

ADOQUIM CERÂMICO COM RESÍDUOS DE GRANITO: UMA SOLUÇÃO SUSTENTÁVEL

KELSON SILVA DE ALMEIDA¹, ROBERTO ARRUDA LIMA SOARES², JOSÉ MILTON ELIAS DE MATOS³ e CAMILA DE SOUSA MOURA ALMEIDA⁴

¹Dr. em Ciência e Engenharia dos Materiais, Prof. IFPI, Florianópolis-PI, eng.kelson@ifpi.edu.br;

²Dr. em Engenharia de Materiais, Prof. IFPI, Teresina-PI, robertoarruda@ifpi.edu.br;

³Dr. em Química, Prof. UFPI, Teresina-PI, UFPB, jmematos@ufpi.edu.br;

⁴Mestre em Saúde da Mulher, SESAPI - PI, Oeiras-PI, camilamoura.ass@gmail.com

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
7 a 10 de outubro de 2024

RESUMO: O presente estudo teve por objetivo o desenvolvimento de adoquim cerâmico com a incorporação de resíduos de granito. As matérias-primas, inicialmente, foram submetidas a ensaios de plasticidade e granulometria para caracterização. Em seguida, foram confeccionados corpos de prova por prensagem uniaxial de 30 MPa com adição de percentuais de 5%, 10%, 15% e 20% de resíduos. Posteriormente foi realizada a secagem em estufa e a queima em forno a 850 °C, 900 °C, 950 °C e 1000 °C. Determinou-se, então, a resistência à compressão, absorção de água, além de análise macroestrutural. Os resultados das análises indicaram que o resíduo de granito, com porcentagem de 5%, possui características adequadas à adição em cerâmica vermelha para a produção de adoquim e tem possibilidade de utilização em áreas externas como praças e locais com tráfego leve.

PALAVRAS-CHAVE: argila, incorporação, rejeito, reaproveitamento, construção civil.

CERAMIC PAVER WITH GRANITE WASTE: A SUSTAINABLE SOLUTION

ABSTRACT: The present study aimed to develop ceramic pavers incorporating granite waste. Initially, the raw materials were subjected to plasticity and granulometry tests for characterization. Subsequently, test specimens were fabricated by uniaxial pressing at 30 MPa with the addition of 5%, 10%, 15%, and 20% waste. Drying was then carried out in an oven, followed by firing in a kiln at 850°C, 900°C, 950°C, and 1000°C. Compression strength, water absorption, and macrostructural analysis were then determined. The analysis results indicated that granite waste, at a 5% percentage, has suitable characteristics for addition to red ceramics for paver production and is feasible for use in outdoor areas such as plazas and locations with light traffic.

KEYWORDS: clay, incorporation, waste, reuse, civil construction.

INTRODUÇÃO

A indústria de cerâmica vermelha apresenta grande impacto positivo na sociedade e na economia embora seja responsável por relevante demanda ambiental principalmente em relação à exploração de jazidas ((ALMEIDA; SOARES; MATOS, 2020).

Neste contexto, torna-se essencial desenvolver produtos que sejam eficientes em termos de qualidade, desempenho e design, assim uma alternativa promissora para as empresas brasileiras e piauienses do setor de cerâmica vermelha é o desenvolvimento de novos produtos, como o pavimento cerâmico adoquim, que não possui legislação específica para os seus padrões (AMARAL et al., 2019; DONG et al., 2022).

Nesse contexto atual do Brasil, com o aumento do crédito imobiliário, a demanda por argila tem aumentado significativamente, resultando em uma redução da quantidade de matéria-prima disponível e maior degradação ambiental. Para enfrentar esse problema, busca-se a incorporação de resíduos no processo produtivo, visando não apenas a sustentabilidade, mas também a possibilidade de explorar características específicas dos materiais economicamente viáveis disponíveis na região. Dessa forma, materiais como o granito pode ser incorporado para a fabricação de produtos cerâmicos (AMARAL et al., 2019; DONG et al., 2022). O granito é uma rocha ígnea intrusiva, com alto grau de dureza e de

coloração variada, usada como rocha ornamental. No Brasil, a produção de rochas ornamentais atingiu 10 milhões de toneladas em 2023, representando 7% da produção mundial; desse total, 3,8 milhões de toneladas são de granito (38% do total). (ABIROCHAS, 2024). Durante o seu beneficiamento são gerados resíduos em grande quantidade que, na maioria das vezes, é descartado de maneira irregular (ALMEIDA; SOARES; MATOS, 2020).

