

CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS PRIMAS UTILIZADAS NA FABRICAÇÃO DE BLOCO DE VEDAÇÃO COM RESÍDUOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS

(CHARACTERIZATION OF THE RAW MATERIALS USED IN THE MANUFACTURE OF SEALING BLOCKS WITH WASTES OF ORNAMENTAL STONES)

K. M. Almeida¹; M. C. B. Gadioli¹, V.P.D. Sangrillo² M. C. Aguiar¹

¹Centro de Tecnologia Mineral – Núcleo Regional do Espírito Santo - CETEM/MCTI

Endereço: Rodovia Cachoeiro x Alegre, Km 5, S/N

CEP: 29311-970, Cachoeiro de Itapemirim –ES

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo - IFES

Endereço: Avenida Vitória, 1729 – Jucutuquara

CEP: 29040-780 2, Vitória - ES

kayronemarvila@gmail.com

Resumo

O Brasil é o quinto maior produtor de rochas ornamentais no mundo. Para transformar essas rochas em chapas, é realizado um processo de beneficiamento que produz grandes quantidades de resíduos finos. Esses resíduos são depositados diariamente em aterros, causando grande impacto ambiental. Calcula-se que, anualmente, no país são depositadas duas milhões e meio de toneladas de resíduos. Portanto, a aplicação e utilização desses resíduos é uma alternativa para minimizar a deposição e tornar o processo ambientalmente correto e sustentável. Pensando nisso, foi proposta a utilização desses resíduos em artefatos de cerâmica vermelha. As indústrias produtoras de cerâmica vermelha fabricam diariamente tijolos e blocos de vedação em larga escala. Elas possuem um consumo expressivo de argila, material finito e não renovável. Portanto, a proposta do trabalho foi caracterizar as matérias-primas, argilas e resíduos de rochas ornamentais, para analisar sua viabilidade de utilização na fabricação de blocos de vedação para uso na construção civil. Foram realizados ensaios de fluorescência de raios-X, difratometria de raios-X, massa específica real e análise granulométrica. Os resultados mostraram que o resíduo possui óxido fundente em sua composição, o que contribui para o fechamento dos poros e a redução na absorção de água dos artefatos cerâmicos. A distribuição granulométrica, análise mineralógica e massa específica também são favoráveis para sua incorporação na massa cerâmica. Portanto, as propriedades do resíduo de rochas ornamentais contribuem para a fabricação de artefatos de cerâmica vermelha.

Palavras chave: resíduos, rochas ornamentais, cerâmica vermelha, bloco de vedação

Abstract

Brazil is the fifth largest producer of ornamental stones in the world. To transform these stones into slabs, a beneficiation process is carried out that produces large amounts of fine waste. These wastes are deposited daily in landfills, causing great environmental impact. It is estimated that, annually, two and a half million tons of waste are deposited in the country. Therefore, the application and use of these wastes is an alternative to minimize deposition and make the process environmentally correct and sustainable. With that in mind, it was proposed to use these wastes in red ceramic artifacts. The industries that produce red ceramics manufacture bricks and sealing blocks on a daily basis on a large scale. They have a significant consumption of clay, a finite and non-renewable material. Therefore, the purpose of this work was to characterize the raw materials, clays and ornamental stone wastes, to analyze their viability of use in the manufacture of sealing blocks for use in civil construction. X-ray fluorescence, X-ray diffraction, real specific mass and granulometric analysis were performed. The results showed that the wastes has flux oxide in its composition, which contributes to the closing of the pores and the reduction in the water absorption of the ceramic artifacts. The granulometric distribution, mineralogical analysis and specific mass are also favorable for its incorporation in the ceramic mass. Therefore, the properties of ornamental stone waste contribute to the manufacture of red ceramic artifacts.

