

SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND POR CINZA DE CASCA DE MANDIOCA EM PASTAS E ARGAMASSAS

Daniele Ribeiro Gonçalves, Fernanda Nepomuceno Costa.

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB)/Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas (CETEC), Rua Rui Barbosa, S/N, campus da UFRB - 44380-000 - Cruz das Almas-BA, Brasil, daiele@aluno.ufrb.edu.br, fernandacosta@ufrb.edu.br.

Resumo

A indústria da construção civil enfrenta desafios ambientais devido ao elevado consumo de cimento Portland, responsável por cerca de 8% a 10% das emissões globais de CO₂. Em paralelo, a produção agroindustrial da mandioca gera grandes volumes de resíduos da sua casca, frequentemente descartada de forma inadequada. Este estudo investigou os efeitos da substituição parcial do CP V-ARI por cinza da casca de mandioca (CCM) no estado fresco de pastas e argamassas. A casca da mandioca foi beneficiada até obtenção da cinza, sendo caracterizada. Foram avaliados os teores de 0% (referência), 5%, 7,5% e 10%, em massa, de substituição do cimento pela CCM, com ensaios de índice de consistência e densidade de massa. Os resultados mostraram que a incorporação da CCM reduziu a densidade das misturas, pela menor massa específica da cinza (2,54 g/cm³) em relação ao cimento (3,14 g/cm³), e a fluidez devido à maior finura e morfologia irregular das partículas. Conclui-se que a utilização da CCM influencia de forma expressiva as propriedades no estado fresco, destacando-se o teor de 5% como o mais promissor para equilíbrio entre trabalhabilidade e sustentabilidade.

Palavras-chave: cinza de casca de mandioca; resíduos agroindustriais; pastas; argamassas; estado fresco.

Área do Conhecimento: Engenharia Civil.

Introdução

A produção de cimento Portland é uma das principais fontes de emissão de dióxido de carbono (CO₂) relacionadas à construção civil, representando cerca de 8% das emissões globais (SNIC, 2022). Além da elevada pegada de carbono, a indústria cimenteira consome grandes quantidades de recursos minerais e energéticos, o que reforça a necessidade de buscar alternativas sustentáveis.

Paralelamente, a geração de resíduos sólidos no Brasil é crescente. Em 2022, a ABRELPE estimou a produção de aproximadamente 81 milhões de toneladas de resíduos urbanos, dos quais mais de 40% tiveram destinação inadequada. No mesmo ano, a ABREMA destacou que os resíduos da construção civil representam uma parcela expressiva desse montante, sendo um dos principais desafios para a gestão ambiental do setor. Tais dados evidenciam a importância de estratégias voltadas tanto para a redução das emissões quanto para o aproveitamento de resíduos.

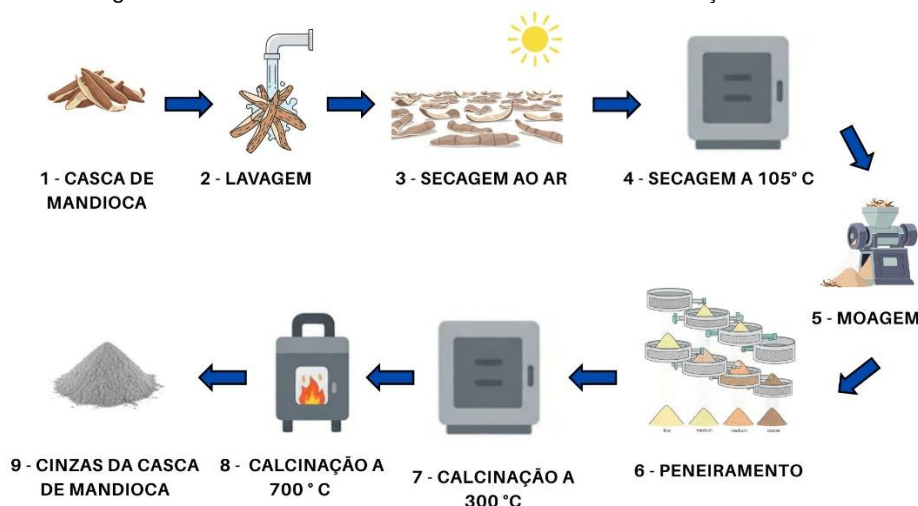
Nesse contexto, os resíduos agroindustriais vêm sendo estudados como potenciais substitutos parciais do cimento Portland. Entre eles, destaca-se a casca de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), abundante no Brasil e normalmente descartada em casas de farinha e agroindústrias, sem tratamento adequado. Ofuyatan *et al.* (2018) identificaram que a cinza da casca de mandioca, calcinada a 700 °C por 90 minutos, apresenta cerca de 72,34% de óxidos de silício, alumínio e ferro (SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃). Essa elevada concentração confirma o potencial pozolânico do material, evidenciando sua capacidade de reagir com o hidróxido de cálcio liberado durante a hidratação do cimento e, assim, contribuir para o desenvolvimento da resistência mecânica. O resultado está em conformidade com a NBR 12653 (2014), que estabelece como requisito mínimo 70% da soma desses óxidos para que um resíduo seja classificado como pozolana.

