

ESTUDO DA APLICAÇÃO DAS CINZAS PROVENIENTES DA QUEIMA DA CASCA DO COCO EM CONCRETOS

Diego Dornelas Diogo¹
Júlio Eduardo Paiva Sena Maia²
Éder José Siqueira³
João Henrique Branderburger Hoppe⁴
Jorge Luiz Faria⁵
Gabrielle Ferreira Silva⁶
Gabrielle Machado de Paulo⁷
Júlia Sant'Anna da Silva Porto⁸
Letícia Gabrielle Gama de Souza⁹
Lui da Silva Cabral Moreira¹⁰
Maria Eduarda Freitas Coutinho Rocha¹¹

RESUMO

A redução do consumo de cimento Portland tem impulsionado pesquisas voltadas ao uso de resíduos agroindustriais como adições minerais em concretos, visando à sustentabilidade ambiental. Nesse contexto, a cinza da casca do coco (CHA) apresenta potencial de reaproveitamento, considerando sua ampla disponibilidade no Brasil. Este trabalho avaliou a influência da substituição parcial do cimento por CHA no desempenho mecânico do concreto, utilizando teores de 0%, 5%, 10%, 15% e 20%. Foram moldados corpos de prova cilíndricos (5 × 10 cm), conforme a NBR 5738, submetidos à cura submersa por 30 dias e ensaiados à compressão axial segundo a NBR 5739. Os resultados indicaram resistência média de 10,4 MPa para o traço de referência e 9,2 MPa para o teor de 5%, considerado o mais adequado entre desempenho e sustentabilidade. Substituições superiores a 10% provocaram reduções significativas da resistência, associadas ao aumento da porosidade e à menor coesão da matriz cimentícia. Conclui-se que a CHA apresenta viabilidade técnica restrita para concretos não estruturais, sendo recomendada apenas em baixos teores, ressaltando-se a necessidade de caracterização e processamento mais rigorosos do resíduo.

Palavras-chave: Concreto. Cinza da casca do coco. Sustentabilidade. Resistência à compressão. Resíduos agroindustriais.

¹ Mestre em Química (UERJ), docente do UGB-FERP.

² Doutor em Química (UFRRJ), docente do UGB-FERP.

³ Mestre em Engenharia Mecânica (UNESP), docente do UGB-FERP.

⁴ Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho (UniFOA), docente do UGB-FERP.

⁵ Técnico de Laboratório do UGB-FERP.

⁶ Discente do Curso de Engenharia Civil do UGB-FERP.

⁷ Discente do Curso de Engenharia Civil do UGB-FERP.

⁸ Discente do Curso de Engenharia Civil do UGB-FERP.

⁹ Discente do Curso de Engenharia Civil do UGB-FERP.

¹⁰ Discente do Curso de Engenharia Civil do UGB-FERP.

¹¹ Discente do Curso de Engenharia Civil do UGB-FERP.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil destaca-se como um dos setores de maior impacto ambiental, sendo responsável por elevado consumo de recursos naturais e significativa emissão de dióxido de carbono, especialmente em função da produção do cimento Portland (MEHTA; MONTEIRO, 2014). Estima-se que a indústria cimenteira seja responsável por cerca de 8% das emissões globais de CO₂, o que reforça a necessidade de alternativas sustentáveis para a redução parcial desse insumo (SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018).

Paralelamente, o Brasil apresenta elevada geração de resíduos agroindustriais, como a casca do coco verde, cujo descarte inadequado ocasiona impactos ambientais relevantes devido à sua lenta decomposição e grande volume (SILVA et al., 2019). A queima controlada desse resíduo gera uma cinza com potencial de aplicação em materiais cimentícios, atuando como fíler ou, em condições específicas, como material pozolânico (NEVILLE, 2016).

Diversos estudos indicam que cinzas vegetais, como as provenientes da casca de arroz e do bagaço de cana-de-açúcar, podem ser utilizadas como substituição parcial do cimento sem prejuízos significativos ao desempenho mecânico, desde que empregadas em teores moderados e com controle de granulometria e composição química (CINCOTTO; JOHN, 2015).

