UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS COMO ADIÇÃO E SEU IMPACTO EM ARGAMASSAS COM REDUÇÃO NO CONSUMO DE CIMENTO PORTLAND

Usage of agroindustrial wastes as additives and its impact on mortars produced with reduced Portland cement consumption

Julia Costa Abdala
CEFET-MG | Belo Horizonte, Minas Gerais | jubdala31@gmail.com

Lucas Thadeu da Silva Ramos
CEFET-MG | Belo Horizonte, Minas Gerais | lucas.ramos@cefetmg.br

Rogério Cabral de Azevedo
CEFET-MG | Belo Horizonte, Minas Gerais | rogeriocabral@cefetmg.br

Liliane Cruz Gomes de Souza Santos
Centro Universitário Estácio de Sá | Belo Horizonte, Minas Gerais | lilianecruzbh@gmail.com

Augusto Cesar da Silva Bezerra
CEFET-MG | Belo Horizonte, Minas Gerais | augustobezerra@cefetmg.br

RESUMO

Este estudo investiga o impacto do uso de três diferentes resíduos de caráter agrícola, biochar de bamboo, cinza de casca de arroz e cinza de bagaço de cana de açúcar em argamassas, como adição. A investigação foi feita com uso de adições de forma a avaliar seu impacto em cenários de redução no teor de cimento de forma a verificar se a presença dessas adições é suficiente para mitigar a redução de produtos de hidratação causada pela redução de até 30% no cimento. Os testes de resistência à compressão demonstraram que o uso de alguns destes materiais como adições apresentam resultados favoráveis, como é o caso da cinza de casca de arroz. O uso dessa cinza em 10% da massa de cimento pode ser suficiente para suprir uma redução de 20% de consumo de cimento.

Palavras-chave: Materiais cimentícios suplementares; Biochar de bambu; Cinza de casca de arroz; Cinza de bagaço de cana-de-açúcar; Argamassas.

ABSTRACT

This study investigates the impact of using three different agricultural residues, bamboo biochar, rice husk ash and sugarcane bagasse ash in mortars, as an addition. The investigation was carried out using additions to evaluate their impact in scenarios of reduction in cement content to verify whether the presence of these additions is sufficient to mitigate the reduction in hydration products caused by a reduction of up to 30% in cement. Compressive strength tests demonstrated that the use of some of these materials as additions presents favorable results, as is the case with rice husk ash. The use of this ash in 10% of the cement mass can be sufficient to supply a 20% reduction in cement consumption.

Keywords: Supplementary cementitious materials; Bamboo biochar; Rice husk ash; Sugarcane bagasse ash; Mortars.

1 INTRODUÇÃO

A sustentabilidade é um dos pilares fundamentais do mundo moderno, sendo cada vez mais essencial para garantir o equilíbrio entre o desenvolvimento humano e a preservação dos recursos naturais. Nesse contexto, a construção civil busca atuar de forma consciente reduzindo seu impacto ambiental. O cimento, principal insumo dessa indústria, desempenha um papel crucial por ser um dos produtos manufaturados mais consumidos do mundo, sendo o segundo material mais usado globalmente (Scrivener; John; Gartner, 2018). Porém sua produção demanda grande extração de recursos e um alto consumo de energia térmica e elétrica, utilizada, principalmente, na calcinação do clínquer, principal componente do cimento. Esta clinquerização emite poluentes para a atmosfera, sendo responsável por cerca de 90% das emissões do processo, sendo então fundamental buscar soluções para reduzir esses impactos (Berenguer *et al.*, 2020).

