

Sustentabilidade na cerâmica: O potencial do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais na massa cerâmica argilosa

Sustainability in ceramics: The potential of residue from ornamental stone processing in clayey ceramic mass

Sostenibilidad en cerâmica: El potencial de residuos del procesamiento de rocas ornamentales en masa cerámica arcillosa

Marcelo Santos Neves

Mestrando, Instituto Federal do Espírito Santo – IFES, Brasil
marcelosneves@outlook.com

Lucinéa Bayer Poton Moscon

Mestranda, Instituto Federal do Espírito Santo – IFES, Brasil
lpoton@hotmail.com

Alessandra Savazzini dos Reis

Professora Doutora, Instituto Federal do Espírito Santo – IFES, Brasil
alessandrar@ifes.edu.br

Elvis Pantaleão Ferreira

Professor Doutor, Instituto Federal do Espírito Santo – IFES, Brasil
elvispf@ifes.edu.br

Viviana Possamai Della Sagrillo

Professora Doutora, Instituto Federal do Espírito Santo – IFES, Brasil
viviana@ifes.edu.br

RESUMO

A preocupação com a geração e disposição de resíduos sólidos industriais tem sido cada vez maior. Nos últimos anos, os resíduos sólidos vêm sendo incorporados em massas argilosas, principalmente para fabricação de cerâmica vermelha. A incorporação de resíduos em massa argilosa pode diminuir danos ambientais, além de agregar valor econômico a um material que seria descartado para a produção de um produto sustentável. Diante disso, o presente trabalho buscou adicionar resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais em massa argilosa para a fabricação de cerâmica vermelha, avaliando seu potencial na indústria cerâmica. Primeiramente, as matérias-primas foram caracterizadas por fluorescência de raios-X, difração de raios-X e termogravimetria. Posteriormente, foram adicionados à massa argilosa os teores de 10, 20 e 30% do resíduo estudado e confeccionados corpos de prova por meio de extrusão. Os corpos de prova foram, então, submetidos à queima nas temperaturas de 850 e 950°C por 180 minutos, com taxa de aquecimento de 2°C/min. Em seguida, foram caracterizados por meio de retração linear de queima, absorção de água, porosidade aparente, massa específica aparente, perda ao fogo e tensão de ruptura à flexão. Os resultados obtidos apontaram que a temperatura de queima à 950°C contribuiu para uma densificação mais eficiente dos corpos de prova. A adição de até 20% desse resíduo à massa cerâmica apontou propriedades mecânicas similares à formulação constituída somente com argila. Conclui-se que é possível reduzir a quantidade de argila utilizada para a confecção de materiais cerâmicos, utilizando o resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais como matéria-prima alternativa.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos sólidos. Resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais. Cerâmica.

ABSTRACT

There is great concern about the generation and disposal of industrial solid waste. In the last years, solid waste has been incorporated into clayey masses, mainly for red ceramic manufacturing. The incorporation of waste into clay mass can reduce environmental damage, which adds economic value to a material that would be discarded to produce a sustainable product. Therefore, the addition of residue from the processing of ornamental rocks into clay mass for the manufacture of red ceramics was studied, evaluating its potential in the ceramic industry. First of all the raw materials were characterized by X-ray fluorescence spectroscopy, X-ray diffraction and thermogravimetric analysis. Then, 10, 20 and 30% of the residue were added to the clay mass and specimens were made using extrusion. The specimens were fired at 850 and 950°C for 180 minutes, with a heating rate of 2°C/min. Then it were characterized by firing shrinkage, water absorption, open porosity, apparent density, mass loss on ignition and flexural strength. The results obtained showed that the firing temperature at 950°C contributed to a more efficient densification of the specimens. The addition of up to 20% of this residue to the ceramic mass showed similar mechanical properties to the formulation made only with clay. Therefore, it is possible to reduce the amount of clay used to make ceramic materials, using residue from ornamental stone processing as an alternative raw material.

KEYWORDS: Solid waste. Residue from ornamental stone processing. Ceramics.

RESUMEN

Ha aumentado la preocupación por la generación y disposición de residuos sólidos industriales. En los últimos años se han incorporado residuos sólidos a masas arcillosas, principalmente para la fabricación de cerámica roja. La incorporación de residuos a la masa arcillosa puede reducir el daño ambiental y agregar valor económico a un material que de otro modo se descartaría para producir un producto sustentable. Por lo tanto, el presente trabajo buscó agregar residuos del procesamiento de rocas ornamentales a masa arcillosa para la fabricación de cerámica roja, evaluando su potencial en la industria cerámica. En primer lugar, las materias primas se caracterizaron mediante fluorescencia de rayos X, difracción de rayos X y termogravimetría. Posteriormente se adicionó a la masa de arcilla el 10, 20 y 30% del residuo estudiado y se elaboraron probetas mediante extrusión. Las muestras se quemaron a temperaturas de 850 y 950°C durante 180 minutos, con una velocidad de calentamiento de 2°C/min. Luego se caracterizaron mediante contracción lineal por cocción, absorción de agua, porosidad aparente, masa específica aparente, pérdida por fuego y tensión de ruptura por flexión. Los resultados obtenidos mostraron que la temperatura de cocción a 950°C contribuyó a una densificación más eficiente de las probetas. La adición de hasta un 20% de este residuo a la masa cerámica mostró propiedades mecánicas similares a la formulación realizada únicamente con arcilla. Se concluye que es posible reducir la cantidad de arcilla utilizada para elaborar materiales cerámicos, utilizando residuos del procesamiento de rocas ornamentales como materia prima alternativa.

