AVALIAÇÃO DE BIOCHAR COMO SUBSTITUINTE PARCIAL DE CIMENTO EM PASTAS CIMENTÍCIAS

Evaluation of biochar as a partial substitute for cement in cement pastes

Ana Carolina Cantarim Martins
Universidade Tecnológica Federal do Paraná | Curitiba, Paraná | anacarolinamartins@alunos.utfpr.edu.br

Eduardo Borges Lied
Universidade Tecnológica Federal do Paraná | Medianeira, Paraná | eduardolied@utfpr.edu.br

Cezar Augusto Casagrande
Universidade Tecnológica Federal do Paraná | Curitiba, Paraná | cezarcasagrande@utfpr.edu.br

Lidiane Fernanda Jochem
Universidade Tecnológica Federal do Paraná | Curitiba, Paraná | lidiane@utfpr.edu.br

Resumo

O artigo investiga o uso de biochar como adição ao cimento Portland em pastas cimentícias, visando desenvolver materiais mais sustentáveis e reduzir o impacto ambiental da construção civil. Foram analisadas misturas contendo 1%, 2% e 3% de biochar, obtido de resíduos de cana-de-açúcar e laranja. Os testes realizados incluíram trabalhabilidade, massa específica, calorimetria isotérmica e resistência à compressão. A adição de biochar afetou a consistência inicial e a densidade das misturas, além de modificar a hidratação do cimento, retardando o pico de calor liberado e aumentando o fluxo de calor após o pico devido à retenção de água pelo biochar. Aos 28 dias, as amostras com biochar apresentaram resistência à compressão inferior à referência, mas as diferenças não foram estatisticamente significativas ($p > 0,05$). Os resultados indicam que o biochar é uma solução promissora para tornar a construção civil mais sustentável, contribuindo para a redução de emissões de carbono sem comprometer significativamente o desempenho mecânico dos materiais cimentícios.

Palavras-chave: Biochar; Cimento; Trabalhabilidade; Análise térmica; Compressão.

ABSTRACT

The article investigates the use of biochar as an addittion to Portland cement in cementitious pastes, aiming to develop more sustainable materials and reduce the environmental impact of the construction industry. Mixtures containing 1%, 2%, and 3% biochar, obtained from sugarcane and orange residues, were analyzed. The tests conducted included workability, specific mass, isothermal calorimetry, and compressive strength. The addition of biochar affected the initial consistency and density of the mixtures, as well as modified the cement hydration process, delaying the heat release peak and increasing the heat flow after the peak due to water retention by the biochar. At 28 days, the samples with biochar exhibited lower compressive strength compared to the reference, but the differences were not statistically significant ($p > 0.05$). The results indicate that biochar is a promising solution to make the construction industry more sustainable, contributing to the reduction of carbon emissions without significantly compromising the mechanical performance of cementitious materials.

Keywords: Biochar; Cement; Workability; Thermal Analysis; Compressive strength.

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil, essencial para o desenvolvimento global, também está entre as maiores responsáveis pelos impactos ambientais, especialmente devido ao uso do cimento, principal componente do concreto. Sua produção responde por cerca de 36% das emissões de CO_2 das atividades de construção e 8% das emissões globais de origem antropogênica (Habert et al., 2020). Esses números ressaltam a necessidade de repensar os processos tradicionais do setor.

Diante disso, alcançar a neutralidade de carbono no setor da construção exige inovações que promovam materiais com impacto ambiental reduzido. Uma solução promissora é o uso do Biochar, um material estável produzido por pirólise ou gaseificação de biomassa. Além de sequestrar carbono, o biochar oferece a possibilidade de reciclar resíduos orgânicos e contribuir para a redução de emissões, tornando-se uma alternativa viável e sustentável para aplicação em materiais cimentícios (Mulabagal et al., 2015).

Dessa forma, neste estudo investigou o potencial do biochar como substituinte parcial de cimento em pastas de cimento Portland, buscando aliar desempenho mecânico adequado a benefícios ambientais. Para isso, ensaios de resistência à compressão, propriedades físicas, como massa específica, espalhamento e ar aprisionado, além de análises relacionadas à ciência do cimento, como a calorimetria foram analisados. A proposta reforça a importância de combinar soluções técnicas e práticas sustentáveis para atender às demandas de um setor em transformação, promovendo o desenvolvimento de materiais mais sustentáveis e alinhados às necessidades da construção civil moderna.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATERIAL

Utilizou-se cimento Portland CP V-ARI, NBR 16697 (2018), e biocarvão produzido no laboratório da UTFPR, Campus Medianeira, a partir de bagaços de cana-de-açúcar e laranja coletados em estabelecimentos comerciais locais. A granulometria do biocarvão e do cimento foram analisadas por laser, com partículas de diâmetro médio (d_{50}) de 129,7 µm e (d_{50}) 261,8 µm, respectivamente.