Keywords: waste, ornamental stone, red ceramic, sealing blocks

1 INTRODUÇÃO

A evolução dos produtos cerâmicos ao longo da história trouxe diversas aplicações na construção civil, sendo as construções em alvenaria as maiores utilizadoras de cerâmica vermelha [1]. A fabricação de tijolos, telhas e outros artefatos cerâmicos nesse setor é predominantemente feita a partir de argilas naturais [2]. Estima-se que existam no Brasil aproximadamente 5.437 indústrias dedicadas à produção de cerâmica vermelha [3].

Ao longo dos anos, acadêmicos e centros de pesquisa têm explorado possibilidades de aproveitar os resíduos provenientes do beneficiamento de rochas ornamentais em blocos de vedação cerâmicos. Durante o processo de desdobramento das rochas para a confecção de chapas, uma porção considerável, cerca de 26% dos blocos, é transformada em resíduos finos compostos por pó de rochas, água e insumos da serragem [4]. A incorporação desses resíduos na produção de artefatos cerâmicos não apenas contribui para a economia circular e a redução de impactos ambientais, mas também permite uma abordagem mais sustentável ao evitar o descarte em aterros. Além disso, a utilização desses resíduos possibilita uma redução no consumo de argila, um recurso natural não renovável. Essa prática está em conformidade com os princípios estabelecidos pela Lei nº 12.305 da Política Nacional de Resíduos Sólidos [5].

O Brasil se destaca como um dos principais produtores de rochas ornamentais no mundo, tendo exportado em 2021 cerca de US\$ 1,34 bilhão e 2,40 milhões de toneladas desses materiais [6]. O estado do Espírito Santo, responsável por 83% da produção nacional, desponta como um dos maiores produtores e exportadores de rochas ornamentais no país. Durante o processo de beneficiamento dessas rochas, ocorre uma considerável perda de material, estimada em cerca de 26% do volume total dos blocos, resultando em grandes quantidades de resíduos que podem ser reaproveitados [4]. O Espírito Santo gera anualmente aproximadamente dois milhões de toneladas de resíduos provenientes do beneficiamento de rochas ornamentais, os quais são descartados em aterros [7].

O principal objetivo deste trabalho é realizar uma caracterização das matérias-primas utilizadas na produção de blocos de vedação de cerâmica vermelha, incluindo tanto as argilas quanto os resíduos provenientes do beneficiamento de rochas ornamentais. Serão realizadas análises químicas, mineralógicas, granulométricas e de massa específica desses materiais, a fim de avaliar sua viabilidade de incorporação na fabricação dos blocos de vedação. Com isso, busca-se compreender o impacto dessas matérias-primas na qualidade e propriedades finais dos blocos de vedação de cerâmica vermelha.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

No desenvolvimento deste trabalho, foram utilizadas duas matérias-primas diferentes. A primeira é uma massa cerâmica composta por duas argilas específicas, sendo 67% de argila chamada "areinha" e 33% de argila chamada "batinga". Essas argilas são extraídas por uma indústria de cerâmica vermelha localizada no município de Itapemirim, Espírito Santo.

A segunda matéria-prima é o resíduo fino gerado durante o beneficiamento de rochas ornamentais. Esse resíduo foi coletado na empresa Cajugram Granitos e Mármore do Brasil Ltda, localizada em Mimoso do Sul, Espírito Santo. A empresa possui um processo completo de serragem das rochas, realizado por meio de um tear de fio diamantado. Vale ressaltar que o resíduo de polimento não foi misturado com o resíduo da serragem, portanto, sendo coletado separadamente.

2.1 Caracterização química - Fluorescência de raios-X

Foi realizada uma análise por fluorescência de raios-X para conhecer a composição química das matérias-primas utilizadas. Essa técnica permitiu determinar a percentagem em

massa dos elementos presentes nas amostras. Os resultados apresentados são médias de três leituras e foram obtidos por meio de uma análise semiquantitativa utilizando um espectrômetro por fluorescência de raios-X (modelo AxiosMax da Panalytical).

