

AVALIAÇÃO DE ARGAMASSAS COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE CIMENTO POR CINZAS DE FORNOS DE OLARIA UTILIZANDO CP EM MINIATURA

Thiago de Oliveira Ribeiro, Lylian Gabriele Carneiro Oliveira, Pedro Lucas da Costa Duarte Cerqueira, Daniele Ribeiro Gonçalves, Fernanda Nepomuceno Costa

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB)/Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas (CETEC), Rua Rui Barbosa, campus da UFRB - 44380-000 - Cruz das Almas-BA, Brasil, thiagoribeiro@aluno.ufrb.edu.br, lyliangabriele@aluno.ufrb.edu.br, pedrolucascerqueira@hotmail.com, danielle@aluno.ufrb.edu.br, fernandacosta@ufrb.edu.br.

Resumo

As indústrias ceramistas têm grande importância na construção civil brasileira, com um faturamento anual de R\$ 18 bilhões e a geração de mais de 293 mil empregos, representando 4,8% do setor. Nas olarias, fornos de operação contínua utilizam lenha como combustível, produzindo grandes quantidades de cinzas. Pesquisas mostram que cinzas de biomassa, como as de bagaço de cana e casca de arroz por exemplo, podem ser usadas em argamassas. Portanto, este estudo teve como objetivo principal avaliar o uso de resíduos de cinzas de olaria (RCO) como substituto parcial do cimento em argamassas, avaliando propriedades no estado endurecido. Foram testados traços com substituições de 0% (referência), 5%, 10% e 15%, em peso, de cimento pela cinza. Os resultados mostraram que o RCO não possui propriedades pozolânicas, mas seu uso proporcionou aumento na trabalhabilidade da argamassa em todos os teores, resultando em maior absorção de água e menor resistência à tração na flexão e à compressão. A utilização de corpos de prova em miniatura mostrou-se eficaz, reduzindo o consumo de materiais e otimizando os ensaios nas pesquisas experimentais.

Palavras-chave: Cinzas de olaria. Reaproveitamento. Resíduos. Argamassas. Miniatura.

Área do Conhecimento: Engenharia Civil.

Introdução

As indústrias ceramistas têm um papel fundamental na construção civil brasileira, gerando um faturamento anual de R\$ 18 bilhões e mais de 293 mil empregos diretos, representando 4,8% do setor (ANICER, 2024). Até 2023, o Brasil contava com 5.578 empresas de cerâmica e olarias, produzindo anualmente 8.175.602.000 telhas e blocos, além de 470.550 toneladas de acessórios cerâmicos (ANICER, 2024). O processo de fabricação de cerâmica envolve a secagem e a cozedura dos produtos a altas temperaturas, que são cruciais para obter as propriedades desejadas nos materiais (SEBRAE-RN, 2024).

Os fornos de operação contínua são preferidos para a queima de produtos cerâmicos devido à sua eficiência energética. Eles utilizam lenha, carvão ou serragem e operam 24 horas por dia, reduzindo perdas de energia em comparação aos fornos intermitentes (Couvignou, 2007). A madeira de eucalipto é frequentemente utilizada como combustível, resultando em grandes quantidades de cinzas, que são resíduos sólidos minerais compostos por minerais oxidados, areia e carbono orgânico (Foelkel, 2011). Essas cinzas podem ter características pozolânicas capazes de reagir com o hidróxido de cálcio durante a hidratação do cimento transformando-as em possíveis adições minerais.

O cimento Portland é amplamente utilizado na construção civil, mas sua produção contribui significativamente para as emissões de gases de efeito estufa, representando entre 8% e 10% das emissões globais (SNIC, 2022). Para mitigar esses impactos, a indústria cimenteira tem adotado a substituição parcial do clínquer por adições minerais ou materiais cimentícios suplementares (SNIC, 2022). A incorporação de adições minerais, como cinzas residuais, é uma prática sustentável que reduz o consumo de clínquer e a emissão de resíduos (Lothenbach et al., 2011).

Portanto, diante dessa problemática que envolve as altas emissões de CO₂ na fabricação do cimento, alinhado à grande quantidade de cinzas geradas diariamente em fornos de olarias, o presente estudo pretende avaliar o uso de RCO, originárias de uma olaria de Cruz das Almas – BA, como

substituto parcial do cimento Portland em argamassas para revestimentos de paredes e tetos. Assim, a pesquisa visa caracterizar essas cinzas, analisar seu efeito nas propriedades das argamassas endurecidas e avaliar a eficácia da técnica em miniatura para o desempenho dos materiais, em conformidade com as práticas de gestão sustentável e reutilização de resíduos.

