

INFLUÊNCIA DA CINZA DE CASCA DE ARROZ (CCA) NAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO

BERNARDO ZABALLA¹; JULIEL DETTMANN²; GUSTAVO LUIS CALEGARO³; RAFAEL DELUCIS⁴.

¹Universidade Federal de Pelotas – bernardozaballadutra@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – julieldneitzke@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – gustavoccalegaro@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – rafael.delucis@ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

A construção civil, responsável por grande parte da exploração de recursos naturais e geração de resíduos sólidos, enfrenta crescentes desafios ambientais que impulsionam a busca por materiais mais sustentáveis. Um desses desafios é reduzir o uso de cimento Portland, cuja produção está entre as mais poluentes do mundo devido à alta emissão de dióxido de carbono. Nesse contexto, a substituição parcial do cimento por resíduos agroindustriais surge como alternativa promissora. A cinza de casca de arroz (CCA), gerada pela queima controlada da casca de arroz, destaca-se por seu alto teor de sílica amorfa e potencial pozolânico, sendo capaz de reagir com a cal liberada na hidratação do cimento e formar compostos cimentícios estáveis (CIRINO et al., 2021). Essa característica contribui não apenas para a valorização de resíduos abundantes em regiões arrozeiras, como o sul do Brasil, mas também para a melhoria de propriedades físicas e mecânicas dos compósitos, além de reduzir os custos e o impacto ambiental das construções. Assim, o presente trabalho busca investigar o uso da CCA como substituto parcial do cimento na produção de tijolos prensados de solo-cimento, avaliando os efeitos dessa adição sobre propriedades como retrações dimensionais, massa específica e resistência à compressão. A relevância do estudo está ancorada na necessidade urgente de desenvolver soluções locais e sustentáveis para os resíduos agrícolas, transformando-os em matérias-primas úteis para a construção civil, ao mesmo tempo em que se promove inovação tecnológica e responsabilidade ambiental.

2. METODOLOGIA

A fabricação dos tijolos solo-cimento com adição de cinza de casca de arroz (CCA) foi realizada no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Federal de Pelotas. Os materiais utilizados incluíram solo argiloso (proveniente do município de Capão do Leão/RS, composto por argila vermelha laterítica e saibro, com aproximadamente 50% de finos e 20% de umidade natural), cimento Portland de alta resistência inicial (CPV-ARI, marca Cauê), água potável, e cinza de casca de arroz fornecida pela empresa Josapar (Pelotas/RS).

Inicialmente, os materiais foram separados e pesados em balança de precisão. Em seguida, foi realizada a mistura dos componentes secos (solo, cimento e CCA, quando aplicável) até obtenção de uma massa homogênea. Posteriormente, a água foi adicionada em quantidade fixa de 20% da massa total, e a mistura úmida foi agitada mecanicamente até alcançar uma consistência uniforme e trabalhável. A proporção dos materiais variou conforme o traço: o grupo controle continha 65% de solo, 15% de cimento e 20% de água; no grupo com 10% de CCA, os teores foram 57,19% de solo, 13,12% de cimento, 10% de CCA e 20% de água; no grupo com 20% de CCA, foram usados 49,38% de solo, 11,25% de cimento, 20% de CCA e 20% de água. Esses teores foram escolhidos de forma a avaliar o desempenho da CCA como material pozolânico em substituição parcial ao cimento.

A moldagem dos tijolos foi realizada manualmente com uso de moldes metálicos de dimensões nominais $25 \times 12,5 \times 3,5$ cm. A compactação foi feita com uma prensa manual do modelo M12 (fabricante Vimaq), garantindo conformação adequada dos blocos. Após a desmoldagem, os tijolos foram submetidos à cura úmida por um período de 7 dias em ambiente controlado, com a finalidade de promover a hidratação completa do cimento e o início das reações pozolânicas da CCA.

Concluído o período de cura, foram realizadas as caracterizações físicas e mecânicas. As dimensões de cada corpo de prova foram medidas com auxílio de um paquímetro digital com resolução de 0,001 mm, e a massa com uma balança analítica de resolução 0,001 kg. A massa específica aparente foi calculada com base na massa e volume de cada amostra. Para os ensaios de compressão, utilizou-se uma Máquina Universal de Ensaio da marca EMIC, modelo DL 30000, com aplicação de carga axial contínua à taxa de 500 N/s até a ruptura dos corpos de prova. Durante o ensaio, foram registrados os valores de força aplicada e deformação em função do tempo, possibilitando a análise de resistência mecânica, módulo de elasticidade e comportamento frágil ou dúctil do material.