2.2 Caracterização Mineralógica - Difração de raios-X

Foi utilizado o ensaio de difração de raios-X pelo método do pó para caracterização mineralógica dos materiais. Os dados foram coletados utilizando um equipamento Bruker-D4 Endeavor, seguindo as seguintes condições operacionais: utilização de radiação Co K α (35 kV/40 mA), velocidade do goniômetro de 0,02° por passo, tempo de contagem de 1 segundo por passo e intervalo de ângulos de difração 2 θ variando de 5 a 80°.

2.3 Distribuição de tamanho de partículas da massa cerâmica – peneiramento e sedimentação

Para determinar a distribuição de tamanho de partícula da massa cerâmica, foi adotado um método combinado de peneiramento e sedimentação por gravimetria, seguindo as diretrizes da norma técnica ABNT NBR 7181 [8].

2.4 Distribuição de tamanho de partículas do resíduo fino

A distribuição de tamanho de partículas do resíduo fino de rochas ornamentais foi obtida no equipamento Malvern Mastersizer (modelo 2000) utilizando a técnica de espalhamento de luz *laser* de baixo ângulo, conhecida, genericamente, por espalhamento de luz.

2.5 Massa específica real da massa cerâmica e do resíduo

Foi realizado um ensaio para determinar a massa específica real da massa cerâmica e do resíduo de rochas ornamentais. O método utilizado foi a picnometria utilizando gás hélio (He). Essa técnica é empregada para avaliar a massa específica real da substância em questão, devido à sua alta precisão. O gás hélio é capaz de preencher facilmente todos os espaços entre as finas partículas de argila. O equipamento utilizado foi o Micromeritics AccuPyc 1340 II.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Composição química

A Tabela I mostra a composição química da massa cerâmica, argila areinha, argila batinga e o resíduo de rochas ornamentais.

Tabela I - Composição química das matérias primas utilizadas (em massa)

Composição	Massa	Argila	Argila	Resídu
o	Cerâmico	Areinha	Batinga	o
	a 0%R			
SiO ₂	48,60	51,50	41,20	60,70
Al ₂ O ₃	28,50	26,8	33,80	19,60
Fe ₂ O ₃	6,07	6,00	3,95	4,46
MgO	2,13	2,37	1,33	1,79
K ₂ O	1,71	2,02	1,21	2,47
TiO ₂	1,19	1,15	1,37	0,76
Na ₂ O	ND	ND	ND	0,96
CaO	0,48	0,65	0,18	1,61
SO ₃	0,15	0,13	0,15	0,11
ZrO ₂	ND	0,11	ND	ND
P ₂ O ₅	ND	ND	0,09	ND
PPC	10,60	9,00	16,40	7,05

A massa cerâmica utilizada é composta principalmente por argilas areinha e batinga, sendo rica em dióxido de silício SiO₂ e óxido de alumínio Al₂O₃. A presença de óxido de ferro Fe₂O₃ é responsável pela coloração avermelhada aos produtos cerâmicos como o bloco de vedação. É importante manter o teor de óxido de ferro abaixo de 8% para evitar problemas de qualidade do produto final. A perda por calcinação PPC ocorre durante a queima da cerâmica devido à decomposição de matéria orgânica, desidratação de hidróxidos e perda de água.

O resíduo de rochas ornamentais apresenta um alto teor de dióxido de silício SiO₂ e contém óxidos alcalinos fundentes, como óxido de sódio Na₂O e óxido de potássio K₂O, além de óxidos alcalinos-terrosos, como óxido de cálcio CaO e óxido de magnésio MgO. Esses óxidos fundentes melhoram as propriedades tecnológicas dos produtos cerâmicos, como por

exemplo a redução da porosidade e a absorção de água. O resíduo de rochas ornamentais apresentou uma PPC acima do esperado, possivelmente devido à contaminação por solo argiloso presente no pátio de estocagem do material.

