# UTILIZAÇÃO DA CINZA DA CASCA DE ARROZ COMO MATERIAL POZOLÂNICO EM CONCRETOS

## Use of rice husk ash as a pozzolanic material in concretes

**Gustavo de Carvalho Mourão**
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais | Belo Horizonte, Minas Gerais | gcmbh1@gmail.com

**Lívia Ramos Santos Pereira**
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais | Belo Horizonte, Minas Gerais liviarsp@cefetmg.br

**André Barroso Mourão**
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais | Belo Horizonte, Minas Gerais andrebmourao@cefetmg.br

**Elvys Dias Reis**
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais | Belo Horizonte, Minas Gerais | elvys@cefetmg.br

**Bruno Athaíde Bacelar**
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais | Belo Horizonte, Minas Gerais brunoathaide@gmail.com

### Resumo

*A construção civil responde por aproximadamente 38% das emissões mundiais de $CO_2$ e a fabricação do cimento Portland é o principal fator gerador desse impacto. Uma alternativa para minimizar as emissões do setor é a utilização de materiais pozolânicos como substituição parcial do cimento. A cinza de casca de arroz, um resíduo da indústria agrícola, é rica em sílica amorfa e pode ser usada como material pozolânico. Este estudo avaliou as propriedades mecânicas e físicas do concreto produzido com 10% e 20% de substituição do cimento pela cinza de casca de arroz, comparando-os com o concreto de referência, cujo aglomerante foi exclusivamente o cimento. Foram analisadas a consistência, o módulo de elasticidade, a resistência à compressão e à tração. Os resultados indicaram que a introdução da cinza reduziu a trabalhabilidade do concreto fresco, não alterou a rigidez das amostras e proporcionou um bom desempenho mecânico após 90 dias de cura.*

**Palavras-chave:** Cinza de casca de arroz; Material cimentício suplementar; Material pozolânico; Sustentabilidade.

### ABSTRACT

*Construction sector accounts for approximately 38% of the world's $CO_2$ emissions, and the manufacture of Portland cement is the main factor generating this impact. One alternative to minimize emissions from the construction sector is to use pozzolanic materials as a partial replacement for cement. Rice husk ash, a waste product from the agricultural industry, is rich in amorphous silica and can be used as a pozzolanic material. This study evaluated the mechanical and physical properties of conventional concrete produced with 10% and 20% substitution of cement by rice husk ash, comparing them with reference concrete, whose binder was only cement. The samples' consistency, modulus of elasticity, compressive strength, and tensile strength were studied. The results showed that introducing ash reduced the workability of the fresh concrete, did not alter the stiffness of the samples, and led to good mechanical performance after 90 days of curing.*

**Keywords:** Rice husk ash; Supplementary cementitious materials; Pozzolanic material; Sustainability.

# 1 INTRODUÇÃO

O setor construtivo é responsável por cerca de 38% das emissões mundiais de $CO_2$ e grande parte dessas emissões vincula-se à produção do cimento Portland, visto que a fabricação do clínquer envolve processos de descarbonatação, processamento e moagem (IPCC, 2022). Cada tonelada de clínquer produzida impacta na liberação de 600 a 900 kg de $CO_2$ na atmosfera (Thiedeitz *et al*., 2022). O processo produtivo do Cimento Portland responde por cerca de 7% das emissões mundiais de $CO_2$ inerentes às ações antrópicas (SNIC, 2019). Ademais, cada tonelada de cimento produzida gera o consumo de 1,7 toneladas de recursos naturais (Jagadesh *et al*., 2015).

A fim de reduzir o impacto ambiental sem comprometer o desempenho em comparação com cimentos convencionais, diversas pesquisas têm se dedicado ao desenvolvimento de cimentos Portland com menor impacto ambiental (Monteiro *et al*., 2017; Scrivener *et al*., 2018). Uma estratégia promissora é a substituição parcial do cimento por materiais pozolânicos (HOSSAIN *et al*., 2018; JUENGER *et al*., 2015). Os materiais pozolânicos reagem quimicamente com a cal hidratada e formam produtos de hidratação secundários, aumentando a resistência e a durabilidade do concreto. Além disso, as micropartículas pozolânicas não reativas ajudam a preencher os poros e aumentar a densidade da matriz cimentícia, fenômeno conhecido como efeito *filler* (Biricik *et al*., 2014; Land *et al*., 2012).

