

CARACTERIZAÇÃO DOS FINOS GERADOS NO BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS PARA APLICAÇÃO EM CERÂMICA VERMELHA

CHARACTERIZATION OF FINES GENERATED IN THE PROCESSING OF ORNAMENTAL STONES FOR APPLICATION IN RED CERAMIC

Lucielen Ribeiro de Oliveira dos Anjos

Aluna de Graduação da Engenharia de Minas, 9º período
Instituto Federal do Espírito Santo
Período PIBITI/CETEM: março de 2024 a agosto de 2024
oliveiralucielenoliveira@gmail.com

Leonardo Luiz Lyrio da Silveira

Orientador, Geólogo, D.Sc.
leolysil@cetem.gov.br

Mariane Costalonga de Aguiar

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

RESUMO

O Brasil destaca-se como um dos maiores produtores e exportadores de rochas ornamentais no mundo, resultando na geração significativa de finos durante o beneficiamento dessas rochas, conhecidos como FiBRO. Esse setor possui grande importância social e econômica devido à sua expressiva produção, tanto para o mercado interno quanto para exportação, além dos muitos empregos diretamente relacionados com essas indústrias. O estado do Espírito Santo é responsável por mais de metade das exportações brasileiras de rochas ornamentais. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi caracterizar os finos do beneficiamento de rochas ornamentais denominados de FiBRO, e avaliar seu potencial para a fabricação de artefatos de cerâmica vermelha. Foi realizado ensaios de caracterização do FiBRO por meio da técnica de fluorescência de raio-X, análise granulométrica e a densidade real. Posteriormente, foi utilizado a instrução normativa (nº12-N de 22 de agosto de 2023) e o Termo de Referência para o uso do FiBRO na fabricação de artefatos de cerâmica vermelha para avaliar se o material de estudo está dentro dos parâmetros de uso. Os resultados indicaram que o FiBRO avaliado possui um grande potencial para a fabricação de artefatos de cerâmica vermelha, devido às suas quantidades significativas de fundentes. Além disso, o FiBRO atende a todos os parâmetros estipulados no Termo de Referência para uso na fabricação de artefatos cerâmicos, o que o torna apto para ser utilizado diretamente à massa cerâmica. Esse material pode contribuir para a melhoria das propriedades da cerâmica, tornando-se valioso no processo de fabricação.

Palavras-chave: caracterização, FiBRO, artefatos cerâmicos.

ABSTRACT

Brazil stands out as one of the largest producers and exporters of ornamental stones in the world, resulting in the significant generation of fines during the processing of these stones, known as FiBRO. This sector has great social and economic importance due to its significant production, both for the domestic market and for export, in addition to the many jobs directly related to these industries. The state of Espírito Santo is responsible for more than half of Brazilian ornamental stone exports. Therefore, the objective of this work was to characterize the fines from the processing of ornamental stones called FiBRO, and evaluate their potential for the manufacture of red ceramic artifacts. FiBRO characterization tests were carried out using the X-ray fluorescence technique, granulometric analysis and real density. Subsequently, the normative instruction (nº12-N of August 22, 2023) and the Terms of Reference for the use of FiBRO in the manufacture of red ceramic artifacts were used to assess whether this material is

within the parameters of use. The results indicated that the evaluated FiBRO has great potential for the manufacture of red ceramic artifacts, due to its significant amounts of flux. Furthermore, FiBRO meets all the parameters stipulated in the Terms of Reference for use in the manufacture of ceramic artifacts, which makes it suitable for use directly with the ceramic mass. This material can contribute to improving the properties of ceramics, making it valuable in the manufacturing process.

Keywords: characterization, FiBRO, ceramic artifacts.

1. INTRODUÇÃO

As exportações brasileiras do 1º trimestre somaram US\$ 384,8 milhões e 639,6 mil t, com variação positiva de respectivamente 16,3% e 14,0% frente ao mesmo período de 2023. O faturamento do mês de abril (US\$ 108,2 milhões) repetiu o bom desempenho registrado no mês de janeiro (US\$ 109,0 milhões). As exportações do Espírito Santo somaram US\$ 321,9 milhões e 491,0 mil t, correspondentes respectivamente a 83,7% e 76,8% do total das exportações brasileiras de rochas. (ABIROCHAS, 2024).