3.2 Composição mineralógica

As Figuras seguintes mostram os difratogramas de raios-X das argilas areinha (Figura 1), batinga (Figura 2), e a massa cerâmica (Figura 3) sem a presença de resíduo. Esses difratogramas revelam a presença dos seguintes minerais com suas respectivas fórmulas químicas: caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), quartzo (SiO_2), gibsitita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), microclina (KAlSi_3O_8), muscovita ($\text{H}_2\text{KA}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}$), sepiolita ($\text{Mg}_4\text{Si}_6\text{O}_{15}(\text{OH})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), vermiculita ($22\text{MgO} \cdot 5\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 22\text{SiO}_2 \cdot 40\text{H}_2\text{O}$) e montmorilonita cálcica ($\text{Ca}_{0,2}(\text{Al}, \text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$). A análise química também identificou a presença dos elementos Al_2O_3 e SiO_2 , que estão associados à formação desses minerais de aluminossilicato, como caulinita e muscovita. O MgO encontrado nas argilas e na massa cerâmica contribui para a formação de minerais como sepiolita, vermiculita e montmorilonita. A presença de montmorilonita cálcica também foi confirmada na análise mineralógica, o que está em concordância com a porcentagem de cálcio encontrada na análise química.

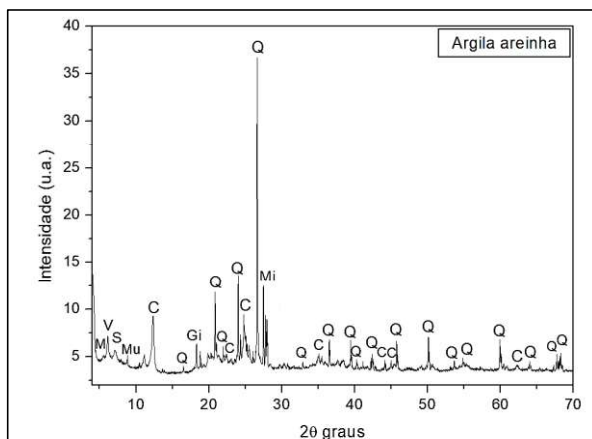


Figura 1 - Difratograma de raios-X da argila areinha. C = Caulinita, Q = Quartzo, Gi = Gibsitita, Mi = Microclina, Mu = Muscovita, S = sepiolita, V = vermiculita e M = montmorilonita

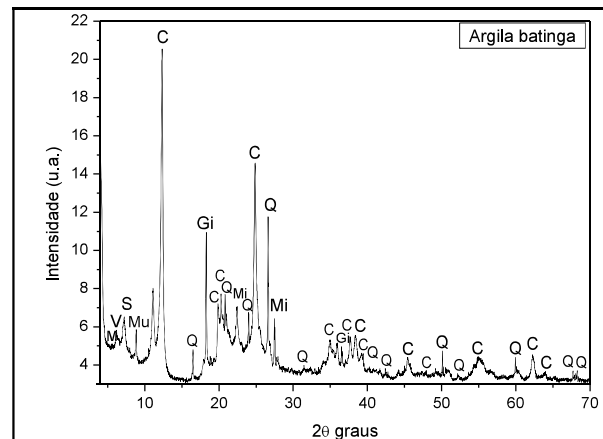


Figura 2 - Difratograma de raios-X da argila batinga, C = Caulinita, Q = Quartzo, Gi = Gibsitita, Mi = Microclina, Mu = Muscovita, S = sepiolita, V = vermiculita e M = montmorilonita