Entre esses materiais que substituem parcialmente o cimento, a cinza da casca de arroz (CCA) emerge como uma alternativa promissora. As cascas de arroz são sobras do beneficiamento dos grãos e são usadas como combustível para geração de energia em usinas termelétricas. As cinzas resultantes dessa queima são ricas em sílica amorfa, o que caracteriza um material pozolânico e favorece o seu uso como adição mineral na produção do concreto (Abdala *et al*., 2024; Fernandes *et al*., 2016). Logo, o uso da CCA em concreto acarreta dois benefícios ambientais: redução do consumo de cimento e reaproveitamento de um resíduo da indústria agrícola.

Nesse contexto, a proposta deste trabalho foi investigar a viabilidade da substituição parcial do cimento por CCA no concreto. O objetivo foi avaliar como diferentes proporções de CCA afetam as propriedades físicas e mecânicas do concreto, como a resistência à compressão, o módulo de elasticidade e a trabalhabilidade.

# 2 METODOLOGIA

Os materiais utilizados neste estudo incluem cimento Portland CP-V ARI, conforme NBR 16697 (ABNT, 2018a); brita 1 de origem gnáissica com diâmetro máximo de 25 mm, módulo de finura de 7,1, de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2022) e massa específica de 2630 kg/m$^3$, conforme NBR 16917 (ABNT, 2021); areia média lavada com diâmetro máximo de 4,75 mm, módulo de finura de 2,74, de acordo com a NBR 17054 (ABNT, 2022) e massa específica de 2800 kg/m$^3$, conforme NBR 9776 (ABNT, 1987); CCA fornecida pela empresa Silcca Nobre, com diâmetro médio de 16,19 µm e massa específica de 2541 kg/m$^3$. A dosagem do concreto foi determinada por método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP).

A produção do concreto foi realizada em betoneira, seguindo um traço em massa de 1:2:3:0,5 (cimento:areia:brita:água) como referência (REF). O fator água/cimento foi ajustado para 0,50 devido à absorção da CCA. O ensaio de abatimento do tronco de cone (*slump test)*, representado na Figura 1a, foi conduzido para avaliar a consistência, seguindo os procedimentos da NBR 16889 (ABNT, 2020). Os corpos de prova foram moldados e adensados em mesa vibratória, sendo posteriormente curados em água saturada com cal, conforme NBR 5738 (ABNT, 2015). As amostras com CCA tiveram teores de substituição parcial de 10% (CCA10%) e 20% (CCA20%), em conformidade com achados da literatura (Wilges *et al*., 2020; Abdala *et al*., 2024; Gomes *et al*., 2024).

Os ensaios mecânicos incluíram compressão axial, conforme NBR 5739 (ABNT, 2018b), aos 28 e 90 dias, utilizando uma Máquina Universal de Ensaios com software TESC (Figura 1b). Para a compressão, foram utilizados três ou mais corpos de prova por grupo. A resistência à tração foi estimada por cálculo indireto de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2024), e, portanto, também foram usados três ou mais corpos de prova por amostra. O módulo de elasticidade foi determinado pelo método estático, seguindo-se a NBR 8522 (ABNT, 2017), com monitoramento da deformação com extensômetros (Figura 1c) e com utilização de dois corpos de prova por grupo. Todos os procedimentos seguiram rigorosamente as normas técnicas aplicáveis.

**Figura 1:** Ensaios no estado fresco e endurecido: (a) *slump test*; (b) resistência à compressão; (c) módulo de elasticidade

