

Análise das propriedades dos esmaltes cerâmicos com a substituição de resíduos de rocha ornamental granítica da região do Seridó Potiguar

Analysis of the properties of ceramic glazes with the substitution of granite ornamental rock waste from the Seridó Potiguar region

Maria Luiza Lima da Silva¹; Igor Henrique Lima da Silva²; Djalma Valério Ribeiro Neto³; Flánelson Maciel Monteiro⁴.

- ¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Campus Natal central/Diac, Natal/RN, Brasil. Email: silva.luiza3@escolar.ifrn.edu.br
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8124-8298>
- ² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Campus Natal central/Diatinf, Natal/RN, Brasil. Email: h.igor@escolar.ifrn.edu.br
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-8420-1066>
- ³ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Campus Natal central/Diaren, Natal/RN, Brasil. Email: djalma.neto@ifrn.edu.br
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-8420-1066>
- ⁴ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Campus Natal central/Diaren, Natal/RN, Brasil. Email: flanelson.monteiro@escolar.ifrn.edu.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5674-4736>

Resumo: Os esmaltes cerâmicos são amplamente utilizados em setores como cerâmica artística, revestimentos e louça sanitária. No entanto, devido à crescente escassez de recursos minerais, a busca por novas alternativas tem se intensificado. Este estudo visa investigar a substituição dos feldspatos de sódio e potássio, comumente utilizados em esmaltes cerâmicos, por resíduos de rocha ornamental provenientes da região do Seridó Potiguar, no Estado do Rio Grande do Norte. O resíduo de rocha será submetido a processos de beneficiamento (moagem e peneiramento) e caracterização (DRX e FRX), e incorporado em proporções de 5%, 10% e 15% nas formulações de esmalte. As amostras serão testadas em temperaturas de 1000°C, 1100°C, 1150°C e 1200°C. O processo de queima foi conduzido sob uma taxa de aquecimento de 10 °C/min, com isoterma de 60 minutos em cada temperatura máxima. Os ensaios tecnológicos incluirão absorção de água, porosidade aparente, retração linear, perda ao fogo e massa específica aparente. Os resultados permitirão avaliar o desempenho físico-químico das formulações e sua viabilidade em comparação com produtos tradicionais, oferecendo uma alternativa sustentável para o setor cerâmico.

Palavras-chave: Esmaltes cerâmicos; Resíduos de rocha; Seridó Potiguar; Sustentabilidade.

Abstract: Ceramic glazes are widely used in sectors such as artistic ceramics, wall and floor tiles, and sanitary ware. However, due to the increasing scarcity of mineral resources, the search for new alternatives has intensified. This study aims to investigate the replacement of sodium and potassium feldspars, commonly used in ceramic glazes, with ornamental stone waste from the Seridó Potiguar region in the State of Rio Grande do Norte. The stone waste will undergo processing (grinding and sieving) and characterization (XRD and XRF) and will be incorporated into glaze formulations in proportions of 5%, 10%, and 15%. Samples will be tested at temperatures of 1000°C, 1100°C, 1150°C, and 1200°C. The firing process was conducted at a heating rate of 10 °C/min, with a 60-minute dwell time (isothermal hold) at each peak temperature. Technological tests will include water absorption, apparent porosity, linear shrinkage, loss on ignition, and apparent density. The results will allow for the evaluation of the physicochemical performance of the formulations and their viability compared to traditional products, offering a sustainable alternative for the ceramic sector.

Keywords: Ceramic glazes; Rock waste; Seridó Potiguar; Sustainability.

1. Introdução

A fabricação de materiais cerâmicos representou um marco fundamental no início da engenharia de materiais, pois demonstrou ao ser humano a viabilidade de obter substâncias com propriedades notavelmente distintas das encontradas na natureza. Inicialmente, com a criação de vasos e pequenos utensílios domésticos há mais de dez mil anos, essa prática evoluiu ao longo da história, resultando na produção de uma ampla variedade de materiais cerâmicos. (Silva, 2012)

A região nordeste é conhecida por abrigar uma significativa concentração de indústrias de beneficiamento, as quais são responsáveis por liberar centenas de toneladas de resíduos anualmente no meio ambiente. Esse cenário é agravado pelo indicativo de crescimento na produção, despertando preocupação entre ambientalistas e a comunidade em geral, devido aos potenciais impactos perigosos e prejudiciais ao meio ambiente e à saúde da população. Nesse contexto, o estudo da fabricação de materiais cerâmicos com a adição de resíduos de rochas ornamentais surge como uma estratégia promissora para mitigar o impacto ambiental e promover a sustentabilidade na indústria cerâmica (MENEZES, 2002).

De acordo com Silva (2012, p. 1120), “a área de cerâmica pode ser a solução tecnológica mais adequada para valorização e inertização definitiva de resíduo sólido de rocha ornamental, sem causar qualquer outro tipo de poluição. Destaca-se ainda que a incorporação de resíduos de rochas ornamentais em massas cerâmicas, além de contribuir para a solução do problema ambiental, pode também contribuir para a redução do custo de energia do processo produtivo”.

A demanda por rochas ornamentais sempre foi algo de nível econômico alto, como mármore e granito. Conforme Teixeira (2017), no Brasil, a extração e o beneficiamento de rochas ornamentais enfrentam um desafio significativo: a considerável quantidade de resíduos gerados durante o processo, devido ao baixo percentual de aproveitamento do bloco de rocha no local da extração. Esse aproveitamento em volume da rocha, desde a extração até a obtenção do produto final, varia conforme o tipo de rocha e sua aplicação prevista.

