

PRODUÇÃO E ANÁLISE DE ROCHAS AGLOMERADAS DE QUARTZITO COM DIFERENTES TIPOS E PROPORÇÕES DE RESINAS POLIMÉRICAS

PRODUCTION AND ANALYSIS OF QUARTZITE AGGREGATED STONES WITH DIFFERENT TYPES AND PROPORTIONS OF POLYMER RESINS

Ryan de Jesus Ferreira

Aluno de Graduação da Engenharia de Minas 6º período
Instituto Federal do Espírito Santo
Período PIBITI/CETEM: setembro de 2023 a agosto de 2024
ryan-ferreira@outlook.com.br

Mariane Costalonga de Aguiar

Orientadora, Química, D.Sc.
maguiar@cetem.gov.br

Rondinelli Moulin Lima

Coorientador, Engenheiro Químico, D.Sc.
rlima@cetem.gov.br

RESUMO

A mineração de rochas ornamentais compreende a extração do bloco do maciço rochoso e seu subsequente beneficiamento, que inclui a serragem e o polimento para produção de chapas. Essa atividade gera detritos categorizados como "estéril" na extração e "rejeito" no beneficiamento, conforme a ABNT 17100 (2023). Para mitigar seu impacto ambiental, esses materiais podem ser aproveitados na fabricação de materiais compósitos, oferecendo-lhes um destino sustentável. Este trabalho tem como objetivo produzir rochas aglomeradas utilizando rejeitos de quartzito e diferentes tipos de resinas (Epóxi, PUV e Poliéster) para avaliar o impacto da quantidade e do tipo de resina na absorção de água e na resistência mecânica das placas. Os rejeitos foram coletados e separados em partículas grossas, médias e finas. Três tipos de resinas foram analisados em três diferentes porcentagens (10%, 12,5% e 15%), resultando na produção de 27 rochas. As rochas foram produzidas pelo método de termo-vibro-compressão a vácuo. A densidade aparente, absorção de água e a resistência mecânica foram determinadas segundo a norma. Os resultados indicaram que tanto a quantidade quanto o tipo de resina influenciam significativamente nas propriedades físicas das rochas aglomeradas, proporcionando alternativas sustentáveis e econômicas para o setor de rochas ornamentais, promovendo a reciclagem de resíduos e contribuindo para a economia circular.

Palavras-chave: rochas aglomeradas; rejeitos de quartzito; resinas poliméricas.

ABSTRACT

The mining of ornamental stones involves the extraction of the block from the stone mass and its subsequent processing, which includes sawing and polishing to produce slabs. This activity generates waste categorized as "quarry waste" during extraction and "reject" during processing, according to ABNT 17100 (2023). To mitigate their environmental impact, these materials can be used to manufacture composite materials, offering them a sustainable destination. This work aims to produce agglomerated stones using quartzite waste and different types of resins (Epoxy, PUV and Polyester) to evaluate the impact of the quantity and type of resin on water absorption and mechanical resistance of the slabs. The waste was collected and separated into coarse, medium and fine particles. Three types of resins were analyzed in three different percentages (10%, 12.5% and 15 wt. %), resulting in the production of 27 stones. The stones were produced using the vacuum thermo-vibro-compression method. The apparent density, water absorption and mechanical resistance were determined according to the standard. The results indicated that

both the quantity and type of resin significantly influence the physical properties of agglomerated stones, providing sustainable and economical alternatives for the ornamental stone sector, promoting waste recycling and contributing to the circular economy.

Keywords: agglomerated stones; quartzite waste; polymeric resins.

1. INTRODUÇÃO

A mineração de rochas ornamentais envolve dois processos principais: a etapa da lavra, que é a extração do bloco do maciço rochoso, e a etapa do beneficiamento, onde o bloco extraído é serrado e, finalmente, as chapas são polidas. Esta atividade gera uma grande quantidade de detritos, que são classificados de acordo com a etapa em que são gerados. De acordo com a ABNT 17100 (2023), os materiais *in natura* resultantes da etapa de extração (lavra) são denominados "estéril", enquanto aqueles gerados na etapa de beneficiamento são chamados de "rejeito", onde popularmente são conhecidos como resíduos.