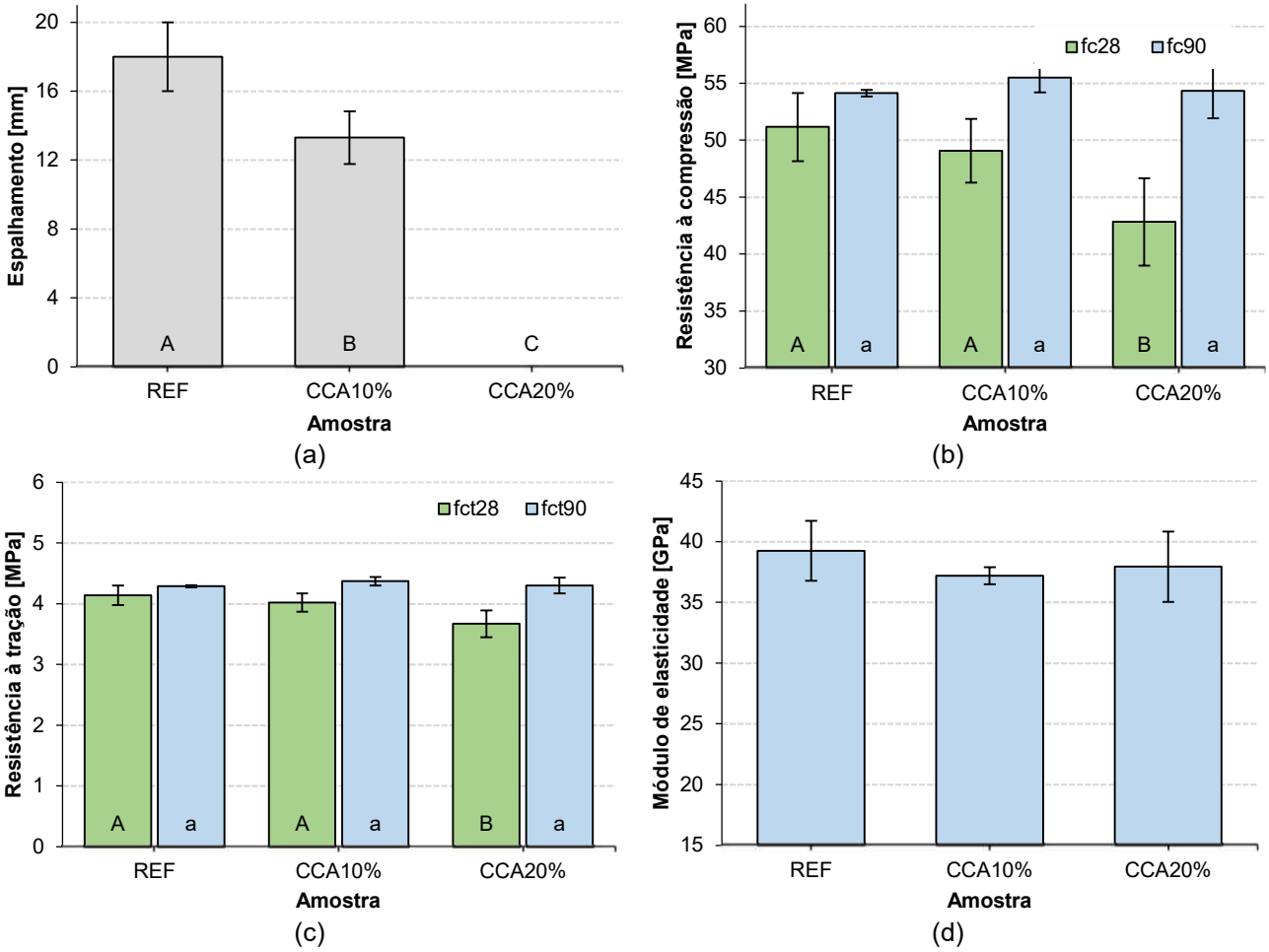



(a) (b) (c)

## 3. RESULTADOS E ANÁLISES

A Figura 2 apresenta os resultados das propriedades mecânicas no estado fresco e endurecido.

**Figura 2:** Resultados das propriedades do concreto no estado fresco e endurecido: (a) consistência; (b) resistência à compressão; (c) resistência à tração; (d) módulo de elasticidade




Nessa figura, a letra “A” representa a amostra com o maior valor médio para uma determinada propriedade, enquanto a letra “B” corresponde ao segundo maior valor médio, e assim sucessivamente, conforme determinado pelo teste de Tukey para comparação de médias, considerando um nível de significância de 5%. Tratamentos que possuem a mesma letra indicam que suas médias são estatisticamente equivalentes.

Os valores de *p* do teste de normalidade de Anderson-Darling variaram entre 0,129 e 0,503, confirmando a validade dos resultados do teste de Tukey ($p \geq 0,05$). Os coeficientes de variação (CV, %) foram de 5,71 a 8,96 e 3,83 a 5,96 para a resistência à compressão e à tração, respectivamente. Para a análise do módulo de elasticidade, foram utilizados apenas dois corpos de prova, o que impossibilitou a realização da comparação estatística pelo teste de Tukey.Em relação à resistência à compressão (Figura 2b), o grupo REF apresentou média de 51,17 MPa aos 28 dias, valor 9,7% e 19,5% maior do que os observados para as amostras CCA10% (49,08 MPa) e CCA20% (42,83 MPa). Apesar dessa variação, a redução dessa propriedade foi estatisticamente significativa apenas quando o teor de CCA na mistura foi de 20%, de acordo com o teste de Tukey. Ainda assim, pode-se dizer que, de modo geral, existe uma tendência de que os concretos produzidos com substituição parcial do cimento pela CCA apresentam desempenho mecânico inferior ao valor de referência nessa idade.

