretano vegetal (PUV) oriunda do óleo de mamona

### 3.1 Produção das Rochas Aglomeradas

Foram produzidas rochas aglomeradas com 90% em massa de resíduos (66,6% de partículas grossas, 16,66% de partículas médias e 16,66% de partículas finas) e 10% de resina.

Foram realizadas 6 (seis) combinações de resíduo com resina, conforme apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1:** combinações das rochas aglomeradas produzidas.

Combinações das rochas aglomeradas produzidas						
	1	2	3	4	5	6
RESÍDUO	Quartzito	Granito	Mármore	Quartzito	Granito	Mármore
RESINA	Epóxi	Epóxi	Epóxi	PUV	PUV	PUV

O resíduo foi despejado no misturador juntamente com a resina para ser homogeneizado. Em seguida, a mistura foi posta em um molde e encaminhada à prensa, onde permaneceu por 20 minutos em uma temperatura de 100°C (para resina Epóxi) e 40 minutos em uma temperatura de 60°C (para resina PUV) para compactação dos grãos, pelo método de vibro-termo-compressão a vácuo. A prensa utilizada produz placas de rochas aglomeradas em uma dimensão de 200 x 200 mm. Após as placas serem compactadas e retirada da prensa, foi realizado a pós-cura. A placa foi colocada em uma estufa para a realização da pós-cura da resina durante um período de 5 (cinco) horas à 60°C (para resina Epóxi) e 4 (quatro) dias, sendo 3 (três) dias à 60°C e 1 (um) dia à 80°C (para resina PUV).

### 3.2 Execução dos ensaios de Índices Físicos, Resistência à Flexão e Resistência ao Impacto de corpo duro

Foram realizados os ensaios de densidade aparente, absorção de água e porosidade nas rochas aglomeradas produzidas, de acordo com a norma EN 14617-1 (AENOR, 2013), utilizando corpos de prova de 50 mm x 50 mm.

O ensaio de resistência à flexão 3 (três) pontos foi executado de acordo com a norma EN 14617-2 (AENOR, 2016). Foram usados corpos de prova com dimensões de 200 mm x 50 mm e espessura conforme os métodos de produção.

Por fim, foi realizado o ensaio de resistência ao impacto de corpo duro definido pela norma EN 14617-9 (AENOR, 2005). Foram utilizados corpos de prova com dimensões de 200 mm x 200 mm e espessura segundo os métodos de produção.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta os resultados dos ensaios de caracterização tecnológica: Índices físicos, resistência à flexão e resistência ao impacto de corpo duro das rochas aglomeradas produzidas.

**Tabela 2:** Ensaios de caracterização tecnológica das rochas aglomeradas produzidas.

COMBINAÇÕES DAS ROCHAS AGLOMERADAS PRODUZIDAS						
	1	2	3	4	5	6
RESÍDUO	Quartzito	Granito	Mármore	Quartzito	Granito	Mármore
RESINA	Epóxi	Epóxi	Epóxi	PUV	PUV	PUV
<b>ÍNDICES FÍSICOS</b>						
Densidade Aparente (kg/m <sup>3</sup> )	2176±30,59	2385±29,06	2417±32,43	2100±45,68	2350±49,68	2379±54,81
Porosidade Aparente (%)	0,49±0,13	0,64±0,29	0,32±0,13	0,64±0,21	0,75±0,22	0,24±0,09
Absorção de Água (%)	0,23±0,06	0,27±0,12	0,13±0,05	0,30±0,10	0,31±0,09	0,10±0,04
<b>RESISTÊNCIA MECÂNICA</b>						
Resistência à Flexão (MPa)	23,13±2,62	21,13±1,69	18,32±1,57	13,67±1,32	11,29±2,87	16,15±2,04
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
	Quartzito	Granito	Mármore	Quartzito	Granito	Mármore
	Epóxi	Epóxi	Epóxi	PUV	PUV	PUV
	C1 - 0,56 Ruptura	C1 - 0,61 Ruptura	C1 - 0,46 Ruptura	C1 - 0,76 Fissura	C1 - 0,81 Ruptura	C1 - 0,61 Fissura
	C2 - 0,51 Ruptura	C2 - 0,61 Ruptura	C2 - 0,46 Ruptura	C2 - 0,81 Fissura	C2 - 1,11 Fissura	C2 - 0,61 Fissura
Resistência ao Impacto de corpo duro (m)	C3 - 0,46 Fissura	C3 - 0,66 Fissura	C3 - 0,51 Fissura	C3 - 0,86 Fissura	C3 - 0,86 Fissura	C3 - 0,71 Fissura
	C4 - 0,46 Fissura	C4 - 0,51 Fissura	C4 - 0,46 Fissura	C4 - 0,76 Fissura	C4 - 0,76 Fissura	C4 - 0,61 Fissura
	C4 - 0,46 Fissura	C4 - 0,51 Fissura	C4 - 0,46 Fissura	C4 - 0,76 Fissura	C4 - 0,76 Fissura	C4 - 0,61 Fissura

Os resultados encontrados na Tabela 2 indicam que a densidade aparente, absorção de água, porosidade, resistência à flexão e resistência ao impacto de corpo duro variam de acordo com os tipos de resíduos e resinas empregados.