PALABRAS CLAVE: Residuo sólido. Residuos del procesamiento de rocas ornamentales. Cerámica.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Associação Brasileira de Cerâmica (ABCERAM, 2023), são considerados cerâmicos todos os materiais não metálicos de origem inorgânica, em geral, obtidos após queima realizada em elevadas temperaturas, como a cerâmica vermelha e branca, refratários, isolantes térmicos, materiais abrasivos, vidro, dentre outros.

Por sua vez, a cerâmica vermelha possui coloração avermelhada, como sugere o próprio nome. Tal coloração é advinda do elevado percentual de óxido de ferro (Fe_2O_3) contido em sua composição. Geralmente, são empregados na indústria de construção civil, como tijolos, blocos, telhas e tubos cerâmicos. É comum que os materiais cerâmicos sejam conformados por meio de extrusão, que é um dos métodos mais utilizados na fabricação de cerâmica vermelha (WIECK & DUALIBI, 2013).

As principais matérias-primas utilizadas na produção de cerâmica vermelha possuem base argilosa com elevados teores de ferro (KAZMIERCZAK, 2017). A argila é utilizada por conta de sua plasticidade, moldabilidade e boa resistência mecânica associada à queima (VIEIRA; HOLANDA; PINATTI, 2000). No entanto, um estudo realizado por Fonseca e Morais (2022) aponta os impactos ambientais causados pela extração de argila, como a poluição atmosférica, contaminação de águas superficiais e subterrâneas, desmatamento e impactos no solo, bem como a poluição sonora e visual.

Portanto, um grande desafio para as indústrias do setor cerâmico é diminuir a extração de matéria-prima argilosa. Neste contexto, os resíduos sólidos podem ser empregados como matéria-prima alternativa na fabricação de cerâmica vermelha. Diversos estudos apontam a capacidade da cerâmica vermelha de incorporar vários tipos de resíduos, como o resíduo de vidro oriundo de decantadores de esmaltes (INOCENTE et al., 2018), lodo de estação de tratamento de água (SILVA & MACIEL, 2019), resíduo de gesso (ALMEIDA et al., 2020), resíduos de fábrica de celulose Kraft e de corte de vidro plano (RODRIGUES et al., 2021) e casca de noqueira (BARNABAS et al., 2022).

Assim como outros processos produtivos, o beneficiamento de rochas ornamentais gera resíduos que podem ocasionar impactos ambientais quando destinados de forma inadequada. Apesar disso, de acordo com Taguchi et al. (2014), a composição desse resíduo é similar à da argila, possibilitando sua incorporação na massa cerâmica.

O Brasil possui destaque internacional no setor de rochas ornamentais, de acordo com o Relatório de Mármore e Pedras no Mundo (MONTANI, 2020), sendo um dos cinco maiores produtores globais. No cenário econômico brasileiro, grande parte das exportações realizadas no Brasil são oriundas deste setor (ABIROCHAS, 2022).

Moreira, Freire e Holanda (2003) estudaram a incorporação do resíduo de rochas ornamentais em massas cerâmicas e destacaram aspectos importantes, como a composição químico-mineralógica do resíduo, semelhante à da argila, além da natureza não plástica do resíduo, que pode ser benéfica à massa argilosa.

Mediante ao exposto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a influência da incorporação do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais em massa argilosa para a fabricação de cerâmica vermelha por meio de extrusão, bem como verificar se é possível reduzir a quantidade de matéria-prima natural utilizada na indústria cerâmica.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização das matérias-primas

As matérias-primas utilizadas neste trabalho foram a argila e o resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais (RBRO). A argila foi obtida a partir de uma jazida situada no município de Nova Venécia-ES, enquanto o RBRO foi doado pela indústria Marmi Bruno Zanetti, localizada no município de Viana-ES.

Após a obtenção das matérias-primas, amostras das mesmas foram preparadas e secas em estufa à $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24h e, em seguida, foram destinadas aos ensaios de caracterização.

A caracterização mineralógica foi feita por meio de difração de raios X (DRX), realizada em difratômetro Brucker, modelo D8, com radiação Cu-K α e ângulo de difração 2θ . As fases cristalinas presentes foram identificadas com o software DIFFRACPLUS[®], utilizando padrões da base de dados do Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS).

A análise química da argila e do RBRO foi realizada por fluorescência de raios X a partir do equipamento PANalytical, modelo AxiosMax, com tubo de 4 kW e alvo de ródio.

O comportamento térmico do RBRO foi feito por meio termogravimetria (DSC/ATG), no equipamento BP Engenharia, modelo RB 3000, em atmosfera de nitrogênio, com taxa de aquecimento de $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ e faixa de temperatura entre 20 e 1050°C .

2.2 Preparo das formulações e conformação dos corpos de prova

Com o intuito de verificar como a quantidade de resíduo adicionado à massa argilosa influenciaria nas propriedades físicas e mecânica dos corpos de prova (cps), foram preparadas quatro formulações. Para servir como formulação de referência (A0), foi preparada uma formulação somente com argila. Para as demais formulações, utilizou-se argila e RBRO substituindo a argila parcialmente em teores de 10,20 e 30%, conforme detalhado na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição das formulações (% em massa).