A incorporação de resíduos em produtos da indústria cerâmica, como o paver cerâmico (adoquim), surge como uma estratégia para tratar esses resíduos industriais, reduzindo o consumo de matéria-prima e imobilizando-os para evitar impactos ambientais negativos (AREIAS et al., 2017).

Nesse contexto, esta pesquisa tem como objetivo principal incorporar resíduo de granito na massa argilosa utilizada para produzir adoquim cerâmico. Este artigo propõe uma formulação cerâmica inovadora e sustentável para adoquim com resíduo de granito, visando reduzir a dependência de matérias-primas naturais, como a argila, e oferecer uma destinação adequada para este resíduo. Além disso, o trabalho visa desenvolver um novo produto (adoquim) que possa atender às demandas do mercado consumidor, enquanto aprimora ou mantém as características e a sustentabilidade do setor.

MATERIAL E MÉTODOS

A argila utilizada no trabalho é proveniente de jazida localizada no município de Oeiras-PI (-7.0839939, -42.1470099) e o resíduo de granito foi obtido em empresa do setor que realiza o beneficiamento final do granito, localizada na mesma cidade. A argila foi seca em uma estufa a temperatura de 110 °C, em seguida submetida ao processo de moagem realizado por moinho de martelo, para proporcionar redução da granulometria e o resíduo de granito foi obtido em forma de pó. Em seguida a argila foi peneirada na peneira ABNT 0,075 mm (ASTM 200) para a caracterização.

As matérias-primas (argila e granito) foram caracterizadas utilizando as seguintes técnicas: análise granulométrica (AG) com agitador de peneiras elétrico de acordo com a ABNT NBR 7181 (2016), índice de plasticidade (limite de liquidez conforme ABNT NBR 6459 (2016) e limite de plasticidade conforme ABNT NBR 7180 (2016). Foram realizadas cinco formulações, em peso, contendo argila e resíduo de granito, elaboradas para o estudo após a etapa de caracterização. A formulação C0 contém apenas argila, servindo como massa padrão, enquanto as formulações C5, C10, C15 e C20 contêm granito nas proporções de 5%, 10%, 15% e 20%, respectivamente.

Para a confecção dos corpos de prova, as formulações foram preparadas com um teor de umidade de 7% (nível de umidade utilizado pela indústria) e prensadas a 30 MPa. Foram confeccionados 50 corpos de prova para cada formulação com dimensões de 10,0 cm x 2,8 cm x 1,8 cm (comprimento, largura e espessura, respectivamente). Em seguida, os corpos de prova foram secos em estufa a 110 °C por 24 horas e submetidos a tratamento térmico (queima) em forno mufla em quatro temperaturas: 850 °C, 900 °C, 950 °C e 1000 °C, com uma taxa de aquecimento de 5 °C/min (para permitir um aquecimento uniforme e reduzir o risco de falhas) e permanência de 60 minutos (buscando a sinterização completa).

Após a queima, foram realizados ensaios físicos nos corpos de prova para determinar as seguintes propriedades: absorção de água (AA) e resistência à compressão uniaxial (RC). Também foi realizada a análise macroestrutural nas peças queimadas. O Brasil ainda carece de legislação específica para pavimento cerâmico, neste sentido serão utilizadas como referências normas internacionais da Colômbia (NTC) e Estados Unidos (ASTM) para o trabalho.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da distribuição granulométrica das matérias primas apontaram que a amostra de argila não possui a fração areia (diâmetro entre 2 e 0,053 mm), 9% da fração silte (diâmetro entre 0,053 e 0,002 mm) e 91% da fração argila (diâmetro menor que 0,002 mm), já o resíduo apresentou 10% da fração areia, 40% da fração silte e 50% da fração argila. O resíduo de granito e a amostra de argila diferem granulometricamente, alterando o comportamento da massa padrão (argila) com a adição do resíduo. A granulometria mais grosseira do resíduo de granito, com alto teor de fração areia, pode beneficiar a retração linear de queima dos produtos cerâmicos, reduzindo fissuras e danos, melhorando assim a qualidade dos materiais.

O Índice de Plasticidade (IP) da amostra de argila foi calculado e o valor obtido foi de 21,11%, classificando-a como um material altamente plástico, pois o valor está acima de 15%, conforme Jenkins (1947) para classificação dos solos. A diferença entre as porcentagens obtidas no índice de plasticidade e a classificação está ligada à distribuição granulométrica, indicando uma boa quantidade da fração argila, o que proporciona maior resistência mecânica aos produtos (COELHO et al., 2022).

