IMPACTO DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND POR CINZA DE JUREMA-PRETA NO DESEMPENHO DE ARGAMASSAS PARA REVESTIMENTO NO ESTADO FRESCO

Impact of partial replacement of Portland cement by Black Jurema ash on the performance of rendering mortars in the fresh state

Lylian Gabriele Carneiro Oliveira
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia | Cruz das Almas, Bahia | lyliangabriele@aluno.ufrb.edu.br

Thiago de Oliveira Ribeiro
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia | Cruz das Almas, Bahia | thiagoribeiro@aluno.ufrb.edu.br

Pedro Lucas da Costa Duarte Cerqueira
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia | Cruz das Almas, Bahia | pedrolucascerqueira@hotmail.com

Daniele Ribeiro Gonçalves
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia | Cruz das Almas, Bahia | daniele@aluno.ufrb.edu.br

Fernanda Nepomuceno Costa
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia | Cruz das Almas, Bahia | fernandacosta@ufrb.edu.br

RESUMO

Este estudo propõe a reutilização de cinzas de jurema-preta (CJP) para avaliar o desempenho de argamassas, ao substituir parcialmente o cimento por CJP nos teores de 5%, 10% e 15%. A metodologia da pesquisa incluiu o beneficiamento das cinzas por peneiramento, com utilização da fração passante na peneira de abertura 75µm, seguida da caracterização com a determinação do índice de atividade pozolânica aos 28 dias, teor de umidade, perda ao fogo e massa específica. As argamassas foram dosadas e avaliadas por meio de ensaios no estado fresco, que envolveram a determinação do índice de consistência, densidade de massa, teor de ar incorporado e retenção de água. Os resultados indicaram que a CJP não apresenta propriedades adequadas como material pozolânico, podendo afetar o desempenho mecânico. Além disso, a substituição do cimento por CJP nas argamassas frescas resultou na redução do espalhamento, com diminuições à medida que o teor de cinzas aumentava.

Palavras-chave: Madeira de jurema-preta. Resíduo de cinzas. Reaproveitamento. Argamassas.

ABSTRACT

This study proposes the reuse of Black Jurema ash (BJA) to evaluate the performance of mortars, by partially replacing cement with BJA at levels of 5%, 10%, and 15%. The research methodology included the processing of the ash by sieving, using the fraction passing through the 75µm sieve, followed by characterization with the determination of the pozzolanic activity index at 28 days, moisture content, loss on ignition, and specific mass. The mortars were dosed and evaluated through tests in the fresh state, which involved the determination of the consistency index, mass density, incorporated air content, and water retention. The results indicated that BJA does not present adequate properties as a pozzolanic material, potentially affecting mechanical performance. Furthermore, the replacement of cement with BJA in fresh mortars resulted in reduced flow, with decreases as the ash content increased.

Keywords: Black jurema wood. Ash residue. Reuse. Mortars.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o setor de panificação e confeitaria no Brasil tem apresentado um crescimento expressivo. De acordo com um levantamento do Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE) com dados da Receita Federal, entre janeiro e junho de 2024, foram abertas mais de 21,3 mil novas padarias no país, o que equivale a cerca de 130 novos CNPJ por dia.

Dentre os resíduos produzidos pelas padarias, destacam-se as cinzas da queima de lenha em fornos, uma fonte de calor essencial na produção de pães e massas. Estudos indicam que essas cinzas representam cerca de 3% da massa da madeira queimada (Borlini *et al.,* 2005). No entanto, a maior parte dessas cinzas é descartada de maneira inadequada, sem o devido tratamento, destacando a necessidade de uma gestão ambiental eficiente.

A indústria cimenteira tem se destacado pela adoção de matérias-primas alternativas que reduzem a necessidade do clínquer na produção do cimento Portland. A NBR 16697 (ABNT, 2018) ampliou a utilização de adições minerais, como escória de alto-forno, cinzas volantes e pozolanas, com o objetivo de reduzir o impacto ambiental do cimento.

Nesse contexto, estudos mostram que a substituição parcial do cimento por diferentes resíduos pode ser uma solução eficiente. Costa (2020) demonstrou a viabilidade do uso de resíduos de construção civil como substitutos parciais do sistema argila-calcário na produção de clínquer Portland. Os resultados indicaram que essa substituição pode reduzir em até 8,1% as emissões de CO_2, uma vez que o RCC atua como fonte alternativa de cálcio, sem comprometer a formação das fases mineralógicas do cimento, especialmente a alita (C_3S).