Almeida (2020), aponta que a presença de quartzo melhora a resistência mecânica e a durabilidade do produto cerâmico, tornando-o mais resistente a quebras. A fase vítrea formada no processo de queima, por sua vez, melhora propriedades como resistência à corrosão e impermeabilidade, tornando os produtos mais robustos e adequados para diversas aplicações na construção civil.

Em termos ambientais, a reutilização de resíduos industriais, como os provenientes da produção de granito, está alinhada com as novas legislações ambientais e as demandas por soluções sustentáveis.

Almeida (2020, p. 2) destaca que,

“[...] as indústrias têm buscado formas de minimizar os resíduos gerados, assim como encontrar meios de reutilizar os mesmos de maneira adequada, principalmente devido às novas leis ambientais em vigor. A incorporação em produtos cerâmicos é uma forma de tratamento para os resíduos industriais, reduzindo o volume de matéria-prima e imobilizando os mesmos a fim de evitar o impacto negativo ao meio ambiente. A indústria de cerâmica vermelha tem apresentado interesse em desenvolver materiais novos com a incorporação de resíduos, podendo apresentar propriedades tecnológicas melhores e assim buscar o desenvolvimento de novas tecnologias viáveis para a reutilização desses resíduos.”

Essa abordagem demonstra o potencial dos resíduos de rochas ornamentais como insumos valiosos na produção cerâmica, promovendo benefícios técnicos e ambientais, além de contribuir para a sustentabilidade no setor da construção civil.

O objetivo deste trabalho é analisar as propriedades dos esmaltes cerâmicos e como eles se comportam com a substituição do resíduo de rocha, espera-se obter peças cerâmicas esmaltadas com propriedades físico-químicas e tecnológicas similares aos produtos cerâmicos tradicionais.

2. Metodologia

A coleta dos resíduos de rocha ornamental (granítica) localizada no município de Parelhas/RN, na empresa Thor Granitos. Conforme no fluxograma, Figura 1. São listadas e adotadas para a obtenção de analisar as propriedades tecnológicas dos esmaltes cerâmicos.

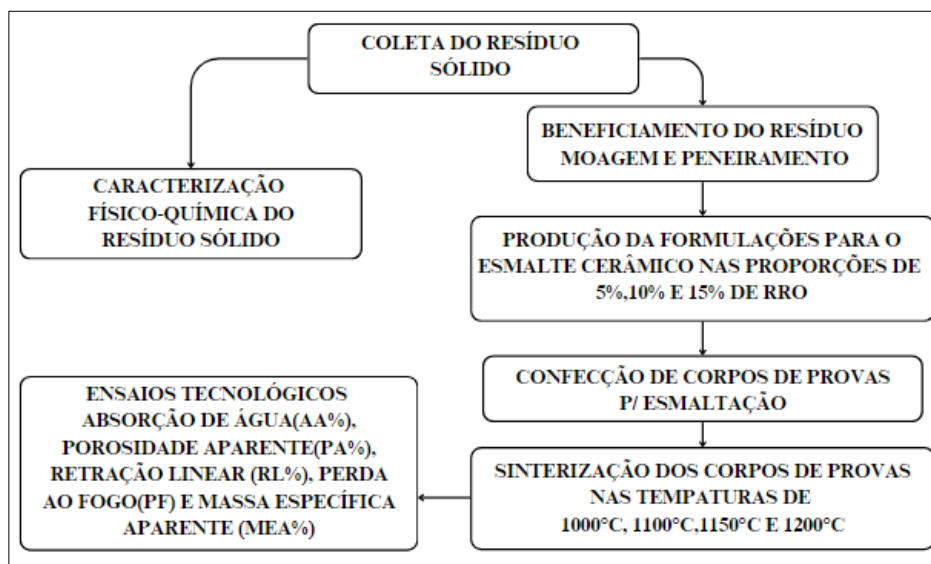


Figura 1 – Fluxograma.

Fonte: Autores (2025).

Uma das problemáticas voltadas para essa pesquisa é que esses resíduos gerados são provenientes das atividades de cortes na rocha, as quais, majoritariamente, envolvem o uso de água para lubrificação do fio diamantado, quando se usa esse método, resultando na formação de uma "lama". Em termos ambientais, torna-se evidente que no caso do descarte inadequado desses resíduos, pode ocasionar impactos negativos tanto para o meio ambiente quanto à população. Na Figura 2 tem-se o resíduo de pó de rocha in natura de uma usina de beneficiamento de rocha ornamental.



Figura 2 – Resíduo de rocha ornamental da região do município de Parelhas/RN.

Fonte: Autores (2025).

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foram confeccionadas aproximadamente 160 peças, as quais foram submetidas ao processo de queima. Após essa etapa, procedeu-se à esmaltação das amostras. Cada formulação de esmalte apresentou entre 38 e 40 peças, sendo aplicadas diferentes proporções de resíduo de rocha ornamental (RRO): 0%, 5%,

10% e 15%. Além disso, foram utilizadas outras matérias-primas como argila, albita e quartzo, conforme descrito na Tabela 1, na qual é possível observar as formulações adotadas.