Neste contexto, a utilização desses resíduos na fabricação de material compósito, como a rocha aglomerada, é uma forma de atribuir um destino sustentável a esses materiais (FERNANDES, 2023). A rocha aglomerada é constituída pela agregação de resíduos da rocha natural (pó e particulado grosso) com uma resina polimérica, segundo a EN 14618 (AENOR, 2011).

A redução de custos com a destinação de resíduos e a diminuição da necessidade de extração de novas matérias-primas podem tornar o processo produtivo mais competitivo. Adicionalmente, a inovação tecnológica na utilização de compósitos pode abrir novos mercados e aplicações, ampliando as oportunidades de negócios no setor de rochas ornamentais e contribuindo para o desenvolvimento de uma economia mais circular, resiliente, sustentável e eficiente (VIDAL, et al. 2014; SILLANPÄÄ, M.; NCIBI, C, 2019).

2. OBJETIVO

O objetivo do trabalho foi produzir rochas aglomeradas com rejeitos de quartzito variando a quantidade de três tipos diferentes de resinas (Epóxi, Poliuretano vegetal oriunda do óleo de mamona (PUV) e Poliéster) e assim avaliar se a quantidade e o tipo de resina impactam na absorção de água e a resistência mecânica das placas de rocha aglomerada.

3. METODOLOGIA

O material denominado como quartzito foi coletado em uma empresa de beneficiamento de rochas ornamentais em Cachoeiro de Itapemirim-ES. Foram coletados o casqueiro, proveniente do esquadreamento dos blocos e o fino proveniente do tear multifio.

As partículas grossas e médias são provenientes do casqueiro, e as partículas fina proveniente do fino do multifio. Foi utilizado as faixas granulométricas: grosso (2,38 a 0,707 mm), médio (0,707 a 0,063 mm) e fino (< 0,063 mm).

Para produção das rochas utilizou-se um empacotamento de 66,66% de grosso, 16,66% de médio e 16,66% de fino. AGRIZZI (2020) em seus estudos, demonstrou que essa combinação é a mais estável e apresenta os melhores resultados em termos de absorção de água e resistência mecânica.

Foram utilizados 3 tipos de resina: Epóxi, resina poliuretano vegetal oriunda do óleo da mamona (PUV) e poliéster, onde foram analisadas 3 combinações de porcentagem de resinas, 10%, 12,5% e 15%, na qual foram produzidas 3 rochas para cada combinação de resina e porcentagem, totalizando a produção de 27 rochas.

As rochas foram produzidas por meio do método de termo-vibro-compressão a vácuo. A Tabela 1 apresenta as condições de compressão, temperatura e tempo de compressão.

Tabela 1: Condições de produção.

	Epóxi	PUV	Poliéster
Prensa	15T	15T	15T
Temperatura	100°C	70°C	110°C
Tempo de Prensagem	20 min	40 min	20 min

A rocha foi produzida com dimensões de 200 x 200 mm e espessura média de 15 mm. Para determinar a densidade aparente e a absorção de água das rochas aglomeradas, foram seguidos os procedimentos descritos na norma europeia EN 14617-1 (AENOR, 2013).

Foi realizado o ensaio de resistência à flexão 3 (três) pontos, segundo a norma EN 14617- 2 (AENOR, 2016). Foram utilizados corpos de prova com dimensões de 200mm x 50 mm e espessura média de 15mm. O teste foi conduzido utilizando uma prensa hidráulica Forney modelo F-502F-CPILOT, com uma capacidade de 50 kN e uma taxa de carregamento de 0,25 MPa/s.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta os resultados de densidade aparente, absorção de água, porosidade e resistência a flexão das rochas aglomeradas produzidas

Tabela 2: Índices físicos e resistência à flexão das rochas aglomeradas.

	% Resina	Densidade Aparente (kg/m³)	Porosidade Aparente (%)	Absorção D'água (%)	Resistência à Flexão (MPa)
Mamona	10	2.315,63	0,20	0,09	16,66
	12,5	2.268,67	0,21	0,09	17,82
	15	2.265,86	0,24	0,10	15,38
Poliéster	10	2.206,11	1,02	0,47	3,73
	12,5	2.284,43	0,75	0,33	10,44
	15	2.326,64	0,33	0,14	16,19
Epóxi	10	2.274,68	0,10	0,05	23,19
	12,5	2.314,76	0,17	0,07	28,44
	15	2.303,46	0,14	0,06	31,25

Conforme apresentado na Tabela 2, as densidades das rochas aglomeradas variam entre 2.200 kg/m³ e 2.330 kg/m³, valor inferior à densidade das rochas naturais de quartzito, que está entre 2.600 kg/m³ e 2.700 kg/m³. Essa diferença é atribuída à incorporação de resinas, que possuem densidades menores em comparação com o material particulado aglomerado. Observa-se que, à medida que aumenta o teor de resina, a densidade das rochas aglomeradas diminui.