Metodologia

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Materiais e Sistemas Construtivos da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), no Campus Cruz das Almas. O estudo começou com a definição do programa experimental e a coleta de resíduos de cinzas de fornos de olaria (RCO) de uma olaria local. Os materiais utilizados nos ensaios (Figura 1) incluíram o cimento CP V - ARI, selecionado por seu baixo teor de adições, areia natural peneirada e seca em estufa a $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$; água destilada; RCO; e um molde prismático retangular de silicone com 32 cavidades, cada uma medindo $10 \times 10 \times 40$ mm.

Figura 1 – Materiais utilizados (a) Água, RCO, CP V - ARI e areia natural para preparação das argamassas; e (b) molde prismático para conformação dos corpos de prova em miniatura.



Fonte: os autores.

O RCO passou por um processo de beneficiamento para eliminar impurezas grosseiras indesejadas. Inicialmente, as cinzas foram secas em estufa a $(100 \pm 5)^\circ\text{C}$ por 24 horas, e, após o resfriamento, foram peneiradas através de uma série de peneiras com aberturas graduais de 2,40 mm, 2,00 mm, 1,20 mm, 600 μm , 300 μm , 150 μm e 75 μm . A amostra selecionada para a pesquisa foi a passante na peneira de 75 μm (nº 200), representando 23,6% da amostra inicial (Figura 2). Essa escolha foi feita para utilizar a parte mais fina do RCO, de forma a melhorar o efeito de preenchimento e reduzir a porosidade no corpo de prova endurecido.

Figura 2 – Cinzas de olaria beneficiadas.



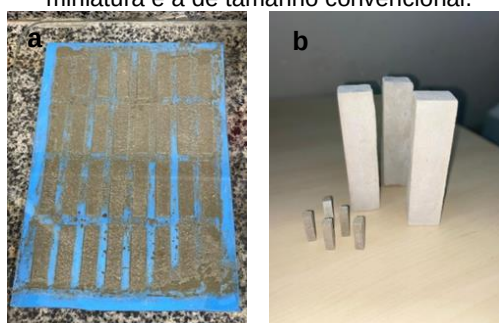
Fonte: os autores.

Para avaliar as características do RCO e verificar se ele atende aos requisitos estabelecidos pela NBR 12653 (ABNT, 2014) para a classificação de um material pozolânico, foram realizados os ensaios para determinação da massa específica do material, conforme a NM 23 (ABNT, 2000), a avaliação do índice de atividade pozolânica aos 28 dias, seguindo a NBR 5752 (ABNT, 2014), a medição da perda ao fogo de acordo com a NBR 17086-6 (ABNT, 2023), e a análise do teor de umidade do resíduo conforme a NM 24 (ABNT, 2002).

Após os ensaios de beneficiamento do RCO, foram preparadas argamassas com substituição parcial de cimento Portland por cinza de olaria categorizada em 5%, 10% e 15%, em peso, além da argamassa sem resíduo (0%) utilizada como referência. O traço utilizado foi 1:6, em massa, com a relação água/(cimento + RCO) de 1,05, conforme os parâmetros estabelecidos por Guimarães et al. (2019). A mistura dos materiais foi feita com um misturador mecânico e um recipiente de material não absorvente, de acordo com as diretrizes da NBR 13279 (ABNT, 2005).

Para avaliar a resistência mecânica das argamassas e a viabilidade do uso de formas em miniatura, foram moldados corpos de prova nas dimensões de 10 x 10 x 40 mm (miniatura) e 40 x 40 x 160 mm (convencional), de acordo com a NBR 13279 (ABNT, 2005), para permitir a comparação dos resultados. Em seguida, foram realizados os ensaios de densidade de massa no estado endurecido conforme a NBR 13280 (ABNT, 2005), absorção de água por capilaridade segundo a NBR 9779 (ABNT, 2012) e resistência à tração na flexão e à compressão de acordo com a NBR 13279 (ABNT, 2005).

Figura 3 – (a) Moldagem dos corpos de prova em miniatura; (b) Comparativo visual entre a amostra em miniatura e a de tamanho convencional.



Fonte: os autores.

Resultados

Os resultados da caracterização da areia natural utilizada na produção das argamassas estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização da areia natural.

