

# ANÁLISE DA INTERAÇÃO RESÍDUO-RESINA PARA A PRODUÇÃO DE ROCHAS AGLOMERADAS

## ANALYSIS OF THE WASTE-RESIN INTERACTION FOR THE PRODUCTION OF AGGLOMERATED STONES

**Caio Otávio Raposo de Oliveira**

Aluno de Graduação da Engenharia Química, 10º período -UFES  
Período PIBITI/CETEM: setembro de 2023 a agosto de 2024  
caioroliveira@gmail.com

**Mariane Costalonga de Aguiar**

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

**Monica Castoldi Borlini Gadioli**

Coorientadora, Engenheira Química, D.Sc.  
mborlini@cetem.gov.br

**Lilian Gasparelli Carreira**

Coorientadora, Engenheira Química, D.Sc.  
lcarreira83@gmail.com

### RESUMO

O crescimento contínuo da demanda por rochas ornamentais tem impulsionado a expansão da extração e beneficiamento no setor, gerando uma quantidade significativa de resíduos sólidos, o que afeta a produtividade e causa impactos ambientais adversos. Para mitigar esses efeitos, a produção de rochas aglomeradas a partir de resíduos do processamento de rochas ornamentais surge como uma alternativa viável. O objetivo deste trabalho foi analisar a interação dos resíduos de rochas ornamentais provenientes do beneficiamento com as resinas epóxi e poliéster presentes nas placas de rocha aglomerada, por meio da Análise Termogravimétrica (TGA), de forma a se observar propriedades térmicas e mecânicas como a estabilidade e degradabilidade térmica. A Análise Termogravimétrica (TGA) foi empregada para avaliar a interação entre os resíduos e as resinas, fornecendo uma compreensão detalhada das propriedades e desempenho das rochas aglomeradas produzidas. Ambas as resinas, Epóxi e Poliéster, se mostraram estáveis termicamente quando dispostas nas rochas aglomeradas, com destaque para a resina Epóxi, que forneceu a menor perda percentual de massa e estabilidade térmica até os 300 ° C, o que demonstra a vasta aplicabilidade que as rochas aglomeradas possuem.

**Palavras-chave:** rochas aglomeradas, análise termogravimétrica, resinas poliméricas.

### ABSTRACT

The continuous growth in demand for ornamental stones has driven the expansion of extraction and processing in the sector, generating a significant amount of solid waste, which affects productivity and causes adverse environmental impacts. To mitigate these effects, the production of agglomerated stones from wastes from the processing of ornamental stones appears as a viable alternative. The objective of this work was to analyze the interaction of ornamental stone waste from processing with epoxy and polyester resins present in agglomerated stone slabs, through Thermogravimetric Analysis (TGA), in order to observe thermal and mechanical properties such as stability and thermal degradability. Thermogravimetric Analysis (TGA) was employed to evaluate the interaction between waste and resins, providing a detailed understanding of the properties and performance of the agglomerated stones produced. Both resins, Epoxy and Polyester, proved to be thermally stable when placed on agglomerated stones, with emphasis on the Epoxy resin, which provided the lowest percentage loss of mass and thermal stability up to 300 ° C, which demonstrates the wide applicability that agglomerated stones have.

**Keywords:** agglomerated stones, thermogravimetric analysis, polymer resins.

## **1. INTRODUÇÃO**

A demanda por rochas ornamentais está em constante crescimento, o que leva a um aumento proporcional na escala de extração e beneficiamento desse setor. Apenas entre janeiro e março de 2024, o Brasil exportou 480,5 mil toneladas de rochas, gerando uma receita de US\$ 276,6 milhões. Esses números representam um crescimento de 31,9% no volume exportado e de 23,8% na receita em comparação ao mesmo período de 2023 (ABIROCHAS, 2024).

O setor de rochas ornamentais é responsável por uma grande geração de resíduos sólidos ao longo de sua cadeia produtiva (extração, beneficiamento e polimento), com perdas materiais que atingem a faixa de 65 a 75%, em média, impactando não somente a produtividade da operação, como o meio ambiente (CAMPOS et al. 2009). Isso ocorre devido à dificuldade do desenvolvimento tecnológico do setor em acompanhar, de forma sustentável, o crescimento da demanda de exportação nos últimos anos, e também à falta de planejamento operacional, que, em muitos casos, pode levar a despejos dos rejeitos de lavra em locais inadequados, como em encostas de morro, locais dos drenos ou nas próprias pedreiras (CAMPOS et al. 2009).