Formulação	Argila (%)	RBRO (%)
A0	100	0
R1	90	10
R2	80	20
R3	70	30

Fonte: Autores, 2023.

Após a definição das formulações, as matérias-primas foram secas em estufa durante 24h em temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Posteriormente, foram desaglomeradas em moinho de bolas Marconi por 20 minutos, e passadas em peneira ABNT nº 60 com abertura de malha de 0,250 mm. As misturas foram, então, homogeneizadas a seco, umedecidas com 25% (em massa) de água e acondicionadas por um intervalo de 24h em sacos plásticos.

Os cps foram, então, confeccionados por meio de uma extrusora da marca Verdés (modelo BR 051). As massas argilosas foram impulsionadas por uma rosca sem fim para a câmara de vácuo (25 Kgf/cm²), e saindo pela matriz rígida de modo contínuo. Para cada formulação, foram conformados 60 cps prismáticos com dimensões de 95 mm x 30 mm x 15 mm.

Todos os cps foram secos em uma estufa à 110°C ± 5°C durante 24h. Em seguida, 20 cps de cada formulação foram queimados à 850°C, 20 cps de cada formulação foram queimados à 950°C e outros 20 cps de cada formulação não foram queimados para determinação da resistência mecânica. A queima foi realizada em forno laboratorial tipo mufla, com taxa de aquecimento de 2°C/min e patamar de 180 min. Após a queima, os cps foram resfriados dentro do forno por convecção natural até a temperatura ambiente.

2.3 Caracterização dos corpos de prova

Para a caracterização dos cps, foi necessário aferir as dimensões e os pesos dos cps após a secagem e queima. Além disso, os cps foram submetidos a pesagem da massa imersa e úmida. Para a obtenção da massa imersa, os cps foram imersos em água durante 24h e, em seguida, pesados em uma balança hidrostática. Após a pesagem da massa imersa, o excesso de água na superfície dos cps foi removido com um pano úmido e os cps, que estavam saturados com água, foram pesados novamente para determinar a massa úmida.

A caracterização dos cps foi realizada por meio da retração linear de queima (RLQ), porosidade aparente (PA), absorção de água (AA), massa específica aparente (MEA), perda ao fogo (PF) e tensão de ruptura à flexão (TRF), obtidos a partir das Equações 1, 2, 3, 4, 5 e 6, respectivamente.

$$RLQ(\%) = \frac{Ls - Lq}{Ls} \times 100 \quad \text{(Equação 1)}$$

$$PA(\%) = \frac{mu - mq}{mu - mi} \times 100 \quad \text{(Equação 2)}$$

$$AA(\%) = \frac{mu - mq}{mq} \times 100 \quad \text{(Equação 3)}$$

$$MEA(g/cm^3) = \frac{mq}{mu - mi} \quad \text{(Equação 4)}$$

$$PF(\%) = \frac{ms - mq}{ms} \times 100 \quad \text{(Equação 5)}$$

$$TRF (MPa) = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times h^2} \quad \text{(Equação 6)}$$

Onde *Ls* é o comprimento dos cps após a secagem na estufa (mm); *Lq* é o comprimento dos cps após a queima (mm); *ms* é a massa após a secagem na estufa (g); *mq* é a massa após a queima (g); *mi* é a massa imersa (g); *mu* é a massa úmida (g); *P* é a carga na ruptura (N); *L* é a

distância entre os apoios (mm) estipulada em 70 mm; b é a largura do corpo de prova (mm); e h é a espessura do corpo de prova (mm).

3 RESULTADOS

3.1 Caracterização das matérias-primas

Na Tabela 2 são apresentados os resultados da caracterização química da argila e do resíduo de rochas ornamentais (RBRO). Verifica-se que as matérias-primas utilizadas são constituídas principalmente por SiO_2 e Al_2O_3 , correspondendo à aproximadamente 80,50% da composição da argila e 84,28% do RBRO.

Tabela 2 – Composição química das matérias-primas.

Componentes (%)	Argila	RBRO
SiO_2	55,61	65,75
Al_2O_3	24,89	17,53
Fe_2O_3	5,97	4,62
K_2O	2,33	5,39
TiO_2	1,1	0,40
MgO	0,62	0,74
Na_2O	0,42	1,70
CaO	0,15	3,23
P_2O_5	0,12	0,32
MnO	<0,05	0,06
SO_3	-	0,21
SrO	-	<0,05
ZnO	-	<0,05

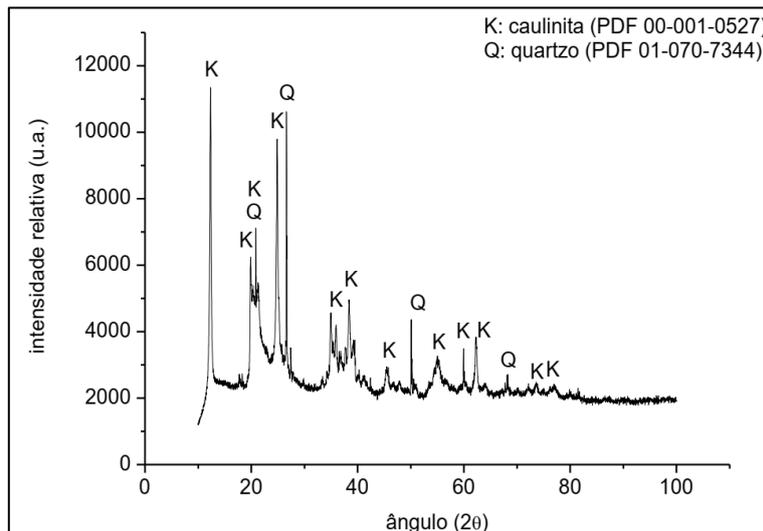
Fonte: Autores, 2023.