No entanto, ao analisar os resultados do ensaio de compressão aos 90 dias (Figura 2b), nota-se que as amostras CCA10% e CCA20% apresentaram resistência à compressão de 55,50 MPa e 54,33 MPa, valores estatisticamente equivalentes àquele do grupo controle (54,14 MPa). Dessa forma, tem-se indícios de que a adição da cinza retardou o tempo de ganho de resistência mecânica das amostras, o que também foi reportado por Abdala *et al*. (2024) e Gomes *et al*. (2024).

Tal atraso no desenvolvimento da resistência pode ser explicado por dois fatores: além de haver um atraso nas reações de hidratação devido à redução da quantidade de cimento no sistema, a alta porosidade da CCA faz com que parte da água seja absorvida pelo material, reduzindo o fator a/c efetivo do concreto. Essa água absorvida é liberada ao longo do processo de hidratação do concreto (Kang, Hong, Moon, 2019; Van Tuan *et al*., 2011).

A Figura 2c mostra que, aos 28 dias, o traço de referência (REF) apresentou a maior resistência à tração (4,14 MPa). Já aos 90 dias, a substituição parcial do cimento por CCA resultou em um aumento inferior a 2% nessa propriedade, independentemente do teor de cinza empregado. Esses resultados seguem a mesma tendência observada na resistência à compressão, pois, a resistência à tração foi estimada a partir da correlação matemática entre as duas propriedades preconizada pela NBR 6118 (ABNT, 2024).

Por fim, a Figura 2d mostra que a substituição parcial do cimento por CCA teve pouco impacto no módulo de elasticidade aos 90 dias. Observou-se uma redução em relação ao valor de referência (39,25 GPa) de 5,2% para CCA10% e 3,3% para CCA20%, mas sem comprometer significativamente a rigidez do concreto. Além disso, os valores do módulo de elasticidade praticamente se estabilizaram entre 10% e 20% de substituição, sugerindo que essa variação não altera substancialmente tal propriedade.

Esses resultados sugerem que a substituição parcial do cimento por CCA é viável, desde que planejada conforme a aplicação. O concreto com CCA tende a apresentar resistência adequada a longo prazo, mas com ganho inicial mais lento, enquanto sua rigidez mantém-se próxima à do convencional. No entanto, a trabalhabilidade é reduzida, tornando-o menos adequado para concretos de alta fluidez. Além disso, as propriedades da CCA variam conforme sua origem e produção, impedindo a generalização dos resultados. Ainda assim, seu uso é promissor por reaproveitar um resíduo agrícola, trazendo benefícios econômicos e ambientais quando aplicado com critério.

## 4. CONCLUSÕES

Este trabalho avaliou a viabilidade da substituição parcial do cimento por CCA no concreto. As seguintes conclusões foram obtidas:

i. A substituição parcial do cimento por CCA demonstrou ser uma alternativa viável para a produção de concreto, desde que a aplicação seja planejada de acordo com as necessidades específicas da obra, considerando a variabilidade das propriedades da cinza de casca de arroz.
ii. Embora a adição de CCA reduza a trabalhabilidade do concreto, com uma diminuição significativa no abatimento, a resistência mecânica a longo prazo, especialmente a compressão, pode ser mantida ou até melhorada após 90 dias, quando comparada ao concreto de referência.
iii. O módulo de elasticidade dos concretos com CCA apresentou pequenas reduções, mas sem comprometer a rigidez do concreto, o que indica que essa propriedade é pouco afetada pela substituição parcial do cimento pela cinza.
iv. A análise dos resultados sugere que, apesar de variações nas propriedades devido à origem e processamento da CCA, concretos com 10% a 20% de substituição apresentam desempenho satisfatório, sendo uma opção válida em cenários que exigem resistência moderada.

Estas conclusões indicam que o uso da CCA tem potencial tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental, como alternativa ao cimento Portland. Todavia, a variabilidade das características da CCA exige um controle rigoroso de sua origem e processamento. Mais estudos são necessários para definir com maior precisão as proporções ideais de substituição e os impactos ambientais dessa prática.

