

## INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE GESSO EM FORMULAÇÃO PARA ADOQUIM CERÂMICO

KELSON SILVA DE ALMEIDA<sup>1</sup>, CAMILA DE SOUSA MOURA ALMEIDA<sup>2</sup>, ROBERTO ARRUDA LIMA SOARES<sup>3</sup> e JOSE MILTON ELIAS DE MATOS<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Eng. Civil, Dr. em Eng. de Materiais, IFPI, Oeiras-PI, eng.kelson@gmail.com;

<sup>2</sup>Assistente Social, Oeiras-PI, camilamoura.ass@gmail.com;

<sup>3</sup>Dr. em Materiais, IFPI, Teresina-PI, robertoarruda@ifpi.edu.br;

<sup>4</sup>Dr. Professor, UFPI, Teresina-PI, jmematos@ufpi.edu.br

Apresentado no  
Congresso Técnico-Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC  
15 a 17 de setembro de 2021

**RESUMO:** O presente estudo teve por objetivo analisar a incorporação de resíduo de gesso em formulações para adoquim cerâmico. Inicialmente as matérias-primas foram submetidas a ensaios para caracterização. Em seguida, foram confeccionados corpos de prova por prensagem uniaxial de 30 MPa com adição de percentuais de 5% e 10% de resíduo. Posteriormente, foi realizada a secagem em estufa e a queima em forno a 900 °C e 1000 °C. Determinou-se, então, a resistência à compressão, retração linear de queima, absorção de água, resistência à abrasão, além de análise mineralógica, macroestrutural e microestrutural. Os resultados das análises indicaram que o resíduo de gesso, com porcentagens de 5%, possuem características adequadas à adição em cerâmica vermelha para a produção de adoquim e aplicação em áreas externas como praças e locais com tráfego leve, além da possibilidade de utilização como revestimento cerâmico.

**PALAVRAS-CHAVE:** Argila, adoquim cerâmico, resíduo, incorporação, gesso.

### INCORPORATION OF GYPSUM WASTE IN FORMULATION FOR CERAMIC PAVER

**ABSTRACT:** The present study aimed to analyze the incorporation of gypsum waste in formulation of ceramic paver. Initially the raw materials were submitted to tests for characterization. Then, samples were prepared by uniaxial pressing of 30 MPa with addition of percentages of 5% and 10% of residues. Subsequently, oven drying and oven firing were carried out at 900 °C and 1000 °C. It was determined the compressive strength, linear retraction, water absorption, abrasion resistance, as well as mineralogical, macrostructural and microstructural analysis. The results of the analyzes indicated that the residues of gypsum, with percentages of 5%, have adequate characteristics to the addition in red ceramics for the production of ceramic paver and application in external areas such as squares and places with light traffic, besides the possibility of use as ceramic coating.

**KEYWORDS:** Clay, ceramic paver, waste, incorporation, gypsum.

### INTRODUÇÃO

O gesso é um dos aglomerantes mais antigos da humanidade, principalmente pelas suas propriedades físicas e mecânicas e baixo custo energético de produção (Ferreira et al., 2019). O gesso é classificado em dois tipos: alfa ( $\alpha$ ), que é mais caro e possui aplicação mais nobre (medicina, odontologia) e o beta ( $\beta$ ), que tem custo mais barato, usado em construção civil, que será o foco do trabalho (SINDUSGESSO, 2018). O beneficiamento de gesso na construção civil tem como principais fontes de resíduos: as chapas de gesso acartonado (8%), atividades de revestimento (88%) e os componentes pré-moldados (4%); gerando, apenas na construção civil, um montante total de resíduos de gesso de 1,51 milhões de toneladas (SINDUSGESSO, 2018).

A disposição inadequada de resíduos de gesso tem acarretado sérios problemas ambientais, já que muitas vezes não há tratamento adequado, ocorrendo contaminação do solo e subsolo e assoreamento de córregos e rios, além da possibilidade de formação de gás sulfídrico, que é tóxico e

inflamável, e problemas de saúde relacionados à poeira do gesso. Nesta perspectiva, é necessário buscar a gestão e gerenciamento destes resíduos, a fim de diminuir os impactos à natureza (Santos et al., 2014).

A incorporação em produtos de cerâmica vermelha é uma alternativa tecnológica para a reciclagem deste tipo de resíduo. A indústria de cerâmica vermelha tem apresentado interesse em desenvolver materiais novos com a incorporação de resíduos, podendo apresentar melhores propriedades tecnológicas e assim buscar o desenvolvimento de novas tecnologias viáveis para a reutilização desses rejeitos (Vieira et al., 2016). O paver cerâmico ou adoquim é um tipo de pavimento intertravado cerâmico e apresenta características como facilidade de manejo, alta durabilidade (30 anos), economia, possibilidade de paginação e boa resistência (Candido et al., 2013). Este produto cerâmico é pouco desenvolvido no Brasil e não possui legislação vigente no país, assim, buscando desenvolvê-lo no mercado local e ainda obter padrões de utilização.