Massa Específica (g/cm ³)	2,62
Massa Unitária (g/cm ³)	1,59
Diâmetro Médio D50 (μm)	430
Módulo de Finura	2,08
Teor de Material Pulverulento (%)	2,19 ± 0,15

Fonte: os autores.

Os resultados da caracterização do RCO, realizados para identificar as propriedades das cinzas e avaliar suas características para classificação como material pozzolânico, estão descritos na Tabela 2.

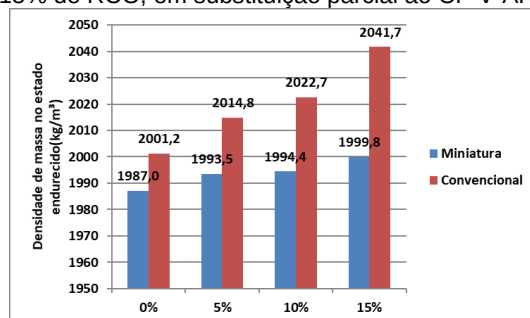
Tabela 2 – Caracterização das cinzas de fornos de olaria.

Massa Específica (g/cm ³)	2,55
Índice de Atividade Pozzolânica aos 28 dias (%)	83
Perda ao Fogo (%)	37
Teor de Umidade (%)	0,60

Fonte: os autores.

Para o ensaio de densidade de massa aparente, foram preparados 12 corpos de prova para cada tipo de molde, com 3 corpos para cada teor de adição do RCO. Após 24 horas, os corpos de prova foram desmoldados e curados em água saturada com cal por 28 dias. Aos 28 dias, as argamassas foram submetidas ao ensaio e foram obtidos os resultados apresentados na Figura 4.

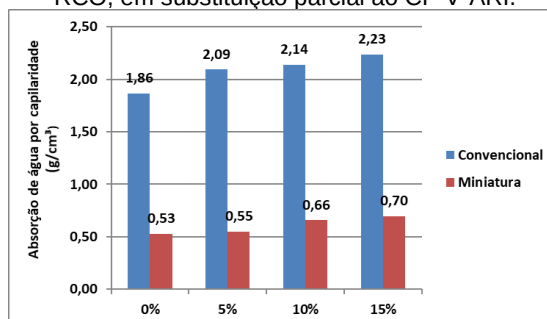
Figura 4 – Resultados do ensaio de densidade de massa no estado endurecido para os teores de 0%, 5%, 10% e 15% de RCO, em substituição parcial ao CP V-ARI.



Fonte: os autores.

Para analisar as composições de argamassas pela determinação de água por capilaridade, a amostra consistiu em três corpos de prova para cada teor. Os resultados deste ensaio obtidos a partir da média dos valores encontrados em cada corpo de prova estão descritos na Figura 5.

Figura 5 – Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade para os teores de 0%, 5%, 10% e 15% de RCO, em substituição parcial ao CP V-ARI.

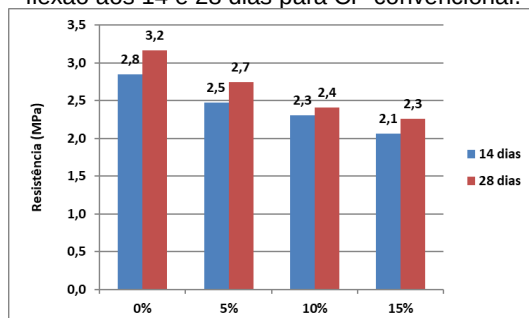


Fonte: os autores.

Para os ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão, foram preparados 24 corpos de prova para cada molde: 12 unidades com 14 dias de idade e 12 unidades com 28 dias de idade, distribuídos em três amostras para cada teor de incorporação de RCO.

A Figura 6 ilustra o comportamento das amostras de tamanho convencional no ensaio de tração na flexão aos 14 e 28 dias, enquanto a Figura 7 mostra os resultados das amostras em miniatura. Já a Figura 8 apresenta o desempenho das amostras no ensaio de resistência à compressão aos 14 e 28 dias para os corpos de prova convencionais, e a Figura 9 exibe os resultados para as miniaturas.

Figura 6 – Resultados de resistência à tração na flexão aos 14 e 28 dias para CP convencional.



Fonte: os autores.

Figura 7 – Resultados obtidos de resistência à tração na flexão aos 14 e 28 dias para CP miniatura.