Além disso, embora em baixas concentrações, foram identificados teores de K_2O , CaO e MgO , que podem atuar como fundentes nas massas cerâmicas. Tal fato pode reduzir a temperatura necessária para a consolidação das partículas durante o processo de queima, devido à formação da fase líquida (MANHÃES et al., 2009).

O RBRO apresentou valor expressivo de SiO_2 em relação aos demais componentes. Isto pode ser considerado um indicativo de que as rochas ornamentais que deram origem ao resíduo são predominantemente graníticas (NEVES et al., 2021).

No que concerne à caracterização mineralógica da argila, presume-se que a argila utilizada é do tipo caulinitica, uma vez que a presença de caulinita é majoritária. A existência de quartzo na análise mineralógica reforça o teor significativo de SiO_2 detectado na análise química. A Figura 1 ilustra os picos de difração de raios X da argila que correspondem à caulinita e ao quartzo.

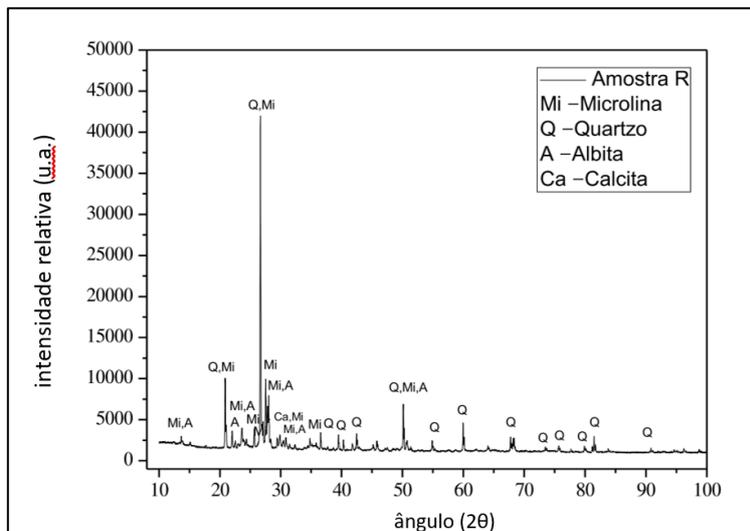
Figura 1 – Difratoograma de raios X da argila.



Fonte: Autores (2023).

A partir da caracterização mineralógica do RBRO, a predominância de quartzo fica evidente, corroborando o fato de que o resíduo estudado é proveniente de rochas de composição silicática, popularmente conhecidas como rochas graníticas (NEVES et al., 2021). O quartzo tende a diminuir a plasticidade da massa argilosa, reduzindo a quantidade de água necessária para conformação por extrusão. Além disso, pode aumentar a dureza e promover a densificação dos produtos cerâmicos (ALMEIDA et al., 2020). A presença de picos de difração no RBRO correspondentes à microlina, albita e calcita também foi identificada, como pode ser verificado na Figura 2.

Figura 2 – Difratoograma de raios X do RBRO.

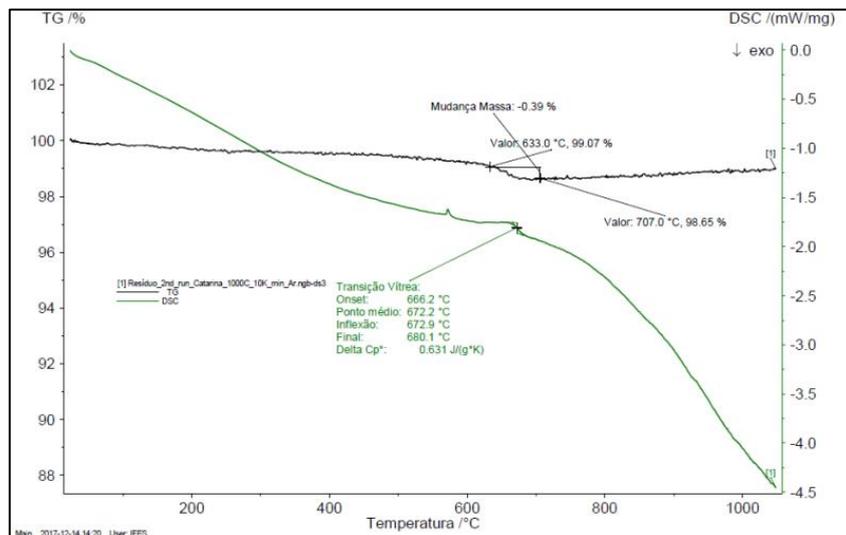


Fonte: Autores (2023).

A Figura 3 mostra a análise térmica do RBRO, por meio de DSC/ATG, que revela os eventos atrelados à perda de massa durante o aquecimento até 1050°C. Verifica-se um evento

endotérmico entre a temperatura de 633°C e 707°C, aproximadamente, associado a uma pequena perda de massa, de 0,39%. Esta perda de massa pode ser atribuída à transição vítrea, que ocorre em temperatura próxima à 670°C, considerando a presença de K₂O, CaO e MgO em sua composição química.

