

Caracterização dos finos do beneficiamento de rochas ornamentais (FiBRO) e de argilas para fabricação de cerâmica de revestimento

Characterization of the fines from the beneficiation of ornamental stones (FiBRO) and clays for the manufacture of ceramic tiles

Kayrone Marvila de Almeida
Bolsista PCI, Eng. de Minas, M.Sc.

Leonardo Luiz Lyrio da Silveira
Supervisor, Geólogo, D. Sc.

Resumo

Em 2023, o Brasil produziu cerca de 10 milhões de toneladas de rochas ornamentais, consolidando-se como o quarto maior produtor mundial. Entretanto, esse setor gera volumes significativos de resíduos: estima-se que apenas 74% de um bloco de rocha se converte em chapa, enquanto o restante se transforma em resíduos finos, totalizando aproximadamente 3,5 milhões de toneladas, que são direcionadas a aterros. A Instrução Normativa 12/2023, emitida pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente (IEMA) em parceria com o Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), permite o uso desses resíduos, denominados Finos do Beneficiamento de Rochas Ornamentais (FiBRO), em artefatos de cerâmica vermelha e cimento Portland. Contudo, o uso do FiBRO para cerâmica de revestimento ainda é uma possibilidade inovadora. Portanto, a pesquisa busca avaliar sua viabilidade como matéria-prima alternativa para a produção de cerâmicas de revestimento, oferecendo uma alternativa sustentável para o setor. Os ensaios indicam que o FiBRO possui densidade semelhante à das argilas, fator que contribui para a homogeneidade do produto final. Sua composição granulométrica, com 12% de argila, 58% de silte e 30% de areia, permite melhor preenchimento dos poros, o que pode reduzir a absorção de água. Adicionalmente, o alto teor de óxidos fundentes no FiBRO favorece a formação de uma fase líquida durante a queima, reduzindo a porosidade e aprimorando as propriedades do material cerâmico. Este estudo inicial pretende aprofundar a caracterização do FiBRO em formulações cerâmicas, visando contribuir para a sustentabilidade, a valorização de resíduos industriais e a promoção de práticas de economia circular no setor.

Palavras-chave: cerâmica de revestimento; resíduo; FiBRO; economia circular.

Abstract

In 2023, Brazil produced approximately 10 million tons of ornamental stone, solidifying its position as the fourth- largest global producer. However, this sector generates significant volumes of waste: it is estimated that only 74% of a stone block is converted into slabs, while the remainder becomes fine wastes, totaling approximately 3.5 million tons, which are directed to landfills. Normative Instruction 12/2023, issued by the State Institute of Environment (IEMA) in partnership with the Mineral Technology Center (CETEM), permits the use of these wastes, known as Fine Wastes from Ornamental Stone Processing (FiBRO), in red ceramic

artifacts and Portland cement. However, the use of FiBRO in ceramic tiles remains an innovative possibility. This research therefore aims to assess its feasibility as an alternative raw material for tile production, offering a sustainable alternative for the industry. Tests indicate that FiBRO has a density similar to that of clays, a factor that contributes to the homogeneity of the final product. Its particle size distribution, with 12% clay, 58% silt, and 30% sand, allows for better pore filling, which may reduce water absorption. Additionally, the high content of fluxing oxides in FiBRO promotes the formation of a liquid phase during firing, reducing porosity and enhancing the properties of the ceramic material. This initial study seeks to further characterize FiBRO in ceramic formulations, aiming to contribute to sustainability, the valorization of industrial waste, and the promotion of circular economy practices in the sector.

Key words: ceramic tiles; waste; FiBRO; circular economy.

1. Introdução

No ano de 2023, o Brasil alcançou uma produção estimada de 10 milhões de toneladas de rochas ornamentais, consolidando-se como um importante país no setor (ABIROCHAS, 2024). As exportações de rochas ornamentais somaram 1,11 bilhão de dólares, com destaque para o estado do Espírito Santo, que responde pela maior parte da produção nacional devido à sua ampla infraestrutura e tradição no beneficiamento.