Por conseguinte, no caso, usou-se para produção do trabalho uma argila de queima branca, proveniente do município de São Gonçalo do Amarante, que se encontrava armazenada no Laboratório de Materiais e Minerais (LT2M) no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Campus Natal — Central. Inicialmente, a argila foi cominuída em um almofariz.

A granulometria das matérias-primas foi determinada com base na consideração de que este trabalho se dedica ao setor de cerâmica estrutural, no qual não existe um padrão estabelecido para a faixa granulométrica no processo de fabricação dos produtos. A caracterização da argila de São Gonçalo do Amarante, na região metropolitana de Natal, incluiu o processo de peneiramento com uma malha de #35 mesh. Posteriormente, a argila foi compactada, com o objetivo de produzir corpos de prova, utilizando uma prensa hidráulica com uma pressão de 21 MPa.

Os corpos de prova, após o processo de sinterização, serão usados como suportes para os esmaltes cerâmicos. Neste sentido, foram produzidas quatro formulações de esmaltes cerâmicos, sendo três compostas com resíduos de rochas ornamentais. Na Tabela 1 se encontram a descrição de cada formulação.

Tabela 1 – Composição das formulações dos esmaltes cerâmicos produzidos.

Esmaltes/componentes	Esmalte 1 (padrão)	Esmalte 2	Esmalte 3	Esmalte 4
RRO	0%	5%	10%	15%
Argila	40%	40%	40%	40%
Albita	40%	35%	30%	25%
Quartzo	20%	20%	20%	20%

Fonte: Autores (2025).

A Tabela 2 apresenta o esquema de formulação e o ciclo térmico de queima dos esmaltes cerâmicos, estabelecendo a relação entre as temperaturas de queima (1000 °C, 1100 °C, 1150 °C e 1200 °C) e as proporções de Resíduo de Rocha Ornamental (RRO) utilizadas (0%, 5%, 10% e 15%). O processo de queima foi conduzido sob uma taxa de aquecimento de 10 °C/min, com isoterma de 60 minutos em cada temperatura máxima. Para cada formulação, foi definida uma codificação específica de amostras, identificadas como Esmaltes (ES), visando garantir a organização e a rastreabilidade experimental.

A formulação com 0% de RRO (ES1) corresponde às amostras de 1 a 10, enquanto a de 5% (ES2) abrange as amostras de 11 a 20. Para 10% de RRO (ES3), as amostras estão compreendidas entre 21 e 30, e, por fim, a formulação com 15% de RRO (ES4) corresponde às amostras de 31 a 40. Observa-se que essa distribuição é mantida de forma padronizada para todas as temperaturas de queima analisadas.

Tabela 2 – Esquema de formulação e queima.

Queima	Título			
	0%	5%	10%	15%
1000°C	1-10 (ES 1)	11-20 (ES 2)	21-30 (ES 3)	31-40 (ES 4)
1100°C	1-10 (ES 1)	11-20 (ES 2)	21-30 (ES 3)	21-30 (ES 4)
1150°C	1-10 (ES 1)	11-20 (ES 2)	21-30 (ES 3)	21-30 (ES 4)
1200°C	1-10 (ES 1)	11-20 (ES 2)	21-30 (ES 3)	21-30 (ES 4)

Legenda: a) ES- Esmalte

Fonte: Autores (2024).

Na fabricação dos esmaltes a granulometria de todos os materiais (Argila, Albita, Quartzo e resíduos de rocha ornamental - RRO) está na faixa de 200 mesh. No esquema de esmaltação, foram realizadas quatro sinterizações (queimas) e as peças submetidas a ensaios tecnológicos.

Os ensaios tecnológicos se encontram as variáveis utilizadas nas fórmulas matemáticas usadas nos corpos de provas esmaltados.

$$AA\% = \frac{Pu-Ps}{Ps} \times 100 \quad (1) \text{ Absorção de Água (AA\%)}$$

onde:

Pu = Peso úmido.

Ps = Peso seco.

$$PA\% = \frac{(Mu-Ms)}{Mu-Mi} \times 100 \quad (2) \text{ Porosidade Aparente (PA\%)}$$

onde:

Ms = Massa seca.

Mu = Massa úmida.

Mi = Massa imersa.

$$RL\% = \frac{L0-Lf}{Lf} \times 100 \quad (3) \text{ Retração Linear (RL)}$$

onde:

L0 = Largura inicial.

Lf = Largura final.

$$PF\% = \frac{Pv-Ps}{Ps} \times 100 \quad (4) \text{ Perda ao Fogo (PF)}$$

onde:

Pv = Peso verde.

Ps = Peso seco.

$$MEA\% = \frac{Ms}{Mu-Mi} \times 100 \quad (5) \text{ Massa Específica Aparente (MEA)}$$

onde:

Ms = Massa seca

Mu = Massa úmida

Mi = Massa imersa

3. Resultados e discussão

A análise de DRX foi realizada através do equipamento Diffractometer X-RAY XDR-7000 por meio de um método não destrutivo, a leitura se deu com angulação de 10° a 80° (2θ). A Figura 10 apresenta o resultado da análise em resíduos de rocha ornamental, coletados na usina de beneficiamento no município de Parelhas/RN. O presente resultado foi

publicado, primeiramente, por Ribeiro *et al.* (2023) e compartilhado neste trabalho, pois os autores fazem parte da mesma pesquisa e trabalharam com o mesmo resíduo.