2.2 MÉTODOS

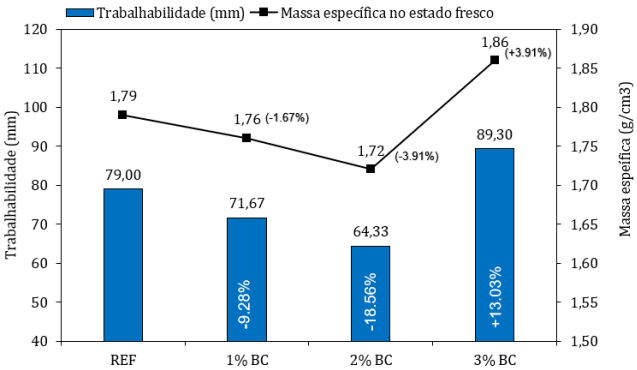
Os resíduos de cana-de-açúcar e bagaço de laranja foram secos a 60 °C por 24 horas, submetidos à pirólise a 500 °C em forno mufla, moídos e armazenados. Pastas cimentícias foram confeccionadas em moldes prismáticos (4 x 4 x 16 cm), com adições de 1%, 2% e 3% de biochar ao cimento, mantendo a relação água/cimento em 0,50.

A trabalhabilidade foi avaliada pelo ensaio de mini-abatimento (método Kantro, 1980). A massa específica aparente das argamassas no estado fresco foi determinada conforme a NBR 13278 (ABNT, 2005a). Os ensaios de calorimetria isotérmica foram realizados utilizando um calorímetro Calmetrix I-CAL 2000 HPC. As medições de liberação de calor foram obtidas ao longo de um período de hidratação 72 h a uma temperatura controlada de 23 ºC. Cada ensaio foi conduzido com pastas cimentícias contendo 40 g de ligante. A resistência à compressão foi testada em corpos de prova após 28 dias, seguindo a NBR 13279 (ABNT, 2005b), com carga aplicada continuamente até a ruptura.

3 RESULTADOS E ANÁLISES

Os ensaios de espalhamento foram realizados em condições controladas de temperatura e umidade relativa. A Figura 1 apresenta os resultados referentes à massa específica no estado fresco e à trabalhabilidade.

Figura 1: Massa específica no estado fresco e trabalhabilidade



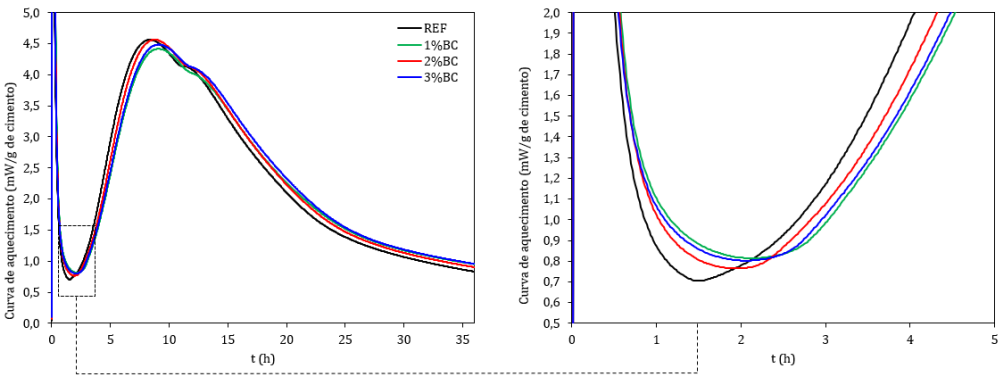
Fonte: Autoria própria

Os ensaios mostraram que a adição de biochar impacta a trabalhabilidade das misturas de forma não linear. A mistura de referência (79 mm) apresentou maior consistência inicial, enquanto 1% e 2% de biochar reduziram a trabalhabilidade para 71,67 mm e 64,33 mm, respectivamente, possivelmente devido à alta porosidade e natureza hidrofílica do biochar, aumentando a demanda por água (Tan et al., 2021). Por outro lado, a amostra com 3% de biochar apresentou um espalhamento maior (89,3 mm), comportamento que pode estar associado a um possível erro experimental, já que não segue a tendência esperada.

Ao comparar com a mistura de referência (REF), observa-se que o biochar tem uma influência limitada na densidade do material, apresentando variações pouco significativas. A maior redução foi observada na amostra com 2% de biochar, que apresentou uma densidade 3,9% menor em relação à referência. Entretanto, a amostra com 3% de biochar exibiu um aumento inesperado de densidade, que pode ser atribuído a um possível erro experimental, corroborado pelos resultados do teste de trabalhabilidade, que também indicaram inconsistências nesse teor.

A Figura 2 apresenta as curvas de fluxo de calor em função do tempo durante a hidratação de cimento incorporado com diferentes porcentagens de biochar (1%, 2% e 3%), comparadas ao cimento de referência (REF).