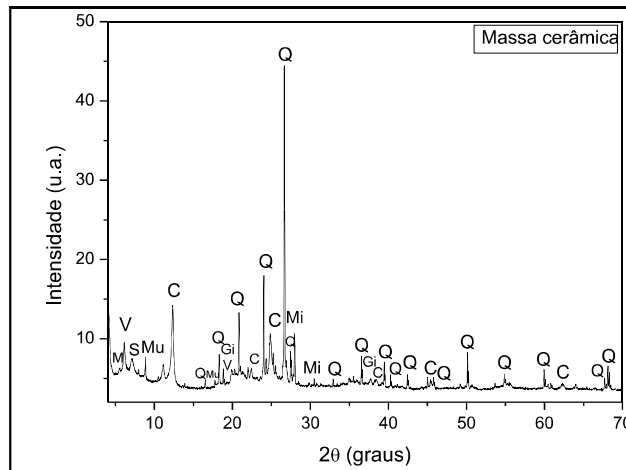


Figura 3 - Difratograma de raios-X da massa cerâmica, com 0% de resíduo. C = Caulinita, Q = Quartzo, Gi = Gibsita, Mi = Microclina, Mu = Muscovita, S = Sepiolita, V = Vermiculita e M = Montmorilonita cálcica

A presença de caulinita foi identificada tanto nas argilas quanto na massa cerâmica. A caulinita é um silicato hidratado de alumínio, pertencente ao grupo dos filossilicatos, e é um constituinte comum do caulim [9]. Ela desempenha um papel importante na plasticidade das argilas e da massa cerâmica, devido à sua estrutura ultrafina e lamelar. Além disso, a caulinita possui características refratárias durante o processo de queima, apresentando alta perda ao fogo, retração durante a queima e capacidade de absorção de água após a queima [10]. A presença de SiO_2 e Al_2O_3 na análise química confirma a presença desse mineral.

A presença de quartzo na argila pode reduzir a plasticidade e a retração da argila. O excesso de sílica livre na forma de quartzo pode causar danos aos blocos de vedação de cerâmica vermelha, como a diminuição da resistência mecânica [11]. Durante a etapa de queima, a maioria do quartzo atua como um componente inerte devido ao seu alto ponto de fusão.

Foram identificados picos de difração da gibbsite, e também picos de difração da microclina, um feldspato potássico, que atua como fundente durante a queima cerâmica. Também foi identificada a presença de muscovita, um mineral filossilicato que, dependendo do tamanho de suas partículas, pode afetar negativamente o processo de fabricação cerâmica, mas em partículas de tamanho reduzido, pode atuar como fundente.

A Figura 4 mostra o difratograma de raios-X do resíduo fino de rochas ornamentais. Podem ser observados picos correspondentes aos seguintes minerais: caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), quartzo (SiO_2), gibbsite ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), microclina (KAlSi_3O_8), muscovita

($H_2KA_3Si_3O_{12}$), sepiolita ($Mg_4Si_6O_{15}(OH)_2 \cdot 6H_2O$) e vermiculita ($22MgO \cdot 5Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3 \cdot 22SiO_2 \cdot 40H_2O$).

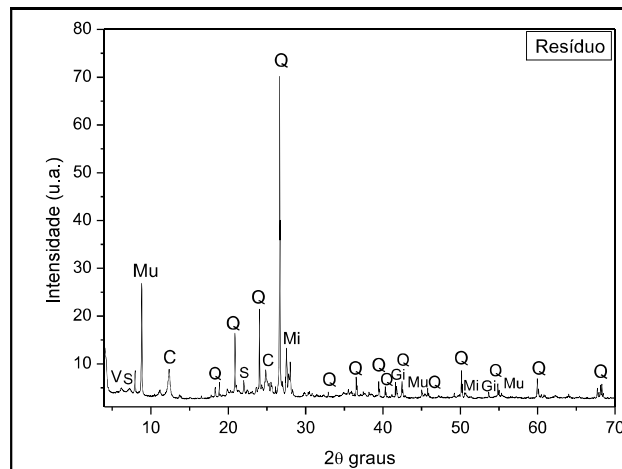


Figura 4 - Difratograma de raios-X do resíduo de rochas ornamentais, C = Caulinita, Q = Quartzo, Gi = Gibsita, Mi = Microclina, Mu = Muscovita, S = sepiolita e V = vermiculita