No cenário global, o Brasil ocupa a quarta posição entre os maiores produtores de rochas ornamentais, ficando atrás apenas da China, Índia e Turquia (ABIROCHAS, 2024). Essa posição reforça a relevância do país no mercado internacional e a importância da indústria de rochas ornamentais para a economia brasileira, além de impulsionar o desenvolvimento de inovações tecnológicas e o aprimoramento de processos produtivos mais sustentáveis no setor.

A significativa produção de rochas ornamentais no Brasil também resulta em grandes volumes de resíduos, tanto na etapa de lavra quanto no beneficiamento. Estima-se que, em média, apenas 74% de um bloco de rocha é convertido em chapas, enquanto o restante se transforma em resíduos finos (Silveira; Vidal; Souza, 2014). Assim, com base na produção de 2023, aproximadamente 3,5 milhões de toneladas de resíduos foram gerados, sendo majoritariamente destinados a aterros. Esse descarte, típico de um modelo de economia linear, representa um desafio para o setor.

A busca por soluções para o reaproveitamento de resíduos de rochas ornamentais abre possibilidades promissoras para promover uma economia circular, transformando esses resíduos em novos produtos. Em 2023, a Instrução Normativa 12/2023 do Instituto Estadual de Meio Ambiente (IEMA), desenvolvida em parceria com o Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, autorizou o uso desses resíduos, agora denominados FiBRO (Fino do Beneficiamento de Rochas Ornamentais), na produção de artefatos de cerâmica vermelha e cimento Portland, representando um marco importante para o setor. No entanto, ainda há um vasto campo de aplicações inexploradas, como o uso desses resíduos na fabricação de cerâmica de revestimento. Estudos recentes já demonstraram a viabilidade de combinar os resíduos de rochas

ornamentais com outros, como o caulim e o polimento de porcelanato, para produzir cerâmicas de revestimento (Caetano *et al.*, 2021). Ainda assim, outras linhas de pesquisa merecem atenção, como o potencial de utilizar resíduos de rochas ornamentais em formulações compostas exclusivamente por argilas.

A Lei nº 12.305/2010, que estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos, define diretrizes essenciais para o manejo sustentável de resíduos, promovendo práticas que reduzam o descarte inadequado. Nesse contexto, os resíduos de rochas ornamentais, devido às suas propriedades, apresentam um possível potencial promissor para aplicações em revestimentos cerâmicos, favorecendo a criação de materiais sustentáveis para a construção civil. Ao redirecionar esses resíduos dos aterros para novos usos, essa abordagem se alinha aos princípios de sustentabilidade e responsabilidade ambiental defendidos pela legislação, contribuindo para a redução de impactos ambientais.

2. Objetivos

O objetivo deste trabalho é investigar o uso dos finos do beneficiamento de rochas ornamentais (FiBRO) como matéria-prima alternativa para a produção de cerâmica de revestimento.

3. Material e Métodos

3.1. Coleta das amostras

As amostras dos finos do beneficiamento de rochas ornamentais - FiBRO foram obtidas em uma empresa de referência no setor de rochas ornamentais, localizada em Mimoso do Sul – ES. Este material resulta do corte de rochas ornamentais em tear multifio diamantado e do processo de polimento. Após o corte, os resíduos passam por etapas de secagem no filtro prensa e secagem ao sol, sendo posteriormente destinados ao aterro. A coleta foi realizada no pátio da empresa, onde o material estava em processo de secagem ao sol, o que facilita o manuseio e preparação para os ensaios.

Além do FiBRO, foram coletados três tipos distintos de argila em empresas do setor cerâmico, destinados a compor as formulações cerâmicas:

Argila Batinga: Proveniente de uma empresa de cerâmica vermelha voltada para a produção de tijolos. Esta argila é caracterizada por sua coloração escura.

Argila Areinha: Coletada também em uma empresa de cerâmica vermelha, apresenta uma granulometria visualmente maior, contendo grãos de quartzo.

Argila Branca Caulinitica: Esta argila foi obtida de uma empresa que a comercializa para a construção civil.