Todos os procedimentos seguiram o roteiro técnico-acadêmico da disciplina de Ciência dos Materiais, com três amostras moldadas para cada traço, totalizando nove corpos de prova. Os dados obtidos foram tratados estatisticamente para cálculo das médias, desvios-padrão e interpretação dos resultados quanto ao desempenho da CCA como substituto parcial ao cimento em tijolos ecológicos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As curvas de força versus encurtamento (Figura 1) revelam a influência decisiva da cinza de casca de arroz (CCA) no comportamento mecânico do compósito. O grupo controle (Figura 1A) exibe uma curva típica de materiais cimentícios frágeis, com uma fase linear ascendente pronunciada seguida de uma ruptura abrupta após o pico de tensão. Este comportamento é característico de matrizes com alta rigidez e baixa capacidade de redistribuição de tensões internas (PEDERNEIRAS; VEIGA; BRITO, 2021). Em contraste, os compósitos com CCA (Figura 1B), particularmente aqueles com 20% de adição, apresentam uma transição para um comportamento mais tenaz, com maior capacidade de deformação antes da ruptura. Este aumento na deformabilidade pode ser atribuído ao efeito de *filling* (preenchimento) dos vazios pela CCA, que refinou a microestrutura, e à possível atuação das partículas de cinza como agregados finos que dissipam energia durante a fratura (AISHEH et al., 2022). No entanto, o significativo aumento do encurtamento no traço com 20% de CCA, associado a uma carga de pico muito reduzida, sugere também o surgimento de uma zona de transição interfacial mais fraca e um aumento generalizado da porosidade, mecanismos amplamente reportados na literatura quando teores elevados de adições são utilizados (AISHEH et al., 2022).

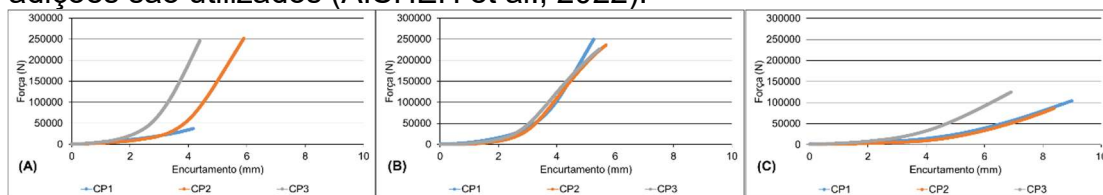


Figura 1 – Curvas força vs. encurtamento em compressão.

A Figura 2 evidencia uma redução linear e estatisticamente significativa na massa específica aparente com o incremento do teor de CCA. O valor médio caiu de $1961,7 \text{ kg/m}^3$ (controle) para $1819,7 \text{ kg/m}^3$ (-7,2%) e $1699,0 \text{ kg/m}^3$ (-13,4%) para os teores de 10% e 20% de CCA, respectivamente. Esta redução é uma

consequência direta da substituição de partículas mais densas de cimento e solo por CCA, material de baixa densidade intrínseca devido à sua natureza microporosa (WEI; MEYER, 2016). Conforme observado por (WEI; MEYER, 2016), a CCA possui uma densidade significativamente menor que a do cimento Portland, e sua incorporação, portanto, diminui a densidade global do compósito. Este efeito de "alívio de massa" é benéfico para a produção de elementos de alvenaria mais leves, que impõem menores cargas às fundações e facilitam o manejo na obra. No entanto, a queda na densidade está intrinsecamente ligada a um aumento da porosidade, que, além de um certo limite, torna-se prejudicial para a resistência mecânica.

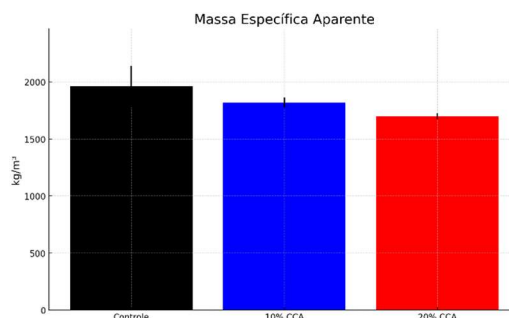


Figura 2 – Níveis médios de massa específica aparente.

Os valores de retração linear, apresentados na Figura 3, mantiveram-se baixos (inferiores a 1%) e não apresentaram uma tendência clara de variação com a adição de CCA. A estabilidade dimensional observada, mesmo com a significativa alteração na composição da mistura, pode ser explicada por dois fenômenos antagonistas. Por um lado, a redução no teor de cimento (o principal responsável pela retração por secagem) tenderia a diminuir a retração. Por outro lado, a elevada finura e a alta área superficial específica da CCA podem aumentar a demanda por água para umedecimento e, conseqüentemente, potencializar a retração por secagem (NEVILLE; BROOKS, 2013). O fato de estes dois efeitos se contrabalançarem resultou em uma retração estável. Este comportamento é vantajoso para a aplicação prática dos blocos, pois indica que a adição de CCA, dentro dos teores estudados, não introduz problemas significativos de fissuração ou perda de dimensionalidade durante o processo de cura e secagem.