O aumento do teor de resina diminuiu a porosidade das placas fabricadas com poliéster, como observa-se na Tabela 2, enquanto se manteve quase constante para as outras resinas. Como a absorção de água está correlacionada com a porosidade, observou-se um comportamento similar na absorção de água.

O incremento do teor de resina preenche completamente os poros entre as partículas de quartzito, resultando em uma redução da porosidade e da absorção de água. Para as placas de mamona e epóxi com 10% de resina, acredita-se que o preenchimento dos poros já tenha ocorrido quase totalmente, levando a valores praticamente constantes (GADIOLI et al. 2023).

De acordo com a ABNT NBR 15844 (2015), as rochas ornamentais devem apresentar absorção de água inferior a 0,4%, porosidade inferior a 1,0% e resistência à flexão 3 pontos superior a 10

MPa. Nota-se que apenas a rocha fabricada com poliéster com 10% de resina não atendeu a esse requisito. Isto ocorreu devido a não adesão satisfatória da resina com o resíduo na porcentagem mais baixa (10%). Com o aumento da proporção da resina poliéster, a adesão das partículas foram se tornando satisfatórias.

Observa-se que o aumento da concentração de resina Epóxi e Poliéster resultou em um aumento na resistência à flexão. A resina de mamona manteve-se praticamente constante, com uma resistência média em torno de 16,5 MPa. Conforme Chiodi Filho e Rodriguez (2009), rochas ornamentais com resistência à flexão acima de 20 MPa são consideradas de alta resistência para a construção civil. Entre os materiais testados, a resina Epóxi apresentou o melhor desempenho, alcançando uma resistência média à flexão de 31,25 MPa com 15% de proporção.

A Figura 1, 2, 3 e 4 apresentam os gráficos padronizados de Pareto para avaliar a influência das das variáveis (tipos e concentrações resinas) e suas interações sobre cada uma das respostas analisadas (densidade, absorção de água, porosidade e resistência mecânica), para um nível de significância de 5%.

Nota-se que a concentração não apresenta influência significativa na densidade, mas existe uma interação da concentração com o tipo de resina. Já para as outras variáveis respostas tanto a resina quanto a concentração influenciaram significativamente nas repostas. Dessa forma conclui-se que a qualidade das rochas produzidas tem influência direta com o tipo de resina utilizada e com a concentração.

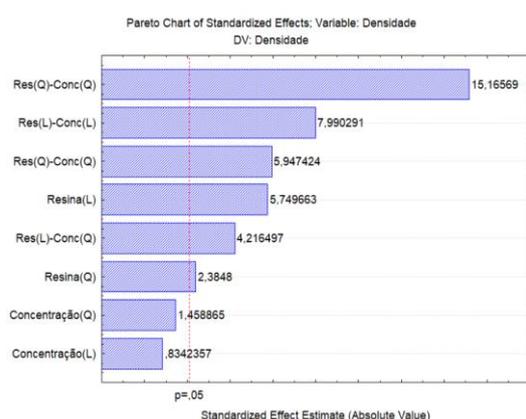


Figura 1: Gráfico de Pareto (densidade).

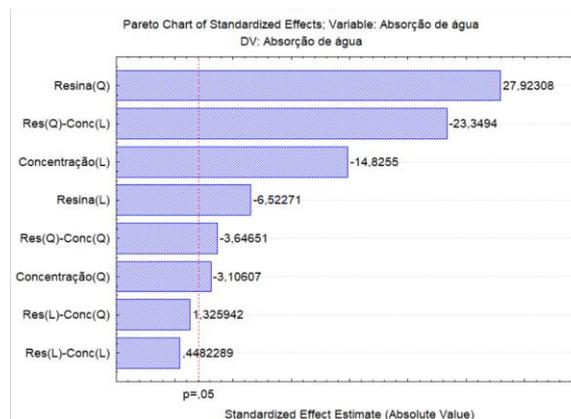


Figura 2: Gráfico de Pareto (absorção de água).

