

Economia circular no setor de rochas ornamentais por meio do uso do FiBRO em artefatos de cerâmica vermelha

Circular economy in the ornamental stone sector through the use of FiBRO in red ceramic artifacts

Mariane Costalonga de Aguiar

Bolsista PCI, Química, D.Sc.

Monica Castoldi Borlini Gadioli

Supervisora, Engenheira Química, D.Sc.

Resumo

O Brasil é um dos maiores produtores de rochas ornamentais do mundo e o estado do Espírito Santo é conhecido mundialmente pela alta produção e exportação de rochas ornamentais. A etapa de beneficiamento das indústrias de rochas ornamentais brasileira gera grandes quantidades de resíduos finos anualmente. O objetivo do trabalho foi contribuir para a mitigação do impacto ambiental e fomentar a economia circular por meio de diretrizes do uso dos finos do beneficiamento de rochas ornamentais denominados de FiBRO em artefatos de cerâmica vermelha. Durante o desenvolvimento do projeto, foram realizadas articulações com instituições, órgãos e empresas do setor de rochas ornamentais e cerâmica vermelha do Estado e do País. Nas empresas foram realizadas visitas técnicas, caracterização tecnológica dos resíduos e demais componentes dos produtos, e também, ensaios em laboratórios e testes piloto nas indústrias. Após todas as etapas de desenvolvimento foi elaborado um termo de referência para a utilização do FiBRO nos artefatos de cerâmica vermelha. Além de reduzir o consumo de matérias-primas naturais, a utilização do FiBRO colaborará para diminuir a quantidade de resíduos descartados na natureza, consequentemente, a mitigação do impacto ambiental e o desenvolvimento sustentável. Outro benefício é que agrega valor a um material que até então é indesejável, além de possibilitar a geração de novos empreendimentos e novos produtos ecoeficientes, inserindo os setores envolvidos na economia circular.

Palavras-chave: artefatos de cerâmica vermelha; subproduto; FiBRO; termo de referência.

Abstract

Brazil is one of the largest producers of ornamental stones in the world and the state of Espírito Santo is known worldwide for its high production and export of ornamental stones. The processing stage of the Brazilian ornamental stone industries generates large amounts of fine waste annually. The objective of the work was to contribute to the mitigation of environmental impact and promote the circular economy through guidelines for the use of fines from the processing of ornamental stones called FiBRO in red ceramic artifacts. During the development of the project, coordination was carried out with institutions and companies in the ornamental stone and red ceramic sector in the State and the country. Technical visits were carried out at the companies,

technological characterization of waste and other components of the products, and also, tests in laboratories and pilot tests in industries. After all the development stages, a term of reference was drawn up for the use of FiBRO in red ceramic artifacts. In addition to reducing the consumption of natural raw materials, the use of FiBRO will help to reduce the amount of waste discarded in nature, consequently mitigating environmental impact and sustainable development. Another benefit is that it adds value to a material that was previously undesirable, in addition to enabling the generation of new enterprises and new eco-efficient products, inserting the sectors involved in the circular economy.

Keywords: red ceramic artifacts; byproduct; FiBRO; reference term.

1. Introdução

O Brasil é reconhecido como um dos principais produtores de rochas ornamentais no mundo, ocupando o quarto lugar global, com uma fatia de aproximadamente 5% da produção total (MONTANI, 2021). Essa posição coloca o país logo abaixo da China, Índia e Turquia, os líderes do setor. Segundo a ABIROCHAS (2023) as exportações brasileiras de materiais rochosos naturais somaram US\$ 549,0 milhões e 915,3 mil toneladas no primeiro semestre de 2023. Esses números ressaltam a relevância do Brasil como um mercado expressivo no segmento de rochas ornamentais.

O destaque vai para o estado do Espírito Santo, que é reconhecido como o maior exportador de rochas ornamentais do país, atendendo a 81% da demanda nacional (ABIROCHAS, 2022). Essa posição evidencia o papel crucial da região na produção e exportação de rochas ornamentais para o mercado mundial.

