

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE USO DO RESÍDUO FINO DO
BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS-FIBRO EM MASSA
CERÂMICA PARA PRODUÇÃO DE PISO E PORCELANATO**

**STUDY OF THE FEASIBILITY OF USING FINE WASTE FROM THE
PROCESSING OF ORNAMENTAL STONES - FIBRO IN CERAMIC MASS
FOR THE PRODUCTION OF FLOOR AND PORCELAIN TILES**

Thálita Brandão Mauricio

Aluna de Graduação da Engenharia de Minas, 9º período, Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo
Período PIBIC/CETEM: setembro de 2024 a agosto de 2025
tmauricio@cetem.gov.br

Kayrone Marvila de Almeida

Orientador, Engenheiro de Minas, M.Sc.
kmalmeida@cetem.gov.br

Mariane Costalonga de Aguiar

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

RESUMO

A produção de rochas ornamentais gera uma quantidade expressiva de resíduos finos provenientes do seu beneficiamento, conhecidos como FiBRO. Ao mesmo tempo, a indústria cerâmica, especialmente no segmento de revestimentos, vem apresentando crescimento constante. Considerando esse cenário, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade de utilização do FiBRO em formulações cerâmicas voltadas à produção de cerâmica de revestimento (pisos e porcelanatos). Inicialmente, foram realizadas caracterizações química e mineralógica das argilas e do FiBRO, seguidas por análises granulométricas, de plasticidade e térmicas da massa cerâmica e do resíduo. Os resultados indicaram que a incorporação do FiBRO favorece o empacotamento de grãos, reduz a plasticidade da massa e apresenta potencial como fundente, devido à presença de óxidos como Na₂O e K₂O. Esses componentes promovem a formação de fase líquida durante a sinterização, o que contribui para a diminuição da porosidade e da absorção de água, além de melhorar o desempenho tecnológico do material cerâmico. Foram elaborados corpos de prova com três formulações, contendo massa cerâmica e 0%, 10% e 30% de FiBRO, moldados por prensagem uniaxial e sinterizados a 1100 °C. As amostras foram avaliadas quanto à retração linear, perda de massa, absorção de água, porosidade, densidade aparente e resistência à flexão. Os resultados demonstraram avanços significativos com a adição do FiBRO, especialmente na redução da absorção de água, que passou de 14,31% na amostra sem resíduo (0% FiBRO) para 12,28% com 30% de adição. Observou-se também um aumento expressivo na resistência à flexão, que evoluiu de 3,76 MPa (0% FiBRO) para 6,93 MPa com 30%.

Palavras chave: Rochas ornamentais, FiBRO, cerâmica de revestimento.

ABSTRACT

The production of ornamental stone generates a significant amount of fine waste from its processing, known as FiBRO. At the same time, the ceramic industry, especially in the coverings segment, has been experiencing steady growth. Considering this scenario, this study aimed to evaluate the feasibility of using FiBRO in ceramic formulations for the production of ceramic coverings (flooring and porcelain tiles). Initially, chemical and mineralogical characterizations of the clays and FiBRO were performed, followed by granulometric, plasticity,

and thermal analyses of the ceramic mass and waste. The results indicated that the incorporation of FiBRO favors grain packing, reduces mass plasticity, and has potential as a fluxing agent due to the presence of oxides such as Na₂O and K₂O. These components promote the formation of a liquid phase during sintering, which contributes to reducing porosity and water absorption, in addition to improving the technological performance of the ceramic material. Test specimens were prepared with three formulations, containing ceramic mass and 0%, 10%, and 30% FiBRO, molded by uniaxial pressing, and sintered at 1100°C. The samples were evaluated for linear shrinkage, mass loss, water absorption, porosity, apparent density, and flexural strength. The results demonstrated significant improvements with the addition of FiBRO, especially in reducing water absorption, which decreased from 14.31% in the sample without waste (0% FiBRO) to 12.28% with 30% addition. A significant increase in flexural strength was also observed, increasing from 3.76 MPa (0% FiBRO) to 6.93 MPa with 30% addition.