Nesse contexto, a cinza da casca do coco (CHA) surge como alternativa promissora, embora ainda pouco explorada. Assim, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a influência da substituição parcial do cimento Portland por CHA na resistência à compressão do concreto, contribuindo para o avanço de práticas sustentáveis voltadas a aplicações não estruturais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A adoção de práticas sustentáveis na construção civil envolve estratégias como a redução do consumo de cimento Portland, a reutilização de resíduos sólidos e a incorporação de materiais alternativos aos sistemas construtivos tradicionais

(JOHN; AGOPYAN, 2011). Essas estratégias estão diretamente alinhadas aos princípios da economia circular, uma vez que promovem a valorização de resíduos e a diminuição da extração de recursos naturais, além de contribuírem para a redução das emissões de gases de efeito estufa associadas à produção de materiais convencionais (BRASIL, 2010; DAMINELI et al., 2010).

Nesse contexto, a incorporação de resíduos agroindustriais em concretos tem se mostrado uma alternativa tecnicamente viável e ambientalmente vantajosa, pois permite o reaproveitamento de subprodutos de baixo custo, reduz o volume de resíduos destinados a aterros e pode melhorar determinadas propriedades do concreto, dependendo das características do material empregado (MEHTA; MONTEIRO, 2014; SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018).

Cinzas vegetais podem atuar como materiais cimentícios suplementares, seja por efeito físico de preenchimento dos vazios da matriz cimentícia, seja por reações pozolânicas com o hidróxido de cálcio liberado durante a hidratação do cimento Portland, resultando na formação adicional de compostos cimentantes (NEVILLE, 2016). No entanto, o desempenho dessas adições está diretamente relacionado às condições de obtenção da cinza, especialmente à temperatura de queima, ao teor de carbono residual e à finura do material, fatores que influenciam a reatividade e a homogeneidade da mistura (CINCOTTO; JOHN, 2015; NBR 12653, 2014).

Estudos indicam que a cinza da casca do coco apresenta, em geral, baixa atividade pozolânica, atuando predominantemente como material de preenchimento quando incorporada ao concreto (ROSA et al., 2017). Substituições superiores a 10% em massa do cimento tendem a comprometer a resistência mecânica, em função do aumento da porosidade e da redução da coesão da matriz cimentícia. Por outro lado, teores entre 5% e 10% têm se mostrado mais adequados para aplicações não estruturais, possibilitando um equilíbrio entre desempenho mecânico e benefícios ambientais (SILVA et al., 2019; RODRIGUES et al., 2018).

3 OBJETIVOS

O presente estudo teve como objetivo avaliar a influência da substituição parcial do cimento Portland por cinza proveniente da queima da casca do coco (

CHA) no comportamento mecânico do concreto, por meio da análise da resistência à compressão aos 30 dias, visando verificar a viabilidade técnica e o potencial sustentável desse resíduo agroindustrial como material cimentício suplementar. Para tanto, foram definidos diferentes teores de substituição do cimento (0%, 5%, 10%, 15% e 20%), permitindo a comparação do desempenho mecânico entre os traços produzidos. Adicionalmente, buscou-se caracterizar visualmente a cinza utilizada, analisar os modos de ruptura dos corpos de prova, correlacionar os resultados obtidos com a literatura existente sobre cinzas vegetais e identificar os principais fatores que condicionam o desempenho da CHA no concreto, tais como granulometria, possível teor de carbono residual e baixa reatividade pozolânica. O estudo também teve como finalidade propor recomendações para o aprimoramento do processamento da cinza, considerando sua aplicação futura em concretos destinados a funções não estruturais, conforme abordado por Neville (2016) e Cincotto e John (2015).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Materiais da Instituição, seguindo os princípios de reprodutibilidade experimental e as normas técnicas brasileiras aplicáveis à produção e ao ensaio de concretos. Foi utilizado cimento Portland composto CP III-32, escolhido por sua boa trabalhabilidade, menor calor de hidratação e compatibilidade com materiais cimentícios suplementares, conforme recomendações de Mehta e Monteiro (2014). Como material alternativo, empregou-se a cinza da casca do coco (CHA), proveniente de queima prévia realizada por fornecedor externo, a qual foi apenas peneirada para padronização granulométrica, sem moagem adicional, com o objetivo de avaliar o resíduo em condições próximas às de uso comercial.

O agregado miúdo consistiu em areia natural média, limpa e seca, enquanto o agregado graúdo foi constituído por brita com diâmetro máximo característico de 9,5 mm, ambos previamente preparados para evitar variações de umidade que

pudessem interferir na relação água/cimento. A água de amassamento utilizada foi potável, atendendo aos requisitos da NBR 15900 (ABNT, 2009).