Uma possível alternativa para mitigar o impacto causado pelos resíduos sólidos gerados nos processos de extração de rochas, é a utilização dos mesmos para a produção de rochas artificiais, também chamadas de rochas aglomeradas. Ribeiro (2011) realizou um estudo sobre rochas aglomeradas, no qual utilizou rejeitos de mármore provenientes da extração de rochas ornamentais, juntamente com resina poliéster insaturada e um processo de vibro compressão a vácuo para a produção das mesmas, obtendo-se propriedades físicas e mecânicas superiores às encontradas em rochas ornamentais.

Dentre as resinas poliméricas mais utilizadas na produção de rochas aglomeradas estão as resinas epóxi e poliéster, cada uma com peculiaridades e características distintas. A resina epóxi, conhecida por sua alta resistência química e à corrosão, dureza, flexibilidade e excelente adesão a diversos substratos, é amplamente utilizada como aglomerante em argamassas e concretos, além de atuar como revestimento protetor de superfícies (TEZUKA, 1979). Já as resinas poliéster insaturadas são uma família de polímeros formados pela reação de ácidos orgânicos dicarboxílicos e glicóis, resultando em moléculas de cadeia longa e linear e, por serem termorrígidas, oferecem vantagens como baixo custo, estabilidade térmica e dimensional, resistência química a altas temperaturas e facilidade para moldar peças de grandes dimensões (SANCHEZ, et al. 2010).

Uma das características essenciais associadas à qualidade das rochas aglomeradas, bem como às suas propriedades mecânicas, é a interação entre o resíduo mineral e a resina utilizada. Dessa forma, fez-se necessária a utilização da Análise Termogravimétrica (TGA), uma técnica termoanalítica que exprime a variação de massa das amostras em função de uma variação controlada de temperatura, que auxiliou na observação dos efeitos interativos presentes nos materiais.

## **2. OBJETIVO**

O objetivo deste trabalho foi analisar a interação dos resíduos de rochas ornamentais provenientes do beneficiamento com as resinas epóxi e poliéster presentes nas placas de rocha aglomerada, por meio da Análise Termogravimétrica (TGA), de forma a se observar propriedades térmicas e mecânicas como a estabilidade e degradabilidade térmica.

## **3. METODOLOGIA**

Nesse estudo utilizou-se resíduos de rochas ornamentais (quartzito), provenientes do esquadrejamento dos blocos, gerando partículas de granulometria grossa e média, e do tear multifio, gerando as partículas finas. As resinas utilizadas foram Epóxi e Poliéster, para a produção de duas placas de rocha aglomerada.

### **3.1 Produção das Placas de Rochas Aglomeradas**

Os resíduos de quartzito foram divididos em três faixas granulométricas obtidas por peneiramento: grosso (com partículas entre 2,38 a 0,707 mm), médio (entre 0,707 a 0,063 mm), e fino (incluindo partículas passantes na peneira de 0,063 mm). A proporção dos tipos de resíduos usada na produção das rochas aglomeradas foi de 66,66% de grosso, 16,67% de médio e 16,67% de fino, e a proporção entre resíduo e resina foi de 90% e 10%, respectivamente.

### **3.2 Adição das Resinas Epóxi e Poliéster**

Para a produção das rochas aglomeradas foi necessário misturar-se as resinas com os respectivos catalisadores, para que conferisse as propriedades mecânicas desejadas no produto final. Para a resina Epóxi foi misturado 80 g de resina com 40 g de catalisador, e para a resina Poliéster foi misturado 118,8 g de resina com 1,2 g de catalisador.

### **3.3 Prensagem e Pós-cura**

Ambas placas de rocha foram produzidas pelo método de vibro-termo-compressão à vácuo, submetidas a uma prensagem de 15 ton. Porém, para a placa de Epóxi, utilizou-se uma temperatura de 100 °C, por 20 min, e pós-cura de 5 horas à 60 °C em estufa, enquanto para a placa de Poliéster, utilizou-se uma temperatura de 110 °C, por 20 min, e pós-cura de 1 dia à temperatura ambiente (25 °C), seguido de 3 horas à 80 °C em estufa.

### **3.4 Caracterização das Amostras**

Após as amostras serem preparadas, foi realizada a análise de Termogravimetria (TGA) das resinas endurecidas separadamente e das rochas aglomeradas fabricadas. As análises de Termogravimetria (TGA) foram realizadas sobre quatro amostras, nomeadas de A1 até A4, sendo elas:

A1 – Resíduo em pó de rocha produzida com resina Epóxi;

A2 – Resina Epóxi endurecida em pó;

A3 – Resíduo em pó de rocha produzida com resina Poliéster;

A4 – Resina Poliéster endurecida em pó.