O resultado do IP das formulações foram: 5% - 19,35%; 10% - 18,90%; 15% - 17,10 e 20% 15,92%; assim verifica-se que o aumento da quantidade de resíduo de granito provoca a redução do índice de plasticidade da amostra. Na indústria cerâmica deve-se considerar que uma alta plasticidade pode dificultar o processamento e a conformação da argila. Portanto, pode ser necessário incorporar argila com baixa plasticidade ou materiais desplastificantes, como o resíduo de granito, para reduzir a plasticidade (VIEIRA et al., 2007).

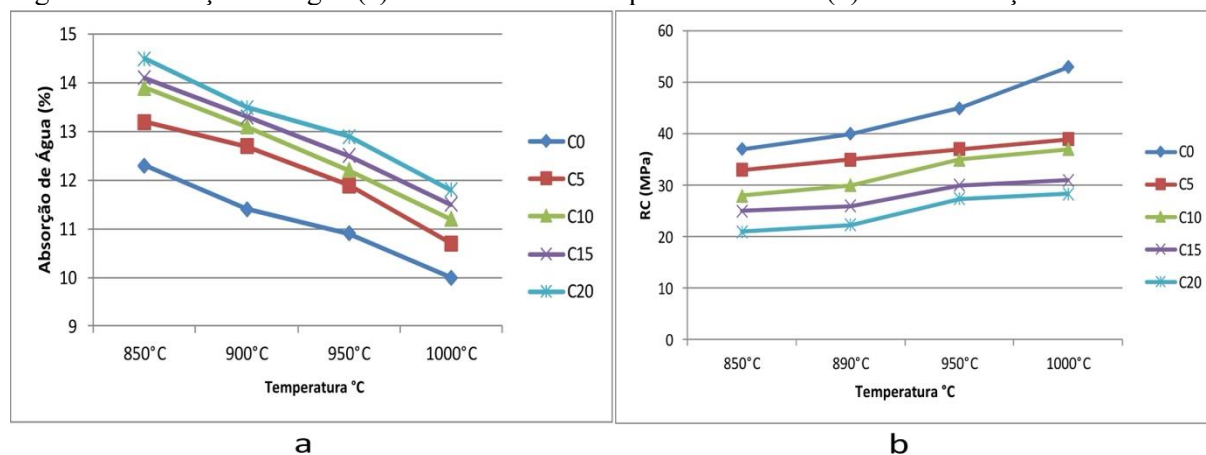
A Figura 1a aponta os valores obtidos para absorção de água após a queima das formulações e massa padrão para as temperaturas de queima especificadas anteriormente. Pode-se notar que o teor de absorção de água diminuiu com o aumento da temperatura.

As normas ASTM C1272 (2022) e NTC 5282 (2004) especificam que os adoquins devem possuir uma absorção máxima de água de 6% para serem aplicáveis em sistemas de pavimentação rígida e flexível. Os resultados de absorção de água das amostras analisadas neste estudo demonstraram que nenhuma delas atendeu aos limites estabelecidos por essas normas. Portanto, as formulações desenvolvidas não são adequadas para uso em pavimentação conforme esses critérios técnicos.

As normas internacionais ASTM C902 (2020) e NTC 3829 (2002) estipulam que os adoquins devem apresentar uma absorção máxima de água de 14% para serem utilizados em ambientes externos, como praças e áreas de tráfego leve, desde que não estejam expostos a temperaturas frias. Para uso interno, não há limite de absorção de água. Portanto, as formulações desenvolvidas estão em conformidade com essas normas para todas as temperaturas de queima, exceto para as amostras C15 e C20 queimadas a 850 °C, que são adequadas apenas para uso interno. Isso pode ser explicado pela baixa sinterização ocorrida nessa temperatura é provavelmente resultado da combinação de um ponto de fusão elevado do resíduo de granito e a granulometria grosseira do resíduo (BARRETO et al., 2023).

Observa-se que as formulações apresentam menores valores de absorção de água à temperatura de 1000 °C, principalmente pela presença dos seus fundentes que preencheram parte dos poros presentes no material na queima, e ainda a ocorrência da retração em todas as amostras. Pode-se notar que a amostra C0 apresentou os menores valores de absorção, enquanto as formulações apresentaram valores maiores, isso pode ser explicado pela presença do granito na formulação onde, este, queimado a altas temperaturas, pode provocar trincas devido a alta concentração de quartzo na amostra (COELHO et al., 2022; GADIOLI et al., 2022).

Figura 1. Absorção de Água (a) e Resistência à compressão uniaxial (b) das formulações avaliadas.