O traço base adotado foi de 1:2:1,6 (cimento:areia:brita), com relação água/cimento de 0,51. A substituição parcial do cimento por CHA foi realizada em cinco níveis (0%, 5%, 10%, 15% e 20%), sendo moldados quatro corpos de prova cilíndricos (5 × 10 cm) para cada traço, totalizando 20 unidades. A mistura dos materiais foi realizada manualmente, conforme práticas usuais de laboratório, observando-se alterações de trabalhabilidade nos traços com maiores teores de cinza, fenômeno também relatado na literatura para cinzas vegetais com baixa finura (CINCOTTO; JOHN, 2015).

A moldagem e o adensamento dos corpos de prova seguiram os procedimentos estabelecidos pela NBR 5738 (ABNT, 2015). Após 24 horas, os corpos de prova foram desmoldados e submetidos à cura submersa em água à temperatura ambiente por 30 dias, garantindo condições adequadas para o desenvolvimento das propriedades mecânicas do concreto. Os ensaios de resistência à compressão axial foram realizados conforme a NBR 5739 (ABNT, 2018), utilizando prensa hidráulica devidamente calibrada. Os valores de resistência foram registrados, tratados estatisticamente por meio de médias e analisados em conjunto com os modos de ruptura observados, permitindo a correlação entre desempenho mecânico, teor de substituição e comportamento da matriz cimentícia, conforme metodologia adotada em estudos semelhantes (NEVILLE, 2016; SILVA et al., 2019).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram moldados quatro corpos de prova cilíndricos para cada teor de substituição do cimento Portland por cinza da casca do coco (0%, 5%, 10%, 15% e 20%), totalizando 20 unidades. Após o período de cura submersa de 30 dias, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de compressão axial, conforme a NBR 5739 (ABNT, 2018). Os valores médios de resistência à compressão obtidos, expressos em carga máxima de ruptura (kgf) e tensão média (MPa), encontram-se apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Resistência média à compressão aos 30 dias

TEOR DE CINZA (%)	RESISTÊNCIA MÉDIA (Kgf)	RESISTÊNCIA MÉDIA (Mpa)
0%	2100	10,4
5%	1900	9,2
10%	1500	7,3
15%	1100	5,4
20%	900	4,4

Observa-se uma redução progressiva da resistência à compressão à medida que se eleva o teor de substituição do cimento pela cinza da casca do coco, comportamento amplamente relatado em estudos envolvendo cinzas vegetais com baixa reatividade pozolânica (CINCOTTO; JOHN, 2015; SILVA et al., 2019).

O traço de referência, sem adição de cinza, apresentou resistência média de 10,4 MPa, valor compatível com concretos de baixa resistência, destinados a aplicações não estruturais, considerando-se a moldagem manual e a utilização de corpos de prova reduzidos (5 × 10 cm), que tendem a apresentar resistências inferiores às obtidas em corpos de prova padrão de 10 × 20 cm (NEVILLE, 2016). Esse resultado foi adotado como parâmetro de comparação para avaliar o efeito da incorporação da cinza nos demais traços.

A substituição de 5% do cimento por cinza da casca do coco resultou em resistência média de 9,2 MPa, conforme apresentado na Tabela 1, representando uma redução moderada em relação ao traço de referência. Esse comportamento sugere que, em baixos teores, a cinza atuou predominantemente como material de preenchimento fino, contribuindo para o empacotamento das partículas sem comprometer de forma significativa a coesão da matriz cimentícia, resultado semelhante ao observado por Rodrigues et al. (2018) e Silva et al. (2019).

Para o teor de 10% de substituição, verificou-se uma queda mais acentuada da resistência à compressão, com valor médio de aproximadamente 7,3 MPa, conforme indicado na Tabela 1. Esse comportamento está associado à ausência de atividade pozolânica significativa da cinza utilizada, que, sem controle rigoroso de calcinação e granulometria, não contribuiu para a formação adicional de compostos cimentantes, atuando apenas como material inerte (NEVILLE, 2016).

Nos concretos com 15% e 20% de substituição do cimento por cinza, observou-se perda expressiva de desempenho mecânico, com resistências médias

de 5,4 MPa e 4,4 MPa, respectivamente, conforme apresentado na Tabela 1. Esses resultados evidenciam que a substituição excessiva do cimento por um material sem capacidade ligante resulta em aumento da porosidade e enfraquecimento da zona de transição pasta-agregado, conforme discutido por Mehta e Monteiro (2014).