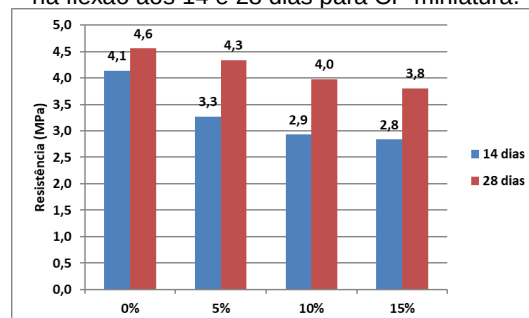


Figura 8 – Resultados de resistência à compressão aos 14 e 28 dias para CP convencional.

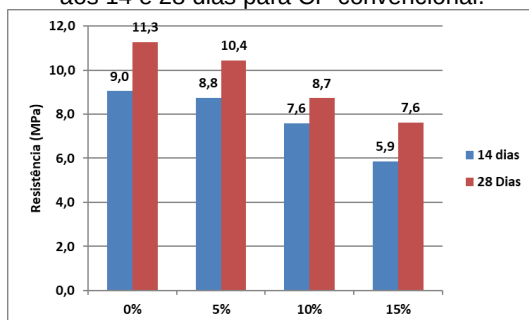
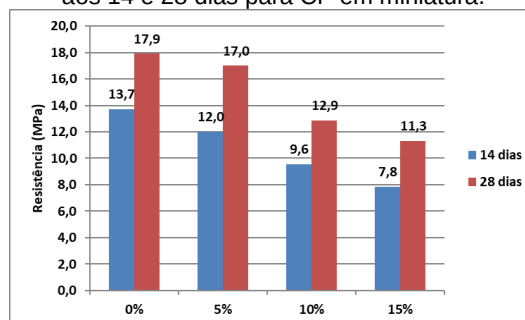


Figura 9 - Resultados de resistência à compressão aos 14 e 28 dias para CP em miniatura.



Fonte: os autores.

Discussão

A massa específica do RCO foi determinada em $2,55 \text{ g/cm}^3$. Nos estudos conduzidos por Barbosa *et al.* (2022), a massa específica das cinzas de eucalipto foi de $2,55 \text{ g/cm}^3$, valor semelhante ao obtido para as cinzas de fornos de olaria neste estudo. Em contraste, França *et al.* (2016) encontraram uma massa específica de $2,42 \text{ g/cm}^3$ para as cinzas de eucalipto.

O índice de atividade pozolânica (IAP) aos 28 dias foi de 83,45%, abaixo do valor mínimo de 90% exigido para que o material seja considerado pozolânico. No estudo de Silva *et al.* (2020), o ensaio de IAP com cinzas de olaria resultou em um índice de desempenho de 93%,.

Considerando que o RCO não recebeu tratamento térmico, observou-se uma perda de massa de 37% durante o ensaio de perda ao fogo, um valor superior ao limite de 6% estabelecido pela NBR 12653. Em contraste, Vaske (2012) encontrou uma perda de 25,1% para cinzas de eucalipto.

O ensaio para determinação do teor de umidade revelou uma média de 0,6% para o RCO. Este resultado está de acordo com as expectativas, dado que o material é originado de um processo de queima a altas temperaturas. Portanto, o RCO apresenta um valor inferior ao limite máximo de 3%.

Os ensaios de densidade mostraram um aumento na densidade de massa para as misturas com teores de 5%, 10% e 15% de substituição, em comparação com a mistura de referência (0%). Esse aumento geralmente indica que a argamassa possui menos espaços vazios ou poros, resultando em uma estrutura mais compacta. Além disso, verificou-se que, para a mesma massa, a argamassa com teores de RCO ocupa um volume menor.

Os dados do ensaio de absorção de água mostram que a máxima absorção, para os 4 tipos de argamassa, ocorreu em 72 horas, com e sem adição de RCO. Notou-se, no entanto, que quanto maior a substituição de cimento pelo RCO, maior a absorção capilar.

A substituição parcial do cimento Portland por RCO resultou em redução na resistência à tração na flexão e à compressão tanto aos 14 quanto aos 28 dias. No entanto, as resistências das amostras em miniatura foram comparáveis às das convencionais, demonstrando uma diminuição geral nas propriedades mecânicas com o aumento da substituição, apresentando-se como uma técnica eficaz.