As cinzas da queima de madeira também apresentam potencial como substituto parcial do cimento. Devido à sua composição química rica em cálcio (86,23%), além da presença de SiO_2, Al_2O_3 e Fe_2O_3 (2,34%), elas podem ser reaproveitadas na produção de cimento (Mendonça, 2023).

Diante desse cenário, este estudo propõe a reutilização de resíduos de cinzas de jurema-preta (CJP), provenientes de uma padaria, na formulação de argamassas para revestimento de paredes e tetos. Para isso, foram realizados ensaios com traço 1:6, em massa, substituindo 0% (referência), 5%, 10% e 15% do cimento pelas cinzas. Essa abordagem reduz a necessidade de clínquer e minimiza as emissões de CO_2 associadas à produção de cimento, promovendo práticas mais sustentáveis para a construção civil.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS

Para a produção das argamassas, utilizou-se o cimento CP V-ARI, escolhido devido ao seu baixo teor de adições. A seleção desse tipo específico de cimento visou evitar possíveis reações entre a CJP e os outros componentes da mistura. A CJP, empregado como substituto parcial do cimento, foi coletada em uma panificadora localizada em Cruz das Almas-BA que utiliza a madeira jurema-preta como fonte de calor do forno. O resíduo foi transportado em sacos de ráfia e armazenado em bombonas plásticas no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB) até o início dos ensaios.

O agregado utilizado foi a areia natural, proveniente de uma jazida de Alagoinhas-BA, que foi peneirada e submetida à secagem em estufa a (105±5) °C por 24 horas, até atingir massa constante. A água utilizada foi destilada em equipamento da marca Marte, fornecida pelo laboratório de Qualidade da Água da UFRB.

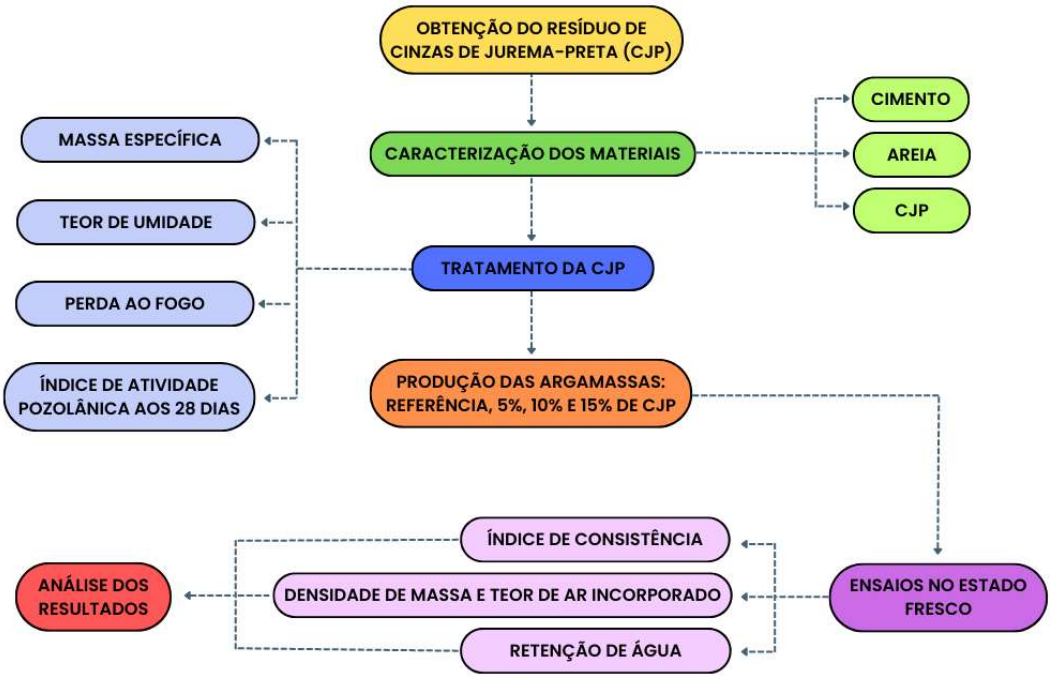
2.2 MÉTODOS

A metodologia adotada para a elaboração deste trabalho é de natureza experimental, conforme apresentado na Figura 1.

2.2.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

A massa específica do cimento foi determinada conforme a NBR NM 23 (ABNT, 2000), enquanto para a areia natural, foram adotados os procedimentos contidos na NBR NM 45 (ABNT, 2006) para massa unitária e NBR NM 52 (ABNT, 2009) para massa específica.