Keywords: Ornamental stones, FiBRO, ceramic tile.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa atualmente a quarta posição entre os maiores produtores mundiais de rochas ornamentais, com uma produção anual de cerca de 10 milhões de toneladas, atrás apenas da China, Índia e Turquia. Segundo a ABIROCHAS (2025), o setor apresentou em 2024 sinais de recuperação após sucessivas quedas desde 2021, com um crescimento de 12,92% na arrecadação e 12,56% no volume exportado, totalizando US\$ 1,26 bilhão e 2,05 Mt exportadas. O Espírito Santo se destaca como principal estado exportador, respondendo por aproximadamente 82% do volume nacional. Esse crescimento, associado à valorização de rochas exóticas e ao aumento das exportações de materiais brutos para a China, bem como ao avanço tecnológico no beneficiamento, resulta em maior geração de resíduos. Silveira et al. (2014), estimam que cerca de 26% do volume de um bloco vira resíduo Fino do Beneficiamento de Rochas Ornamentais – FiBRO. Esse percentual pode ser ainda maior em rochas exóticas. Assim, torna-se fundamental a adoção de práticas alinhadas à Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), que orienta a destinação ambientalmente adequada desses materiais e a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos.

Nesse cenário, o Plano Nacional de Economia Circular (PLANEC 2025–2034) surge como uma estratégia para promover a recirculação de materiais e inovação industrial, propondo ações voltadas à transformação de resíduos em insumos e ao fortalecimento da competitividade sustentável. Paralelamente, a indústria cerâmica brasileira se destaca mundialmente, especialmente no segmento de revestimentos, ocupando a terceira posição global em produção e consumo. Em 2024, foram produzidos cerca de 825 milhões de m² de revestimentos cerâmicos, sendo 727,4 milhões de m² destinados ao mercado interno (ANFACER, 2025), com destaque para pisos cerâmicos e porcelanatos. Neste contexto, o presente artigo visa avaliar a viabilidade de uso do FiBRO em formulações cerâmicas para revestimento como pisos e porcelanatos, dando continuidade à estudos de Almeida et al. e Aguiar et al., que já apontaram resultados promissores quanto ao desempenho técnico e à viabilidade econômica do material na cerâmica vermelha.

2. OBJETIVO

Avaliar a viabilidade de utilização do resíduo Fino do Beneficiamento de Rochas Ornamentais (FiBRO) em massas cerâmicas para a produção de pisos e porcelanatos, por meio de ensaios de caracterização química, mineralógica, física e mecânica.

3. METODOLOGIA

As matérias-primas utilizadas foram três argilas da região de Itapemirim-ES (branca, areinha e batina) e o resíduo fino do beneficiamento de rochas ornamentais – FiBRO. Esses materiais

foram secos a 100 °C, desagregados e moídos. As caracterizações incluíram fluorescência de raios X (FRX), difração de raios X (DRX) e densidade real (picnometria). Com base nesses dados, foi formulada a massa cerâmica padrão: 40% de argila branca, 36% de areinha e 24% de batina. Essa mistura foi adotada como base para os ensaios subsequentes de caracterização e para a preparação dos corpos de prova.

A análise granulométrica da massa cerâmica foi realizada por sedimentação, conforme a norma ABNT NBR 7181, e a do FiBRO por difração a laser, utilizando o equipamento Malvern Mastersizer 2000. Também foram realizados os ensaios de limites de Atterberg (limite de liquidez e limite de plasticidade), conforme as normas ABNT NBR 6459 e ABNT NBR 7180. As análises térmicas foram conduzidas por Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) e Análise Termogravimétrica (TG), na forma conjugada DSC-TG.

Foram elaboradas três formulações com a massa cerâmica, incorporando o resíduo FiBRO nas proporções de 0%, 10% e 30% (R0%, R10% e R30%). Com essas formulações, foram preparados sete corpos de prova cerâmicos para cada mistura. Eles foram prensados uniaxialmente, com dimensões de 114 × 25 mm, a 15 toneladas e 8% de umidade. Após a prensagem, os corpos de prova foram sinterizados a 1100 °C em forno mufla, com taxa de aquecimento de 2 °C/min e patamar de 3 horas. Em seguida, foram avaliados quanto à retração, perda de massa, absorção de água, porosidade aparente, densidade aparente, densidade relativa aparente e resistência à flexão, conforme as normas ABNT NBR ISO 10545-3 e 10545-4.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização química por FRX das argilas e do resíduo FiBRO (Tabela 1) revelou alto teor de sílica (SiO_2), especialmente no FiBRO, próximo de 75%, indicando sua natureza silicosa. As argilas apresentaram teores expressivos de óxido de alumínio (Al_2O_3) e, no caso da argila batina, 7,23% de óxido de ferro (Fe_2O_3), responsável pela coloração avermelhada dos corpos de prova após a queima. No FiBRO, também foram identificados óxidos fundentes como Na_2O , K_2O , cuja presença favorece a formação de fase líquida durante a sinterização, promovendo a redução da porosidade e da absorção de água, além de melhorar as propriedades tecnológicas do material cerâmico.