Figura 3 – Curvas DSC/ATG do RBRO.

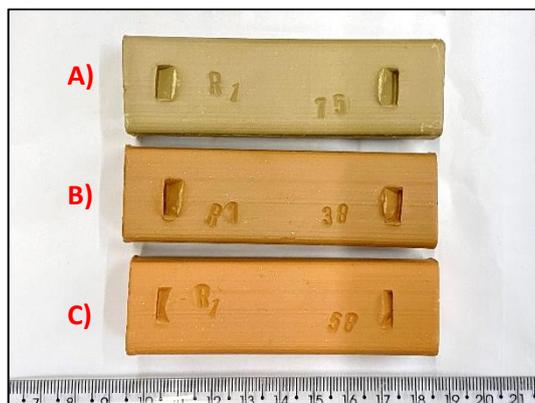


Fonte: Autores (2023).

3.2 Caracterização dos corpos de prova

A Figura 4 exibe os corpos de prova (cps) utilizados nos ensaios físicos e mecânico. Os cps que não foram queimados (A) apresentaram coloração amarronzada. Os cps queimados à 950°C (C) adquiriram coloração mais avermelhada em relação aos queimados à 850°C (B).

Figura 4 – Corpos de prova conformados por extrusão.

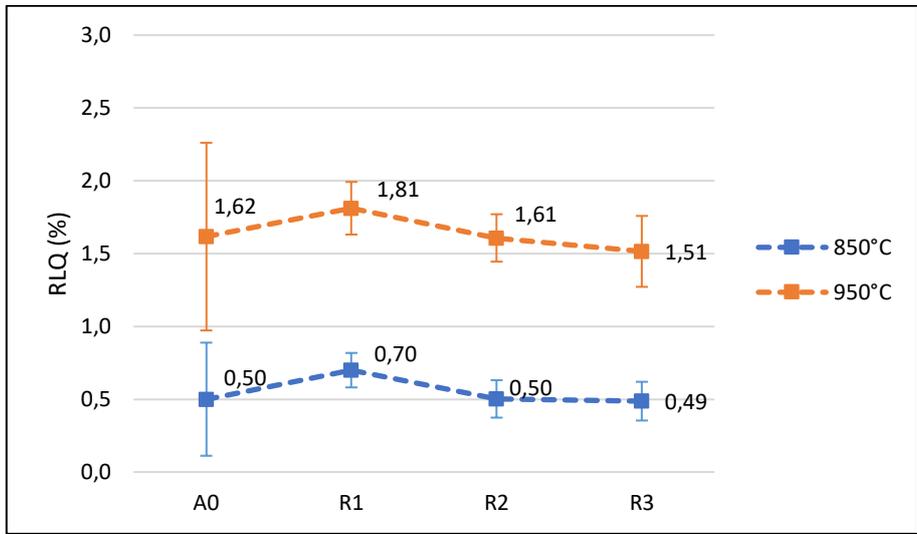


Fonte: Autores (2023).

Por meio da retração linear de queima (RLQ) é possível verificar a efetividade do processo de sinterização, considerando que uma maior retração é um indicativo de uma maior densificação das partículas. Os cps queimados à 950°C apresentaram RLQ superior aos

queimados à 850°C para todas as formulações. As formulações A0, R1 e R2 obtiveram os maiores valores de RLQ, indicando que a adição de RBRO à massa argilosa reduziu a RLQ (Figura 5).

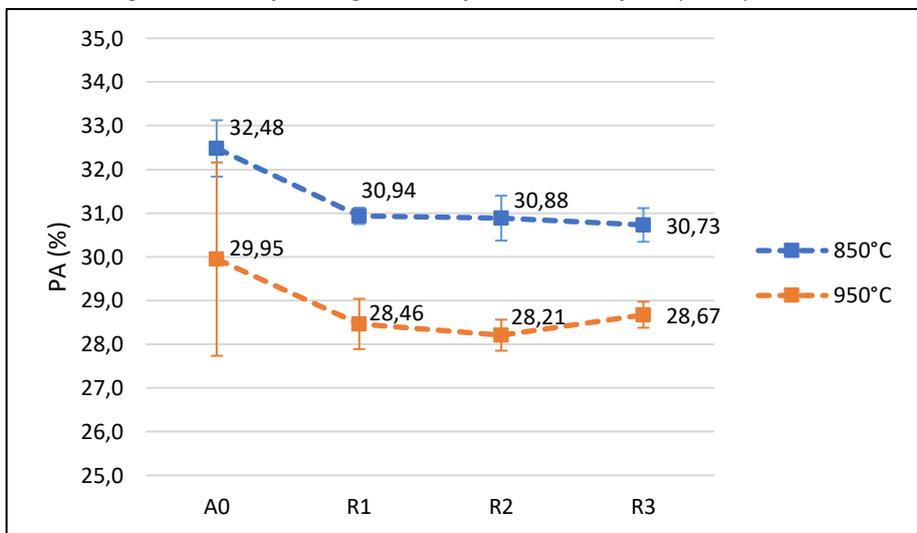
Figura 5 – Retração linear de queima das formulações testadas.



Fonte: Autores (2023).