Assim, a pesquisa teve por objetivo incorporar resíduos de gesso em massa utilizada para produção de adoquim cerâmico. O artigo busca apresentar uma formulação inédita na literatura, utilizando o resíduo de gesso para produção de adoquim com potencial para diminuição do uso de matérias-primas naturais como a argila, proporcionar uma destinação adequada para os resíduos, contribuindo para a reciclagem e qualidade ambiental. O trabalho também buscou desenvolver um produto novo (adoquim) que possa ser utilizado pelo mercado consumidor, com melhoramento ou manutenção de características e sustentabilidade do setor cerâmico.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

A argila utilizada no trabalho é proveniente de jazida localizada na região central do Piauí, mais precisamente no município de Oeiras-PI (7° 5' 3.990" S e 42° 8' 51.737" O). O resíduo de gesso foi adquirido em descarte de obra em fase de revestimento de paredes, ambos localizados também na cidade de Oeiras-PI. 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 foi obtido em forma de pó. Posteriormente, o material foi passado na peneira de malha 200 (0,075 mm) para a caracterização e também para as análises de propriedades tecnológicas.

As matérias-primas foram caracterizadas pelas seguintes técnicas: análise granulométrica - AG (agitador de peneiras elétrico - NBR 7181 (ABNT, 1984c)) e índice de plasticidade (limite de liquidez - NBR 6459 (ABNT, 1984b) e limite de plasticidade NBR 7180 (ABNT, 1984a)). Foram confeccionadas três formulações, em peso, contendo a argila e o resíduo de gesso, elaboradas para o estudo após a etapa de caracterização. A formulação C0 apresenta apenas a argila chamada de massa padrão e as formulações C1 e C2 apresentam quantidades de gesso na proporção de 5% e 10% em peso.

Para a confecção de corpos de prova, as formulações foram preparadas com teor de 7% de umidade (umidade utilizada pela indústria), prensadas a 30 MPa. Foram confeccionados 50 corpos de prova (tamanho - 10,0 cm x 8,0 cm x 5,0 cm) para o trabalho. Em seguida, os corpos de prova foram secos em estufa a 110 °C por 24 h e submetidos a tratamento térmico (queima) a 900 °C e 1000 °C e a uma taxa de aquecimento 5 °C/min, com permanência de 60 minutos.

Após a queima, foram realizados ensaios tecnológicos nos corpos de prova a fim de determinar as propriedades: absorção de água (AA), retração linear de queima (RLQ), resistência à compressão uniaxial (RC), microscopia eletrônica de varredura (MEV – realizado nas amostras sinterizadas a 1000 °C), análise macroestrutural e a resistência à abrasão (RA) – NBR 9781 (ABNT, 1987).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os Resultados são apresentados a seguir, ressalta-se que as tabelas e gráficos não puderam ser apresentados em sua totalidade devido à limitação de páginas do trabalho.

A distribuição granulométrica da amostra de argila e do resíduo de gesso teve como referência a classificação da International Society of Soil Science (Barnes, 2016). É possível verificar que a argila e o gesso tem característica distinta em relação à granulometria, assim o comportamento da massa padrão (argila) é modificado com a adição do resíduo. Isto se deve a granulometria mais grosseira do resíduo que apresenta elevado teor da fração areia. Já a massa padrão apresenta elevado conteúdo de partículas com tamanhos inferiores e está fundamentalmente relacionada com a presença de

argilominerais. O resíduo apresenta elevado conteúdo da fração silte-areia, podendo, assim aumentar o empacotamento na conformação dos corpos de prova, conferindo ao material uma maior densidade e resistência. Este resultado pode trazer benefício para a retração linear de queima dos produtos cerâmicos, podendo diminuir possíveis fissuras e danos nos materiais, diminuindo a retração, colaborando para a qualidade dos mesmos (Candido et al., 2013).

