

UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DE MÁRMORE COMO INSUMO PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL

Camila Gonçalves Luz Nunes ¹
Edmilson Dantas da Silva Filho ²
Ana Maria Gonçalves Duarte ³

RESUMO

O Brasil destaca-se no cenário mundial como um dos principais produtores de rochas ornamentais, como granito, mármore, gnaiss e ardósia, sendo o Estado do Espírito Santo o maior responsável por essa produção. Apesar da significativa contribuição econômica, a indústria de rochas ornamentais gera grandes volumes de resíduos sólidos, os quais, quando descartados inadequadamente, podem causar sérios impactos ambientais e à saúde humana. Durante o beneficiamento das rochas, os resíduos são gerados principalmente em forma de lama — composta por pó de pedra, cal, água e granalha metálica — e em fragmentos de rochas. Com frequência, esses materiais são indevidamente despejados em corpos hídricos, como rios, lagos e córregos. Diante disso, e considerando a busca por soluções de baixo custo e alta qualidade na construção civil, este estudo teve como objetivo analisar as características físicas, químicas e mineralógicas do resíduo de mármore — uma rocha metamórfica amplamente explorada no país — por meio de ensaios laboratoriais, visando avaliar sua viabilidade como insumo alternativo para esse setor. Os resultados indicaram que o resíduo apresenta composição química semelhante a matérias-primas utilizadas na produção de concretos e argamassas, com presença de fases mineralógicas compatíveis, como calcita e dolomita. Além disso, seu comportamento frente a elevações de temperatura mostrou-se estável, não comprometendo sua aplicação. Conclui-se, portanto, que o reaproveitamento do resíduo de mármore em pó é viável, possibilitando sua transformação em subproduto útil na construção civil, promovendo economia, agregando valor ao resíduo e contribuindo para a mitigação de impactos ambientais.

Palavras-chave: Rochas ornamentais, Resíduo de mármore, construção civil.

INTRODUÇÃO

A indústria de rochas ornamentais no Brasil é de grande relevância para a economia nacional, com destaque para os estados do Espírito Santo e Minas Gerais. O Espírito Santo se posiciona como o maior produtor e exportador de rochas ornamentais do país, sendo responsável por cerca de 94,6% das exportações brasileiras de mármore e granitos, com um valor aproximado de US\$ 860 milhões em 2023 (ES, 2024). Este estado concentra também cerca de 37% da produção nacional de granito, sendo

¹ Doutora pelo Programa de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba- UFPB, cgln@academico.ufpb.br;

² Doutor pelo Curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Campina Grande- UFCG, edmilson.silva@ifpb.edu.br;

³ Doutora pelo Curso de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande- UFCG, ana.duartemendonca@professor.ufcg.edu.br.



reconhecido internacionalmente pela qualidade e diversidade dos produtos oriundos de sua indústria de rochas ornamentais. Em segundo lugar tem-se o estado de Minas Gerais com aproximadamente 21%, produzindo uma variedade maior de rochas (BANDES, 2019).

No entanto, o processo de extração e beneficiamento das rochas ornamentais gera grandes volumes de resíduos, principalmente a lama abrasiva resultante do corte e polimento dos blocos de mármore e granito. Quando descartados de maneira inadequada, como em corpos hídricos, como rios, lagoas e córregos, esses resíduos causam sérios impactos ambientais (BARBOSA *et al.*, 2013).