Dentre estas soluções, o uso de materiais cimentícios suplementares (MCS) como substituição parcial do cimento pode auxiliar na redução das emissões. Contudo, existem diversos MCS disponíveis, alguns já comercializados, mas nem todas as propriedades são bem conhecidas, seja isoladamente, ou em produção de argamassas e concretos (Fode; Chande Jande; Kivevele, 2023). A utilização de resíduos de outras indústrias tem destaque na pesquisa dos MCS, isso é importante, pois a origem dos MCS vai impactar em sua disponibilidade e na sustentabilidade da aplicação como substituto ao cimento. Resíduos agrícolas são bons candidatos a MCS devido ao seu grande volume e ao receberem esse direcionamento deixam de ser um problema de manejo de resíduos, podem reduzir custos de materiais de construção e auxiliam no objetivo de alcançar um contexto sustentável para ambos os setores (Aprianti *et al.*, 2015). Há uma ampla gama de resíduos orgânicos oriundos de queima, como é o caso da cinza de casca de arroz (CCA), cinza de bagaço de cana de açúcar (CBCA) e biochar de bambu (BB), este sendo produzido por pirólise. Enquanto o BB é capaz de absorver uma alta quantidade de carbono e apesar da baixa presença de óxidos como SiO_2, Al_2O_3 e Fe_2O_3, ele pode agir como um *filler* em materiais cimentícios, apresentando bons resultados de resistência para substituições de até 10% em argamassas (Gunasekaran; Chin, 2023). A CCA e a CBCA são materiais pozolânicos bastante reativos devido ao alto teor de sílica amorfa presente neles, bem como elevada área superficial e pequena granulometria, variando entre 15 µm e 50 µm, permitindo melhorias em propriedades mecânicas do concreto, especialmente em substituições de até 20%, bem como melhora na sua durabilidade (Aprianti *et al.*, 2015; Lacerda Gomes *et al.*, 2023; Martirena; Monzó, 2018; Mourão; Paula, 2022).

Esta pesquisa estudou as reações destes subprodutos quando são utilizados como uma adição parcial junto ao cimento na produção de argamassas em associação à redução da disponibilidade de cimento e água de forma a verificar se a presença destes MCS pode compensar a perda de produtos de hidratação oriundos do cimento. Tal investigação é proposta por meio da análise da resistência à compressão de corpos de prova (CP) de argamassa com diferentes traços e adições.

2 METODOLOGIA

Este trabalho avaliou três diferentes MCS, sendo eles BB, CCA e CBCA. Os experimentos foram planejados tendo como base a NBR 7215 (ABNT, 2019) e foram propostas três intervenções na quantidade de materiais, reduções de 10%, 20% e 30% nos montantes de água, cimento e MCS, simultaneamente, sem variação no fator água/cimento (A/C), nem na massa de areia. A **Tabela 1** apresenta o resumo da composição dos materiais utilizados nesta pesquisa.

Este trabalho utilizou cimento Portland de alta resistência inicial (CP-V), com baixo teor de adições, possuindo um teor mínimo de clínquer de 90%, sulfato de cálcio e material carbonático. Este cimento foi caracterizado, encontrando um índice de finura 0,32%, determinado conforme NBR 11579 (ABNT, 2012) e uma massa específica aparente de 3,07 g/cm³, convertendo-se a densidade obtida via picnometria a gás hélio. O agregado utilizado foi areia lavada média, sendo esta tratada com peneiramento visando reduzir o teor de finos e manter a curva granulométrica dentro da faixa esperada para uma curva produzida com as quatro frações de areia IPT, conforme determinado pela NBR 7215 (ABNT, 2019). Esta areia foi caracterizada conforme NBR 7211 (ABNT, 2022), apresentando módulo de finura de 2,54 e diâmetro máximo de 2,36 mm, sua massa específica aparente foi de 2,66, determinada pelo mesmo método de picnometria. Os MCS utilizados foram moídos até apresentarem granulometria inferior à 75 µm, essa redução na dimensão dos grãos dos MCS implica em melhoria de sua reatividade, bem como em uma melhor homogeneização destes materiais (Bezerra *et al.*, 2017; Mourão; Paula, 2022). O BB, o CCA e o CBCA apresentaram, pelo mesmo método de picnometria, massa específica aparente de 1,49 g/cm³, 2,19 g/cm³ e 2,36 g/cm³, respectivamente. Para este trabalho utilizou-se água destilada.