O Espírito Santo é responsável por mais da metade das exportações de rochas ornamentais brasileiras, onde o setor é de grande importância econômica, gerando emprego e trazendo rendas para os municípios, sendo um deles o município de Cachoeiro de Itapemirim.

As rochas ornamentais em sua etapa de beneficiamento geram grandes quantidades de finos do beneficiamento de rochas ornamentais denominado de FiBRO. Com a necessidade de aproveitar esse material gerado em ordem de milhões de toneladas e contribuir com o desenvolvimento sustentável, foi publicada uma Instrução Normativa (nº12-N de 22 de agosto de 2023) e um Termo de Referência para o uso do FiBRO na fabricação de artefatos de cerâmica vermelha, publicado pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos-IEMA.

Os artefatos de cerâmica vermelha fabricados com o FiBRO devem atender aos requisitos e os limites determinados por normas referência, sendo elas, ABNT 15270-1 (2023) Componentes cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria Parte 1: Requisitos, ABNT 15270-2 (2023) Componentes cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria Parte 2: Métodos de ensaios e ABNT 15310 (2009) Componentes cerâmicos - Telhas - Terminologia, requisitos e métodos de ensaio.

A cerâmica vermelha é um importante segmento para utilização do FiBRO. Diversos estudos indicam que este material aprimora as propriedades da cerâmica vermelha, incluindo a redução da absorção de água e da porosidade, além do aumento da resistência mecânica (GADIOLI et al. 2022; AGUIAR et al. 2022; AMORIM et al. 2023). Com isso, a utilização do FiBRO é uma alternativa ambiental para a redução do impacto ambiental e para a contribuição da economia circular.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi caracterizar os finos do beneficiamento de rochas ornamentais denominados de FiBRO, e avaliar seu potencial para a fabricação de artefatos de cerâmica vermelha.

3. METODOLOGIA

Para realização deste trabalho, foram coletados o FiBRO proveniente de uma indústria em Cachoeiro de Itapemirim-ES, onde posteriormente, foram realizados ensaios de caracterização.

A análise de fluorescência de raios-X (FRX) foi conduzida utilizando um espectrômetro Bruker, modelo S2 Ranger, por meio de uma abordagem semiquantitativa (standardless). A amostra foi preparada utilizando uma prensa manual Mauthe Maschinenbau, modelo PE 010, com um molde de 40 mm de diâmetro. A pressão aplicada foi de 20 toneladas durante 15 minutos. O aglomerante utilizado foi o ácido bórico (H_3BO_3), na proporção de 8 g de amostra seca a

105 °C para 2 g de ácido. Os resultados foram expressos em porcentagem (%), calculados como óxidos e normalizados a 100%.

A determinação da perda por calcinação (PPC) foi realizada utilizando o forno mufla INTI modelo FL1300/20. A amostra foi mantida a 1000 °C por 2 horas no forno e, após o resfriamento, foi pesada na balança analítica modelo Shimadzu AUY-220, com precisão de 0,0001 g, para a determinação da perda por calcinação.

A análise de difração de raios-X (DRX) foi determinada pelo método do pó. Foram coletados em um equipamento Bruker-D4 Endeavor, nas seguintes condições de operação: radiação Co K α (35 kV/40 mA); velocidade do goniômetro de 0,02° 2 θ por passo com tempo de contagem de 1 segundo por passo e coletados de 5 a 80° 2 θ .

A análise granulométrica foi obtida no equipamento Malvern Mastersizer utilizando a técnica de espalhamento de luz laser de baixo ângulo, conhecida genericamente por “espalhamento de luz”.

A densidade real foi determinada por picnometria de acordo com a norma DNER-ME 084/95 (DNE, 1995).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta a composição química do FiBRO, que é predominantemente composto por SiO₂, associado ao quartzo presente no material, conforme evidenciado na análise de DRX. O FiBRO também apresenta uma alta porcentagem de Fe₂O₃, que, na cerâmica vermelha, contribui para a coloração avermelhada das peças após a queima. De acordo com o Termo de Referência, para a fabricação de cerâmicas de coloração clara, o teor de Fe₂O₃ deve ser \leq 3%. Portanto, esse FiBRO não é adequado para produtos de coloração clara devido ao seu alto teor de Fe₂O₃.