Dessa forma, este trabalho busca analisar os efeitos da substituição parcial do cimento Portland por cinza de casca de mandioca no estado fresco de pastas e argamassas, avaliando parâmetros como índice de consistência e densidade de massa, com vistas a contribuir para práticas mais sustentáveis na construção civil.

Metodologia

Para a realização do estudo, o resíduo de casca de mandioca (RCM) foi coletado em uma casa de farinha localizada no Recôncavo da Bahia. Em seguida, o material foi lavado e seco ao ar, sendo posteriormente levado à estufa a 105 °C. Após essa etapa, realizou-se a moagem e o peneiramento, restando apenas o material passante na peneira de 75 µm. Esse resíduo foi submetido a uma pré-queima em estufa a 300 °C e, por fim, calcinado em forno mufla a 700 °C (Zezimaq, modelo 2000-G, potência de 6400W) provido de programador de temperatura (DigiMec, modelo FHMP., obtendo-se a cinza da casca de mandioca (CCM), como ilustra o esquema da Figura 1.

Figura 1 – Beneficiamento da casca da mandioca e obtenção da CCM.



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Em seguida, procedeu-se à caracterização dos materiais empregados no estudo. O cimento utilizado foi o Portland CP V-ARI, escolhido devido ao seu baixo teor de aditivos em comparação com outras categorias de cimento Portland. Essa escolha teve como objetivo evitar possíveis reações entre a CCM e outros componentes da mistura, possibilitando visualizar com maior precisão os efeitos da substituição do cimento pelo resíduo nas pastas e argamassas. O cimento foi caracterizado quanto à massa específica, determinada conforme a NBR 16605 (ABNT, 2017), e quanto à perda ao fogo, de acordo com a NBR 17086-6 (ABNT, 2023).

A areia natural utilizada como agregado miúdo foi analisada conforme os procedimentos normativos aplicáveis. A granulometria foi determinada de acordo com a NBR 17054 (ABNT, 2022); a massa específica real e aparente seguiu a NBR NM 52 (ABNT, 2009); a massa unitária foi avaliada segundo a NBR 16972 (ABNT, 2021); e o teor de material pulverulento foi obtido conforme a NBR 16973 (ABNT, 2021).

A cinza da casca de mandioca (CCM) passou por ensaios específicos com o intuito de verificar seu potencial como material pozolânico. Foram realizados: perda ao fogo, de acordo com a NBR 17086-6 (ABNT, 2023); determinação da massa específica, conforme a NBR 16605 (ABNT, 2017); e índice de atividade pozolânica aos 28 dias, segundo os critérios da NBR 5752 (ABNT, 2014). Os resultados foram interpretados com base nos parâmetros estabelecidos pela NBR 12653 (ABNT, 2014), que define os requisitos para classificação de materiais pozolânicos.

A água utilizada nos ensaios foi destilada, obtida em destilador da marca Marte.

Para a avaliação da influência da incorporação da CCM nas propriedades das misturas, foram produzidas pastas e argamassas com diferentes teores de substituição parcial do cimento Portland pela cinza: 0% (referência), 5%, 7,5% e 10% em massa de cimento.