Devida à grande produção de rochas ornamentais, a geração de resíduos é muito grande. Estima-se que anualmente no Brasil sejam geradas mais de 2,5 milhões de toneladas de resíduos finos, dos quais aproximadamente 2,0 milhões de toneladas são depositadas em aterros associativos e particulares apenas no estado do Espírito Santo (Vidal et al., 2014). Nos últimos 10 anos, estima-se que o país tenha gerado mais de 25 milhões de toneladas de resíduos finos. Agravando a situação, a maioria das indústrias não realiza o gerenciamento adequado do manejo desses resíduos.

Para garantir um desenvolvimento sustentável no setor de rochas ornamentais no Brasil, é crucial implementar práticas que promovam a economia circular e se alinhem aos princípios ESG (Environmental, Social, and Governance - Ambiental, Social e Governança). Uma abordagem sustentável envolve reduzir o desperdício ao longo da cadeia produtiva, o que busca maneiras inovadoras de reutilizar e reciclar os resíduos gerados durante o processo de beneficiamento das rochas ornamentais. Para o setor, é fundamental incentivar a adoção de práticas de manejo responsável dos resíduos, o que evita a deposição inadequada em aterros e busca alternativas mais sustentáveis. O compromisso com a economia circular e os princípios ESG não apenas contribui para reduzir o impacto ambiental do setor, mas também fortalece a imagem e competitividade do Brasil no mercado internacional, tornando-o referência em produção responsável e sustentável de rochas ornamentais. A transição da economia linear para a circular é de fundamental importância para enfrentarmos os desafios

globais de sustentabilidade, uma vez que promove o uso eficiente dos recursos, reduz o desperdício, diminui o impacto ambiental e fomenta um modelo econômico mais resiliente e responsável com o meio ambiente.

2. Objetivos

O presente trabalho teve como objetivo contribuir para a mitigação do impacto ambiental e fomentar a economia circular por meio de diretrizes do uso dos fins do beneficiamento de rochas ornamentais denominados de FiBRO em artefatos de cerâmica vermelha.

3. Material e Métodos

3.1. Gerenciamento de resíduos

Os materiais cerâmicos foram fabricados com a utilização do FiBRO. Pelo fato dessa matéria-prima ser aproveitada para a fabricação de novos materiais, ela será denominada de subproduto, conforme estipulado pela norma NBR 17100-1 (ABNT, 2023).

A norma NBR 17100-1 (ABNT, 2023) estabelece os requisitos gerais aplicáveis às etapas de gerenciamento de resíduos, desde a origem do resíduo até sua destinação, incluindo a movimentação e operações intermediárias, se houverem. De acordo com a norma, os resíduos de mineração são resíduos gerados nas atividades de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.

Os resíduos gerados no processo de lavra, são denominados de estéril e os gerados no beneficiamento por meio da tecnologia de teares ou da etapa de polimento são denominados de rejeito. Caso esse material for utilizado como matéria-prima para a produção de um outro produto, ele não será mais um resíduo e sim um subproduto. Se esse resíduo for levado para o aterro (rejeitos gerados no beneficiamento) ou o descartado diretamente na operação de lavra (estéril) não for aproveitado, eles serão classificados como resíduo. Caso esses resíduos sejam submetidos a operação de valorização que o converta em um produto para consumo, insumo ou matéria-prima, será atribuído a ele o status de não resíduo. A Figura 1 apresenta as etapas de classificação dos resíduos de rochas ornamentais.



Figura 1. Fluxograma das etapas de classificação dos resíduos de rochas ornamentais.

3.2. Indústrias de cerâmica vermelha, rochas ornamentais e aterros no estado do Espírito Santo

Foi realizado um levantamento das indústrias cerâmicas e polos beneficiadores de rochas ornamentais para verificar a logística das proximidades das indústrias do estado do Espírito Santo e assim, avaliar se o resíduo pode ser utilizado sem necessidade de gastos maiores com transporte.