De acordo com a ABNT 15844 (2015) e o Guia de Aplicação de Rochas em Revestimentos (CHIODI FILHO, 2009), a densidade aparente da rocha natural deve ser maior que 2,550 g/cm<sup>3</sup>. Na rocha produzida, a densidade foi menor devido à baixa densidade da resina, resultando em uma rocha mais leve, mas ainda com propriedades ótimas.

Segundo a ABNT 15844 (2015), a absorção de água deve ser menor que 0,4% e a porosidade menor que 1,0%. Todas as rochas fabricadas atenderam aos parâmetros estabelecidos pela norma, ou seja, possuem baixa porosidade, o que indica poucos espaços vazios entre os grãos e resulta em uma estrutura homogênea. Esses resultados demonstram que as rochas são adequadas para aplicação, atendendo aos requisitos de aplicabilidade. Além disso, conforme o Guia de Aplicação de Rochas em Revestimentos (CHIODI FILHO, 2009), as rochas produzidas são classificadas como rochas de alta qualidade.

De acordo com a ABNT 15844 (2015) a resistência à flexão em 3 pontos deve ser maior que 10 MPa. Todas as rochas produzidas atendem a este requisito, superando o valor estipulado pela norma. Conforme o Guia de Aplicação de Rochas em Revestimento (CHIODI FILHO, 2009), os valores de resistência encontrados classificam essas rochas como média a muito alta qualidade.

Os resultados de resistência ao impacto de corpo duro indicam as distâncias nas quais os corpos de prova, denominados C1, C2, C3 e C4, apresentaram fissuras e/ou rupturas. Segundo a ABNT 15844 (2015), a resistência ao impacto deve ser maior que 0,3 m. Observou-se que todas as rochas tiveram fissuras ou rupturas e foram rompidas acima dessa metragem, atendendo, portanto, aos valores estipulados pela norma. Além disso, conforme o Guia de Aplicação de Rochas em Revestimento (CHIODI FILHO, 2009), a resistência ao impacto das rochas

aglomeradas produzidas variou de baixa a muito alta qualidade, demonstrando que o trabalho alcança os objetivos propostos.

Nota-se também que as rochas produzidas com resina Epóxi apresentaram resultados melhores do que as produzidas com resina PUV. As indústrias geralmente utilizam resina Epóxi ou Poliéster para a produção de rochas aglomeradas em escala industrial. Embora as rochas produzidas com resina PUV tenham mostrado resultados inferiores, todas atenderam aos requisitos estipulados pelas normas, ou seja, a resina PUV é uma alternativa para a fabricação de um produto totalmente ecoeficiente, pois é atóxica, diferentemente das resinas normalmente utilizadas pelas indústrias.

## **5. CONCLUSÕES**

Conclui-se que os resíduos e resinas utilizados foram capazes de contribuir significativamente para a produção das rochas aglomeradas, resultando em materiais de alta qualidade, atendendo às exigências técnicas e normativas. No entanto, o presente estudo utilizou a resina PUV, derivada do óleo de mamona, uma resina atóxica e isenta de solventes. Essa resina cumpre com os requisitos de qualidade e aplicabilidade, exercendo o mesmo papel que as resinas utilizadas na produção industrial, demonstrando seu potencial como uma alternativa mais ecoeficiente. Sendo assim, a utilização da resina PUV para criação de novos compósitos é uma alternativa que contribui para sustentabilidade, onde 90% em massa de resíduos são aproveitados. Ou seja, a variabilidade da composição das rochas contribui para uma economia circular, além de obter um produto comercialmente competitivo.

## **6. AGRADECIMENTOS**

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo – FAPES, pelo apoio financeiro e bolsa concedida (635/2023 P 2023 - N5DFT). Expresso minha gratidão à minha orientadora Monica Castoldi Borlini Gadioli e a pesquisadora Mariane Costalonga de Aguiar pelo seu apoio inestimável e orientação ao longo deste trabalho. Sua dedicação, conhecimento e paciência foram fundamentais para o desenvolvimento deste artigo.

## **7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ABIROCHAS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS - Balanço do setor brasileiro de rochas ornamentais e de revestimento em 2023.

AENOR – ASSOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. UNEEM 14617 – Piedra aglomerada. Métodos de ensayo. Parte 1: Determinación de la densidad aparente y la absorción de agua, 2013.

AENOR – ASSOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. UNEEM 14617 - Piedra aglomerada. Métodos de ensayo. Parte 2: Determinación de la resistencia a flexión, 2016.

AENOR – ASSOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. UNEEM 14617 - Piedra aglomerada. Métodos de ensayo. Parte 9: Determinación de la resistencia al impacto, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rochas para revestimento – Requisitos para granitos. NBR 15.844. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

GADIOLI, M. C., AGRIZZI, C. P., DE AGUIAR, M. C., LIMA, R. M., PEDRUZZI, A. D., & RIBEIRO, C. E. (2023). Evaluation of the contents of ornamentals stones wastes and vegetable polyurethane resin in the production of engineered stones. *Journal of building engineering*, 78, 107594.

FILHO, C.C.; RODRIGUES, E. de P. Guia de aplicação de rochas em revestimentos. Projeto Bula. São Paulo: Abirochas, 2009.

VIDAL, F.W.H., AZEVEDO, H.C.A., CASTRO, N.F. Tecnologia de Rochas Ornamentais: Pesquisa, Lavra e Beneficiamento, Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), Rio de Janeiro, 2014.