Nota-se também quantidades significativas de óxidos alcalinos no FiBRO. Esses óxidos são benéficos para os artefatos cerâmicos pois contribuem com a formação de fase líquida durante a etapa de queima.

Tabela 1: Composição química do FiBRO.

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	BaO	MnO	Outros	PPC
57,1	14,7	8,39	5,62	4,08	2,90	2,33	2,26	0,97	0,25	0,20	0,12	0,46	0,62

A Figura 1 apresenta o difratograma de raios-X do FiBRO. Nota-se a presença dos minerais quartzo (SiO₂), biotita (K(Mg, Fe₊₂)₃(Al, Fe₊₃)₃Si₃O₁₀(OH, F)₂), albita (Na (Si₃Al) O₈), microclina (KAlSi₃O₈) e hornblenda (Ca, Na)_{2.26}(Mg, Fe, Al)_{5.15}(Si, Al)₈O₂₂(OH)₂.

O quartzo atua como mineral predominante, conforme demonstra a composição química da FRX, os demais são impurezas, que eventualmente podem ser benéficos ao processamento cerâmico.

O Termo de Referência especifica que o FiBRO não deve conter teores de carbonatos superiores a 3%, pois concentrações acima desse valor podem causar efeitos deletérios nos artefatos de cerâmica vermelha. No difratograma do FiBRO analisado, não há presença de carbonatos. Portanto, o FiBRO é adequado para a fabricação de artefatos de cerâmica vermelha, atendendo, assim, às especificações exigidas.

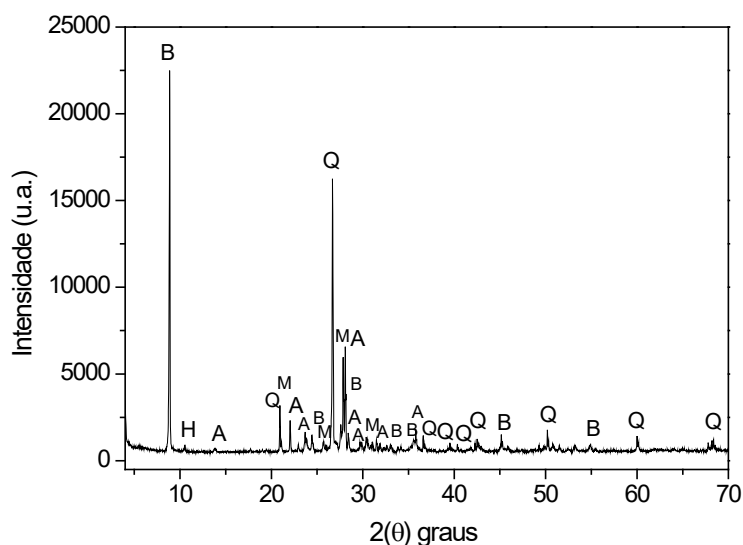


Figura 1: Difratoograma de raios-X do FiBRO.
 Q = Quartzo, B = Biotita, A = Albita, M = Microclina, H = Hornblenda.

A Figura 2 apresenta a análise granulométrica do FiBRO, evidenciando que se trata de um material de granulometria fina e não plástico. A maior parte do FiBRO está na faixa do silte, devido à sua natureza mais fina.

Para a determinação das distribuições de tamanho de partícula, o FiBRO deve atender aos limites estipulados no Termo de Referência, que são partículas abaixo de 2 mm. O FiBRO cumpre esses requisitos granulométricos, atendendo aos parâmetros estabelecidos.

Assim, o FiBRO pode ser adicionado diretamente à massa cerâmica, dispensando qualquer etapa de trituração prévia, o que reduziria os custos do processamento cerâmico.