Tabela 1: Composição dos traços de argamassa

Traço	Cimento (g)	MCS (g)	Areia (g)	Água (g)	M (Agregado/cimentícios)	A/C
REF-100	624	-	1872	300	3,00	0,48
REF-90	561,6	-	1872	270	3,33	
REF-80	499,2	-	1872	240	3,75	
REF-70	436,8	-	1872	210	4,29	
BB04-100	624	2,5	1872	300	2,99	
BB04-90	561,6	2,3	1872	270	3,32	
BB04-80	499,2	2,0	1872	240	3,74	
BB04-70	436,8	1,8	1872	210	4,27	
CCA-100	624	62,4	1872	300	2,73	
CCA-90	561,6	56,2	1872	270	3,03	
CCA-80	499,2	49,9	1872	240	3,41	
CCA-70	436,8	43,7	1872	210	3,90	
CBCA-100	624	62,4	1872	300	2,73	
CBCA-90	561,6	56,2	1872	270	3,03	
CBCA-80	499,2	49,9	1872	240	3,41	
CBCA-70	436,8	43,7	1872	210	3,90	

Fonte: Os autores

Os percentuais de adição dos MCS foram determinados conforme observado na literatura. Assim selecionou-se, para cada material, um percentual que correspondia a resultados de resistência à compressão que apresentaram melhoria nessa característica. Para o BB foi utilizado 0,4% de adição em argamassas, conforme verificado em (Liu; Li; Xu, 2022), onde percebeu-se uma resistência máxima de, aproximadamente 9 MPa na idade de 7 dias. A adição de CCA foi de 10%, conforme (Lacerda Gomes *et al.*, 2023), onde a resistência na mesma idade, para concretos, foi de 34 MPa. Já para CBCA a adição utilizada para argamassas teve melhor resultado quando de 10%, apresentando resistência média de 31 MPa aos 7 dias (Mourão; Paula, 2022).

O processo de moldagem, cura e de ensaio de resistência à compressão foi desenvolvido conforme a NBR 7215. A aparelhagem utilizada nesta pesquisa foi: Balança de precisão, modelo S2202H, marca BEL Engineering, com resolução de 0,01g e capacidade máxima de 3000 g; Misturador mecânico, modelo I-3010, marca Pavitest, com capacidade de 5L; Molde cilíndrico 5X10 cm; Máquina universal de ensaios eletromecânica, modelo DL 30.000, marca EMIC/Instron; Picnômetro multipycnometer, modelo MVP-6DC, marca Quantachrome Instruments, com uso de gás hélio. O processo de cura foi realizado ao ar por 24h e em seguida, para completar os 7 dias, os CP foram curados em água saturada com cal virgem. Os CP, após cura, foram retificados e então submetidos ao ensaio de ruptura com uma velocidade de carregamento de 0,25 MPa/s. Para cada um dos quatro traços desenvolvidos, foram produzidos seis CP, totalizando 24 CP.

Por fim, os resultados de resistência dos CP foram submetidos a análises estatísticas, utilizando-se o Software R, para avaliar a influência dos MCS e da variação da quantidade de cimento, com A/C fixo, nas argamassas produzidas.