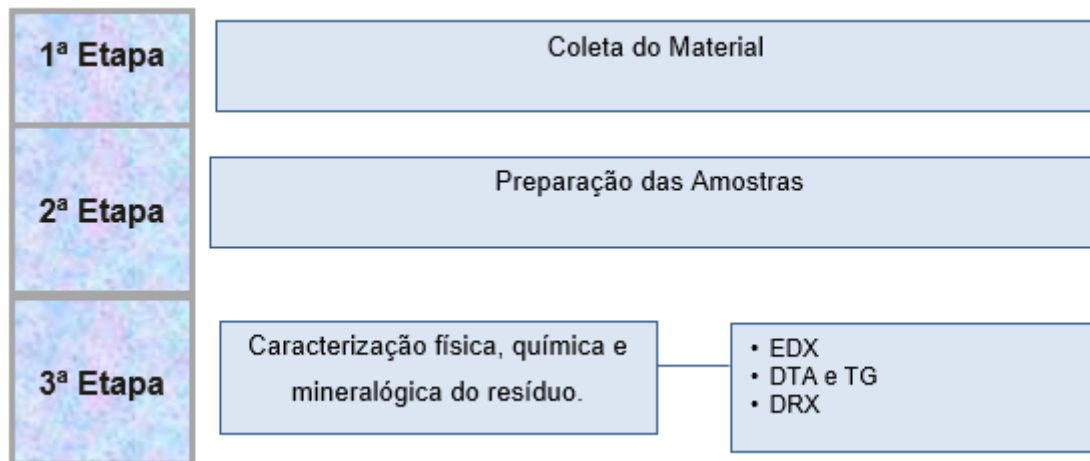
O aproveitamento dos resíduos de mármore e granito como insumos na construção civil pode representar uma solução eficiente para a gestão de resíduos industriais e para a produção de materiais sustentáveis. De acordo com Apolinário *et al.* (2013), esses resíduos possuem alta estabilidade e resistência à abrasão, propriedades que os tornam ideais para aplicações em revestimentos, pisos e outros componentes da construção civil. Além disso, a reutilização desses resíduos contribui para a economia circular, diminuindo a dependência de matérias-primas naturais e impulsionando a sustentabilidade no setor.

Diante desse cenário, este estudo visa aprofundar a análise da viabilidade do uso do resíduo de mármore, por meio de ensaios laboratoriais para caracterizar suas propriedades químicas, físicas e mineralógicas, e avaliar sua aplicabilidade na indústria da construção civil.

METODOLOGIA

O processo metodológico da pesquisa foi estruturado em etapas sequenciais, as quais estão ilustradas no fluxograma da Figura 1.



Figura 1: Fluxograma com as etapas da pesquisa

As duas etapas iniciais da pesquisa consistiram na coleta e preparação das amostras (processo que incluiu a secagem e homogeneização do material). O material utilizado foi o resíduo de mármore, proveniente do processo de beneficiamento do mármore na empresa Fuji S/A Mármore e Granitos.

Na terceira etapa, foram realizados ensaios para a determinação das propriedades físicas, químicas e mineralógicas do resíduo de mármore, com ênfase nas análises granulométrica, química por fluorescência de raios-X (EDX), difração de raios-X (DRX), e análises térmicas diferencial (DTA) e termogravimétrica (TG). Essas análises visam fornecer uma compreensão detalhada das características do resíduo e sua viabilidade para utilização na construção civil.

Análise Química por Fluorescência de Raios X (EDX)

Após a secagem das amostras em estufa a 110°C, estas foram passadas por uma peneira ABNT nº 200 (0,074 mm) para homogeneização do material. Em seguida, as amostras preparadas foram submetidas à análise química por fluorescência de raios-X utilizando o equipamento EDX 720 da Shimadzu. Este método permite a determinação quantitativa e qualitativa dos elementos presentes no resíduo, fornecendo dados cruciais sobre a composição química do material.

Análise Térmica Diferencial (DTA) e Termogravimétrica (TG)



As análises térmicas diferenciais (DTA) e termogravimétricas (TG) foram realizadas utilizando o equipamento BP Engenharia, Modelo RB 3000. Durante o processo, as amostras foram aquecidas a uma taxa de 12,5°C/min, até atingirem a temperatura máxima de 1000°C. O padrão utilizado nos ensaios de DTA foi o óxido de alumínio (Al_2O_3) calcinado. Essas análises são essenciais para avaliar a estabilidade térmica do resíduo e identificar suas reações endotérmicas e exotérmicas, características importantes para o uso do material na construção civil.