A Figura 1b apresenta os resultados da resistência à compressão uniaxial dos corpos de prova após a queima nas temperaturas de 850 °C, 900 °C, 950 °C e 1000 °C. Para efeito de comparação,

também foi analisado um lote de peças de concreto para pavimentação (PPC) fabricado em Teresina – PI (características do lote: largura: 10 cm, altura: 6 cm, comprimento: 20 cm, peso: 2,6 kg, resistência: 35 Mpa).

Observou-se que a resistência à compressão aumenta com a elevação da temperatura de queima, indicando maior resistência dos corpos de prova. As amostras C0 exibiram os melhores resultados em comparação às amostras contendo resíduo de granito. Isso pode estar relacionado à presença excessiva de quartzo nas formulações com granito, que pode reduzir a resistência mecânica dos materiais devido às microfissuras geradas durante sua transformação alotrópica a 573 °C (AMARAL et al., 2019).

A norma NBR 9781 (2013) regulamenta as especificações de resistência para peças de concreto para pavimento, concorrente principal do adoquim. Esta norma estabelece que a resistência mínima para pavimentos destinados ao tráfego de pessoas ou veículos leves é de 35 MPa. Assim, as amostras C0 e C5 são adequadas para todas as temperaturas testadas. A amostra C10 é adequada apenas nas temperaturas de 950 °C e 1000 °C, enquanto as amostras C15 e C20 não atingiram esse requisito.

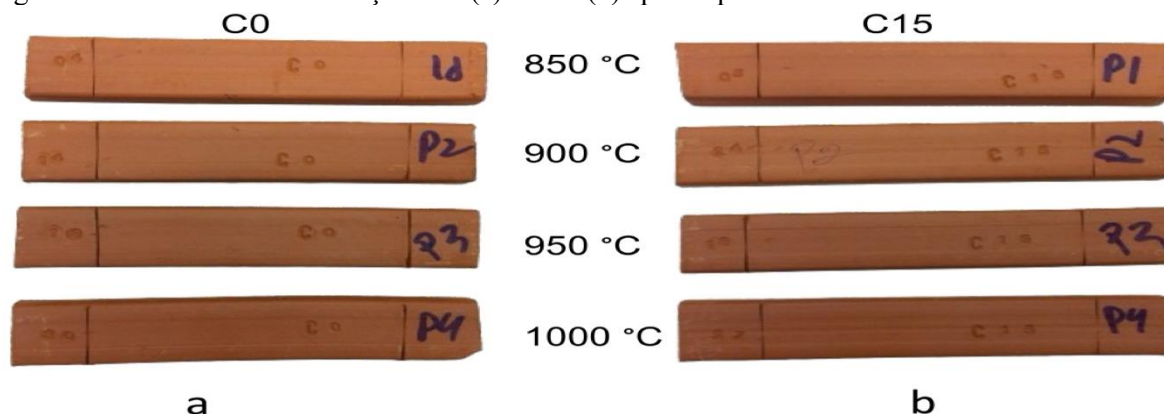
A maioria das amostras de PPC apresentou resultados abaixo dos especificados pela norma, com uma média de 33 MPa, o que não atende ao padrão normativo. No entanto, essas amostras ainda são frequentemente utilizadas na prática em locais como parques e praças.

A norma ASTM C902 (2020) regulamenta que os adoquins devem ter um valor mínimo de resistência de 20,7 MPa para uso interior e exterior não exposto a baixas temperaturas. Nesse sentido, todas as amostras de adoquins cerâmicos estão dentro dessas especificações

A Figura 2 apresenta a análise macroestrutural, essencial para identificar possíveis trincas e fissuras visíveis, além de examinar a coloração dos corpos de prova após a queima nas temperaturas de 850 °C, 900 °C, 950 °C e 1000 °C. Observa-se a coloração avermelhada dos corpos de prova, apontando a presença de ferro na composição química da argila empregada. Pode-se notar que, com o aumento da temperatura, a tonalidade do vermelho se intensifica, variando de vermelho (850 °C) até tons de vermelho escuro (1000 °C). A partir de 1000 °C, ocorre a liberação de ferro bivalente, que, por oxidação, se transforma em ferro trivalente, responsável pela cor vermelha (BARRETO et al., 2023; COELHO et al., 2022).