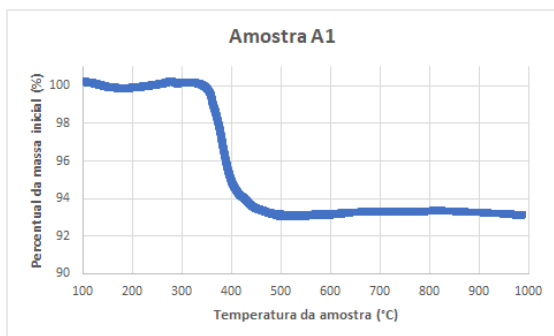
Para a obtenção dos termogramas, foi utilizado o equipamento da marca Setaram, modelo LabSys Evo, que opera em atmosfera inerte, situado na Universidade Federal do Espírito Santo – UFES. A análise foi conduzida em uma faixa de temperatura de 25 °C a 1000 °C, com uma taxa de 15 °C/min, abrangendo toda amplitude do equipamento.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

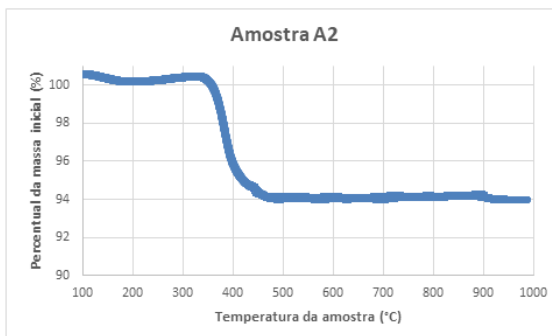
As Figuras 1 a 4, mostram a variação de massa percentual das amostras em função do aumento de temperatura. Os principais pontos a serem analisados em gráficos TGA são:  $T_{inicial}$ , que consiste na menor temperatura em que se identifica o início da degradação térmica,  $T_{final}$ , sendo a menor temperatura onde se observa o fim da degradação térmica.

Nas Figuras 1 e 2, é possível observar quanto a temperatura influencia na degradação térmica de uma rocha aglomerada feita com resina Epóxi e na degradação da resina pura endurecida, respectivamente. Por meio da curva da Figura 1 identifica-se  $T_{inicial} = 345$  °C e  $T_{final} = 475$  °C, com cerca de 7% de perda de massa. Na Figura 2 percebe-se um comportamento similar ao gráfico anterior, com  $T_{inicial} = 343$  °C e  $T_{final} = 463$  °C, com 6% de perda de massa. Essa faixa característica de degradação da resina epóxi é evidenciada no trabalho de Nunes (2013), que trata sobre a cinética de degradação de um compósito formado por resina epóxi e fibra de carbono por meio de alguns tipos de análise, incluindo a Análise Termogravimétrica. Com um procedimento similar ao realizado neste trabalho, a autora identificou faixas de temperatura e

degradações mássicas totais próximas das encontradas acima, e concluiu que a resina epóxi contida em compósitos pode alcançar altos valores de estabilidade térmica, com aplicações sem degradação térmica até os 300 °C.