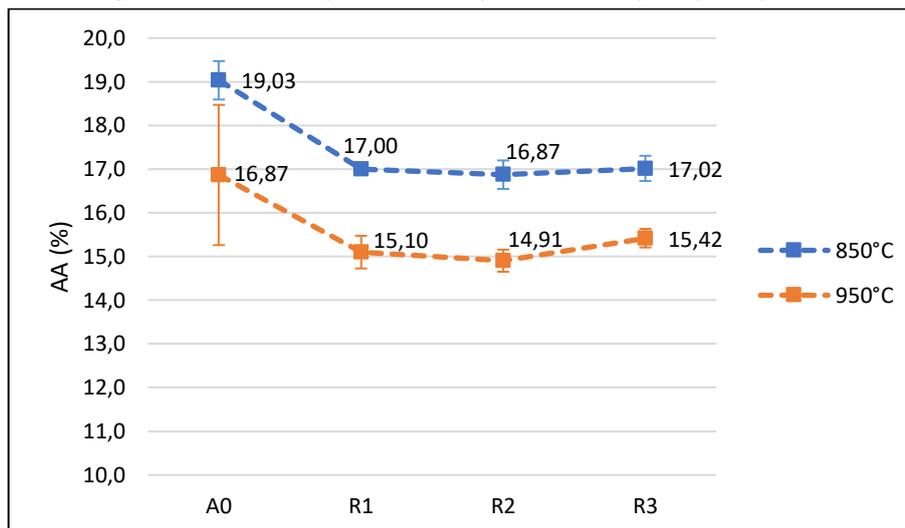
A absorção de água (AA) e porosidade aparente (PA) estão associadas à RLQ. Sendo assim, as formulações R1, R2 e R3 obtiveram os menores valores de AA e PA, conforme o esperado. Portanto, a adição de RBRO à massa cerâmica reduziu os valores de AA e PA em relação à formulação de referência (A0). Cabe destacar que os cps queimados à 950°C registraram os melhores resultados (Figura 6 e Figura 7).

Figura 6 – Absorção de água em função das formulações após a queima.



Fonte: Autores (2023).

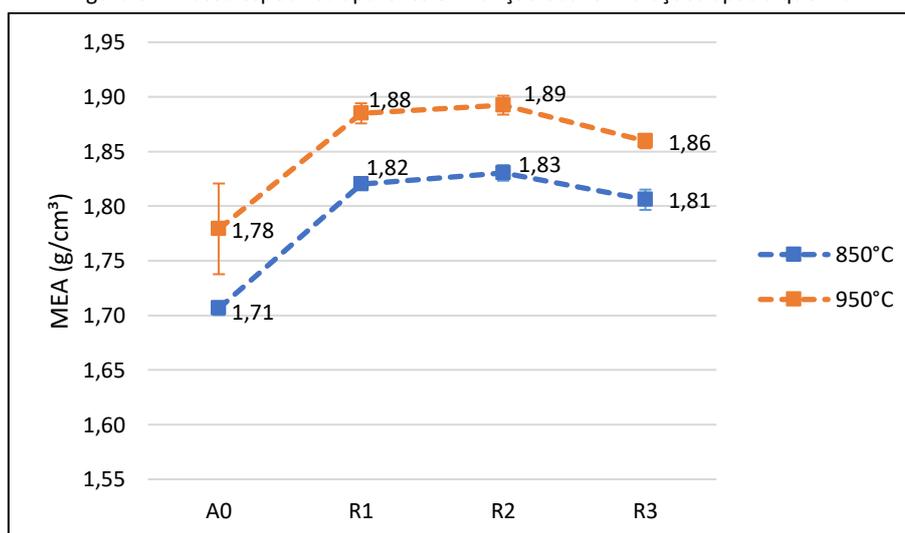
Figura 7 – Porosidade aparente em função das formulações após a queima.



Fonte: Autores (2023).

A massa específica aparente (MEA) dos cps queimados à 850°C foi menor em relação aos cps queimados à 950°C, indicando que a temperatura mais elevada favoreceu na densificação das partículas (Figura 8). A incorporação do resíduo na massa argilosa também contribuiu com uma maior densificação dos cps, uma vez que as formulações com resíduo obtiveram maior MEA em relação à formulação de referência (A0).

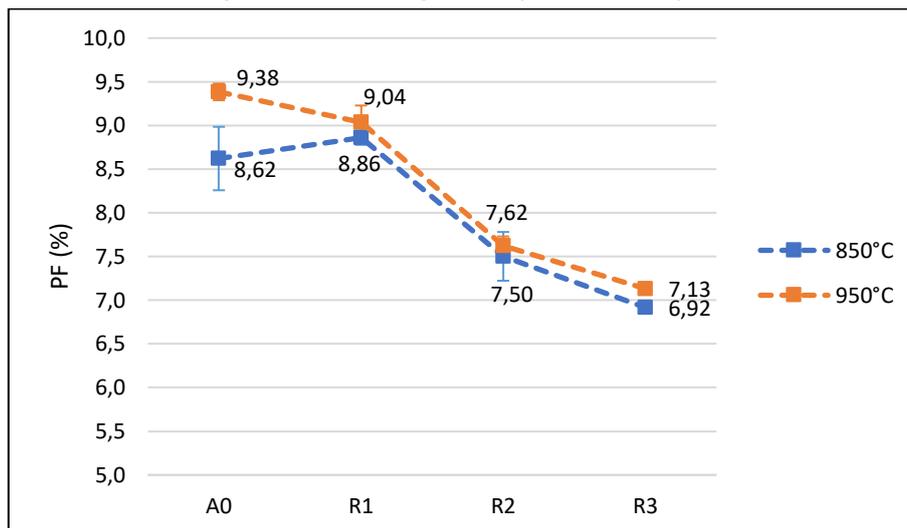
Figura 8 – Massa específica aparente em função das formulações após a queima.