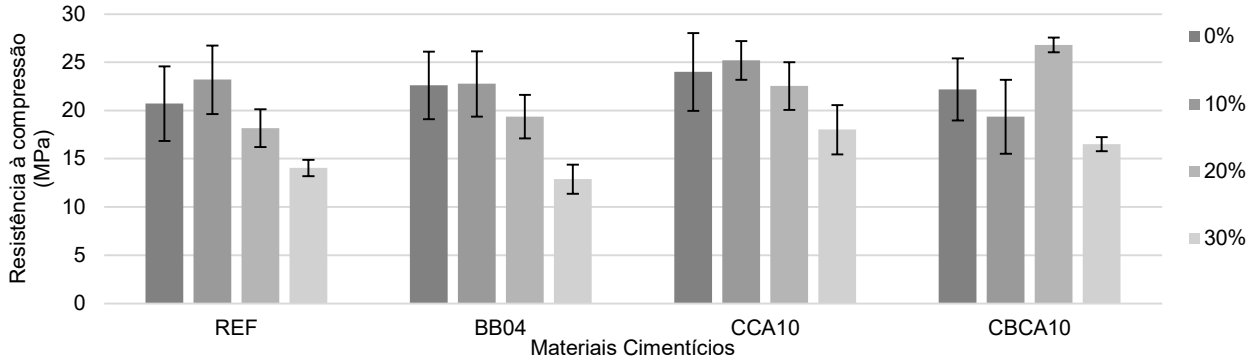
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os ensaios de resistência à compressão apresentaram resultados variando entre 10,6 MPa e 28,5 MPa. As médias das resistências para cada adição, juntamente da referência e considerando as reduções de cimento e água estão apresentadas na **Figura 1**.

Por meio de uma avaliação das médias de cada nível de redução, comparando cada adição com a composição de referência percebeu-se que a CCA demonstrou os melhores resultados. Foram observados ganhos de 8,6% até 28,2%, para a redução de cimento de 10% e 30%, respectivamente. A adição de BB demonstrou oscilação nos resultados, sendo verificado um ganho de 9,1% e perda de 8,3% de resistência para as reduções de 0% e 30%, respectivamente. Por fim, a CBCA apresentou perda de resistência apenas na comparação com a redução de 10%, registrando uma perda de 16,5%, contudo verificou-se um ganho de 47,5% na resistência quando da redução de 20%.

Avaliando-se os resultados da **Figura 1** percebe-se visualmente que a resistência de redução de cimento não apresenta o maior valor para nenhum dos materiais avaliados, nem mesmo para a composição de referência. Os resultados de maior resistência, em média, são para as reduções de 10% para a referência, BB e CCA, e de 20% para CBCA.