Figura 1: Programa experimental.



Fonte: Os autores.

2.2.2 TRATAMENTO E BENEFICIAMENTO DA CJP

A CJP foi submetida a um processo de beneficiamento com o objetivo de remover impurezas indesejadas, tais como pedaços de lenha, pregos e outros contaminantes. O tratamento iniciou com a secagem das cinzas em estufa (100±5) ºC por 24 horas. Após o resfriamento, elas foram submetidas a peneiramento manual. A amostra da cinza da jurema-preta escolhida para a pesquisa foi a passante na peneira de abertura 75µm, equivalente a 20,7% da amostra total inicial, como ilustrado na Figura 2.

Figura 2: Cinza de jurema-preta passante na peneira de abertura de 75µm.



Fonte: Os autores.

A escolha dessa fração deve-se à sua finura, em que se busca um tamanho de grão semelhante ao do cimento, além de contribuir com o efeito fíller. Essa característica favorece a substituição parcial do cimento, visando melhor compatibilidade e integração na matriz cimentícia.

Para avaliar as características da CJP e verificar sua conformidade com os requisitos da NBR 12653 (ABNT, 2014) para classificação como material pozolânico, foram realizados ensaios para determinar sua massa específica, conforme NBR NM 23 (ABNT, 2000), índice de atividade pozolânica aos 28 dias conforme NBR 5752 (ABNT, 2014), perda ao fogo conforme NBR 17086-6 (ABNT, 2023) e teor de umidade conforme NBR NM 24 (ABNT, 2002).

2.2.3 DOSAGEM E PREPARAÇÃO DAS ARGAMASSAS

Para avaliar a influência da cinza de jurema-preta nas propriedades das argamassas, foram preparadas misturas com diferentes composições. A mistura sem o resíduo foi denominada como referência (0%), enquanto as misturas com substituição parcial de cimento por CJP foram classificadas nos percentuais de 5%, 10% e 15%. O traço utilizado foi 1:6, em massa, e a relação água/(cimento+CJP) fixa de 1,05. Esses parâmetros foram definidos com base nas pesquisas de Guimarães *et al.* (2019).

2.2.4 ENSAIOS NO ESTADO FRESCO

Para avaliar a interferência dos diferentes percentuais de CJP no estado fresco das argamassas, foram conduzidos os seguintes ensaios: índice de consistência conforme NBR 13276 (ABNT, 2016), densidade de massa e teor de ar incorporado conforme NBR 13278 (ABNT, 2005), e retenção de água conforme NBR 13277 (ABNT, 2005).

3 RESULTADOS E ANÁLISES

3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

A Tabela 1 apresenta os resultados da caracterização dos materiais utilizados, incluindo parâmetros como a massa específica dos materiais, a massa unitária do agregado e a caracterização da CJP para análise de sua pozolanicidade.

Tabela 1: Caracterização dos materiais utilizados na produção das argamassas.

Material	Massa Específica (g/cm^3)	Massa Unitária (g/cm^3)	Índice de atividade pozolânica aos 28 dias (%)	Perda ao fogo (%)	Teor de Umidade (%)
CP V - ARI	3,15	-	-	-	-
Areia Natural	2,62	1,59	-	-	-
CJP	2,70	-	62,70	50	0,05

Fonte: Os autores.

A caracterização da CJP revelou que as cinzas não apresentam propriedades adequadas para serem utilizadas como material pozolânico, o que pode impactar no desempenho mecânico das argamassas produzidas com substituição parcial do cimento pelo resíduo, ao avaliar as argamassas no estado endurecido. Embora o teor de umidade esteja dentro dos limites estabelecidos pela NBR 12653 (ABNT, 2014), o índice de atividade pozolânica após 28 dias foi de 62,7%, abaixo dos 90% exigidos. A elevada perda ao fogo (50%) sugere uma quantidade significativa de carbono, o que indica a presença de matéria orgânica ou compostos carbonatos.