Difração de Raios X (DRX)

A caracterização mineralógica foi realizada por meio de difração de raios-X (DRX), utilizando o equipamento XRD 6000 da Shimadzu. A radiação utilizada foi $\text{K}\alpha$ do Cu (40kV/30mA), com velocidade do goniômetro de 2°/min e um passo de 0,02°. A interpretação dos resultados foi realizada por comparação com padrões contidos no programa computacional PDF 02 (ICDD, 2003), permitindo a identificação das fases cristalinas presentes no resíduo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos para a caracterização química por fluorescência de raios-X (EDX) do resíduo de mármore.

Tabela 1: Caracterização química por fluorescência de raios-X do resíduo de mármore

Composição	PF	CaO	MgO	SiO ₂	K ₂ O	SO ₃	Outros
Resíduo de Mármore	34,13%	51,02	10,03	2,06	1,22	0,52	1,02

PF: Perda ao Fogo.

Conforma a Tabela 1, o resíduo de pó de mármore possui uma composição majoritária de CaO (51%), MgO (10%) e SiO₂ (2%), o que indica que o material apresenta características típicas de um calcário dolomítico. A relação MgO/CaO do resíduo, que é de aproximadamente 0,19, está dentro da faixa observada para calcários dolomíticos, que geralmente variam entre 0,08 e 0,25, com teores de MgO entre 4,3% e 10,5% (SANTOS,

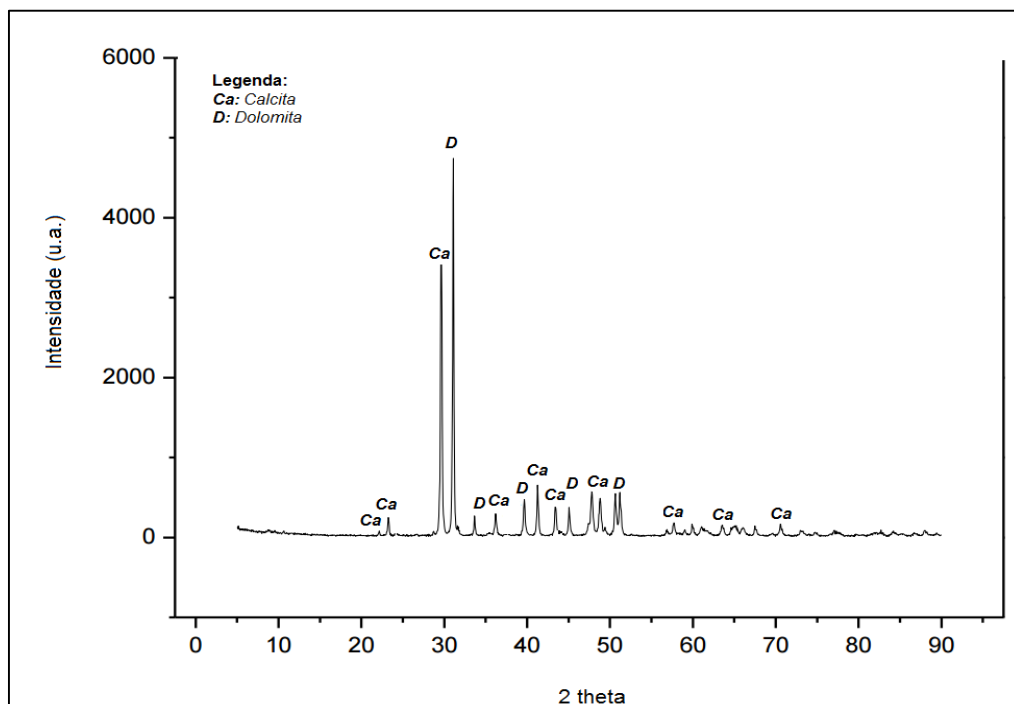


1989). Além disso, o resíduo apresenta menores concentrações de dióxido de silício (SiO_2) e óxido sulfúrico (SO_3), e uma alta perda de massa durante a calcinação, que atingiu 34%. Este valor é indicativo da liberação de CO_2 dos carbonatos, durante o processo de aquecimento.