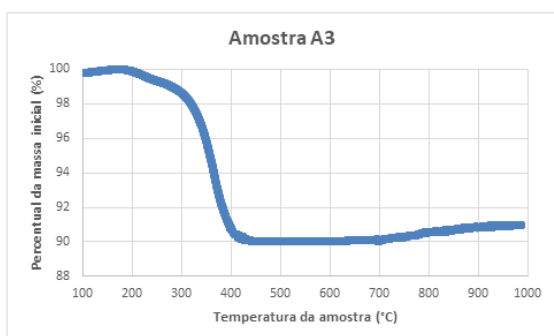


**Figura 1:** Gráfico TGA da amostra A1  
(Resíduo de rocha com Epóxi)

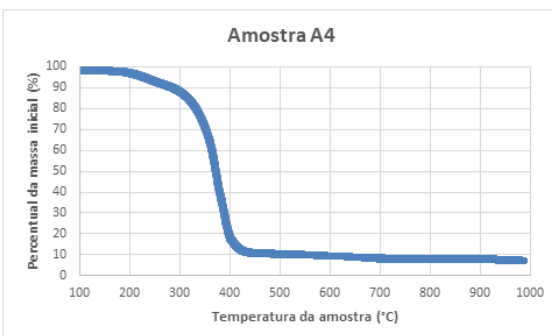


**Figura 2:** Gráfico TGA da amostra A2  
(Resina Epóxi em pó)

Nas Figuras 3 e 4 estão os gráficos TGA da amostra contendo resíduo de rocha com Poliéster e da resina pura endurecida, respectivamente. Na Figura 3 observa-se uma degradação térmica de 10% em relação à massa inicial, na faixa entre  $T_{inicial} = 200$  °C e  $T_{final} = 410$  °C, o que demonstra uma menor estabilidade térmica quando comparada com a rocha contendo resina Epóxi. A principal diferença entre as resinas pode ser visualizada na Figura 4, onde a faixa se mantém entre 200 e 410 °C, porém percebe-se uma degradação relativamente maior quando comparada à resina Epóxi pura (Figura 2), totalizando 90% de perda em massa. A comparação entre as resinas Epóxi e Poliéster é citada no trabalho de Kersting (2004), onde o autor destaca vantagens e limitações entre várias resinas, entre elas, a estabilidade térmica da resina Epóxi frente as outras, e as boas propriedades químicas e elétricas da resina Poliéster. Vale ressaltar que a degradação apresentada anteriormente ocorre exclusivamente nas resinas, visto que o quartzito suporta, de forma estável, temperaturas superiores as utilizadas nos experimentos (até 1000 °C).



**Figura 3:** Gráfico TGA da amostra A3  
(Resíduo de rocha com Poliéster)



**Figura 4:** Gráfico TGA da amostra A4  
(Resina Poliéster em pó)

## 5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos e comparações realizadas foi possível relacionar a interação entre resíduos e resinas poliméricas, com propriedades como a estabilidade térmica e faixa de aplicação das rochas aglomeradas. Tanto a rocha produzida com resina Epóxi quanto a resina pura apresentaram boa estabilidade térmica e baixa degradação até pelo menos 300 °C. Já a rocha produzida com resina Poliéster e a resina pura de Poliéster se mostraram mais sensíveis a altas temperaturas, começando a degradação em faixas menores (entre 200 e 410 °C) e com perdas percentuais maiores quando comparados com a resina Epóxi. Vale ressaltar que as

amostras foram expostas a situações intensas de temperatura, e o fato de não haver degradação térmica em algumas faixas, não viabiliza, necessariamente, o uso seguro do material nas mesmas, devendo-se sempre analisar criteriosamente outras características inerentes da aplicação.

## 6. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CNPQ, processo número 135566/2023-1, pelo apoio financeiro e pela bolsa de iniciação científica concedida, à UFES, especialmente à Prof.<sup>a</sup> Lilian Gasparelli Carreira e ao Laboratório de Análises Químicas e Caracterização de Materiais/CCAIE/UFES pelo apoio com as análises realizadas, e as pesquisadoras Mariane Costalonga de Aguiar e Monica Castoldi Borlini Gadioli, pelo direcionamento e apoio prestado.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIROCHAS - Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. Síntese das Exportações Brasileiras de Rochas Ornamentais e de Revestimento no 1º Trimestre de 2024. Disponível em: < [https://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2022/01/Informe-03\\_2024-Exportacoes-1\\_Trimestre-v2.pdf](https://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2022/01/Informe-03_2024-Exportacoes-1_Trimestre-v2.pdf) > Acesso em maio. 2024.

CAMPOS, A.R.; CASTRO, NF.; VIDAL, F.W.H.; BORLINI, M.C. Tratamento e aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais e de revestimento, visando mitigação de impacto ambiental. In: VII Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. Fortaleza - CE. Novembro de 2009.

KERSTING, D.F. Avaliação de Resinas Epóxi para Fabricação de materiais compósitos pelo processo de pultrusão. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Porto Alegre. RS, UFRGS, 2004.

NUNES, L.M. Cinética de degradação do sistema Resina Epóxi/Fibra de Carbono. Trabalho de Graduação (Engenharia dos Materiais). Guaratinguetá. SP, Universidade Estadual Paulista, [s.n.], 2013.

RIBEIRO, C.E.G. Produção de rocha artificial utilizando resíduo da indústria de mármore em matriz poliéster. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências dos Materiais). Campos dos Goytacazes. RJ, UENF, 2011. 91 p.

SANCHEZ, E.M.S.; CAVANI, C.S.; LEAL, C.V.; SANCHEZ, C.G. Compósito de resina de poliéster insaturado com bagaço de cana-de-açúcar: influência do tratamento das fibras nas propriedades. Polímeros, vol. 20, n. 3, p. 194-200, 2010.

TEZUKA, Y. Concretos polímeros. São Paulo: IPT, 1979. 29p.