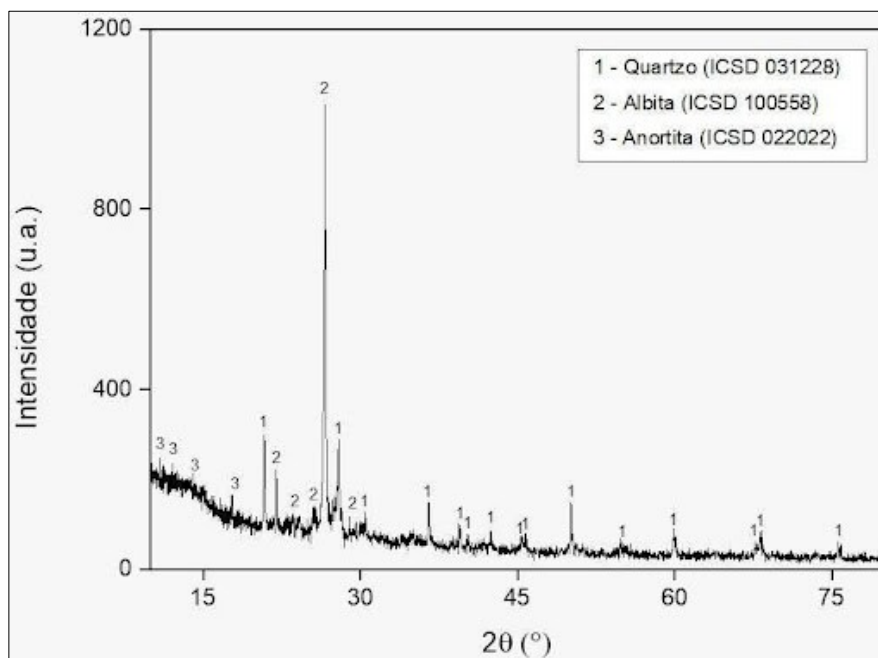


Figura 3 – Análise mineralógica por Difração de Raio-X do resíduo de rocha.

Fonte: Ribeiro Neto *et al.* (2023). Adaptado pelos Autores (2023).

Diante da análise de difração de raios-X, é observado a predominância de quartzo, destacando-se também altos picos de albita, juntamente com uma presença inicial de anortita. Esse resultado é importante, especialmente, sobre a composição mineral do resíduo, sendo essencial para a compreensão de suas propriedades e potencial aplicação em materiais cerâmicos.

A fluorescência de raios-X foi obtida após análise em um FRX do tipo portátil. Na Tabela 3, apresenta-se os resultados da análise realizada no resíduo de rocha ornamental granítica da região do Seridó.

Tabela 3 – Análise de Fluorescência de Raio-X do resíduo de rocha.

Óxidos	SiO ₂	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	Al ₂ O ₃	CaO	TiO ₂	SO ₃	MnO	MgO
%	72,93	8,72	6,16	4,00	3,63	3,19	0,66	0,37	0,32	<LOD

Fonte: Ribeiro Neto *et al.* (2023). Adaptado pelos Autores (2023).

A Tabela 3 mostra a composição percentual de vários óxidos em uma amostra. O SiO₂ é o óxido mais abundante, representando quase 73% da composição da amostra. Este composto é o principal componente da sílica, um mineral muito predominante na crosta terrestre. Logo em seguida, o K₂O é o óxido que possui a maior concentração de potássio na amostra, representando quase 9% da composição. Também presente na amostra, temos o Fe₂O₃, com uma concentração de ferro superior a 6%. O Fe₂O₃ é um óxido que pode dar cor vermelha ou marrom a minerais e rochas, o que pode explicar a repetida mudança de cor em peças cerâmicas esmaltadas.

Nas figuras a seguir apresentam os corpos de provas em 1000°C, 1100°C, 1150°C e 1200°C nas diferentes formulações do esmalte com o resíduo sólido. A Figura 7 mostra os corpos de prova sinterizados na temperatura de 1000°C. Observa-se, primeiramente, a coloração dos corpos de prova em suas quatro composições, onde com o aumento da quantidade de RRO há um maior escurecimento das peças. Nas Figuras a seguir, respectivamente, se encontram as demais imagens dos corpos de prova sinterizados. É possível notar que os corpos de prova vão adquirindo alvura na medida que a temperatura é elevada. Na Figura 10, sinterização na temperatura em 1200°C, os corpos de prova esmaltados, aparentemente, possuem uma cor uniforme.

Inclusive, observa-se que há uma mudança de cor nas peças cerâmicas esmaltadas, sendo possível visualizar tonalidades que variam de brancas e alaranjadas, chegando até o tom de cinza. Neste sentido, nas temperaturas mais baixas, os corpos assumem tonalidades de cores claras e alaranjadas, enquanto em temperaturas mais elevadas, adquirem cores no tom de cinza.



Figura 4 – Sinterização das peças esmaltadas na temperatura de 1000°C – (F1).

Legenda: a) F1 (1 a 10) - 0% de RRO; F1 (11 a 20) - 5% de RRO; F1 (21 a 30) - 10% de RRO; F1 (31 a 40) - 15% de RRO.

Fonte: Autores (2025).