O Índice de Plasticidade (IP) para as amostras tiveram como valores de referência: índice de plasticidade até 7% - fracamente plástico, entre 7% e 15% - medianamente plástico e maior que 15% - altamente plástico (Maestrelli et al., 2013). As amostras apresentaram os seguintes resultados: C0 – 20,11%; C1 – 19,82% e C2 – 18,13%; assim, todas as amostras se classificam como altamente plástica, embora a adição de resíduo tenha reduzido a plasticidade da argila. Deve ser considerado que uma plasticidade alta pode dificultar o processamento/conformação da argila, assim pode se fazer necessário incorporar outra argila com baixa plasticidade ou materiais desplastificantes como o resíduo de gesso, a fim de reduzir a plasticidade (Vieira et al., 2007).

Os resultados para a retração linear de queima foram: C0 – 900°C: 0,6; 1000°C: 0,9; C1 – 900°C: 0,9; 1000°C: 1,1; C2 – 900°C: 1,30; 1000°C: 1,35; mostrando que a retração linear aumenta com o aumento da temperatura. Este comportamento é atribuído ao fechamento da porosidade, que possibilita a densificação das peças acompanhada de retração, confirmando o que foi apresentado na composição química. A presença de óxidos fundentes colaboram para a ocorrência deste fenômeno, formando fase líquida e, com isso, ocorre o fechamento de parte dos vazios no produto cerâmico, modificando outras propriedades tecnológicas como a porosidade, resistência e absorção de água. Os maiores valores de retração foram obtidos na amostra que contém maior quantidade de resíduo (C2).

Ao valores obtidos para a absorção de água foram: C0 – 900°C: 12,4; 1000°C: 10,9; C1 – 900°C: 13,2; 1000°C: 11,2; C2 – 900°C: 14,2; 1000°C: 12,3. Pode-se notar que o teor de absorção de água diminui com o aumento da temperatura. As normas NTC 3829 (NTC, 2002) e C902 (ASTM, 2015) regulamentam que os adoquins devem apresentar o valor máximo de 14% para serem utilizados em uso exterior e não expostos a temperaturas frias, sendo que para uso interno não há limite de valor. Assim, fica claro que as formulações estão em conformidade com as normas para todas as temperaturas de queima, exceto a amostra C2 queimada a 900 °C, que pode ser usada apenas para uso interno. 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 gesso na formulação onde este, queimado a altas temperaturas, provoca liberação de gás proveniente da decomposição parcial do sulfato de cálcio formado da reação do gesso, apresentando uma variação menor da porosidade em relação à massa padrão (Sene; Lindino, 2017).

A resistência à compressão uniaxial após a queima dos corpos de prova apresentou os seguintes valores: C0 – 900°C: 35 MPa; 1000°C: 41 MPa; C1 – 900°C: 28 MPa; 1000°C: 35 MPa; C2 – 900°C: 25 MPa; 1000°C: 27 MPa. Também foi analisado um lote de peças de concreto para pavimentação (PPC), fabricado em Teresina-PI para efeito de comparação de valores. Percebe-se que a resistência à compressão aumenta com o aumento da temperatura, ou seja, aumenta a resistência dos corpos de prova.

A Norma NBR 9781 (ABNT, 2013) regulamenta as especificações de resistência para peças de concreto para pavimento, sendo este o concorrente principal do pavimento cerâmico adoquim. Esta norma dispõe que a resistência mínima para utilização em pavimento para tráfego de pessoas ou veículos leves é de 35 MPa, assim a amostra C0 apresenta possibilidade de utilização em todas as temperaturas, a amostra C1 poderia ser usada apenas na temperatura 1000 °C e a amostra C2 não correspondeu a este requisito. As amostras de PPC apresentaram, em sua maioria, resultados abaixo do especificado em norma, com média de 30 MPa, embora ainda assim serão utilizados em obras.

Já a norma C902 (ASTM, 2015) regulamenta que o adoquim deve apresentar resistência mínima de 20,7 MPa para ser utilizado em uso interior e exterior não exposto a baixa temperatura, neste sentido todas as amostras estão dentro destas especificações.