Todos os materiais coletados foram submetidos a secagem em estufa a 80°C, garantindo um teor de umidade controlado e uniforme. Em seguida, as amostras foram separadas para os ensaios de caracterização química, mineralógica e granulométrica, essenciais para identificar as propriedades de cada material e seu potencial de uso em formulações nas cerâmicas de revestimentos. O projeto tem apenas cinco meses, e alguns resultados dos ensaios de caracterização ainda estão sendo aguardados.

3.2. Análise granulométrica do FiBRO

A distribuição do tamanho de partículas dos finos de rochas ornamentais foi determinada utilizando o equipamento Malvern Mastersizer (modelo 2000), por meio da técnica de espalhamento de luz laser em baixo ângulo, conhecida genericamente como espalhamento de luz.

3.3. Densidade real

Foi realizado o ensaio de picnometria para determinação da densidade real do FiBRO e das argilas, seguindo os procedimentos estabelecidos pela norma DNER-ME 084/95. Esse ensaio é fundamental para caracterizar a densidade real dos materiais, um parâmetro importante para avaliar a qualidade e o desempenho das argilas e FiBRO nas formulações cerâmicas.

3.4. Fluorescência de raios-X

A caracterização química realizada no FiBRO foi feita por meio de fluorescência de raios-X. Os teores apresentados, expressos em porcentagem (%) em massa, são médias de três leituras e foram determinados por análise semiquantitativa (*standardless*) em espectrômetro por fluorescência de raios X (WDS-1), modelo AxiosMax (Panalytical).

4. Resultados e Discussão

De acordo com a International Society of Soil Science (ISSS), a fração argila é compreendida entre as frações de tamanho inferiores a 2 μm , o silte entre 2 μm e 20 μm , e acima de 20 μm até 200 μm é considerado areia (Santos, 1989). O resíduo fino do beneficiamento de rochas ornamentais apresentou 12% de fração < 2 μm , Figura 1. Essa fração é importante na formulação dos artefatos de cerâmica vermelha, pois possui granulometria fina. Além disso, ele possui 58% de partículas na fração de silte e 30% na fração de areia. Portanto, o resíduo apresenta uma maior quantidade de silte. Essa fração, em conjunto com a fração argila, pode colaborar para preencher melhor os poros e reduzir a absorção de água da cerâmica.

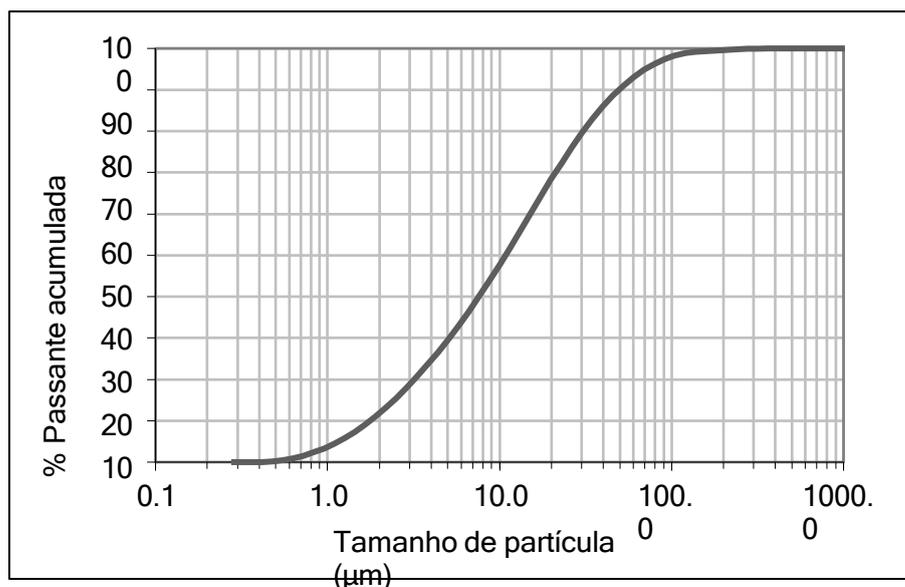


Figura 1. Análise granulométrica do FiBRO.

A Tabela 1 apresenta os valores da densidade real obtidos tanto do FiBRO quanto das argilas coletadas. Os resultados mostraram-se iguais para ambas as matérias-primas, indicando uma similaridade significativa entre a densidade do FiBRO e das argilas. Essa equivalência sugere que o FiBRO pode ser utilizado como uma alternativa viável nas formulações cerâmicas, pois suas características de densidade são compatíveis com as das argilas, o que pode contribuir para a homogeneidade e a qualidade do produto final.