Tabela 1: Resultado do ensaio do FRX.

Elementos	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	TiO_2	K_2O	CaO	Na_2O	Outros	PPC
Batinga	43.20	32.30	3.67	1.59	1.51	1.13	0.17	-	1.25	15.80
Areinha	49.70	25.60	7.23	2.28	1.35	2.17	0.81	-	0.76	10.10
Argila Branca	63.40	25.60	1.02	0.43	1.28	0.41	-	-	0.50	7.36
FiBRO	74.60	11.00	2.73	1.64	0.55	3.35	2.51	1.76	0,39	1.47

A análise mineralógica por DRX confirmou os resultados obtidos na análise química por FRX, evidenciando a composição das matérias-primas. As argilas batina e areinha apresentaram como principais fases minerais caulinita, quartzo, gibbsita, sepiolita, haloisita, vermiculita e microclina, sendo que a areinha apresentou, adicionalmente, albata. A argila branca revelou-se composta essencialmente por caulinita e quartzo, enquanto o resíduo FiBRO apresentou quartzo, albata e flogopita. A presença de caulinita está diretamente associada à plasticidade das argilas e da massa cerâmica, em razão de sua estrutura lamelar e de partículas ultrafinas. Por outro lado, o quartzo, presente em todas as amostras, tende a reduzir a plasticidade e a retração linear durante a secagem e queima dos corpos cerâmicos, o que facilita o controle dimensional e reduz defeitos de secagem de corpos cerâmicos como trincas, rachaduras, empenamento.

A densidade real determinada por picnometria apresentou os seguintes valores: Batina (2,286 g/cm³), Areinha (2,499 g/cm³), Argila Branca (2,439 g/cm³) e FiBRO (2,482 g/cm³), o que mostra uma proximidade entre elas.

A (Figura 1), apresenta a análise granulométrica da massa cerâmica e do resíduo FiBRO. De acordo com Santos (1989), a argila é compreendida abaixo de 0,002 mm, portanto, a massa cerâmica possui cerca de 40% de argila (<0,002 mm), enquanto o FiBRO apresenta aproximadamente 10%. A diferença na distribuição granulométrica contribui para um melhor empacotamento das partículas, o que pode reduzir a porosidade, a absorção de água e melhorar a resistência à flexão do corpo de prova.

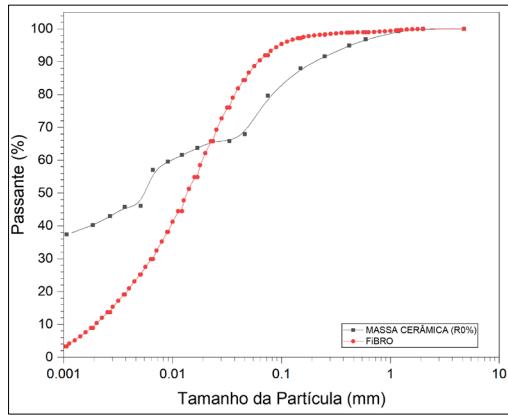


Figura 1: Análise granulométrica da massa cerâmica e do FiBRO.

A análise térmica (Figura 2), mostrou que a argila apresenta maior reatividade térmica, com eventos endotérmicos entre 200 °C e 600 °C relacionados à desidroxilação da caulinita e perda total de massa em torno de 13,5%, enquanto o FiBRO demonstrou comportamento predominantemente inerte, com baixa perda de massa (~4,7%) e ausência de reações térmicas significativas até 1000 °C. Essa estabilidade, aliada à presença de óxidos fundentes como Na₂O e K₂O, indica que o FiBRO pode atuar como carga silicosa e fundente secundário, promovendo melhor empacotamento, redução da porosidade e favorecendo a sinterização do corpo de prova cerâmico.

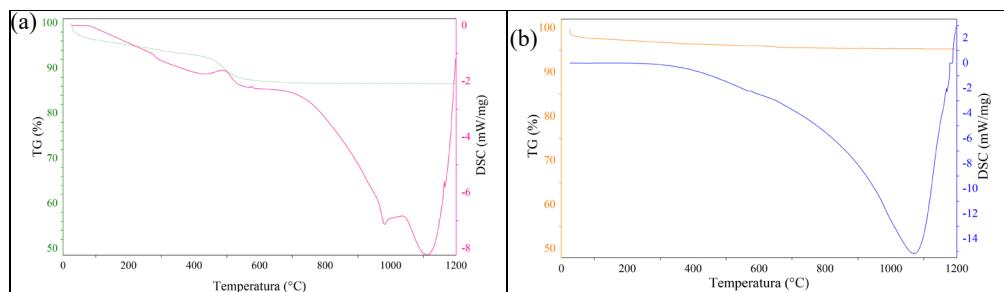


Figura 2: Análise Térmica da massa cerâmica à esquerda (a) e do FiBRO à direita (b).