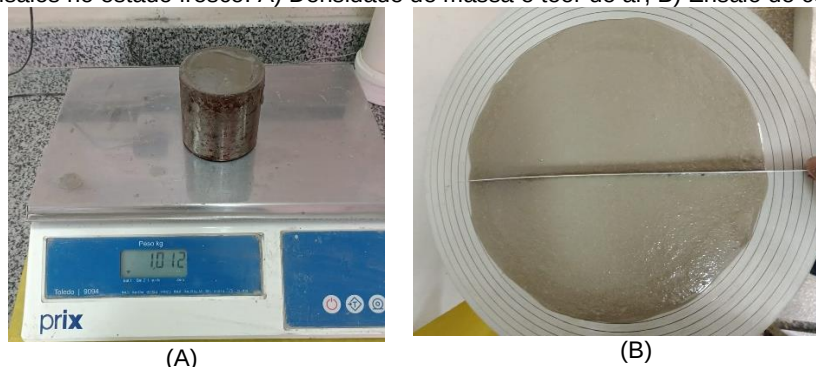
Nas argamassas, foi adotado o traço 1:6 (cimento:areia, em massa), mantendo-se fixa a relação água/(cimento + CCM) igual a 1,05, conforme metodologia proposta por Guimarães et al. (2019). Para as pastas, a relação água/(cimento + CCM) adotada foi de 0,48, seguindo Souza et al. (2024).

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

A mistura dos materiais foi realizada em misturador mecânico, em recipiente não absorvente, atendendo às recomendações da NBR 13279 (ABNT, 2005) para argamassas e da NBR 7215 (ABNT, 2025) para pastas.

A fim de avaliar o comportamento das misturas no estado fresco, foram conduzidos ensaios de densidade de massa e índice de consistência (*flow table*). Os ensaios de consistência seguiram a NBR 13276 (ABNT, 2016) e as orientações complementares do Anexo A da NBR 7215 (ABNT, 2025). Já a determinação da densidade de massa e o teor de ar foi realizada conforme a NBR 13278 (ABNT, 2005). A representação desses ensaios está na Figura 2.

Figura 2 – Ensaios no estado fresco: A) Densidade de massa e teor de ar; B) Ensaio de consistência.



(A) (B)
Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Resultados

Os resultados da caracterização dos materiais estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultado da caracterização dos materiais.

Material	Massa Específica (g/cm ³)	Massa Unitária (g/cm ³)	Diâmetro Médio D ₅₀ (μm)	Módulo de Finura	Teor de Material Pulverulento (%)	IAP* aos 28 dias (%)	Perda ao Fogo (%)
Cimento Portland CP V- ARI	3,14	-	-	-	-	-	3,5
Areia Natural	2,62	1,59	0,43	2,08	2,19	-	-
CCM	2,54	-	-	-	-	92,11	19,0

*IAP - índice de atividade pozolânica

Fonte: elaborado pelo próprio autor.

A cinza da casca de mandioca apresentou massa específica de 2,54 g/cm³, valor consideravelmente inferior ao do cimento Portland CP V-ARI (3,14 g/cm³). Essa característica indica que, para um mesmo volume, a substituição parcial do cimento por CCM tende a reduzir a densidade das misturas, favorecendo a obtenção de compósitos mais leves, embora possa impactar a compacidade e a trabalhabilidade.

O índice de atividade pozolânica (IAP) determinado aos 28 dias foi de 92,11%, confirmando a capacidade reativa da cinza e demonstrando sua viabilidade como adição mineral suplementar. Entretanto, o ensaio de perda ao fogo revelou um valor de 19%, significativamente superior ao limite máximo de 6% prescrito pela NBR 12653 (ABNT, 2014). Esse resultado evidencia a presença de quantidades expressivas de matéria orgânica residual e/ou compostos voláteis não eliminados durante a calcinação, o que pode comprometer a estabilidade química, a durabilidade e a performance das matrizes cimentícias.

