INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL DE CONCRETOS À BASE DE CINZA DE BIOMASSA RESIDUAL DE FORNOS DE INDÚSTRIA CERÂMICA

Experimental investigation of concretes based on residual biomass ash from ceramic industry ovens

Iuri Veríssimo Mendonça
Universidade Federal do Ceará | Fortaleza, Ceará | iurivm13@gmail.com

Caio Siebra Alcântara
Universidade Federal do Ceará | Fortaleza, Ceará | caiosiebra93@gmail.com

Ana Jéssica Farias da Silva
Universidade Federal do Ceará | Fortaleza, Ceará | jessica.farias02@outlook.com

Marcella Maria Gomes Damasceno
Universidade Federal do Ceará | Fortaleza, Ceará | marcelladamasceno553@gmail.com

Lucas Feitosa de Albuquerque Lima Babadopulos
Universidade Federal do Ceará | Fortaleza, Ceará | babadopulos@ufc.br

Resumo

O cimento Portland, um dos materiais mais consumidos do mundo, é responsável por aproximadamente 8% das emissões de dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera. Diante disso, pesquisadores têm buscado alternativas sustentáveis para minimizar esse impacto ambiental. Os materiais cimentícios suplementares (MCS) têm sido alvo de numerosos estudos devido ao seu potencial de sustentabilidade na redução do consumo do cimento Portland. Diante disso, este estudo tem como objetivo analisar a substituição de 5% e 10% de cinza de biomassa residual (CBR) por cimento Portland em concretos convencionais. Foram realizados ensaios de consistência, resistência à compressão e resistividade elétrica volumétrica. O concreto teve um aumento na trabalhabilidade de 72,72% com as substituições. Com 5% de substituição, houve uma melhoria na resistividade elétrica em 20,95% e uma redução de 13,67% na resistência à compressão aos 28 dias, demonstrando que a CBR é uma alternativa viável e sustentável para a produção de concretos.

Palavras-chave: Materiais cimentícios suplementares; Concretos especiais; Cinza de biomassa; Indústria cerâmica.

ABSTRACT

Portland cement, one of the most consumed materials in the world, is responsible for approximately 8% of carbon dioxide (CO2) emissions into the atmosphere. In view of this, researchers have been seeking sustainable alternatives to minimize this environmental impact. Supplementary cementitious materials (SCM) have been the subject of numerous studies due to their potential for sustainability in reducing the consumption of Portland cement. In view of this, this study aims to analyze the replacement of 5% and 10% of residual biomass ash (RBA) by Portland cement in conventional concretes. Consistency, compressive strength and volumetric electrical resistivity tests were performed. The concrete had an increase in workability of 72.72% with the replacements. With 5% replacement, there was an improvement in electrical resistivity of 20.95% and a reduction of 13.67% in compressive strength at 28 days, demonstrating that RBA is a viable and sustainable alternative for concrete production.

Keywords: Supplementary cementitious materials; Special concretes; Biomass ash; Ceramic industry.

1 INTRODUÇÃO

Utilizado em argamassas e concretos, o cimento Portland (CP) é o material de construção mais utilizado no mundo (Habert et al., 2020). O setor da indústria cimenteira é responsável por aproximadamente 8% do dióxido de carbono (CO2) emitido globalmente, sendo o gás de efeito estufa mais significativo do aquecimento global (He *et al.,* 2021). Para cada tonelada de CP fabricada, são emitidas entre 0,5 e 0,6 toneladas de CO2 (Roadmap Tecnológico do Cimento, 2019). Nesse cenário, pesquisadores têm buscado alternativas sustentáveis para minimizar esse impacto ambiental.

Uma alternativa promissora são os Materiais Cimentícios Suplementares (MCS), cujo resíduos substituem parcialmente ou totalmente o cimento Portland em matrizes cimentícias, sendo fundamentais para reduzir as emissões dos gases do efeito estufa (IEA, 2018). Cinzas volantes, cinzas de cascas de arroz e cinzas de fornos de indústrias cerâmicas são exemplos de MCS. Em investigação dos impactos ambientais e econômicos do uso de materiais cimentícios suplementares (MCS), Mohammadi e Ramazanianpour (2023) demonstram que existem evidências quantitativas, no ciclo de vida do concreto, da redução de 19% das emissões de CO_2.