Figura 5 – Sinterização das peças esmaltadas na temperatura de 1100°C – (F2).

Legenda: a) F2 (1 a 10) - 0% de RRO; F2 (11 a 20) - 5% de RRO; F2 (21 a 30) - 10% de RRO; F2 (31 a 40) - 15% de RRO.

Fonte: Autores (2025).



Figura 6 – Sinterização das peças esmaltadas na temperatura de 1150°C – (F3).

Legenda: a) F3 (1 a 10) - 0% de RRO; F3 (11 a 20) - 5% de RRO; F3 (21 a 30) - 10% de RRO; F3 (31 a 40) - 15% de RRO.

Fonte: Autores (2025).



Figura 7 – Sinterização das peças esmaltadas na temperatura de 1200°C – (F4).

Legenda: a) F4 (1 a 10) - 0% de RRO; F4 (11 a 20) - 5% de RRO; F4 (21 a 30) - 10% de RRO; F4 (31 a 40) - 15% de RRO.

Fonte: Autores (2025).

A argila de queima branca em seu estado de matéria-prima, exibe coloração escura, indicando a presença de matéria orgânica. Ao ser submetida às temperaturas de sinterização, essa matéria orgânica é queimada, resultando em uma maior porosidade no produto final (LEGGERINI, 2005). Com base na prática realizada, ao introduzir o esmalte com resíduo de rocha ornamental nos corpos de prova, é possível observar uma maior resistência dos corpos de prova cerâmicos.

A utilização dos resíduos de rochas ornamentais na produção de revestimentos cerâmicos oferece a possibilidade de aumentar a dureza e densificação. Isso ocorre devido ao enriquecimento da massa de argila com quartzo presente nos resíduos e à formação de uma maior quantidade de fase vítrea durante o processo de sinterização ou queima da cerâmica. O quartzo adicionado à massa cerâmica aumenta a resistência mecânica do produto final, tornando-o mais durável e resistente a quebras. Além disso, a presença de fase vítrea melhora propriedades como a resistência à corrosão e impermeabilidade (ALMEIDA, 2020).

Os ensaios realizados e das análises tecnológicas, compreendendo o comportamento da argila em conjunto com o esmalte cerâmico, incorporando o resíduo de rocha ornamental (RRO). Ensaios de absorção de água (AA%), porosidade aparente (PA%), retração linear (RL%), perda ao fogo (PF%) e massa específica aparente (MEA, g/cm³) em todos os corpos de prova.

Na Figura 8 se encontra o resultado do ensaio de massa específica aparente - MEA. De início, é notado que a massa específica aparente aumenta, proporcionalmente, com a elevação da temperatura de sinterização dos corpos de prova, indicando que os materiais se tornam mais densos e menos porosos com o aumento da temperatura.

O gráfico também mostra como a temperatura afeta a massa específica aparente dos materiais. É observado que a variação da massa específica aparente é maior nas temperaturas mais altas, especialmente entre 1150°C e 1200°C, onde há uma mudança mais acentuada nos valores. Isso sugere que a temperatura tem um efeito mais significativo na densidade e na porosidade dos materiais quando eles estão mais aquecidos.

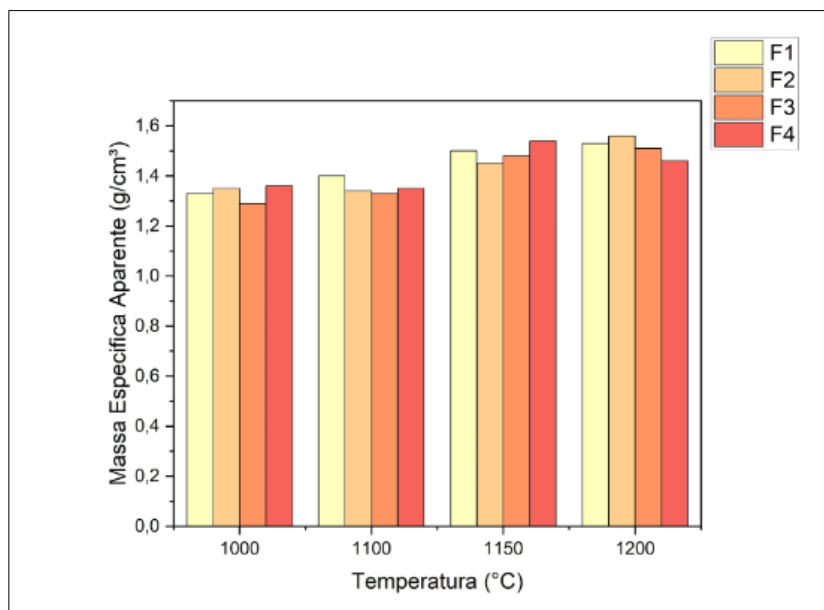


Figura 8 – Resultado do ensaio tecnológico de Massa Específica Aparente – MEA.
Legenda: a) F1 0% de RRO b) F2 5% de RRO c) F3 10% de RRO d) F4 15% de RRO.
Fonte: Autores (2025).