3.3. Metas estabelecidas

Durante as etapas de desenvolvimento do projeto, foram estabelecidas metas que incluíram: estimular o desenvolvimento industrial sustentável; caracterizar os resíduos e, portanto, conhecer quais os tipos que podem ser utilizados como matérias-primas para a indústria; promover informações sobre os resíduos; instruir a comunidade regional e nacional; identificar áreas de oportunidade para uma maior eficiência econômica; desenvolvimento de produtos ecológicos com resíduos (em escala laboratorial e industrial); caracterizar os novos materiais fabricados com resíduos; contribuir com alternativas e para a normatização da utilização do resíduo de rochas ornamentais; elaboração do termo de referência do uso dos finos do beneficiamento de rochas ornamentais (FiBRO) em artefatos de cerâmica vermelha; divulgação de resultados; formação de recursos humanos; educação e comunicação pública; publicação de artigos nacionais e internacionais.

3.4. Termo de referência para o uso dos finos do beneficiamento de rochas ornamentais (FiBRO) na fabricação de artefatos de cerâmica vermelha

Foi realizado um levantamento bibliográfico de todos os trabalhos já realizados com os resíduos de rochas ornamentais, coleta e caracterização das matérias-primas (argila e resíduo) utilizada para a fabricação dos artefatos para avaliar as suas propriedades, testes laboratoriais e industriais, visitas técnicas em diversas indústrias cerâmicas e de rochas ornamentais, sindicatos, institutos e entre outros.

Posteriormente, foi elaborado o termo de referência em parceria com o Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos-IEMA, que é o documento com as diretrizes gerais para o uso do FiBRO nos artefatos de cerâmica vermelha. Para a sua aplicação, foram determinados alguns requisitos específicos, como a procedência da rocha, a granulometria, teor de carbonatos e de ferro, para que os artefatos cerâmicos fabricados com o FiBRO atendam as normas vigentes da NBR 15270-1, 15270-2 (ABNT 2017) e 15310 (ABNT, 2009) de acordo com o produto a ser comercializado.

4. Resultados e Discussão

A articulação entre as instituições, órgãos e empresas envolvidas foi primordial para andamento do projeto. Todos contribuíram para a elaboração final do termo de referência do uso dos finos do beneficiamento de rochas ornamentais (FiBRO) em cerâmica vermelha. Com o apoio, criou-se um levantamento bibliográfico, onde foi obtido mais de 100 trabalhos, entre eles artigos, relatórios, dissertações e teses acadêmicas sobre o uso do fino do beneficiamento de rochas ornamentais em artefatos cerâmicos. Este levantamento proporcionou o início do projeto, os primeiros passos e a direção para a elaboração do termo de referência.

O mapeamento das indústrias de cerâmica vermelha, empresas beneficiadoras de rochas ornamentais e aterros, mostrou que existe uma ótima logística de proximidade entre elas. Portanto, existe sim a possibilidade de usar o FiBRO sem obter um gasto a mais com transporte. Aproximadamente 80% das empresas beneficiadoras de rochas ornamentais do Espírito Santo possuem maior viabilidade econômica, caso direcionem seus resíduos para as indústrias de cerâmica vermelha. Isso devido à proximidade das empresas de rochas com as cerâmicas, diminuindo então o valor do frete, e também por não precisarem pagar a taxa de deposição que é cobrada nos aterros de resíduos. O estudo ainda contabilizou que existe no Espírito Santo 61 indústrias de cerâmica vermelha em atividade e 42 aterros de resíduos de rochas ornamentais. A Figura 2 apresenta o mapa confeccionado durante o projeto.