Além disso, os corpos de prova não apresentam fissuras aparentes, corroborando a adequação da granulometria em termos de empacotamento e plasticidade, o que evidencia a homogeneidade das peças. O empacotamento adequado das partículas contribui para a redução de espaços vazios, melhorando a densidade e resistência do material. A plasticidade eficaz garante a distribuição uniforme das tensões durante a moldagem e a queima, minimizando a formação de defeitos estruturais e melhorando a coesão do material final. O tamanho das partículas também desempenha um papel crucial, pois uma distribuição granulométrica adequada facilita o empacotamento eficiente e melhora as propriedades mecânicas e a durabilidade do produto final.

Figura 2. Amostras das formulações C0 (a) e C15 (b) após a queima.



CONCLUSÃO

O estudo confirmou a possibilidade e viabilidade de utilização de resíduo de granito para a fabricação de adoquim cerâmico a partir das análises tecnológicas apresentadas. A formulação com 5% em peso de resíduo apresentou os melhores resultados em comparação com proporções maiores. Além disso, apontou-se a possibilidade de utilização de adoquim com incorporação de resíduo de granito em praças e áreas de tráfego leve.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao IFPI - Campus Floriano, ao Grupo de Pesquisa NEMEC, às empresas Marmoraria São Francisco e Cerâmica Vitória em Oeiras-PI e também ao CREA-PI.

REFEÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, ABNT, 2016.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7180: Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, ABNT, 2016.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7181: Solo – Análise granulométrica, Rio de Janeiro, ABNT, 2016.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação: Especificação e métodos de ensaio. Brasília, 2013.
- Almeida, K. S.; Soares, R. A. L., Matos, J. M. E. Efeitos de resíduos de gesso e de granito em produtos da indústria da cerâmica vermelha: revisão bibliográfica. Revista matéria, v. 25, pp. 27-42, 2020.
- Amaral, L. F., Carvalho, J. P. R. G.; Silva, B. M.; Delaqua, G. C. G., Monteiro, S. N.; Vieira, C. M. F. Development of ceramic paver with ornamental rock waste. Journal Of Materials Research And Technology, v. 8, n. 1, p.599-608. 2019.
- Areias, I. O. R.; Vieira, C. M. F.; Manhães, R. S. T.; Intorne, A. C. Incorporation of sludge of the sewage treatment station (STS) into red ceramic. Cerâmica, v. 63, n. 367, p. 343-349, 2017.
- ABIROCHAS. Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. Balanço do setor brasileiro de rochas ornamentais e de revestimento em 2023, Informe, São Paulo, ABIROCHAS, 2024.
- ASTM. American Society for Testing and Materials. ASTM C1272: Standard Specification for Heavy Vehicular Paving Brick. United States, 2022.
- ASTM. American Society for Testing and Materials. ASTM C902: Standard Specification for Pedestrian and Light Traffic Paving Brick. United States, 2020.
- Barreto, G. N. S.; Babisk, M. P.; Delaqua, G. C. G.; Gadioli, M. C. B.; Monteiro, S. N.; Vieira, C. M. F. Study of the incorporation of two types of wastes and their combined effects into red ceramics. Journal Of Materials Research And Technology, v. 27, p. 641-650, 2023.
- Coelho, A. M. R.; Saggiaro, F. G.; Sales Junior, J. C. C.; Andrade, J. C. S.; Cavalcante, R. H. Evaluation of the potential use of granite waste in products of the red ceramic industry in the state of Amazonas. Matéria (Rio de Janeiro), v. 27, n. 2, p. 1-10, 2022.
- Dong, Y.; Jiang, C.; Zhang, L.; Wang, D.; Huang, S.; Cheng, X. Waste-bearing foamed ceramic from granite scrap and red mud. International Journal Of Applied Ceramic Technology, v. 19, n. 5, p. 2686-2700, 2022.
- Jenkins, H.T. The Physical Properties of Soils. Madison. Comstock Publishing Company. 108p. 1947.
- Gadioli, M. C. B.; Aguiar, M. C.; Vidal, F. W. H.; Sant'ana, M. A. K; Almeida, K. M.; Giori, A. J. N. Incorporation of Ornamental Stone Waste in the Manufacturing of Red Ceramics. Materials, v. 15, n. 16, p. 5635, 2022.
- NTC. Norma Técnica Colombiana. NTC 3829: Adoquín de arcilla para tránsito peatonal e vehicular liviano, Colombia, 2002.
- NTC. Norma Técnica Colombiana. NTC 5282: Adoquin de arcilla para tráfico vehicular pesado, Colombia, 2004.
- Vieira, C. M. F.; Terrones, L. A.; Sanchez, R.; Monteiro, S. N. Características e efeito da fração granulométrica < 2 µm no comportamento de queima de uma argila. Cerâmica, vol.53, n.327, pp.249-254, 2007.