A indústria da construção está diretamente relacionada a diversos tipos de impactos ambientais devido a sua alta geração de resíduos, inadequada destinação dos rejeitos, e pelo alto nível de poluição incorporado nos processos de construção (Scrivener; John; Gartner, 2018).

Existem aproximadamente 6 mil fábricas de cerâmica, produzindo anualmente 2,2 bilhões de telhas cerâmicas e 5,9 bilhões de blocos cerâmicos (Anicer, 2023). Como outros processos industriais, esse também é caracterizado pela geração do produto e do resíduo, na calcinação dos insumos da cerâmica são deixados resíduos, como cinza dos fornos a lenha, os quais não possuem uma destinação adequada (Alameida, Soares, Matos, 2020).

A produção de cinzas representa cerca de 3% da massa de madeira queimada, o que resulta em cerca de 2,55 milhões de toneladas de cinzas (Borlini *et al*., 2005). Essa grande quantidade de cinzas, em sua maioria, é acumulada em montes nas próprias fábricas. Pesquisas sobre o aproveitamento dessas cinzas de biomassa têm avançado na comunidade científica, mas ainda existem conclusões divergentes sobre a viabilidade de sua utilização, especialmente devido às diferenças na composição química das cinzas relacionadas ao processo de produção, à origem da madeira, capacidade da caldeira e método de incineração (Saarsalmi *et al*., 2001). Nesse contexto, a presente pesquisa tem como objetivo avaliar as propriedades mecânicas de concretos com substituição de 5% e 10% de cinza de biomassa de fornos de indústria cerâmica como material cimentício suplementar.

2 METODOLOGIA

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa experimental aplicada, conforme classificação de Gil (2008), uma vez que envolve a manipulação controlada de variáveis (teores de substituição de cinza de biomassa residual - CBR) e a observação dos efeitos dessa manipulação sobre variáveis dependentes (resistência à compressão, resistividade elétrica e consistência) em ambiente laboratorial. As formulações de concreto foram preparadas com base em uma dosagem de referência (sem CBR) e com substituições de 5% e 10% da massa de cimento por CBR, conforme detalhado na Tabela 2. Foram realizados ensaios segundo normas técnicas (ABNT NBR 5739, NBR 16889 e ASTM C1876), com corpos de prova moldados em triplicata para cada traço e idade de ensaio, de modo a garantir a reprodutibilidade e permitir o cálculo dos desvios padrão. Os ensaios foram conduzidos em laboratório com controle rigoroso das condições de mistura, moldagem, cura e ensaio.

2.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados neste estudo foram: a cinza de biomassa, proveniente da queima da lenha dos fornos da indústria cerâmica, fornecida pela olaria da cidade de Ipu, no interior do Ceará; o cimento CPV-ARI, de massa específica correspondente a 2,90 g/cm³, areia natural como agregado miúdo e britas na faixa granulométrica de 4,75 mm – 19 mm como agregado graúdo, fornecidos pela empresa Cimento Apodi.

Tabela 1: Composição química do cimento.

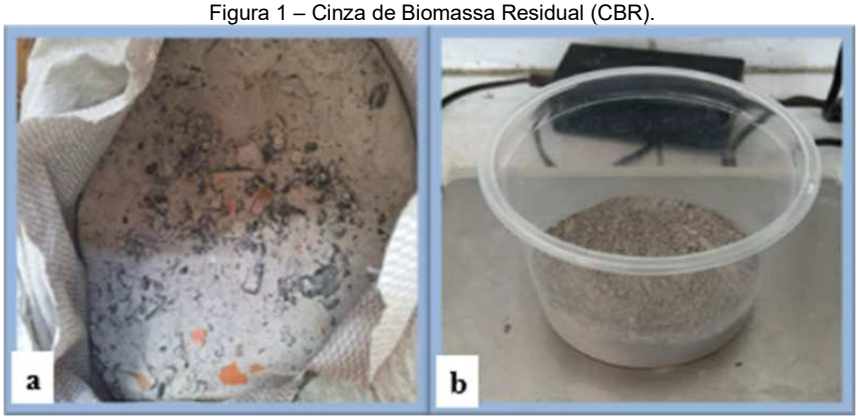
	CaO	MgO	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	SO3
Faixa de concentração (%)	35,00 a 58,00	2,00 a 6,50	21,50 a 30,00	2,50 a 15,00	1,00 a 4,00	1,00 a 4,00