Figura 2: Análise térmica das pastas cimentícias produzidas

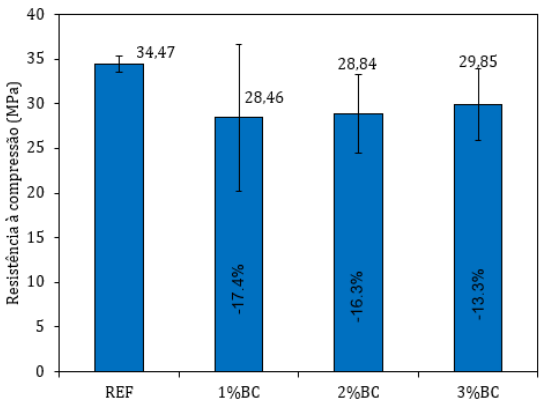


Fonte: Autoria própria

Os resultados indicam que a adição de biochar afeta a cinética de hidratação do cimento, com atraso e redução no pico principal de calor liberado conforme aumenta a porcentagem de biochar. Esse efeito é atribuído à diluição do cimento e à adsorção de água pelo biochar, que retardam as reações de hidratação (Tan et al., 2021). Após o pico, as amostras com biochar apresentam maior fluxo de calor em comparação à referência, possivelmente devido à capacidade do biochar de reter água, prolongando a hidratação secundária, enquanto a referência sofre uma redução mais rápida no calor liberado.

O rompimento dos corpos de prova para todos os sistemas analisados foi realizado em 28 dias. A Figura 3 representa os dados obtidos no ensaio.

Figura 3: Resultados de resistência a compressão das pastas cimentícias produzidas



Fonte: Autoria própria

A análise do gráfico revela que a carga máxima diminui com a adição de biochar, em comparação com a referência, que apresentou o maior valor. As amostras contendo 1% e 2% de biochar mostraram cargas semelhantes, enquanto a adição de 3% resultou em uma leve recuperação. Contudo, a Análise de Variância (ANOVA) apresentou um valor de p de 0,23 ($p > 0,05$), indicando que as diferenças entre os grupos não são estatisticamente significativas e podem ser atribuídas à variabilidade experimental, sem evidências de um efeito relevante do biochar nas condições analisadas. Além disso, a dispersão observada nos resultados pode estar associada ao ensaio realizado em pastas cimentícias, onde pequenas imperfeições na amostra podem gerar variações expressivas nos valores obtidos.

O biochar, derivado de biomassa residual, atua como reservatório de carbono, evitando sua liberação como CO_2. Sua incorporação em misturas cimentícias não comprometeu significativamente a resistência mecânica, permitindo o aproveitamento de um resíduo que, de outra forma, geraria emissões de carbono. Além disso, reduz a pegada de carbono do cimento ao diminuir a demanda pelo material convencional. Considerando que a produção de cimento no Brasil emite cerca de 610 kg de CO_2 por tonelada (SECCHI; NEVES JUNIOR, 2019), a substituição de 3% por biochar poderia reduzir aproximadamente 18,3 kg de CO_2 por tonelada de mistura, reforçando seu potencial para mitigar impactos ambientais na construção civil.

4 CONCLUSÃO

O estudo demonstrou que a adição de biochar a pastas cimentícias pode ser uma estratégia viável para promover a sustentabilidade na construção civil. Embora tenha ocorrido uma redução na resistência à compressão nas misturas com biochar, as diferenças não foram estatisticamente significativas, indicando que o desempenho mecânico do material não foi comprometido de forma substancial. O biochar, ao ser incorporado ao cimento, não só contribui para a redução de emissões de carbono, mas também ajuda a reciclar resíduos orgânicos, promovendo uma construção mais sustentável. Esses resultados indicam que o uso de biochar tem potencial para integrar práticas ambientais mais eficientes no setor, sem sacrificar a qualidade dos materiais.

No entanto, é importante considerar a possível degradação do material orgânico na matriz cimentícia ao longo do tempo, o que poderia afetar a durabilidade do compósito. Assim, investigações adicionais sobre a estabilidade do biochar em longo prazo são necessárias para garantir sua viabilidade estrutural e ambiental.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 13278: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado**. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ, 2005a. 4 p.

ABNT. **NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ, 2005b. 9 p.

ABNT. **NBR 16697: Cimento Portland - requisitos**. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ, 2018. 12 p.

HABERT, Guillaume et al. **Environmental impacts and decarbonization strategies in the cement and concrete industries**. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s43017-020-0093-3

KANTRO, D.L. **Influence of Water-Reducing Admixtures on Properties of Cement Paste – A Miniature Slump Test**. *Cement, Concrete and Aggregate*, v. 2, n. 2, p. 95–102, 1980.

SECCHI, Maicon; NEVES JUNIOR, Alex. **Adição de cinzas do bagaço da cana-de-açúcar em compósitos cimentícios reforçados com fibras de sisal**. *Engineering and Science*, v. 8, n. 1, 2019.

MULABAGAL, Valliappa; BAAH, David; EGIEBOR, Nosa; CHEN, Wei-Yin. **Biochar from biomass: a strategy for carbon dioxide sequestration, soil amendment, power generation, and CO_2 utilization**. In: *Handbook of Climate Change Mitigation and Adaptation*. New York: Springer, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6431-0_80-1.

TAN, Kanghao; WANG, Tianyu; ZHOU, Zu-Heng. **Biochar as a partial cement replacement material for developing sustainable concrete: an overview**. *Journal of Materials in Civil Engineering*, v. 33, p. 3121001, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003987