Figura 1: Resistência à compressão média de argamassas aos 7 dias

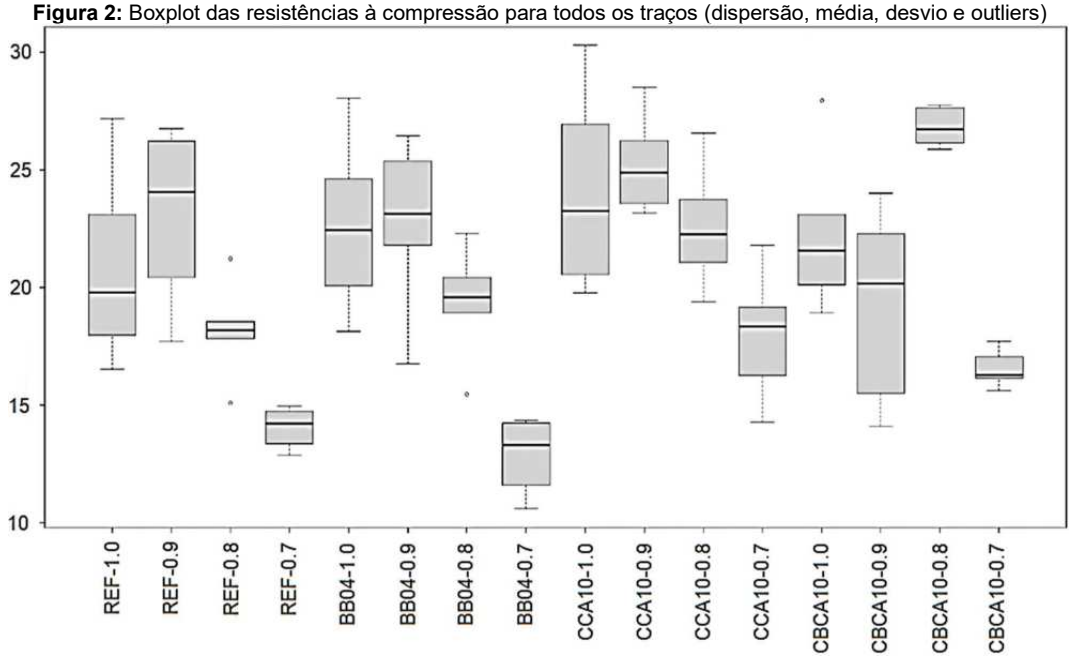


Fonte: Os autores

3.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise inicial dos resultados indica a uma melhora parcial da resistência à compressão nas argamassas com adições. Para verificar essa suposição foram realizadas análises estatísticas com o software R. Uma análise de variância, via ANOVA verificou que a taxa variação dos teores de cimento, com A/C fixo, influencia fortemente nos resultados de resistência, como esperado. Este mesmo teste revelou que as adições também têm forte influência, bem como a interação entre a variação do cimento e a presença das adições. Em seguida foram realizadas verificações com Teste de Tukey para checar se os valores de resistência são estatisticamente diferentes entre si, considerando o desvio padrão apresentado. Inicialmente comparou-se a taxa de variação dos teores de cimento e verificou-se que os resultados para as reduções de 0%, 10% e 20% apresentam igualdade estatística entre as médias, apenas a redução de 30% tem média estatisticamente diferente das demais. Em seguida a comparação foi feita entre as diferentes adições, aqui verificou-se que os traços de referência, BB04 e CBCA10 apresentam, entre si, igualdade estatística entre as médias e que os traços de CCA10 e CBCA10, por sua vez também apresentam entre si igualdade estatística. A **Figura 2** demonstra o desvio existente nos resultados das menores reduções de cimento, bem como na maioria das adições, esta variação impede a garantia da diferença estatística das médias.

Figura 2: Boxplot das resistências à compressão para todos os traços (dispersão, média, desvio e outliers)



Fonte: Os autores

3.2 DISCUSSÃO

Com a avalição da **Figura 2** vê-se uma possível potencialidade de que o uso de cinzas como adição pode suprir a redução de cimento Portland em até 20% da massa original. O que significa uma taxa M superior a 3,40 e inferior a 3,75 para um uso de MCS de 10% e 0,4% respectivamente, em relação à massa de cimento Portland. Para além da melhora proporcionada para a resistência das argamassas com a eliminação da água de amassamento excedente, percebida em torno de 10% do recomendado pela norma, a adição de MCS

adiciona o efeito da pozolanicidade destes materiais na matriz. O BB, CBCA e CCA apresentam características típicas de materiais pozolânicos, considerando a existência de fases amorfas e cristalinas no mesmo material, todos tendo sido tratados termicamente com temperaturas superiores à 600°C e moídos até apresentar diâmetro máximo de 75 mícrons (Beatriz Dias Fernandes; Mônica Nunes; Guilherme Chagas, 2021; Calligaris *et al.*, 2015; Jamora *et al.*, 2023; Karine; Bárbara; Angélica, 2021; Liu; Li; Xu, 2022; Morales *et al.*, 2009).

4 CONCLUSÕES

Os resultados das avaliações estatísticas realizadas demonstraram dois principais padrões, que por sua vez se relacionam. Considerando os resultados para idades iniciais, nota-se que a adição de CCA em 10%, não apenas apresentou resultados estatisticamente distintos da referência e outras adições, mas também que a resistência média observada é superior à referência em todas as taxas de redução de cimento e água. Para as demais adições não é possível afirmar que sua presença pode vir a compensar algum nível de redução de cimento, contudo a utilização de CCA em 10% de adição, a um nível de redução de cimento de 20%, apresentou resultados comparáveis à referência com 0% de redução. Este resultado é promissor e pode indicar que o uso de 10% de CCA em relação ao cimento pode significar, em termos de resistência, uma equivalência de 20% de cimento que pode ser poupado. Esta redução de consumo de cimento pode se converter em diminuição da extração e consumo de materiais primas, bem como em redução de emissão de gases poluentes e consumo de recursos energéticos na produção do cimento. Para além disso ainda implicará no consumo de um resíduo industrial, possibilitando a geração de demanda, ampliação da economia circular e verde.