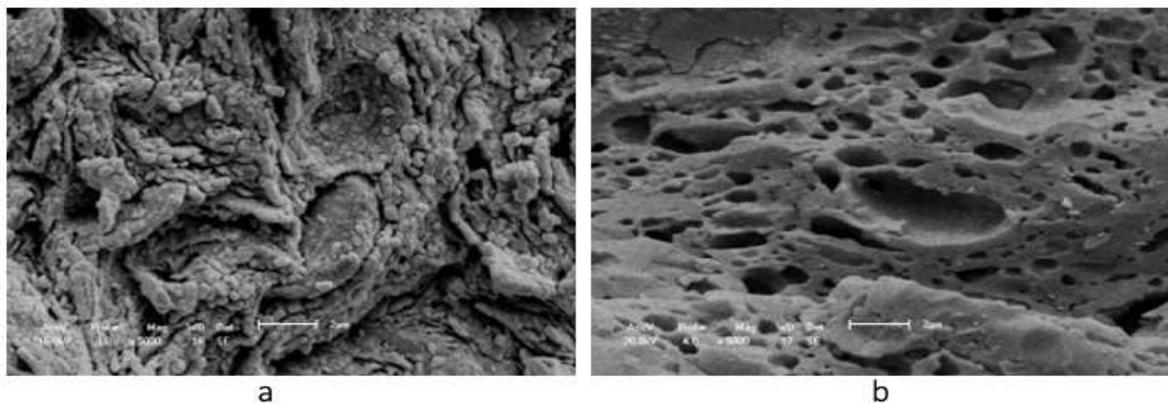
Os resultados de resistência à abrasão (RA) de acordo com a Norma NBR 9781 (ABNT, 2013) foram: C0 – 900°C: 20; 1000°C: 18; C1 – 900°C: 22; 1000°C: 21; C2 – 900°C: 23; 1000°C: 22. Os resultados apontaram que todas as amostras podem ser utilizadas em locais de tráfego de pedestres e veículos leves ( $RA \leq 23$ ), e que as amostras C0 em todas as temperaturas podem ser aplicadas em local com tráfego mais pesado ( $RA \leq 20$ ). Este indicador tem grande importância, pois aponta a durabilidade do material, embora seja facultativa para peças de concreto para pavimentação.

A Figura 1 apresenta as micrografias obtidas em microscópio eletrônico de varreduras (MEV) das formulações C0 e C1 queimadas a 1000 °C, com aumento de 5000x.

A Figura 1a mostra uma microestrutura da amostra C0 mais homogênea, com alta compactação e densificação. Este resultado corrobora com os outros obtidos anteriormente: alta plasticidade, baixa porosidade, alta resistência, entre outros. Isto é possível pelo preenchimento de grande parte dos poros, formando apenas microporos.

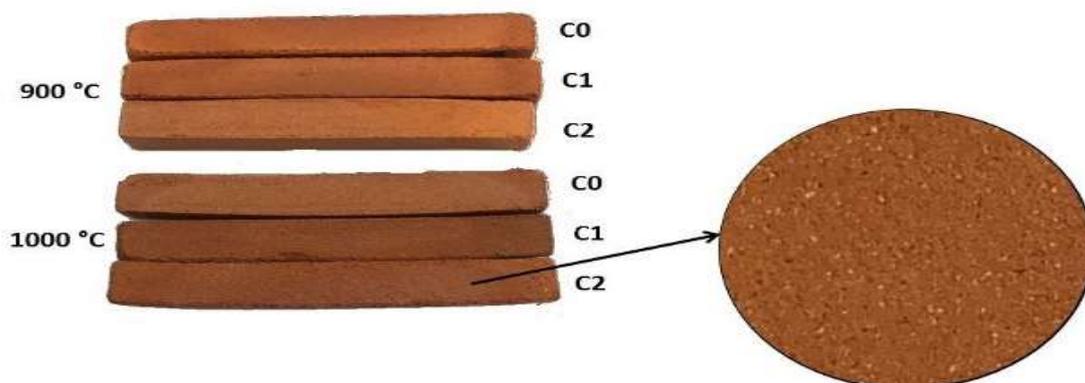
A Figura 1b aponta a microestrutura da amostra C1, diferentemente da formulação C0, uma microestrutura com porosidade maior e resistência à compressão uniaxial menor, conforme os resultados apresentados anteriormente. Esta característica se dá principalmente pela presença do gesso de revestimento, que é própria do gesso tipo beta ( $\beta$ ) e pela liberação de gás com a dissociação do sulfato de cálcio. Embora os valores de resistência e de porosidade sejam inferiores em relação aos da massa padrão (C0), estes valores já eram esperados e, mesmo com a incorporação de resíduo, as formulações apresentaram-se dentro das normas vigentes.

Figura 1. Micrografias por MEV das formulações queimadas a 1000 °C, 5000x: a - C0; b - C1.



A Figura 2 apresenta a análise macroestrutural, necessária para determinar possíveis trincas e fissuras visíveis e também analisar a coloração dos corpos de prova após a queima de 900 °C e 1000 °C. Verifica-se a coloração avermelhada dos corpos de prova, indicando a presença de ferro na composição química, normalmente encontrado em produtos cerâmicos.

Figura 2. Amostras das formulações após a queima.



A presença de ferro é responsável pela coloração das peças, e sua intensidade está associada ao aumento da temperatura. Acima de 900 °C, a tonalidade passa de vermelho claro a vermelho escuro atingindo tons de marrom e preto em temperaturas superiores.