Na Figura 9 é apresentado o resultado do ensaio de perda ao fogo (PF%). O ensaio foi realizado com os corpos de prova antes e demais da esmaltação. A formulação F1, que contém esmalte com 0% de RRO, majoritariamente, apresentou a menor perda ao fogo (PF%). A única exceção onde a F1 foi superada se encontra na temperatura de 1000°C, onde a formulação F4 perdeu menos massa durante o processo de sinterização. De maneira geral, analisando os dados, observa-se que a formulação com 10% de RRO perdeu mais massa durante o processo de sinterização. É notado, também, que os corpos de prova esmaltados com maior quantidade de resíduo de RRO, possuem uma maior perda ao fogo. Por exemplo, a formulação F2, com 5% de RRO no esmalte, perde, proporcionalmente, mais massa do que a F1 e menos que as demais formulações.

A perda de massa durante o processo de sinterização pode ocorrer por uma maior organização microestrutural das partículas na fase de formação de fases vítreas, por exemplo. Em razão dos corpos de prova estarem sendo revestidos com esmaltes que possuem resíduos sólidos na composição, esse material vai influenciar na composição química dos esmaltes.

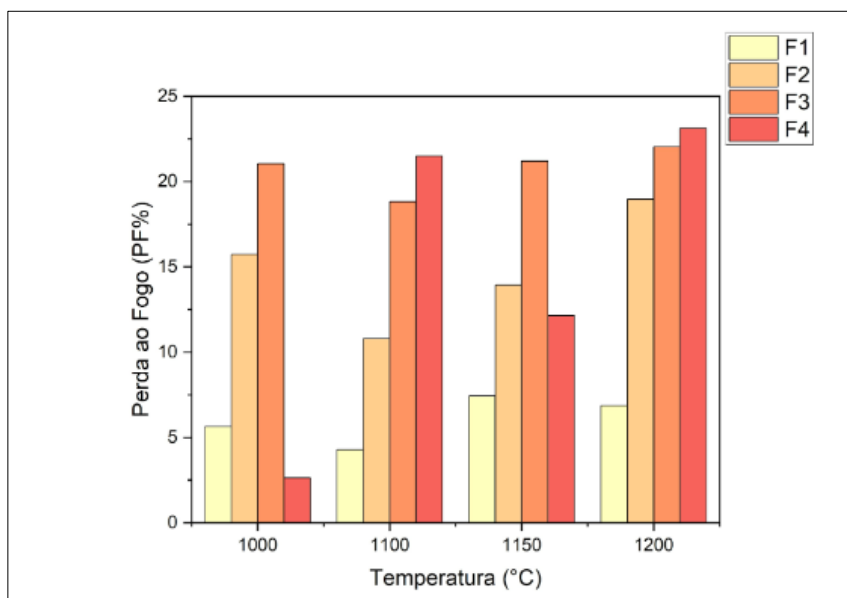


Figura 9 – Resultado do ensaio tecnológico de Perda ao Fogo – PF% na esmaltação.
 Legenda: a) F1 0% de RRO b) F2 5% de RRO c) F3 10% de RRO d) F4 15% de RRO.
 Fonte: Autores (2025).

Na Figura 10 se encontra o resultado do ensaio tecnológico de porosidade aparente. Ao analisar o gráfico pode-se observar que a F1, com 0% de RRO, é a formulação mais porosa, apresentando maior percentual nas temperaturas.

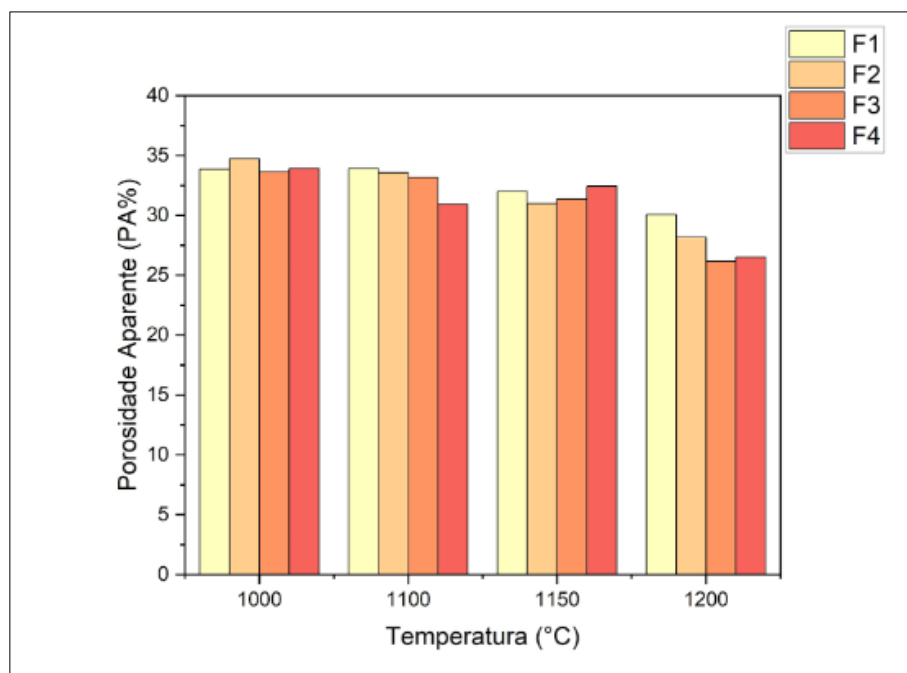


Figura 10 – Resultado do ensaio tecnológico de Porosidade Aparente – PA (%).
 Legenda: a) F1 0% de RRO b) F2 5% de RRO c) F3 10% de RRO d) F4 15% de RRO.
 Fonte: Autores (2025).