Fonte: Cimento Apodi.

2.2 MÉTODOS

A cinza foi submetida a um processo de beneficiamento que incluiu secagem em estufa a 100°C por 24 horas. Em seguida, a cinza foi peneirada utilizando malhas com aberturas de 4,75 mm e 0,075 mm, para remover resíduos de outras origens. Apenas a fração que passou pela peneira de 0,075 mm foi utilizada, conforme mostrado na Figura 1.

Figura 1 – Cinza de Biomassa Residual (CBR).



Fonte: Autor, 2025
Legenda: a) Cinza fornecida pela cerâmica, b) Cinza Peneirada.

Para a produção do concreto foram realizadas três misturas: concreto convencional de referência (R), com substituição de 5% de cinza de biomassa residual (CBR) em relação ao cimento (S5) e com 10% de substituição (S10), submetidos ao ensaio de consistência por abatimento de tronco de cone, conforme a ABNT NBR 16889, resistência à compressão, conforme a ABNT NBR 5739 e resistividade elétrica volumétrica, conforme a ASTM C1876 (ASTM, 2019). As composições de misturas são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Consumo de materiais, em kg/m3 de concreto

N°	Mistura	Cimento	CBM	Areia	Brita	Água	Aditivo
1	R	432,74	-	692,39	982,33	194,73	1%
2	S5	411,11	21,64	692,39	982,33	194,73	1%
3	S10	389,47	43,27	692,39	982,33	194,73	1%

Fonte: Autor, 2025.

Para produzir as misturas de concreto, utilizou-se uma betoneira de 120 L. Inicialmente, imprimou-se a betoneira com uma pequena quantidade de água, cimento e areia, a fim de evitar que a água de amassamento fosse absorvida pelas paredes internas do equipamento. Em seguida, este material foi descartado e, com a betoneira em funcionamento, foram adicionados toda a brita e 30% da água, havendo a mistura desse material por 1 minuto. Logo após, adicionaram-se o cimento, a adição a ser avaliada no teste e 30% da água, sendo misturados por mais 1 minuto. Por fim, foram adicionados a areia, o aditivo e o restante da água (40%). Após o procedimento de mistura, foram moldados corpos de prova cilíndricos, que foram desmoldados após 24 h e imersos em água para a cura úmida.

3 REULTADOS E DISCUSSÕES

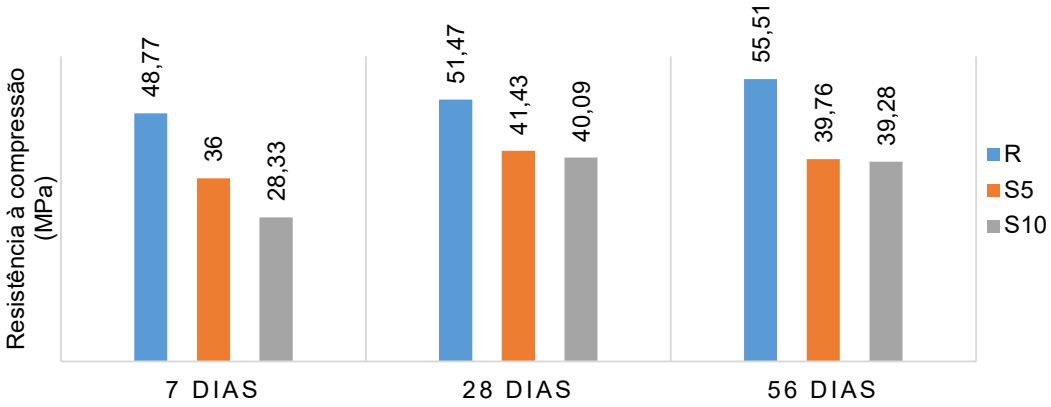
3.1 CONSISTÊNCIA E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