Dessa forma, embora a CCM apresente atividade pozolânica elevada, sua aplicação direta como substituto parcial do cimento requer etapas adicionais de beneficiamento. Entre as alternativas possíveis, destacam-se ajustes no regime de calcinação (tempo e temperatura), tratamentos térmicos

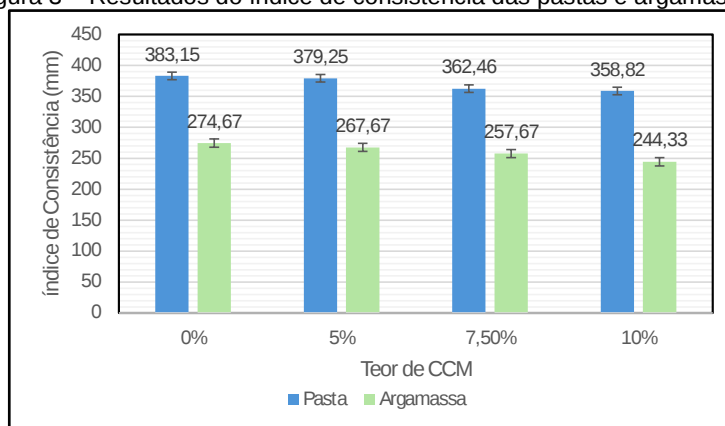
A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

complementares ou ainda técnicas de moagem mais intensivas, visando à redução da perda ao fogo e ao enquadramento nos parâmetros estabelecidos pela NBR 12653 (ABNT, 2014).

Cabe ressaltar que, devido às limitações laboratoriais, não foi realizada a caracterização química da CCM neste estudo. Contudo, trabalhos de referência, como o de Ofuyatan *et al.* (2018), relatam que a CCM calcinada a 700 °C apresenta aproximadamente 72,34% da soma de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 , superando o valor mínimo de 70% exigido pela norma, o que reforça o seu enquadramento como material pozolânico. Esses achados sugerem que, quando adequadamente processada, a cinza da casca de mandioca pode constituir uma alternativa promissora e sustentável para aplicação em pastas, argamassas e concretos.

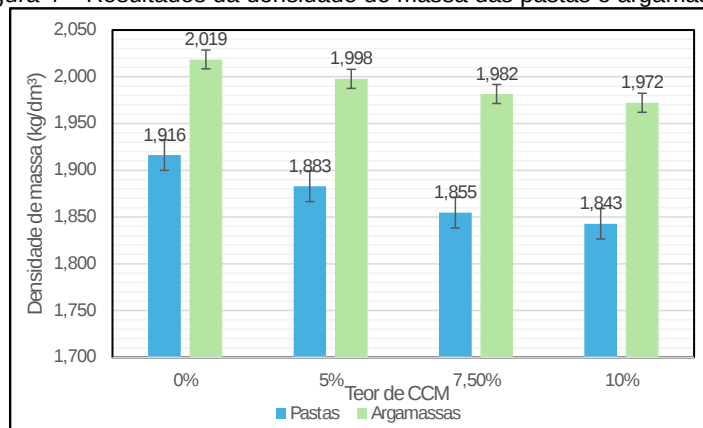
Os resultados dos ensaios para a determinação do índice de consistência das argamassas e das pastas estão apresentados na Figura 3 e do teor de ar incorporado está representado na Figura 4.

Figura 3 – Resultados do índice de consistência das pastas e argamassas.



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Figura 4 – Resultados da densidade de massa das pastas e argamassas.



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

As análises evidenciaram que as pastas apresentaram maior fluidez em relação às argamassas, comportamento esperado pela ausência de agregados que, no caso da argamassa, aumentam a resistência interna ao fluxo. Observou-se também que o aumento do teor de substituição do cimento por CCM reduziu progressivamente o índice de consistência em ambas as misturas. Esse efeito decorre da maior demanda de água da cinza e da manutenção da relação água/(cimento+CCM) constante, o que limitou a quantidade de água livre disponível, comprometendo a trabalhabilidade. Resultados semelhantes já foram reportados por Ofuyatan *et al.* (2018), reforçando a tendência de menor fluidez com a incorporação da CCM.

Em paralelo, a densidade de massa apresentou redução gradativa tanto nas pastas quanto nas argamassas, em função da menor massa específica da CCM (2,54 g/cm³) quando comparada à do

A Ciência do **NANO** e seu impacto transformador no **MACRO**

cimento Portland CP V-ARI (3,14 g/cm³). De acordo com a NBR 13281-1 (2023), que estabelece os requisitos, critérios e métodos de ensaios para argamassas inorgânicas destinadas ao revestimento de paredes e tetos, as argamassas com teores de 5% 7,5% e 10% de substituição do cimento pela CCM são classificadas como DF3, devido à sua densidade estar entre 1800 kg/m³ e 2000 kg/m³. Assim, as argamassas produzidas com a CCM são mais leves que a argamassa referência, classificadas como DF4, por apresentar densidade maior que 2000 kg/m³.