Rodrigues *et al.* (2011) realizaram a caracterização de resíduos de mármore com foco na produção de materiais vítreos e encontraram uma composição com predominância de óxidos de CaO (58%) e MgO (31%). Os resultados obtidos por esse autor, são semelhantes aos encontrados nesta pesquisa, com o resíduo de mármore apresentando uma maior concentração de Ca (60,47%), O (26,00%) e Mg (12,62%). No entanto, foi verificado que o resíduo analisado nesta pesquisa contém menores concentrações de outros elementos, como Al (0,48%) e Si (0,43%).

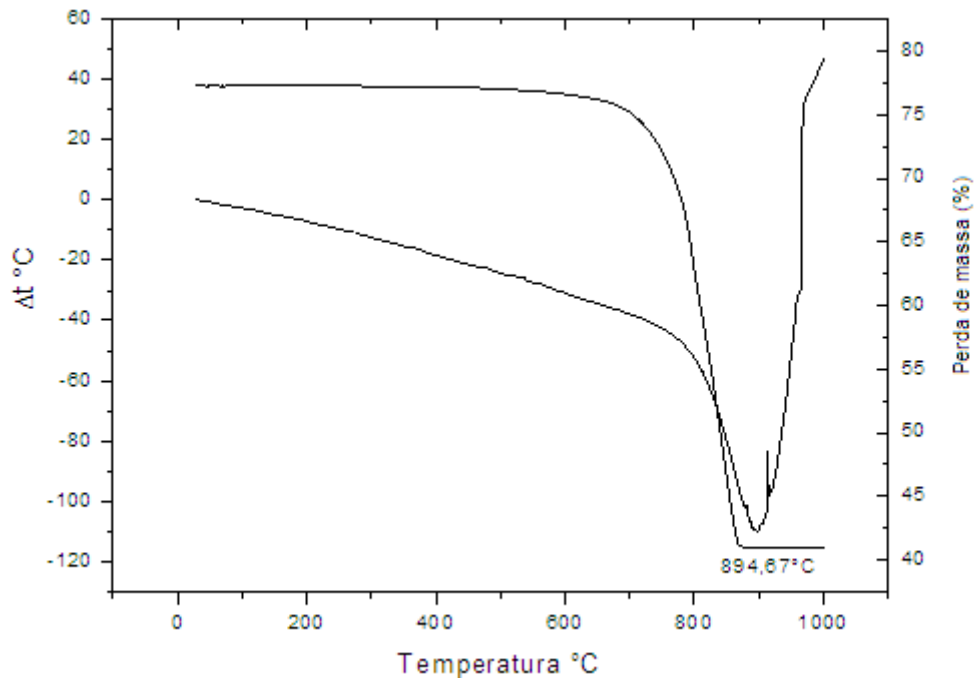
A Figura 2 ilustra o difratograma de raios-X do resíduo de mármore em pó, no qual são evidentes as fases mineralógicas principais: Calcita e Dolomita. Essas fases são típicas de rochas carbonáticas, corroborando com os resultados obtidos por Almeida (2015), que também caracterizaram um resíduo de mármore com a finalidade de utilizá-lo em materiais cerâmicos. A presença dessas fases minerais no resíduo de mármore reforça a ideia de que este material possui características que podem ser exploradas em aplicações no setor da construção civil, especialmente em compósitos cimentícios.

Figura 2: Difratograma de raios-X do resíduo de mármore em pó.



A Figura 3 apresenta as curvas de análise termodiferencial (DTA) e termogravimétrica (TG) do resíduo de mármore em pó.