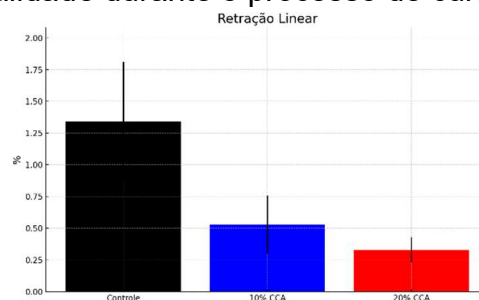


Figura 3 – Níveis médios de retração linear.

A análise da Figura 4 permite identificar claramente um teor ótimo de substituição. A adição de 10% de CCA resultou em um ganho modesto de 3,95% na resistência à compressão e de 11,0% no módulo de elasticidade (Figuras 4A e 4B, respectivamente). Este aprimoramento das propriedades mecânicas, alcançado mesmo com uma redução de 12,5% no teor de cimento, é um forte indicativo da eficiência da reação pozolânica. Conforme postulado por (REAL, 2018), a sílica amorfa presente na CCA reage com o hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) liberado durante a hidratação do cimento, formando silicatos de cálcio hidratado (C-S-H) adicionais. Estes compostos preenchem os poros e refinam a microestrutura,

resultando em uma matriz mais densa, coesa e, portanto, mais resistente e rígida (NEVILLE; BROOKS, 2013). Em contraste, o teor de 20% de CCA provocou uma queda drástica de 43,1% na resistência e de 34,4% no módulo de elasticidade. Este comportamento é típico de sistemas superavitários em relação ao teor de pozolana, onde ocorre a diluição do cimento – redução crítica na quantidade de aglomerante primário disponível para a hidratação e formação da estrutura – e um desequilíbrio estequiométrico na reação pozolânica, deixando excesso de partículas finas e inertes que atuam como defeitos na microestrutura. O aumento resultante na porosidade, corroborado pela redução da massa específica (Figura 2), é a causa principal da severa perda de performance mecânica observada.

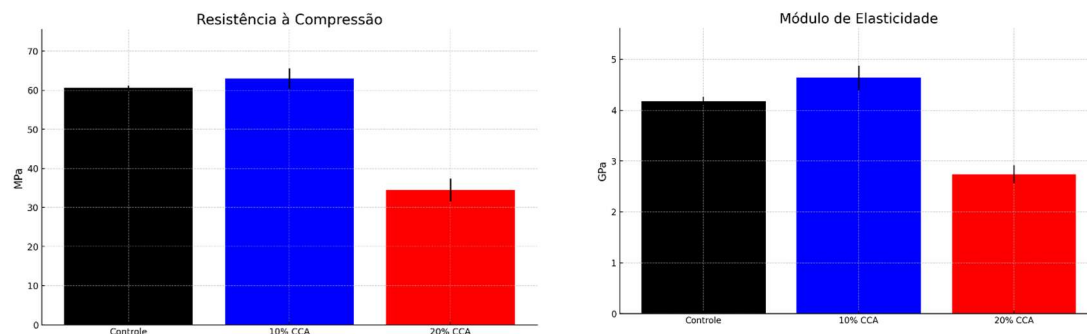


Figura 4 – Níveis médios de resistência à compressão (A) e módulo de elasticidade (B).

4. CONCLUSÕES

Conclui-se que a incorporação de 10% de cinza de casca de arroz (CCA) em tijolos de solo-cimento mostrou-se benéfica, elevando a resistência à compressão e o módulo de elasticidade devido à reação pozolânica eficiente, que refinou a microestrutura. Por outro lado, o teor de 20% de CCA foi excessivo, causando queda drástica nas propriedades mecânicas por diluição do cimento e aumento da porosidade. A CCA reduziu a massa específica, produzindo tijolos mais leves, sem alterar significativamente a retração. Portanto, a adição de 10% de CCA é a proporção ideal, viabilizando a produção de componentes sustentáveis com desempenho mecânico adequado e valorização de resíduos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AISHEH, Y. I. A. et al. Influence of polypropylene and steel fibers on the mechanical properties of ultra-high-performance fiber-reinforced geopolymer concrete. **Case Studies in Construction Materials**, v. 17, n. April, p. e01234, 2022.
- CIRINO, M. A. G. et al. Caracterização e avaliação da atividade pozolânica das cinzas provenientes da queima de carvão mineral das termelétricas do Pecém, Ceará, Brasil. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 26, n. 4, 2021.
- NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. 2ª edição ed. [s.l.] Bookman, 2013.
- PEDERNEIRAS, C. M.; VEIGA, R.; BRITO, J. DE. Incorporation of natural fibres in rendering mortars for the durability of walls. **Infrastructures**, v. 6, n. 6, 2021.
- REAL, R. P. **Avaliação da utilização da cinza da casca de arroz como adição mineral em concreto de alto desempenho**. [s.l.] Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2018.
- WEI, J.; MEYER, C. Utilization of rice husk ash in green natural fiber-reinforced cement composites: Mitigating degradation of sisal fiber. **Cement and Concrete Research**, v. 81, p. 94–111, 2016.