O quartzo foi o mineral predominante encontrado no resíduo de rochas ornamentais. Sua presença pode influenciar na plasticidade da massa cerâmica, porém, em excesso, pode levar à formação de trincas durante o processo de transformação em temperatura elevada. O resíduo também apresentou picos de microclina, um mineral alcalino que atua como fundente e contribui positivamente no processamento cerâmico. Por outro lado, a presença significativa de muscovita pode prejudicar a resistência da cerâmica devido à fragilidade de suas lâminas flexíveis. Além disso, foram identificados argilominerais como caulinita, sepiolita e vermiculita no resíduo, indicando possível contaminação com argilas. A contaminação pode ter ocorrido devido à falta de isolamento no pátio de armazenamento do resíduo ou através dos caminhões que transportam tanto o resíduo quanto o solo, o que pode deixar as caçambas contaminadas.

3.3 Análise granulométrica

A Figura 5 mostra a distribuição do tamanho de partículas da massa cerâmica e do resíduo fino de rochas ornamentais. De acordo com a *International Society of Soil Science (ISSS)*, a fração argila é compreendida entre as frações de tamanho inferiores a 0,002 mm, o silte entre 0,002 mm e 0,02 mm, e acima de 0,02 mm até 2 mm é considerado areia [12]. A massa cerâmica possui 33,5% de fração argila, 21,5% de silte e 45% de fração areia. Já o resíduo fino apresenta 7,67% de fração <0,002 mm, 48,54% de silte e 43,79% de fração areia.

A presença de uma maior quantidade de silte no resíduo pode contribuir para preencher os poros e reduzir a absorção de água na cerâmica vermelha [12].

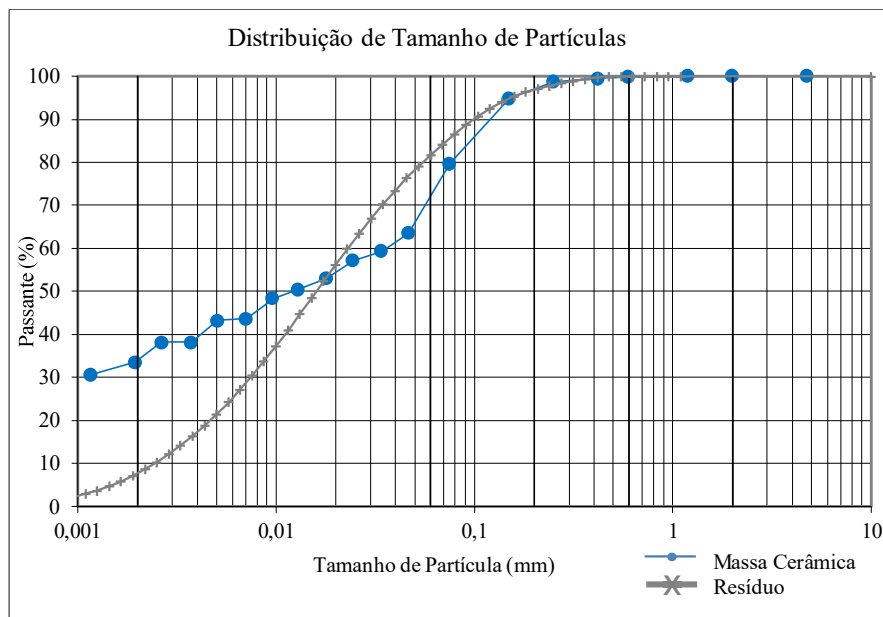


Figura 5 - Distribuição granulométrica da massa cerâmica e do resíduo de rochas ornamentais

3.4 Massa específica real da massa cerâmica e do resíduo

A Tabela II apresenta os valores de massa específica obtidos da massa cerâmica e do resíduo fino do beneficiamento de rochas ornamentais. Os resultados apresentaram-se iguais para as duas matérias-primas. Isso mostra a similaridade da massa específica do resíduo e da massa cerâmica.