A F4, por outro lado, com 15% de RRO, é a formulação com menor porosidade. As amostras seguiram o padrão estabelecido, onde ao aumentar a temperatura de sinterização ocorre uma menor porosidade aparente, tendo em vista que ocorre uma diminuição dos poros em razão da formação de fases vítreas.

A Figura 11 apresenta o resultado do ensaio de retração linear dos corpos de prova. Ao analisar os dados do ensaio tecnológico, observa-se que a maioria das amostras não retraíram, mas, ao contrário, houve uma expansão linear. Portanto, o resultado apresentado evidencia a ocorrência de um fenômeno incomum, a piroexpansão.

Zandonadi (1995) esse fenômeno pode ser explicado da seguinte maneira,

[...] O fenômeno de piroexpansão pode ser explicado a partir da decomposição em novas formas mineralógicas de alguns minerais ao sofrerem aumento de temperatura ao mesmo passo que reagem com materiais fundentes, formando silicatos líquidos ou vidros. Ainda de acordo com o autor, a formação intensa de vidro bloqueia os poros antes que a liberação de todos os gases ocorra, o que pode causar a expansão do corpo, caracterizando o que se chama de piroexpansão ou inchamento térmico.

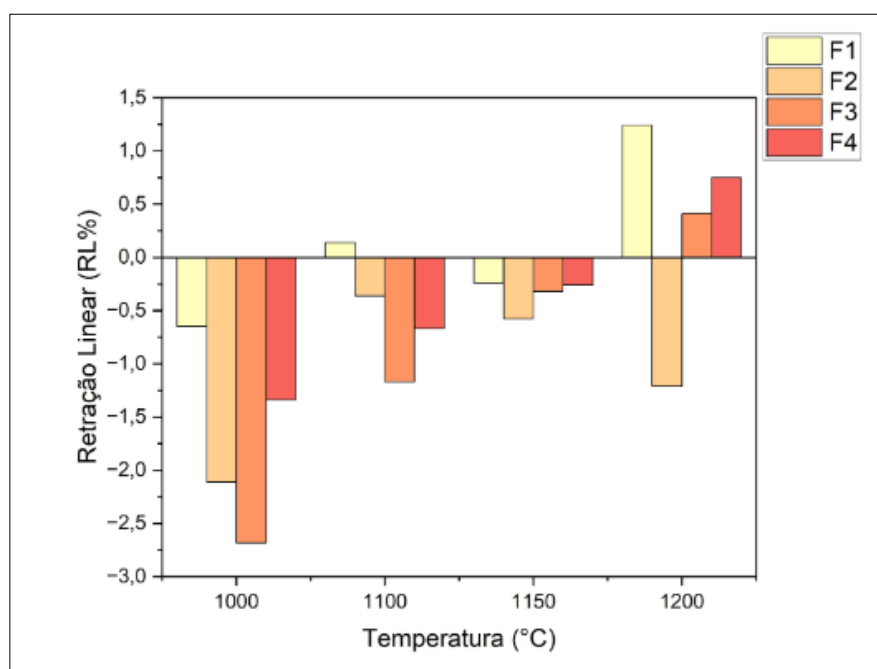


Figura 11 – Ensaio tecnológico Retração linear – RL (%).

Legenda: a) F1 0% de RRO b) F2 5% de RRO c) F3 10% de RRO d) F4 15% de RRO.

Fonte: Autores (2025).

A Figura 12 mostra o resultado do ensaio de absorção de água (AA%) dos corpos de prova sinterizados. Os ensaios de absorção de água e porosidade aparente são, nos materiais cerâmicos, geralmente, proporcionais. Esse fato é verificado neste trabalho. Os dados apresentados mostram, também, que os corpos de prova diminuem o índice de AA% ao aumentar a temperatura de sinterização. Isso é resultado, sobretudo, da formação de fases vítreas nas temperaturas mais elevadas e reorganização das partículas.

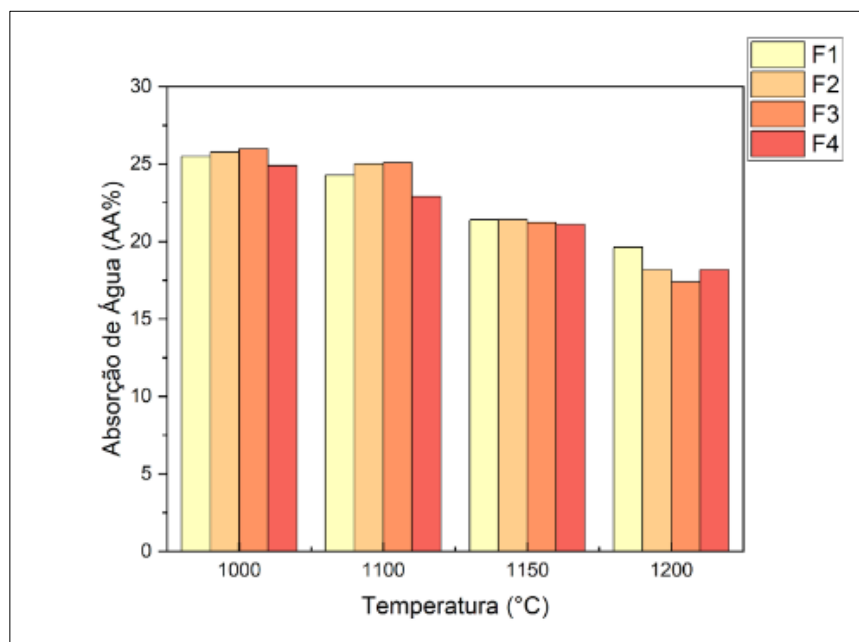


Figura 12 – Ensaio tecnológico Retração linear – RL (%).