Para trabalhos futuros recomenda-se a avaliação de outras taxas de adições, visando avaliar se outras composições apresentarão resultados mais favoráveis para a situação proposta de redução de cimento e água.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) por seu apoio com infraestrutura de equipamentos [Convênio: PCE-00405-24, APQ-01425-22 e RED-00191-23], ao Centro Federal de Educação Tecnológica (CEFET-MG) pelo apoio para participação no evento e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo incentivo de produtividade em pesquisa [Convênio: PQ 316846/2023-6], bem como à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 11579**: Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200). 2012.

____ **NBR 7211**: Agregados para concreto - Requisitos. . Brasil: [s.n.]. , 2022

____ **NBR 7215:** Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. . Brasil: ABNT. , 2019

APRIANTI, E. *et al*. Supplementary cementitious materials origin from agricultural wastes - A review. **Construction and Building Materials,** v. 74, p. 176–187, 2015.

BEATRIZ DIAS FERNANDES, L.; MÔNICA NUNES, L.; GUILHERME CHAGAS, C. Cinza Do Bagaço Da Cana-De-Açúcar De Elevada Reatividade Produzida Via Fracionamento Densimétrico E Moagem Ultrafina. 7O ENCONTRO NACIONAL DE APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO, p. 111–118, 2021.

BERENGUER, R. A. *et al.* Sugar cane bagasse ash as a partial substitute of Portland cement: Effect on mechanical properties and emission of carbon dioxide. **Journal of Environmental Chemical Engineering,** v. 8, n. 2, 2020.

BEZERRA, A. C. DA S. *et al.* Effect of partial replacement with thermally processed sugar cane bagasse on the properties of mortars. **Revista Materia**, v. 22, n. 1, 2017.

CALLIGARIS, G. A. *et al.* Assessing the pozzolanic activity of cements with added sugar cane straw ash by synchrotron X-ray diffraction and Rietveld analysis. **Construction and Building Materials**, v. 98, p. 44–50, 2015.

FODE, T. A.; CHANDE JANDE, Y. A.; KIVEVELE, T. Effects of different supplementary cementitious materials on durability and mechanical properties of cement composite – Comprehensive review. Heliyon, v. 9, n. 7, 2023.

GUNASEKARAN, P. K.; CHIN, S. C. Performance of bamboo biochar as partial cement replacement in mortar. **Materials Today: Proceedings**, 2023.

JAMORA, J. B. *et al.* Evaluating the use of rice residue ash in cement-based industries in the Philippines – Greenhouse gas reduction, transportation, and cost assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 398, 2023.

KARINE, P.; BÁRBARA, J.; ANGÉLICA, K. Caracterização de cinza de casca de arroz (Cca) gerada em leito fluidizado. 7O ENCONTRO NACIONAL DE APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO, p. 158–165, 2021.

LACERDA GOMES, C. *et al.* Mechanical and durability properties of concrete produced with construction and demolition waste and rice husk ash. **Construction and Building Materials,** v. 406, 2023.

LIU, W.; LI, K.; XU, S. Utilizing bamboo biochar in cement mortar as a bio-modifier to improve the compressive strength and crack-resistance fracture ability. **Construction and Building Materials,** v. 327, 2022.

MARTIRENA, F.; MONZÓ, J. Vegetable ashes as Supplementary Cementitious Materials. **Cement and Concrete Research,** v. 114, p. 57–64, 2018.

MORALES, E. V. *et al.* Effects of calcining conditions on the microstructure of sugar cane waste ashes (SCWA): Influence in the pozzolanic activation. **Cement and Concrete Composites,** v. 31, n. 1, p. 22–28, 2009.

MOURÃO, A. B.; PAULA, J. N. Utilização das cinzas do bagaço da cana-de-açúcar da produção de cachaça como substituição parcial ao cimento nas propriedades das argamassas cimentícias. 2022, Salvador: ABMTENC, 2022. p. 14.

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.