Tabela II - Massa específica real da massa cerâmica e do resíduo

Matérias-primas	Massa específica real (g/cm³)	Desvio Padrão (g/cm³)
Massa cerâmica (MC 0%R)	2,71	± 0,0033
Resíduo de rochas ornamentais	2,71	± 0,0012

4 CONCLUSÕES

A massa cerâmica e as argilas analisadas são compostas por minerais como a caulinita e a montmorilonita. A caulinita desempenha um papel crucial na plasticidade da argila e da massa cerâmica, graças à sua estrutura ultrafina e lamelar. Além disso, ela apresenta propriedades refratárias durante a queima dos artefatos cerâmicos, mas também pode resultar em perda de massa, retração e absorção de água após a queima. Por outro lado, a presença da montmorilonita, um mineral altamente plástico e suscetível à re-hidratação, pode afetar negativamente a resistência mecânica dos blocos de vedação de cerâmica vermelha, especialmente em quantidades elevadas.

Quanto ao resíduo utilizado, ele contém óxidos fundentes em sua composição, o que contribui para a redução da porosidade e da absorção de água nos artefatos cerâmicos. Além disso, sua distribuição granulométrica, análise química, mineralógica e densidade são favoráveis para a incorporação na produção de blocos de vedação. A utilização de resíduos finos provenientes de rochas ornamentais nesse processo pode ajudar a suprir a composição da argila, melhorando as propriedades tecnológicas dos blocos de vedação de cerâmica vermelha. A prática de utilização dos resíduos de rochas ornamentais em artefatos de cerâmica vermelha, pode contribuir para a preservação dos recursos naturais e também reduz a geração e deposição de resíduos em aterros, o que promove a sustentabilidade ambiental.

5 AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Centro de Tecnologia Mineral-CETEM/NRES, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo-IFES e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Espírito Santo-FAPES.

6 REFERÊNCIAS

- [1] ABCERAM - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. Cerâmica Vermelha - Considerações Gerais, 2023. Disponível em: <https://abceram.org.br/ceramica-vermelha/>. Acesso em: 01 jan. 2023.
- [2] M. A. K. Sant'Ana, M. C. B. Gadioli. Estudo da viabilidade técnica da utilização de resíduos de rochas em massas cerâmicas. Série Tecnologia Ambiental. Rio de Janeiro, RJ: Centro de Tecnologia Mineral, 2018.
- [3] ANICER - Associação Nacional da Indústria Cerâmica. Dados do Setor - 2020. Disponível em: <http://www.anicer.com.br>. Acesso em: 19 de março de 2023.

- [4] L. L. L. Silveira, F. W. H. Vidal, J. C. Souza. Beneficiamento de rochas ornamentais. In: Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2014. p.329-398.
- [5] BRASIL. Lei nº. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm>. Acesso em: 21 de janeiro de 2023.
- [6] ABIROCHAS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. Balanço das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais em 2021. Informe 01/2022. Brasília/DF, 2022.
- [7] CAMPOS, A.R *et al.*: Resíduos: Tratamento e Aplicações Industriais. In: VIDAL, F.W.H. *et al.* Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Centro de Tecnologia Mineral, 2014, cap. 9, p. 435.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7181 – Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro. 2016
- [9] A. B. Luz, A. R. Campos, E. A. Carvalho, L. C. Bertolino. Argila - caulim. In: Rochas & minerais industriais: usos e especificações. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005. Parte II. Cap.11. p.231-262.
- [10] L. F. T. Queiroz. Efeito da quantidade de areia quartzosa no processamento, microestrutura e propriedades da cerâmica vermelha para telhas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2009.
- [11] H. G. Riella, E. U. C. Frajndlich, M. Durazzo. Caracterização e utilização de fundentes em massas cerâmicas. Cerâmica Industrial, v. 7, n. 1, p. 15-20, 2002.
- [12] P. S. Santos. Ciência e tecnologia das argilas. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1989. v. 1, 4 p.