Figura 3: Análise termodiferencial e termogravimétrica do resíduo de mármore em pó



A partir da Figura 3, observa-se um pico endotérmico significativo a 894,67°C, que está associado à decomposição do Carbonato de Cálcio (CaCO_3). A curva termogravimétrica revela uma perda de massa de 48,1%, o que corresponde a uma perda de 36,31 mg do material analisado. Esse comportamento térmico é característico do processo de descarbonatação do CaCO_3 , evidenciando a potencial utilidade do resíduo em aplicações que envolvem altas temperaturas, como em materiais refratários ou na indústria de cimento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos evidenciam que o resíduo de mármore apresenta uma composição química similar à de matérias-primas convencionais amplamente utilizadas na construção civil, especialmente para a produção de concretos e argamassas. A presença predominante de óxidos como CaO e MgO , aliados ao conteúdo de SiO_2 , posiciona o resíduo como uma alternativa viável para ser incorporado em diversas aplicações no setor.



Em relação às fases mineralógicas identificadas, os resultados de difração de raios-X demonstraram a presença de calcita e dolomita, que são fases típicas de rochas carbonáticas. Estas fases minerais estão presentes no cimento Portland, corroborando a possibilidade de utilização do resíduo como um substituto ou aditivo para a produção de materiais cimentícios, como concretos e argamassas.

Além disso, as análises térmicas diferencial (DTA) e termogravimétrica (TG) do resíduo de mármore indicam que o comportamento térmico do material frente a elevações de temperatura não compromete sua utilização na construção civil. A decomposição do material ocorre de maneira controlada, com perda de massa significativa apenas em temperaturas superiores a 800°C, o que o torna adequado para aplicações em materiais que exigem resistência térmica, como o concreto.

Com base nesses resultados, tem-se que o reaproveitamento do resíduo de mármore em pó é viável, transformando-o em um subproduto de valor agregado para o setor da construção civil. Além de gerar economia para as indústrias responsáveis pela geração do resíduo, esse reaproveitamento oferece um destino ambientalmente adequado, contribuindo para a redução dos impactos ambientais causados pelo descarte inadequado do resíduo.

Portanto, este estudo reforça a importância de estratégias sustentáveis para o reaproveitamento de resíduos da indústria de rochas ornamentais, não apenas como uma alternativa econômica, mas também como uma medida para a preservação do meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. R. **Reaproveitamento de resíduo de pó de mármore e chamote na produção de material cerâmico para isolamento térmico**. 2015. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes.

BARBOSA, J. F. *et al.* Avaliação da utilização de lama abrasiva gerada no beneficiamento de mármore e granito para a confecção de telhas de concreto. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, V.8, P. 30 –35, 2013.

BANDES. Rochas ornamentais no Espírito Santo: Principais informações sobre a competitividade do setor e as possibilidades de apoio do Bandeds. 2019. Disponível em: <<https://bandeds.com.br/Site/Download/Download?id=UPU7E1pcwUaU9D6lRLIawQ>> Acesso em 28 out. 2024.



ES. Governo do Estado do Espírito Santo. **Espírito Santo se consolida como maior exportador de rochas ornamentais do Brasil.** 2024. Disponível em: <<https://www.es.gov.br/Noticia/espírito-santo-se-consolida-como-maior-exportador-de-rochas-ornamentais-do-brasil>>. Acesso em 28 out.2024.

ICDD – INTERNATIONAL CENTRE FOR DIFFRACTION DATA. **Powder Diffraction File**, 2003.

RODRIGUES, G. F. *et al.* Estudo de resíduos de rochas ornamentais para a produção de materiais vítreos. **Tecnol. Metal. Mater. Miner.**, V. 8, P. 203-207, 2011. Disponível em: <<http://tecnologiammm.com.br/files/v8n3/v8n3a10.pdf>>. Acesso em: 09.dez.2016.