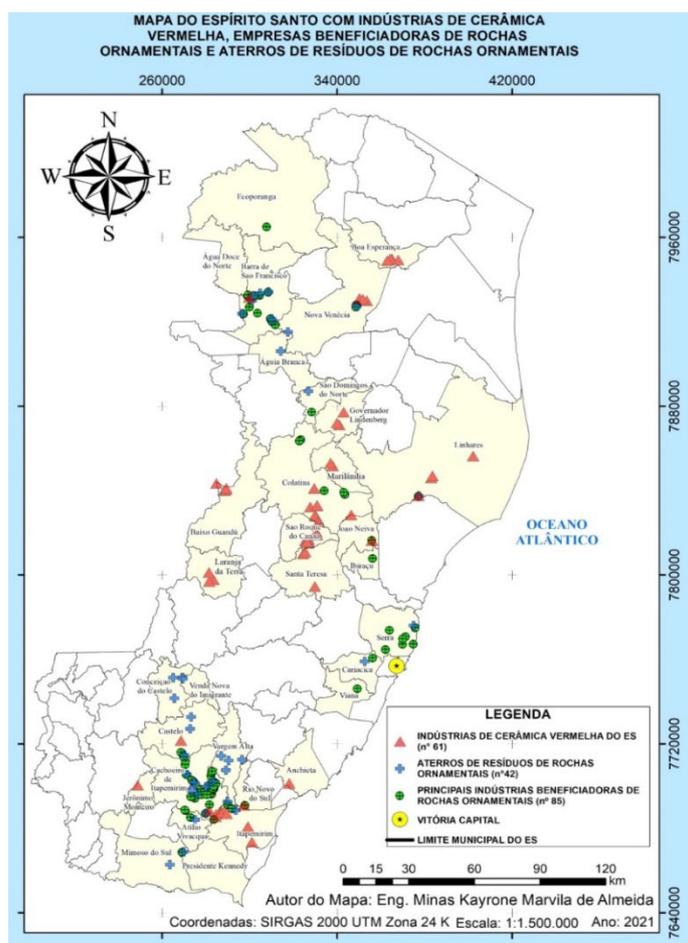


Figura 2. Mapa das indústrias de cerâmica vermelha, empresas beneficiadoras de rochas ornamentais e aterros de resíduos de rochas ornamentais

Diversas empresas dentro e fora do estado foram visitadas para apresentação do projeto e para verificar a viabilidade da utilização do resíduo. Desde o início do projeto, a equipe vem se reunindo com diversas empresas, instituições e órgãos governamentais. Esta interação colaborou para a confecção do termo de referência que foi de interesse de ambas as partes. Durante algumas visitas, foram coletados materiais para ensaios de caracterização. Os resultados foram positivos e os dados foram compartilhados com as empresas do setor.

Com base nos testes industriais realizados, que incorporaram os resíduos na massa cerâmica, ficou comprovada a viabilidade da aplicação desses materiais. Os resultados analisados foram extremamente positivos, destacando o desempenho mais favorável com a incorporação de 20% de resíduo na massa cerâmica. Os ensaios de resistência mecânica, absorção de água e características geométricas também apresentaram resultados promissores, evidenciando a qualidade do produto final. Além disso, os ensaios químicos e mineralógicos reforçaram a viabilidade da utilização dos resíduos, demonstrando que sua incorporação na cerâmica não comprometeu as propriedades técnicas do material.

Adicionalmente, a análise ambiental foi conduzida e não identificou riscos à saúde humana, o que destaca a segurança do material para uso. Esses dados são fundamentais para embasar o termo de referência, cujo objetivo é regulamentar e normatizar o uso responsável dos resíduos de rochas ornamentais em artefatos de cerâmica vermelha. Essa iniciativa busca estabelecer critérios e condições adequadas para a utilização dos resíduos do beneficiamento na produção dos artefatos, com o intuito de aproveitar de forma sustentável esses materiais e, conseqüentemente, reduzir o impacto ambiental.