O concreto convencional (R) apresentou um abatimento de 110 mm, correspondente à classe de consistência S100 para aplicações típicas em elementos estruturais, com lançamento convencional do concreto, de acordo com a NBR 8953 (2015). A mistura S5 atingiu um abatimento de 160 mm e com 10% de substituição um abatimento de 190 mm, passando para classe de consistência S160 de faixa de abatimento entre 160 a 220 milímetros.

Em comparação com o trabalho de Mota (2014), ao adicionar cinzas de Algaroba no concreto, em substituições de 5%, 10% e 20%, houve uma melhoria na trabalhabilidade, enquanto com teores a partir de 30% e 40%, houve uma redução na trabalhabilidade em comparação ao concreto convencional.

Os resultados do ensaio de resistência à compressão são mostrados no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Resistência à compressão (MPa)



Fonte: Autor (2025)

O concreto com substituição de 5% apresentou uma redução na resistência de 26,18% aos 7 dias em relação ao concreto convencional, porém aos 28 dias essa redução passou para 13,67%. Com 10% de substituição, a perda de resistência foi maior, tendo um decréscimo de 41,91% aos 7 dias e 26,36% aos 28 dias. Esse aumento considerável na resistência de 7 para 28 dias pode ser entendido pela reação tardia da CBR, sendo característica de um material pozolânico.

Silva (2017), realizou uma análise da substituição em diferentes teores do cimento Portland por cinza das indústrias de cerâmica vermelha, e obteve como resultado uma resistência à compressão aos 7 dias com 10% de substituição de 30,12 Mpa, resultado que é próximo da adição da CBR nesse estudo.

3.2 RESISTIVIDADE ELÉTRICA

A utilização de 5% de cinza de biomassa de madeira aumentou a resistividade elétrica em 20,95% em relação ao concreto convencional aos 28 dias. Com 10% de substituição não houve alteração. Os resultados do ensaio de resistividade elétrica volumétrica são apresentados na tabela 3.

Tabela 3 - Resistividade elétrica volumétrica (kΩ.cm)

Mistura	R	S5	S10
28 dias	9,88	11,95	9,98
56 dias	6,33	7,58	6,78

Fonte: Autor, 2025

A cinza da madeira como substituinte do cimento Portland refina os poros, consequentemente impedindo a passagem dos íons. O aumento da resistividade elétrica com o aumento do teor de substituição de cinza proporciona uma menor mobilidade iônica, podendo ser mais resistente ao processo de corrosão de armadura, beneficiando a sua durabilidade. Os resultados obtidos estão de acordo com a pesquisa de Madani *et al*. (2014), que seu concreto apresentou uma melhoria na resistividade com o implemento de sílica ativa. Al-Kharabsheh et al. (2022) encontraram benefícios similares, sugerindo que uma substituição de 10% é ideal para otimizar a resistência e a durabilidade devido à reação pozolânica e aos efeitos de micropreenchimento.

4 CONCLUSÃO

Este estudo investigou a viabilidade do uso de cinza de biomassa residual (CBR) de fornos de indústria cerâmica como material substituto parcial do cimento em concretos. Os ensaios de consistência revelaram que a incorporação de CBR aumenta a trabalhabilidade do concreto. Já no ensaio de resistência à compressão, verificou-se que houve uma redução significativa aos 7 dias à medida que aumentava o teor de substituição de cinza. Porém aos 28 dias os concretos com substituições atingiram a resistência mínima de

28 Mpa. Os testes de resistividade elétrica indicaram que a substituição de 5% de CBR melhora a resistividade do concreto, sugerindo uma menor susceptibilidade à corrosão das armaduras em comparação com o concreto convencional. Esta característica é particularmente relevante para a longevidade das estruturas de concreto armado, sobretudo em ambientes onde a corrosão é um fator crítico.