Tabela 1. Densidade real do FiBRO e das argilas.

Matérias-primas	Densidade real
FiBRO	2,482 g/cm ³
Argila Batinga	2,286 g/cm ³
Argila Areinha	2,499 g/cm ³
Argila Branca Caulínica	2,439 g/cm ³

A Tabela 2 detalha a composição química do FiBRO, que apresenta um elevado teor de SiO₂, alcançando 75,10%. Além disso, sua composição inclui óxidos fundentes alcalinos, como Na₂O e K₂O, bem como óxidos alcalinos-terrosos, como CaO e MgO. A presença significativa de óxidos fundentes favorece a formação da fase líquida durante o processo de queima, resultando em uma diminuição da porosidade. Essa redução na porosidade, por sua vez, leva a uma diminuição da absorção de água no produto cerâmico, o que faz melhorar suas propriedades tecnológicas.

Tabela 2. Composição química do FiBRO.

Elementos:	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	MgO	TiO ₂	Outros
FiBRO:	75,10%	11,10%	3,38%	2,78%	2,55%	2,34%	1,68%	0,55%	0,52%

5. Conclusão

Os resultados destacam a viabilidade do resíduo fino do beneficiamento de rochas ornamentais (FiBRO) como um material promissor para a formulação de artefatos cerâmicos, especialmente em relação à sua granulometria e propriedades químicas. A análise granulométrica revelou que o FiBRO possui 12% de fração de argila, 58% de silte e 30% de areia, sendo a fração de silte predominante, o que pode contribuir para um melhor preenchimento dos poros e, conseqüentemente, para a redução da absorção de água na cerâmica. Além disso, a similaridade entre a densidade do FiBRO e das argilas coletadas sugere que o uso do FiBRO nas formulações cerâmicas pode resultar em um produto final homogêneo e de alta qualidade.

A composição química do FiBRO, apresentou óxidos fundentes, o que favorece a formação de uma fase líquida durante a queima, reduzindo a porosidade e aprimorando as propriedades tecnológicas do material cerâmico. É importante ressaltar que este projeto está em sua fase inicial, e os próximos passos envolvem a continuidade dos ensaios, a confecção de corpos de prova e a realização de testes de caracterização cerâmica, visando aprofundar o conhecimento sobre o potencial do FiBRO na produção de revestimentos cerâmicos. Espera-se que os resultados futuros promovam a valorização de resíduos industriais, impulsionando a inovação no setor cerâmico e fomentando práticas de economia circular e sustentabilidade.

6. Agradecimentos

Agradeço ao CETEM pela oportunidade e ao CNPq pela concessão da bolsa do Programa de Capacitação Institucional PCI.

7. Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS - ABIROCHAS. **Balço do setor brasileiro de rochas ornamentais e de revestimento em 2023**. Informe 01/2024. Brasília/DF, 2024.

BRASIL. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER-ME 084/95: **Agregado miúdo - determinação da densidade real**. Brasília, 1995.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm>. Acesso em: 01 nov. 2024.

CAETANO, A. L. A.; MARQUES, V. C.; MACEDO, D. A.; FERREIRA, H. S.; DUTRA, R. P. S.; MENEZES, R. R. N. **Obtenção de cerâmica de revestimento sustentável desenvolvida com resíduos industriais**. Cerâmica Industrial, v. 26, n. 1, p. 1-11, 2022.

INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE. Instrução Normativa nº 12, de 2023. **Dispõe sobre critérios e procedimentos técnicos para o licenciamento ambiental de empreendimentos que exercem as atividades de Beneficiamento de Rochas Ornamentais**. Vitória: IEMA, 2023.

SANTOS, P. S. **Ciência e tecnologia das argilas**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1989. v. 1, 4 p.
SILVEIRA, L. L. L.; VIDAL, F. W. H.; SOUZA, J. C. Beneficiamento de rochas ornamentais. In: **Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2014. p.329-398.