Fonte: Autores (2023).

No que diz respeito à perda ao fogo (PF), os cps queimados à 950°C demonstraram maior PF quando comparados aos queimados à 850°C. Apesar disso, com a adição do resíduo, a PF tendeu a reduzir considerando todas as formulações com resíduo, conforme mostra a Figura 9. Destaca-se que a PF dos cps pode estar atrelada à baixa perda de massa do RBRO, uma vez que a adição do resíduo diminuiu a PF.

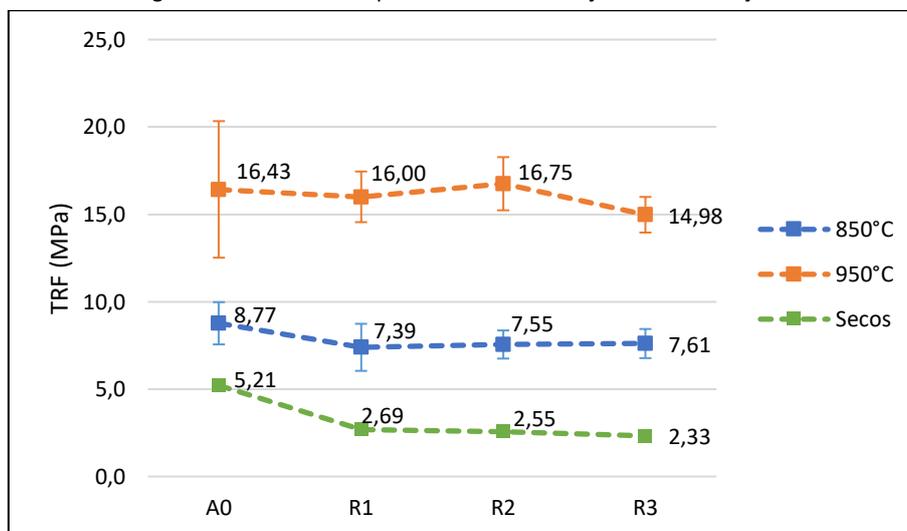
Figura 9 – Perda ao fogo em função das formulações.



Fonte: Autores (2023).

Mediante aos ensaios de tensão de ruptura à flexão (TRF), as temperaturas de queima influenciaram na resistência mecânica dos cps, uma vez que os cps submetidos à queima a 950°C indicaram maior TRF em relação aos queimados à 850°C (Figura 10). As formulações R1 e R2, quando queimadas à 950°C, apontaram melhor resistência mecânica, apresentando resultados próximos à formulação de referência (A0). No entanto, segundo as recomendações de Santos (1989), para a fabricação de tijolos de alvenaria, o limite mínimo da TRF após a queima é de 2,0 MPa. Portanto, todas as formulações, independentemente da temperatura de queima, atendem à recomendação.

Figura 10 – Tensão de ruptura à flexão em função das formulações.



Fonte: Autores (2023).

4 CONCLUSÕES

Mediante ao presente trabalho, verificou-se a viabilidade de utilizar o resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais (RBRO) como matéria-prima alternativa na fabricação de cerâmica vermelha. Do ponto de vista químico, o RBRO possui predominantemente SiO_2 e Al_2O_3 , assim como a argila. Além disso, o principal constituinte mineralógico do resíduo é o quartzo, evidenciando que o resíduo é proveniente de rochas graníticas. O quartzo na massa argilosa auxilia na manutenção da plasticidade necessária para a extrusão.

A temperatura de queima influenciou significativamente na caracterização física e mecânica dos cps, considerando que a queima realizada à 950°C apresentou os melhores resultados. A incorporação de até 30% de RBRO na massa argilosa reduziu a porosidade aparente, absorção de água e perda ao fogo. A adição de RBRO também contribuiu com uma maior densificação dos cps, corroborada pela retração linear de queima e massa específica aparente.

A incorporação de até 20% de resíduo à massa cerâmica apontou propriedades mecânicas similares à formulação de referência, que contém somente argila. No entanto, ressalta-se que todas as formulações com resíduo atenderam as recomendações de Santos (1989) para a tensão de ruptura à flexão.

Portanto, os resultados atestam que é possível reduzir a quantidade de matéria-prima natural utilizada na fabricação de cerâmica vermelha. Com a incorporação de até 30% de RBRO na massa argilosa, pode-se reduzir a quantidade em até 70% de argila na formulação da massa cerâmica.

Além disso, utilizando-se um resíduo que é gerado em grandes volumes e normalmente é disposto em aterros, pode-se promover a valorização do mesmo na indústria cerâmica, visando a produção de materiais mais sustentáveis para o mercado.

5 AGRADECIMENTOS

Ao apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), bem como aos professores e servidores do Instituto Federal do Espírito Santo envolvidos no projeto.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, K. S. de; SOARES, R. A. L.; MATOS, J. M. E. de. Efeito de resíduos de gesso e de granito em produtos da indústria de cerâmica vermelha: revisão bibliográfica. **Revista Matéria**, Rio De Janeiro, n. 25, p. 1-14, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1517-707620200001.0893>>. Acesso em: 27 set. 2023.