Os resultados dos ensaios de Limites de Atterberg indicam redução do Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP) e Índice de Plasticidade (IP), evidenciando menor plasticidade da massa. Essa diminuição favorece a moldagem, reduz deformações durante a secagem e queima, e resulta em menor absorção de água. Além disso, a menor retração associada à baixa plasticidade tende a aumentar a resistência mecânica final do material, reduzindo a ocorrência de fissuras e defeitos, (Tabela 2).

Tabela 2: Limites de Atterberg e Índice de Plasticidade.

Plasticidade	R0%	R10%	R30%
LL	47.00%	39.00%	38.67%
LP	25.95%	24.14%	22.17%
IP	21.05%	14.86%	16.50%

Os ensaios de absorção de água e porosidade aparente indicaram que a incorporação do resíduo FiBRO reduziu ambos os parâmetros nos corpos de prova cerâmicos, com valores de absorção de água de 14,31% (R0%), 13,10% (R10%) e 12,28% (R30%), conforme mostrado na (Figura 3). A diminuição de poros contribui significativamente na resistência mecânica dos corpos de prova. Observou-se também um aumento da densidade aparente e uma leve redução da densidade relativa aparente. Como a densidade real do FiBRO é semelhante à das argilas utilizadas, essa redução na densidade relativa aparente dos corpos de prova pode estar relacionada à formação de microvazios ou à compactação menos eficiente em nível microscópico, mesmo com o melhor empacotamento proporcionado pela distribuição granulométrica do resíduo.

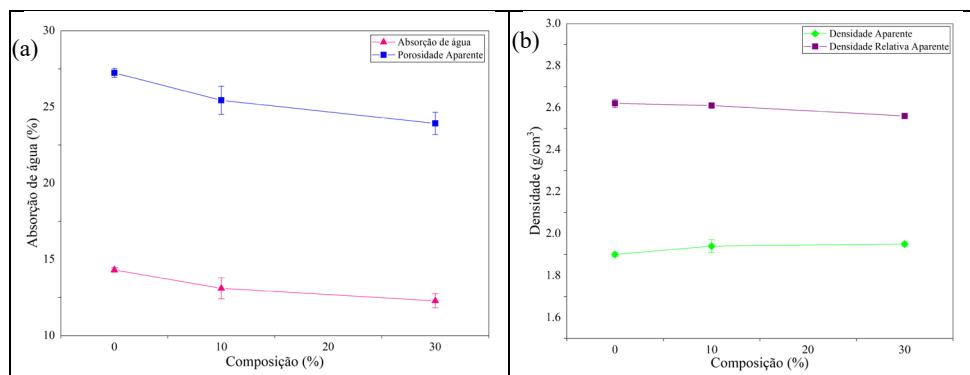


Figura 3: Ensaios de absorção de água e porosidade aparente (a), densidade aparente e densidade relativa aparente (b).

A (Figura 4), apresenta os resultados dos ensaios de retração linear, perda de massa e resistência à flexão em três pontos. Com a incorporação do resíduo FiBRO, observou-se uma redução da retração linear, atribuída à menor plasticidade da massa, decorrente do maior teor de quartzo presente no resíduo, o que reduz a deformação durante a secagem e a queima. A perda de massa aumentou com a incorporação do FiBRO, possivelmente devido à presença de óxidos fundentes, como Na_2O (1,76%) e K_2O (3,35%), que, durante a queima, promovem reações que levam à volatilização de componentes, resultando em maior perda de massa. A resistência à flexão aumentou com a adição do FiBRO, apresentando valores de 3,76 MPa para R0%, 4,46 MPa para R10% e 6,93 MPa para R30%, resultado da melhor distribuição granulométrica e da redução da porosidade aparente, que diminuem defeitos internos e favorecem maior coesão da matriz cerâmica, elevando a resistência mecânica do material.