Os resultados deste estudo demonstram que a cinza de biomassa residual de fornos de indústria cerâmica é uma alternativa viável e sustentável para a produção de concretos pré-moldados. No entanto, é essencial um balanceamento adequado da proporção de CBR para assegurar a trabalhabilidade e as propriedades mecânicas desejadas. Recomenda-se a continuidade de pesquisas com diferentes tipos de resíduos e condições de cura para explorar plenamente o potencial desta prática inovadora no setor da construção civil.

Recomenda-se a continuidade de pesquisas com diferentes tipos de resíduos e condições de cura para explorar plenamente o potencial desta prática inovadora no setor da construção civil. Estudos futuros devem ainda incorporar análises estatísticas com maior número de replicações, além da avaliação de durabilidade em longo prazo sob condições ambientais reais, a fim de consolidar a aplicabilidade técnica e ambiental dos concretos com CBR.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos à APODI pela valiosa contribuição ao fornecimento de materiais essenciais que tornaram este trabalho possível e ao Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) pelo espaço cedido para a realização dos ensaios.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. 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. **Revista Matéria**, v. 25, n. 1, p. e-12568, 2020.

AL-KHARABESHEH, B. N.; ARBILI, M. M.; MAJDI, A.; AHMAD, J.; DEIFALLA, A. F.; HAKAMY, A. A Review on Strength and Durability Properties of Wooden Ash Based Concrete. **Materials,** v. 15, n. 20, p. 7282, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/ma15207282

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA (ANICER). Setor. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <http://portal.anicer.com.br/setor/>.

BORLINI, M. C.; SALES, H. F.; VIEIRA, C. M. F.; et al. Cinza da lenha para aplicação em cerâmica vermelha. Parte I: características da cinza. **Cerâmica**, v. 51, n. 319, p. 192-196, 2005.

HABERT, G.; *et al.* Environmental impacts and decarbonization strategies in the cement and concrete industries. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 1, p. 559–573, 2020. DOI: 10.1038/s43017-020-0093-3.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

IEA. Roteiro tecnológico - transição de baixo carbono na indústria de cimento. 2018.

SCRIVENER, K. L.; JOHN, V. M.; GARTNER, E. M. Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO2 cement-based materials industry. **Cement and Concrete Research**, v. 114, p. 2–26, 2018.

MADANI, H.; BAGHERI, A.; PARHIZKAR, T.; RAISGHASEMI, A. Chloride penetration and electrical resistivity of concretes containing nanosilica hydrosols with different specific surface areas. **Cement and Concrete Composites**, v. 53, p. 18-24, 2014. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2014.06.006.

MOHAMED, H. D. Influence of composition and concentration of alkaline activator on the properties of natural-pozzolan based green concrete. **Construction and Building Materials**, v. 201, p. 186–195, 2019.

MOTA, M. H. A. **Concreto seco com incorporação de cinzas de madeira de Algaroba (Prosopis Juliflora) moldado sob pressão**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) — Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, 2014.

HE, P.; ZHANG, B.; LU, J.; POON, C. S. Reaction mechanisms of alkali-activated glass powder-ggbs-CAC composites. **Cement and Concrete Composites**, v. 122, p. 104143, 2021.

ROADMAP tecnológico do cimento: potencial de redução das emissões de carbono da indústria do cimento brasileira até 2050. Coord. por Gonzalo Visedo e Marcelo Pecchio. Rio de Janeiro: SNIC, 2019. 64 p.

SAARSALMI, A.; MÄLKÖNEN, E.; PIIRAINEN, S. Effects of wood ash fertilization on forest soil chemical properties. **Scientific Reports,** v. 35, n. 3, p. 355-368, 2001.

SILVA, A. L. B. **Produção de concreto utilizando cinzas das indústrias de cerâmica vermelha em substituição ao agregado miúdo.** Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) — Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2017.