Legenda: a) F1 0% de RRO b) F2 5% de RRO c) F3 10% de RRO d) F4 15% de RRO.

Fonte: Autores (2025).

As amostras com 0% de resíduo de RRO, F1, absorvem mais água em todas as temperaturas, indicando ser o mais poroso e permeável. Em contraste, o F3 e o F4 são as formulações que apresentam a menor variação na absorção de água em função da temperatura, mantendo-se entre 10% e 15% em todas as temperaturas. No entanto, é importante destacar que, a 1200°C, todas as quatro formulações apresentam valores inferiores em comparação com as outras temperaturas.

4. Considerações finais

Os estudos realizados visam avaliar o potencial do resíduo de rocha ornamental (RRO) na formulação de esmaltes cerâmicos e seu impacto nas propriedades dos produtos. Os resultados indicam que o RRO, composto principalmente por quartzo e albita, demonstra propriedades vitrificantes, tendo benefícios como boa sinterização e aderência aos esmaltes. A presença do resíduo nas peças cerâmicas resultou em maior resistência mecânica, menor absorção de água e porosidade reduzida em comparação com peças sem esmalte.

Os ensaios tecnológicos proporcionaram uma compreensão abrangente do comportamento dos materiais cerâmicos sob diferentes condições, destacando a influência significativa da temperatura e composição nas propriedades finais. A piroexpansão observada durante a retração linear e a diminuição na absorção de água com o aumento da temperatura são aspectos cruciais para a otimização de processos e formulações. Ressalta-se que, conforme analisado, os esmaltes produzidos com RRO, caso fossem utilizados industrialmente, não seriam indicados para esmaltes de baixa temperatura e para confecção de porcelanato. No máximo, poderiam ser utilizados para revestimentos cerâmicos do tipo poroso, com absorção superior aos 10% de água.

A variação de cor e das peças cerâmicas esmaltadas com RRO em diferentes temperaturas e concentrações do resíduo destaca a versatilidade desse material na diversificação, oferecendo tonalidades de branco, laranja e cinza. Concluímos que o RRO é um material promissor para a produção de esmaltes cerâmicos, podendo contribuir significativamente para a valorização de resíduos sólidos da mineração e a ampliação dos produtos cerâmicos.

Agradecimentos

Agradecemos ao Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN) e ao Laboratório de Tecnologia Mineral e Materiais (LT2M) do IFRN, bem como ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos.

Referências

- ALMEIDA, K. S.; SOARES, R. A. L.; MATOS, J. M. E. *Efeito de resíduos de gesso e de granito em produtos da indústria de cerâmica vermelha: revisão bibliográfica. Matéria* (Rio de Janeiro), [S.l.], v. 25, n. 1, p. 1-14, 06 abr. 2020. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620200001.0893>.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 15270-2: Componentes cerâmicos. Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005. 11 p.
- LEGGERINI, M. R. C. *Materiais cerâmicos*. In: *Materiais técnicas e estruturas I*. S.l.: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2005. Cap. 2, p. 7. Disponível em: https://www.politecnica.pucrs.br/professores/mregina/ARQUITETURA_-_Materiais_Tecnicas_e_Estruturas_I/estruturas_i_capitulo_II_materiais_ceramicos.pdf.
- MENEZES, R. R.; FERREIRA, H. S.; NEVES, G. de A.; FERREIRA, H. C. *Uso de rejeitos de granitos como matérias-primas cerâmicas. Cerâmica*, [S.l.], v. 48, n. 306, p. 92-101, jun. 2002. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0366-69132002000200008>.
- RIBEIRO NETO, et al. *Estudo da caracterização físico-química e microestrutural de resíduos do beneficiamento de rochas ornamentais do Seridó Potiguar. Peer Review*, [S.l.], v. 5, n. 16, p. 319–334, 2023. DOI: 10.53660/840.prw2262. Disponível em: <https://peerw.org/index.php/journals/article/view/840>. Acesso em: 26 jan. 2024.
- SILVA, M. A.; PAES JUNIOR, H. R.; HOLANDA, J. N. F. *Efeito da adição do resíduo de rocha ornamental nas propriedades e microestrutura de porcelana elétrica aluminosa. Matéria* (Rio de Janeiro), [S.l.], v. 17, n. 4, p. 1119-1127, 2012. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-70762012000400002>.
- TEIXEIRA, Marcos Fernandes; COSTA, Raphael de Vicq Ferreira da Costa. *Impactos ambientais da extração e beneficiamento da rocha esteatito (pedra-sabão): um estudo de caso na região de Santa Rita de Ouro Preto, MG. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, ano 2, ed. 01, v. 1, p. 257-310, abr. 2017. ISSN 2448-0959.
- ZANDONADI, A. R. *Curso Internacional de Treinamento em Grupo em Tecnologia Cerâmica*, São Paulo, 1995.