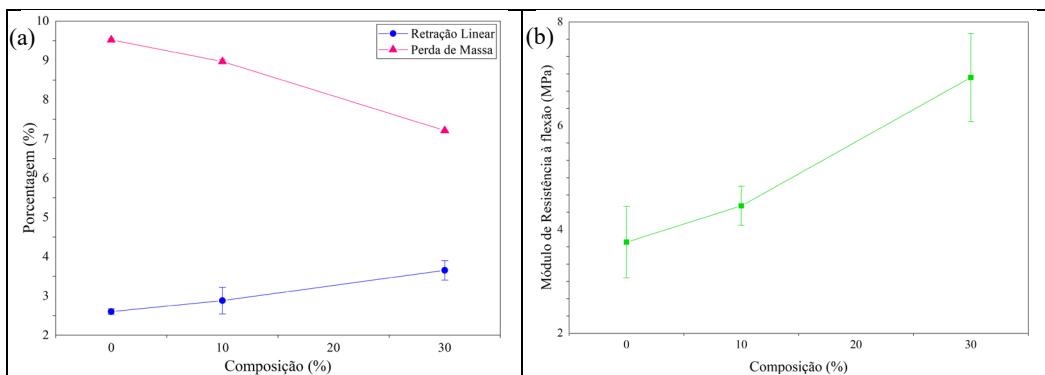


Figura 4: Ensaios de retração linear e perda de massa (a), e resistência à flexão em 3 pontos (b).

Os resultados dos ensaios realizados nos corpos de prova fabricados com a massa cerâmica e FiBRO foram classificados no grupo BIII^b, conforme a norma ABNT NBR ISO 13006:2020, que abrange produtos prensados com absorção de água superior a 10%. Essa categoria indica que o material é adequado para aplicações em revestimentos internos, onde não há exigência rigorosa quanto à porosidade ou alta resistência mecânica.

5. CONCLUSÕES

A incorporação do FiBRO atingiu os objetivos propostos neste trabalho, pois as composições R10% e R30% apresentaram melhores índices físicos e mecânicos em comparação à massa de referência (R0%). Observou-se redução na absorção de água e na porosidade aparente, aumento da resistência à flexão e diminuição da retração linear. A absorção de água foi de 14,31% para R0%, 13,10% para R10% e 12,28% para R30%, enquanto a resistência à flexão aumentou de 3,76 MPa (R0%) para 4,46 MPa (R10%) e 6,93 MPa (R30%). Além disso, as composições foram classificadas como Grupo BIII^b conforme a norma ABNT NBR 13006, que categoriza placas cerâmicas segundo o método de fabricação e absorção de água. Considerando a comprovação da melhoria de propriedades tecnológicas com a incorporação do FiBRO, novas proporções de massa cerâmica devem ser avaliadas, a fim de melhorar os índices apresentados.

6. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CETEM e a todos seus colaboradores e ao CNPq pela bolsa de iniciação tecnológica fornecida, a Kayrone de Almeida Marvila por ser meu orientador, ao IFES campus Cachoeiro e Vitória, e a minha família.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIROCHAS - Associação Brasileira Da Indústria De Rochas Ornamentais. Balanço das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais em 2024. Informe 01/2025. Brasília/DF, 2025. Disponível em: <<https://abirochas.com.br/>>.

AGUIAR, M.C.D.; GADIOLI, M.C.B.; SANT'ANA, M.A.K.; ALMEIDA, K.M.; VIDAL, F.W.H.; VIEIRA, C.M.F. Red Ceramics Produced with Primary Processing FineWaste of Ornamental Stones According to the Circular Economy Model. Sustainability 2022, 14, 12887.<https://doi.org/10.3390/su141912887>.

ANFACER – Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres. <https://www.anfacer.org.br/>. Acesso em: Jul. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6457 – Amostras de Solo - Preparação para ensaio de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro. 2016.

_____. NBR 6459 – Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro. 2017.

_____. NBR 7180 – Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro. 2016b.

_____. NBR 7181 – Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro. 2018.

_____. NBR ISO 10545-3 – Placas cerâmicas – Parte 3: Determinação da absorção de água, porosidade aparente, densidade relativa aparente e densidade aparente. Rio de Janeiro. 2020.

_____. NBR ISO 10545-4 – Placas cerâmicas – Parte 4: Determinação da carga de ruptura e módulo de resistência à flexão. Rio de Janeiro. 2020.

_____. NBR ISO 13006 – Placas cerâmicas – Definições, classificação, características e marcação. Rio de Janeiro. 2020.

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. Capítulo 7; Beneficiamento de rochas ornamentais, p.358.