Observa-se que os corpos de prova não apresentam fissuras aparentes, ratificando o que foi apresentado sobre a granulometria (empacotamento e plastificação), indicando homogeneidade nas peças. Pode-se verificar também a presença de pontos brancos na amostra C2 (ampliação na Figura 2), que se deve à existência de anidrita insolúvel de elevada dureza, por conter óxido de cálcio vindo do gesso, mas que não altera a estética da peça (Barbosa et al., 2014).

## CONCLUSÃO

O artigo apresentou a possibilidade e viabilidade de utilização de resíduos de gesso para fabricação de adoquim cerâmico. A formulação com 5% de resíduo apresentou melhores resultados em relação a maiores proporções. Observou-se que a presença do mesmo não alterou a estética e coloração do adoquim. Os resultados apontaram a possibilidade de utilização dos produtos em praças e áreas de tráfego leve. Finalmente, a utilização de resíduo de gesso, além de apresentar propriedades cerâmicas em conformidade com os padrões estabelecidos pelas normas, contribui com a qualidade do meio ambiente, diminuindo assim os impactos ambientais negativos que possam ser causados por este resíduo.

## AGRADECIMENTOS

Ao IFPI pela colaboração para que este trabalho pudesse ser concluído.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7180: Solo – Determinação do limite de plasticidade, Rio de Janeiro, 1984a.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez, Rio de Janeiro. 1984b.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7181: Solo – Análise granulométrica, Rio de Janeiro, 1984c.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação – Especificações, Rio de Janeiro, 1987.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação: Especificação e métodos de ensaio, Brasília, 2013.
- ASTM. American Society for Testing and Materials. C902: Standard Specification for Pedestrian and Light Traffic Paving Brick, United States, 2015.
- Barbosa, A. A.; Ferraz, A. V.; Santos, G. A.. Caracterização química, mecânica e morfológica do gesso obtido do polo do Araripe. *Cerâmica*, v. 60, n. 356, p. 501-508, 2014.
- Barnes, G. *Soil Mechanics: Principles and Practice*, ed. 4, Palgrave Macmillan, United Kingdom, 2016.
- Candido, V. S., Pinheiro, R. M., Monteiro, S. N., Vieira, C. M. F. Desenvolvimento de adoquim cerâmico com argilas caulínicas, chamote e argilito. *Cerâmica*, v. 59, n. 350, p. 310-316, 2013.
- Ferreira, F. C.; Sousa, J. G. G.; Carneiro, A. M. P. Caracterização mecânica do gesso para revestimento produzido no Polo Gesseiro do Araripe. *Ambiente Construído*, v. 19, n. 4, p. 207-221, 2019.
- Maestrelli, S. C.; Roveri, C. D., Nunes, A. G. P., Faustino, L. M., Aiello, G. F., Pinto, L. P. A., Manochio, C., Cal, T. M. L., Ribeiro, F. F., & Mariano, N. A. Estudo de caracterização de argilas não plásticas da região de Poços de Caldas, MG. *Cerâmica*, v. 59, n. 350, p. 242-248, 2013.
- NTC. Norma Técnica Colombiana, NTC 3829 Adoquín de arcilla para tránsito peatonal e vehicular liviano, Colombia, 2002.
- Santos, M.; Rolim, M. M.; Duarte, A. S.; Barros, M. F. C.; Silva, Ênio F. F. E. Uso de resíduos de gesso como corretivo em solo salino-sódico. *Pesquisa Agropecuária Tropical* v. 44, n. 1, p. 95-103, 2014.
- Senes, C. E. R.; Lindino, C. A. Resíduos de gesso de construção civil: minimização e estudos de lixiviação. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas*, v. 38, n. 1, p.43-54, 2017.
- SINDUSGESSO. Sindicato das Indústrias de Extração e Beneficiamento de Gipsita, Calcários, Derivados de Gesso e de Minerais Não-Metálicos do Estado de Pernambuco, Informações Técnicas, ed. 1, Pernambuco, 2018.
- Vieira, C. M. F.; Terrones, L. A., Sánchez, R.; Monteiro, S. N.. Características e efeito da fração granulométrica < 2 µm no comportamento de queima de uma argila. *Cerâmica*, v. 53, n. 327, p. 249-254, 2007.
- Vieira, C. M. F.; Morais, A. S. C., Monteiro, S. N.; Delaqua, G. C. G. Teste industrial de cerâmica vermelha incorporada com resíduo de vidro de lâmpada fluorescente. *Cerâmica*, v. 62, n. 364, p. 376-385, 2016.