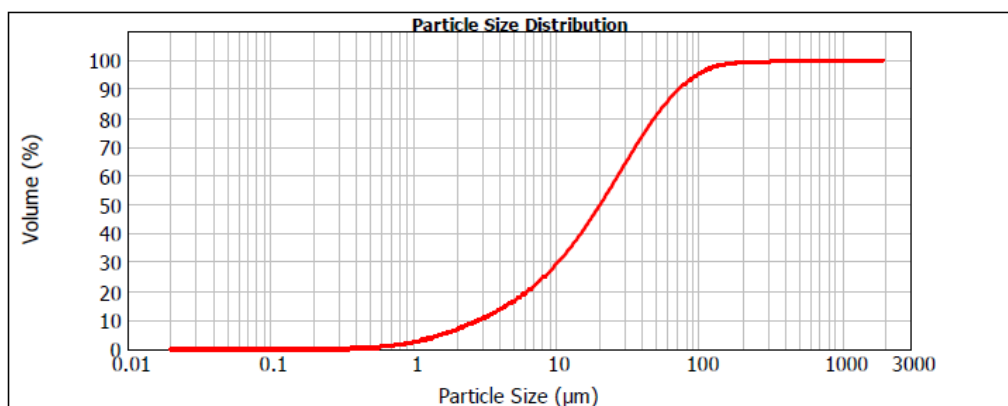


Figura 2: Análise granulométrica do FiBRO.

A Tabela 2 apresenta a densidade real dos grãos do FiBRO. O valor da densidade real das partículas varia de acordo com a composição mineralógica do material.

Os valores de densidade encontrados, estão dentro dos valores da densidade real dos grãos do FiBRO encontrados na literatura.

Tabela 2: Densidade do FiBRO.

Densidade	
FiBRO	2,69 g/cm ³

5. CONCLUSÕES

A caracterização do FiBRO apresentou uma composição química benéfica para o processamento cerâmico, devido à presença de quantidades significativas de óxidos alcalinos que atuam como fundentes na etapa de queima. O principal constituinte do FiBRO é a sílica (SiO_2), que está presente na forma de aluminossilicatos e quartzo. A sílica contribui para ajustar a plasticidade, proporcionando um maior controle dimensional das peças durante a queima.

O FiBRO não apresenta plasticidade, e suas partículas têm tamanhos inferiores a 2 mm. Além disso, não apresenta carbonatos em sua composição, atendendo, assim, aos critérios do Termo de Referência para o reuso do FiBRO na fabricação de artefatos de cerâmica vermelha.

Contudo, a caracterização das matérias-primas para serem utilizadas na fabricação de artefatos de cerâmica vermelha é extremamente importante. Ela garante a qualidade, assegurando que os materiais tenham propriedades uniformes, prevenindo defeitos durante a fabricação e uso final. Além disso, contribui para produtos de alta qualidade e que atendam às normas e padrões nacionais e internacionais.

6. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa concedida (processo nº 105988/2024-3), ao meu orientador Leonardo Luiz Lyrio da Silveira e à minha coorientadora Mariane Costalonga de Aguiar, pelo apoio e ensinamentos na realização dos estudos e ao Pesquisador Kayrone Marvila pela colaboração na pesquisa.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais – Síntese das Exportações Brasileiras de Rochas Ornamentais e de Revestimento no 1º quadrimestre de 2024. Disponível em: <<https://abirochas.com.br/balancos>> Acesso em junho. 2024.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15270-1: Componentes cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 1: Requisitos. ABNT, 2023.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15270-2: Componentes cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 2: Métodos de ensaio. ABNT, 2023.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15310: Componentes cerâmicos – Telhas – Terminologia, requisitos e métodos de ensaio. ABNT, 2009.

AMORIM, M.M.; AGUIAR, M.C.; ALMEIDA, K.M.; SANT’ANA, M.A.K.; GADIOLI, M.C.B. Incorporação de resíduos de rochas ornamentais na produção de cerâmica vermelha: uma abordagem sustentável. OBSERVATORIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA, vol. 21, p. 18712-18724, 2023.

Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER-ME 084/95 – Agregado miúdo. Determinação da densidade real. Rio de Janeiro: DNER, 1995.

GADIOLI, M.C.B.; AGUIAR, M.C.; VIDAL, F.W.H.; SANT’ANA, M.A.K.; ALMEIDA, K.M.; GIORI, A.J.N. Incorporation of Ornamental Stone Waste in the Manufacturing of Red Ceramics. Materials, 15, 5635. 2022.

INSTRUÇÃO NORMATIVA – Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – IEMA. 2023.

TERMO DE REFERÊNCIA. Termo de Referência para reuso de FIBRO em empresas de fabricação de artefatos de cerâmica e concreto. Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – IEMA. 2023.