O termo de referência, ao ser implementado, proporcionará diretrizes claras para a utilização do FiBRO na fabricação de artefatos cerâmicos, como: procedência predominantemente de rochas silicáticas e deve estar livre de impurezas e não conter materiais metálicos ferrosos, além de faixa específica de granulometria, teor de carbonatos e teor de ferro total. Além de, contribuir para melhor compreensão de como incorporá-los e quais procedimentos seguir. Seu foco é atender à necessidade de aproveitamento e uso responsável dos resíduos, buscando assim a promoção da sustentabilidade ambiental e o desenvolvimento de uma economia circular no setor de rochas ornamentais e cerâmica vermelha. Essa medida é essencial para o avanço em direção a práticas mais sustentáveis e para a redução dos impactos negativos no meio ambiente.

5. Conclusão

O levantamento das indústrias cerâmicas e polos beneficiadores de rochas ornamentais apontou que o estado do Espírito Santo possui uma boa logística de proximidade entre estas indústrias, com isso o resíduo pode ser utilizado sem necessidade de gastos maiores com transporte.

Os resultados da caracterização do material coletado, indicou valores favoráveis para a utilização dos resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais em artefatos de cerâmica vermelha. Os resíduos de rochas ornamentais apresentaram características adequadas à utilização no segmento de cerâmica vermelha, como granulometria fina e quantidades significativas de óxidos alcalinos e alcalinos terrosos. Além de ter melhorado a trabalhabilidade/plasticidade da argila, possibilitando assim, ajuste da etapa de conformação da cerâmica.

Os testes industriais foram satisfatórios. Os produtos criados apresentaram, em sua maioria, propriedades melhores do que a cerâmica sem resíduo, como maior resistência e menor absorção de água. Isso devido os resíduos contribuírem para melhor empacotamento das partículas e plasticidade e dependendo da temperatura, atuarem como fundente durante o processo de queima do artefato cerâmico.

O trabalho contribuiu com o termo de referência. No termo constam condições específicas para a utilização dos fins do beneficiamento de rochas ornamentais (FiBRO) em artefatos de cerâmica vermelha.

O termo de referência está em trâmite no IEMA e tem o propósito de possibilitar o uso adequado do FiBRO como subproduto (matéria-prima) em artefatos cerâmicos. Em breve, estará disponível para toda a comunidade técnica e científica, bem como para os profissionais e empresários ligados aos setores produtivos de interesse ao trabalho.

Ao regulamentar sua utilização, será possível oferecer maior segurança aos profissionais e setores envolvidos que visam a utilização desse material para fabricação de artefatos cerâmicos. Além de, contribuir com os princípios de ESG e economia circular, despertando a importância do uso consciente e sustentável do meio ambiente.

6. Agradecimentos

Agradeço ao CETEM, ao CNPq pela bolsa, a FAPES processo nº 84323264 pelo apoio financeiro, a minha supervisora Mônica Castoldi Borlini Gadioli e aos pesquisadores Maria Angélica Kramer Sant'Ana e Kayrone Marvila de Almeida pela colaboração no trabalho. Gostaria também de registrar como agradecimentos, a importância das instituições e empresas do setor de rochas ornamentais e de cerâmica para a realização do projeto, governo, universidades, sindicatos, órgão ambiental e entre outros.

7. Referências Bibliográficas

ABIROCHAS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. Exportações/ Importações Brasileiras. Disponível em: <https://abirochas.com.br/>. 2022 / 2023.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-1**: Componentes cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 1: Requisitos. ABNT, 2017.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-2**: Componentes cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 2: Métodos de ensaio. ABNT, 2017.

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

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17100-1**: Gerenciamento de resíduos. Parte 1: Requisitos gerais. ABNT, 2023.

MONTANI, C. **XXXI Rapporto Marmo e Pietre nel Mondo**. 2021

VIDAL, F.W.H., AZEVEDO, H.C.A. & CASTRO, N.F. Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento. Centro de Tecnologia Mineral. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 700p., 2014.