## REFERÊNCIAS


ABDALA, J. C.; MOURÃO, A. B.; de PAULA, J. N.; RAMOS, L. T.; MORAIS, I. B. Avaliação das propriedades do concreto celular espumoso produzido com substituição parcial do cimento por cinzas de casca de arroz. **Revista tecnológica – Universidade Estadual de Maringá**. ISSN 15178-048. v. 33(1) p 97-106, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 16697**: Cimento Portland – Requisitos. ABNT, Rio de Janeiro, 2018a.

____ **NBR 16889**: Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2020.

____ **NBR 16917**: Agregado graúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021.

____ **NBR 5738**: Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. ABNT, Rio de Janeiro, 2015.

____ **NBR 5739**: Concreto - Ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos. ABNT, Rio de Janeiro, 2018b.

____ **NBR 6118** Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2024.

____ **NBR 7211:** Agregados para cimento Portland – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

____ **NBR 8522**: Concreto endurecido - Determinação dos módulos de elasticidade e de deformação. Parte 1: Módulos estáticos à compressão. Rio de Janeiro, 2021.

____ **NBR 9776**: Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman. ABNT, Rio de Janeiro, 1987.

____ **NBR 9778:** Argamassa e concreto endurecidos – determinação da absorção de água por imersão – índice de vazios e massa específica. ABNT, Rio de Janeiro, 2005b.

BIRICIK, H.; SARIER, N. Comparative study of the characteristics of nano silica -, silica fume - and fly ash - incorporated cement mortars. **Materials Research**, v. 17, n. 3, p. 570–582, 2014.

FERNANDES, I. J.; CALHEIRO, D.; KIELING, A. G.; MORAES, C. A. M.; ROCHA, T. L. A.; BREHM, F. A.; MODOLO, R. C. E. Characterization of rice husk ash produced using different biomass combustion techniques for energy. **Fuel**, v. 165, p. 351-359, 2016.

GOMES, C. L.; SALLES, P. V.; BEZERRA, A. C. S.; RODRIGUES, C. S.; POGGIALI, F. J. S. Mechanical and durability properties of concrete produced with construction and demolition waste and rice husk ash. **Construction and Building Materials**, v. 406, 10 p, set. 2023.

HOSSAIN, M. U. Evaluation of environmental impact distribution methods for supplementary cementitious materials. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 597–608, 2018.

HU, L. *et al*. Microstructure and properties of sustainable cement-based materials using combustion treated rice husk ash. **Construction and Building Materials**, v. 294, 2 ago. 2021.

IPCC. Synthesis report of the IPCC sixth assessment report. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf>. Acesso em: 24/02/2025.

JAGADESH, P.; RAMACHANDRAMURTHY, A.; MURUGESAN, R.; SARAYU, K. Micro-analytical studies on sugar cane bagasse ash. Sadhana. **Acad Proc Eng Sci,** v. 40: pg1629–1638, 2015.

JUENGER, M. C. G.; SIDDIQUE, R. Recent advances in understanding the role of supplementary cementitious materials in concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 78, p. 71–80, 2015.

KANG, S. H.; HONG, S. G.; MOON, J. The use of rice husk ash as reactive filler in ultra-high performance concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 115, p. 389–400, 1 jan. 2019.

LAND, G.; STEPHAN, D. The influence of nano-silica on the hydration of ordinary Portland cement. **Journal of Materials Science,** v. 47, n. 2, p. 1011–1017, 2012.

MONTEIRO, P. J. M.; MILLER, S. A.; HORVATH, A. Towards sustainable concrete. **Nature Materials**, v. 16, n. 7, p. 698–699, 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**, 2018.

SNIC. Sindicato Nacional de Cimento Portland. Relatório Anual, 2019.

SREEKUMARAN, S.; MOHAN, K. S. R. Low-Velocity impact resistance of reactive powder concrete modified using ground granulated blast furnace slag and rice husk ash. 2022.

THIEDEITZ, M.; OSTERMAIER, B.; KRANKEL, T. Rice husk ash an additive in mortar - Contribution to microstructural, strength and durability performance.Resources, **Conservation and Recycling**, v. 184, 11 p., Abr, 2022.

VAN TUAN, N. *et al*. Hydration and microstructure of ultra high-performance concrete incorporating rice husk ash. **Cement and Concrete Research**, v. 41, n. 11, p. 1104–1111, nov. 2011.

WILGES, M. B.; SOKOLOVICZ, B.; SOARDI, A.; COPPETTI, L. A. Análise do módulo de elasticidade de concretos de Pós Reativos contendo Metacaulim e Cinza de Casca de Arroz. Braz. **Ap. Sci. Rev., Curitiba**, v. 4, n. 3, p. 2079-2093, maio/jun. 2020.