ALMEIDA, K. S.; SOARES, R. A. L.; de MATOS, J. M. E.; ALMEIDA, C. de S. M.; ALMEIDA, J. S. Incorporação de resíduo de gesso em formulação para adoquim cerâmico. **Cerâmica Industrial**, vol.25, p. 1-11, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.4322/cerind.2020.005>>. Acesso em: 27 set. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. ABIROCHAS – Balanço das exportações e importações brasileiras de rochas ornamentais no período janeiro-novembro/2022. 2022. Disponível em: <https://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2022/01/Informe-06_2022-Exportac%CC%A7o%CC%83es-janeiro-novembro-2022.pdf>. Acesso em: 27 set. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. ABICERAM – Cerâmica vermelha. 2023. Disponível em: <https://abceram.org.br/ceramica-vermelha_/>. Acesso em: 28 jan. 2023.

BARNABAS, A. A.; BALOGUN, O. A.; AKINWANDE, A. A. et al. Reuse of walnut shell waste in the development of fired ceramic bricks. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, p. 11823–11837, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11356-022-22955-4>>. Acesso em: 27 set. 2023.

FONSECA, L. O.; MORAIS, I. L. H. Avaliação De Impactos Ambientais Causados Pela Extração De Argila Para a Indústria Ceramista Na Região De Monte Carmelo - MG. **Revista De Geografia**. v. 39, n. 2, p. 206-224, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.51359/2238-6211.2022.253579>>. Acesso em: 27 set. 2023.

INOCENTE, J. M.; NANDI, V. de S.; ROSSO, F. de OLIVEIRA, A.; ZACCARON, A. Estudo de Recuperação de Resíduos Vítreos na Formulação de Cerâmica Vermelha. **Cerâmica Industrial**, vol. 23, n. 3, p. 34-39, 2018. Disponível em: <<https://www.ceramicaindustrial.org.br/journal/ci/article/doi/10.4322/cerind.2018.004>>. Acesso em: 27 set. 2023.

KAZMIERCZAK, C. S. Produtos de cerâmica vermelha. In: ISAIA, G. C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências e Engenharia de Materiais**. Volume 1. 3ª edição. São Paulo: IBRACON, 2017, cap. 18.

SILVA, E. L. G.; MACIEL, A. P. Uso de resíduos sólidos de estação de tratamento de água como carga em blocos cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, v. 24, n. 4. p.29-36, 2019. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4322/cerind.2019.021>>. Acesso em: 27 set. 2023.

MOREIRA, J. M. S.; FREIRE, M. N.; HOLANDA, J. N. F. Utilização de resíduo de serragem de granito proveniente do estado do Espírito Santo em cerâmica vermelha. **Cerâmica**, São Paulo, v. 49, n. 312. p. 262-267, 2003. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0366-69132003000400012>>. Acesso em: 27 set. 2023.

MONTANI, C. XXXI Rapporto Marmo e Pietre nel Mondo 2020. Carrara: Aldus Casa di Edizioni in Carrara, 2020. Disponível em: <https://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2022/01/impaginato_XXXI_mailing.pdf>. Acesso em: 27 set. 2023.

NEVES, M. A.; PRADO, A. C. A.; MARQUES, R. A.; FONSECA, A. B.; MACHADO, M. E. S. Lama de beneficiamento de rochas ornamentais processadas no espírito santo: composição e aproveitamento. **Geociências**, São Paulo, v. 40, n. 1, p. 123-136, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.5016/geociencias.v40i1.15020>>. Acesso em: 27 set. 2023. SANTOS, P. S. Ciência e tecnologia de argilas. 2ª. ed. Edgar Blucher, São Paulo, 1989.

RODRIGUES, L. R.; JUNKES, J. A.; REIS, A. S.; LOUZADA, D. M.; DELLA SAGRILLO, V. P. Potential use of Kraft pulp mill and flat glass cutting wastes in red ceramic products. **Ceramics International**, v. 47, n. 13, p. 17971-17979, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.03.111>>. Acesso em: 30 set. 2023.

TAGUCHI, S. P.; SANTOS, J. C.; GOMES, T. M.; CUNHA, N. A. Avaliação das propriedades tecnológicas de cerâmica vermelha incorporada com resíduo de rocha ornamental proveniente do tear de fio diamantado. **Cerâmica**, v. 60, n. 354, p. 291-296, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0366-69132014000200020>>. Acesso em: 27 set. 2023.

VIEIRA, C. M. F.; HOLANDA, J. N. F.; PINATTI, D. G. Caracterização de massa cerâmica vermelha utilizada na fabricação de tijolos na região de Campos dos Goytacazes – RJ. **Cerâmica**, v. 46, n. 297, 2000. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0366-69132000000100003>>. Acesso em: 27 set. 2023.

WIECK, R.; DUAILIBI, J. Extrusão em cerâmica vermelha: Princípios básicos, problemas e soluções. **Cerâmica Industrial**. v. 18, n. 3, p. 16-23. 2013. Disponível em: <<https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/587657517f8c9d6e028b47e3/pdf/ci-18-3-587657517f8c9d6e028b47e3.pdf>>. Acesso em: 27 set. 2023.