De forma integrada, os resultados apontam que a incorporação da CCM impacta diretamente a trabalhabilidade e a densidade dos compósitos cimentícios, exigindo ajustes no teor de água ou no processo de beneficiamento da cinza para otimizar suas propriedades no estado fresco.

Discussão

Os resultados indicam que a CCM exerce influência direta sobre a trabalhabilidade e densidade das misturas. A redução do índice de consistência decorre da maior demanda de água, uma vez que a cinza apresenta elevada área superficial e porosidade, retendo parte da água disponível. Essa tendência também foi observada por Ofuyatan *et al.* (2018), ao investigar concretos com incorporação de CCM.

A queda da densidade de massa confirma a contribuição da cinza para a produção de compósitos mais leves, aspecto vantajoso em determinadas aplicações construtivas. Entretanto, a redução da fluidez pode comprometer a trabalhabilidade, exigindo ajustes na dosagem de água ou uso de aditivos plastificantes.

De modo geral, o teor de 5% apresentou melhor equilíbrio entre as propriedades avaliadas, mantendo fluidez próxima à referência e reduzindo a densidade de massa.

Conclusão

A análise dos resultados permitiu verificar que a substituição parcial do cimento Portland por cinza da casca de mandioca reduziu tanto o índice de consistência quanto a densidade de massa das pastas e argamassas, sendo que estas últimas apresentaram menores valores de espalhamento em razão da presença do agregado. Entre os teores investigados, a substituição de 5% destacou-se como a mais promissora, conciliando desempenho no estado fresco e ganhos potenciais de sustentabilidade, o que vai ao encontro do objetivo inicial deste trabalho de avaliar as propriedades reológicas das misturas. Os achados reforçam o potencial da cinza da casca de mandioca como estratégia para valorização de resíduos agroindustriais e mitigação de impactos ambientais da construção civil. Contudo, é importante salientar que a viabilidade técnica de sua aplicação ainda carece de estudos complementares, sobretudo quanto às propriedades mecânicas mínimas exigidas para argamassas, a fim de consolidar sua utilização em larga escala.

Referências

ABREMA. Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2024**. São Paulo: ABREMA, 2024. Disponível: <<https://www.abrema.org.br/>>. Acesso em: 27 ago. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653**: materiais pozolânicos-requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

_____. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos -Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 13277**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos –Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

A Ciência do **NANO** e seu impacto transformador no **MACRO**

_____. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **NBR 16972**: Agregados – Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro, 2021.

_____. **NBR 16973**: Agregados - Determinação do material fino que passa pela peneira de 75 µm por lavagem. Rio de Janeiro, 2021.

_____. **NBR 17054**: Agregados – Determinação da composição granulométrica – método de ensaio. Rio de Janeiro, 2022.

_____. **NBR 17086-6**: Cimento Portland – Análise química – Parte 6: Determinação da perda ao fogo. Rio de Janeiro, 2023.

_____. **NBR 5752**: materiais pozolânicos-determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

_____. **NBR 7215**: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2025.

_____. **NM 52**: Agregado miúdo – Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

OFUYATAN, O.; ADEOYE, O.; EDE, A.; OLOFINNADE, R.; OYEBISI, S.; ALAYANDE, T.; OGUNDIPE, J. **Assessment of Strength Properties of Cassava Peel Ash-Concrete**. International Journal of Civil Engineering and Technology, v. 9, n. 1, p. 965-974, 2018. Disponível em: <http://www.iaeme.com/IJCIET/index.asp?JType=IJCIET&VType=9&IType=1>. Acesso em: 22 ago. 2025.

SALAU, M. A.; IKPONMWOSA, E. E.; OLONODE, K. A. **Structural Strength Characteristics of Cement-Cassava Peel Ash-Blended Concrete**. IISTE. V.2, n.10, p 68-78, 2012.

Agradecimentos

À UFRB e à FAPESB, pelo apoio à pesquisa. Ao grupo de pesquisa VALORA Civil da UFRB. À empresa Massa Fort Concreto pela doação de materiais utilizados na pesquisa.