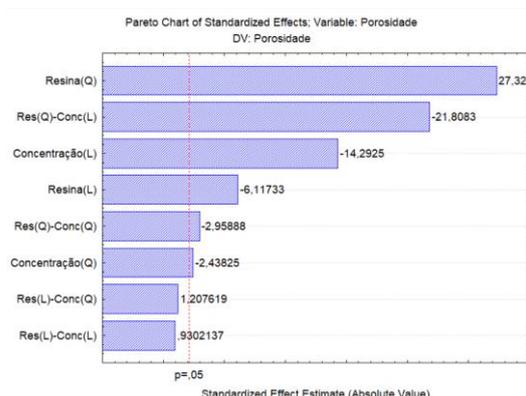


Figura 3: Gráfico de Pareto (porosidade).

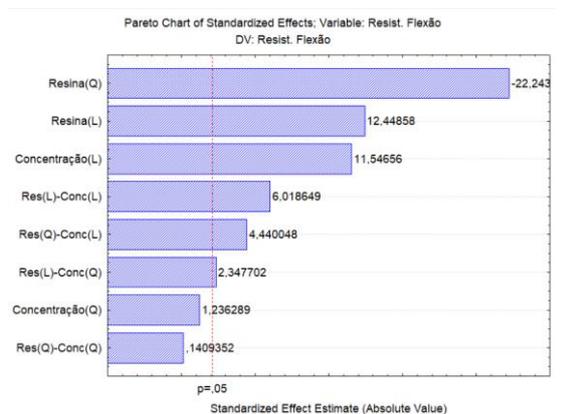


Figura 4: Gráfico de Pareto (resistência à flexão).

5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que o aumento do teor de resina diminui a porosidade e a absorção de água das rochas aglomeradas, especialmente com resina de poliéster. As rochas produzidas atenderam às especificações de absorção de água, porosidade e resistência mecânica propostas pela norma da ABNT.

Verificou-se pelo gráfico de Pareto que os tipos e concentrações de resinas tem influência direta na qualidade das rochas aglomeradas produzidas. Porém, novas análises devem ser realizadas para avaliar qual a melhor concentração deve ser utilizada.

O uso dos rejeitos e estéreis na produção de rochas aglomeradas não só promove a sustentabilidade e a economia circular, mas também oferece uma alternativa econômica e competitiva para o setor de rochas ornamentais. A inovação tecnológica neste campo pode abrir novos mercados e ampliar as oportunidades de negócios, contribuindo para um desenvolvimento mais resiliente e eficiente da indústria.

6. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CNPq (processo nº 115011/2023-4) pela concessão da bolsa. Expresso minha gratidão às minhas orientadoras, Mariane Costalonga de Aguiar e Monica Castoldi Borlini Gadioli, pelo valioso apoio e orientação. Agradeço também aos pesquisadores Rondinelli Moulin Lima e ao bolsista de iniciação científica Bruno Mardegan pela colaboração indispensável neste trabalho.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR 15.844: Rochas para revestimento - Requisitos para granitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ABNT. NBR 17100-1: Gerenciamento de resíduos. Parte 1: Requisitos gerais. ABNT, 2023.

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

AENOR - ASSOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. UNE-EN 14618. Piedra aglomerada: Terminología y clasificación. Madri – Espanha. 2011.

AGRIZZI, C.P. Produção e caracterização de rocha artificial com resíduos da lavra e beneficiamento de quartzito. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes-RJ. 2020.

CHIODI, F.C.; RODRIGUES, E.P. Guia de aplicação de rochas em revestimentos. São Paulo: Abirochas, 2009.

FERNANDES, M.C.S. Desenvolvimento de rocha aglomerada com resíduo do processamento de rochas ornamentais.2023. Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal do Espírito Santo (Brasil).

GADIOLI, M. C. B.; AGRIZZI, C.P.; AGUIAR, M.C.; LIMA, R.M.; PEDRUZZI, A.D.; RIBEIRO, C.E.G. Evaluation of the contents of ornamentals stones wastes and vegetable polyurethane resin in the production of engineered stones. JOURNAL OF BUILDING ENGINEERING, vol. 78, p. 107594, 2023.

SILLANPÄÄ, M.; NCIBI, C. The Circular Economy: Case Studies about the Transition from the Linear Economy. Department of Green Chemistry, LUT University, Finland: Academic Press, 2019. 344 p.