A análise visual dos modos de ruptura, apresentada na Figura 1, reforça os resultados mecânicos obtidos. Os corpos de prova dos traços 0% e 5% exibiram rupturas típicas em forma de cone, superfícies relativamente lisas e boa coesão interna. Em contraste, os traços com 10%, 15% e 20% de cinza apresentaram rupturas irregulares, regiões de esfarelamento, aumento de vazios visíveis e indícios de falhas na aderência entre pasta e agregados. Tais características são compatíveis com concretos contendo adições minerais de baixa finura e elevado teor de material inerte (CINCOTTO; JOHN, 2015).

De modo geral, os resultados obtidos neste estudo estão em conformidade com a literatura que aborda o uso de cinzas agroindustriais como adições ao concreto. Pesquisas envolvendo cinza da casca de arroz, cinza do bagaço de cana-de-açúcar e cinza de coco indicam que substituições reduzidas, em torno de 5%, tendem a causar apenas pequenas perdas de resistência, enquanto teores superiores a 10% resultam em quedas progressivas e inviabilizam o uso estrutural do material (RODRIGUES et al., 2018; ROSA et al., 2017; SILVA et al., 2019).



Figura 1– Modos de rupturas observados

Assim, os resultados confirmam que a cinza da casca do coco utilizada neste estudo apresenta comportamento predominantemente físico, atuando como material de enchimento e não como material pozolânico. O teor de 5% mostrou-se o limite mais adequado de substituição, apresentando o melhor desempenho entre os traços com cinza, enquanto os teores de 10%, 15% e 20% apresentaram reduções significativas da resistência à compressão, não sendo recomendados para aplicações estruturais.

6 CONCLUSÃO

O presente estudo avaliou o efeito da substituição parcial do cimento Portland por cinza da casca do coco (CHA) no desempenho mecânico de concretos não estruturais, com base na resistência à compressão aos 30 dias. Os resultados indicam que a cinza utilizada, proveniente de queima prévia e sem controle de calcinação ou moagem fina, apresenta baixa reatividade pozolânica, atuando predominantemente como material de enchimento físico.

O traço referência, sem adição de CHA, apresentou a maior resistência à compressão, servindo como parâmetro de comparação. A incorporação de 5% de CHA demonstrou ser o limite mais adequado de substituição, com redução moderada da resistência e manutenção de comportamento mecânico estável, confirmando que pequenas adições podem ser aplicáveis em concretos de baixa resistência, alinhando-se a estudos anteriores sobre cinzas vegetais (SILVA et al., 2019; RODRIGUES et al., 2018).

Substituições superiores a 10% resultaram em queda progressiva e significativa da resistência à compressão, rupturas irregulares e aumento da porosidade da matriz, evidenciando que, nas condições estudadas, a CHA não apresenta capacidade de substituir o cimento em termos estruturais. Tais achados reforçam que a granulometria, ausência de moagem fina e falta de controle térmico são fatores determinantes para o desempenho mecânico de adições minerais alternativas (CINCOTTO; JOHN, 2015; NEVILLE, 2016).

Portanto, conclui-se que a CHA utilizada pode ser empregada de forma viável apenas em concretos de baixa responsabilidade estrutural ou como material de enchimento. Para ampliar sua aplicabilidade, futuros estudos devem investigar tratamentos térmicos controlados, moagem fina e otimização dos traços, visando aumentar a reatividade pozolânica e melhorar o desempenho mecânico do concreto.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900:2009** – *Água para concreto – Requisitos*. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738:2015** — *Concreto: procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739:2018** — *Concreto: ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União, Brasília, 2010.

CINCOTTO, M. A.; JOHN, V. M. M. **Materiais pozolânicos e sustentabilidade**. São Paulo: IBRACON, 2015.

DAMINELI, B. L. et al. **Measuring the eco-efficiency of cement use**. *Cement and Concrete Composites*, v. 32, n. 8, p. 555–562, 2010.

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. **Construção sustentável: desafios e perspectivas**. São Paulo: Blucher, 2011.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 4. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.
RODRIGUES, M. S. et al. Avaliação de cinzas vegetais como adições minerais em concretos. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, v. 11, n. 4, 2018.

ROSA, M. F. et al. **Aproveitamento da casca de coco verde: aspectos tecnológicos e ambientais**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 21, n. 1, 2017.



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.

SILVA, R. S. et al. **Avaliação da cinza da casca do coco como adição mineral em concretos.** *Revista Matéria*, v. 24, n. 3, 2019.