Conclusão

Com base nos resultados obtidos neste estudo, pode-se concluir que:

- A caracterização do RCO demonstrou que ele não pode ser classificado como material pozolânico, já que, embora o teor de umidade esteja abaixo do limite estipulado, o índice de atividade pozolânica ficou abaixo dos 90% exigidos pela NBR 12653. Além disso, a perda ao fogo registrada ultrapassou o limite estabelecido por essa mesma norma.
- Nos ensaios do estado endurecido, foi possível observar que a substituição do cimento Portland por RCO aumentou a densidade do material, sugerindo uma estrutura mais compacta. Além disso, a absorção de água por capilaridade também aumentou à medida que o RCO foi incorporado, atingindo a absorção máxima após 72 horas. No entanto, a substituição do cimento por RCO resultou em uma diminuição da resistência à tração na flexão e da resistência à compressão, tanto aos 14 quanto aos 28 dias.

- O presente estudo mostrou também que uso de corpos de prova em miniatura não comprometeu a avaliação de desempenho em qualquer dos ensaios realizados.

Referências

- ANICER. **Associação Nacional da Indústria Cerâmica**. Disponível em: <Dados do Setor - ANICER>. Acesso em: 12 ago. 2024;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. NBR 13279: Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade**. NBR 9779: Rio de Janeiro, 2012.
- _____. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido**. NBR 13280: Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **Cimento Portland – Análise química – Parte 6: Determinação da perda ao fogo**. NBR 17086-6: Rio de Janeiro, 2023.
- _____. **Cimento Portland – Requisitos**. NBR 16697: Rio de Janeiro, 2018.
- _____. **Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação de massa específica**. NBR NM 23: Rio de Janeiro, 2000.
- _____. **Materiais Pozolânicos – Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias**. NBR 5752: Rio de Janeiro, 2014.
- _____. **Materiais Pozolânicos – Determinação do teor de umidade**. NBR NM 24: Rio de Janeiro, 2002.
- _____. **Materiais Pozolânicos – Requisitos**. NBR 12653: Rio de Janeiro, 2014.
- BARBOSA, J. P. N.; SOUZA, D. R.; MARCHESAN, R.; SOUZA, P. B. **Caracterizações físicas das cinzas do eucalipto como alternativa sustentável na substituição parcial do cimento Portland em argamassas**. Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro.
- COUVIGNOU, E. M. **Análise da conformidade e caracterização da matéria-prima empregada na fabricação de blocos cerâmicos na região metropolitana de Salvador**. 2007. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Salvador, 2007.
- FOELKEL, C. **Resíduos Sólidos Industriais do Processo de Fabricação de Celulose Kraft de Eucalipto: Resíduos Minerais**. Eucalyptus Online Book. São Paulo. 2011
- FRANÇA, D. F. S.; REY, R. O.; FERREIRA, L. R. C.; RIBEIRO, D. V. **Avaliação da reologia, da RAA e das propriedades de argamassas no estado fresco utilizando cinza de eucalipto como substituição parcial ao cimento Portland**. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Porto Alegre – RS. 2016.
- GUIMARÃES, C. C.; SANTOS, I. C. S.; ALMEIDA, M. S. S. **Cinza de padaria como adição mineral em substituição parcial ao cimento Portland na produção de argamassas**. Anais do 61^a Congresso Brasileiro do Concreto – CBC2019, IBRACON, Fortaleza – CE, 2019.
- LOTHENBACH, B.; SCRIVENER, K.; HOOTON, R. D. **Supplementary cementitious materials, Cement and Concrete Research**. 2011.
- SEBRAE. **Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas**. Disponível em: Portal Sebrae - Sebrae. Acesso em: 13 ago. 2024
- SILVA, L. H. P.; TAMASHIRO, J. R.; ANTUNES, P. A. **Caracterização da cinza de forno de olaria para aplicação em cimento pozolânico**. Revista Matéria, v.25, n.1, 2020.
- SNIC. **Sindicato Nacional das indústrias de cimento**. Disponível em: <<http://snic.org.br/historia>>. Acesso em: 12 ago. 2024.
- VASKE, N. R. **Estudo Preliminar da Viabilidade do Aproveitamento da Cinza proveniente de Filtro Multiciclone pela Combustão de Lenha de Eucalipto em Caldeira Fumotubular como Adição ao Concreto**. Tese de doutorado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS, 2012.

Agradecimentos

Ao grupo de pesquisa em Valorização de Resíduos na Construção Civil da UFRB (Valora Civil), à FAPESB e ao PIBIC no amparo e fomento das pesquisas e às empresas Massa Fort Concreto e MC-Bauchemie pela doação dos materiais.