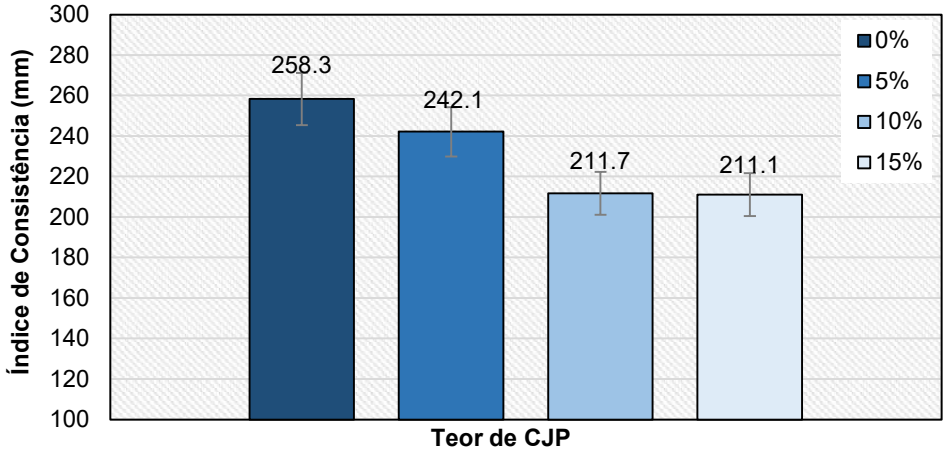
A massa específica da CJP foi de 2,70 g/cm³, inferior à do cimento CP V-ARI, de 3,15 g/cm³, indicando que, para o mesmo volume, a CJP apresenta menor massa do que o cimento utilizado. Isso sugere que as partículas de CJP possuem menor densidade em comparação às do cimento

3.2 ENSAIOS NO ESTADO FRESCO

3.2.1 ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA

Os ensaios indicaram que, ao manter a relação água/(cimento +CJP) constante, o aumento do teor de cinzas na mistura provoca a redução do índice de consistência da argamassa, resultando em menor trabalhabilidade (Figura 3). Em comparação com a mistura de referência, a substituição parcial do cimento pelas cinzas nos teores de 5%, 10% e 15% proporcionou a redução do espalhamento em 6,3%, 18,0% e 18,3%, respectivamente. Entretanto, observa-se que a consistência das argamassas quase não sofreu alteração ao incorporar 10% ou 15% da cinza.

Figura 3: Trabalhabilidade das argamassas obtida por meio da determinação do índice de consistência.



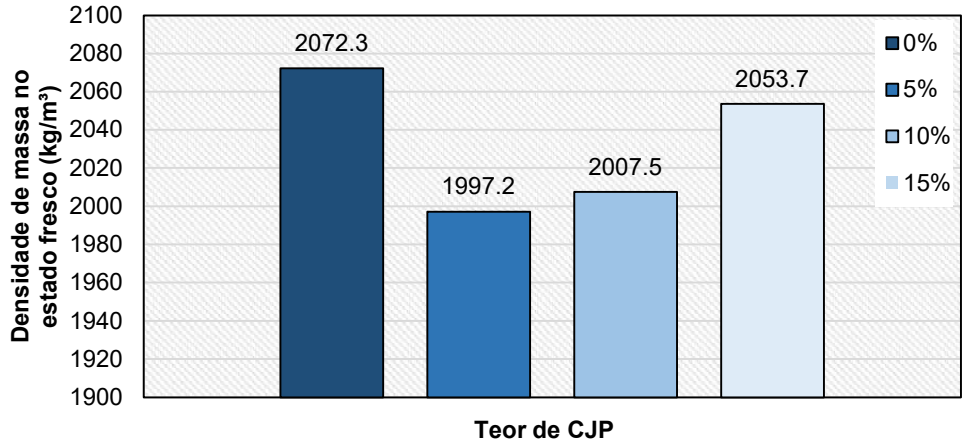
Fonte: Os autores.

Esse comportamento sugere que A CJP apresenta características físicas, como maior área superficial ou porosidade, que resultam em maior demanda de água para atingir um espalhamento semelhante ao da argamassa de referência.

3.2.2 DENSIDADE DE MASSA E TEOR DE AR INCORPORADO

Os resultados apresentados na Figura 4 mostram um aumento na densidade de massa no estado fresco com o aumento da substituição do cimento pela CJP. Embora se esperasse uma diminuição na densidade devido à menor massa específica da cinza (2,70 g/cm³ contra 3,15 g/cm³ do cimento), o aumento observado pode ser atribuído a fatores como maior absorção de água pela cinza, compactação das partículas na mistura ou presença de impurezas mais densas na cinza. Esses fatores podem ter levado a uma maior compactação da mistura, resultando em aumento da densidade no estado fresco.

Figura 4: Densidade de massa das argamassas no estado fresco, sem e com incorporação de CJP.

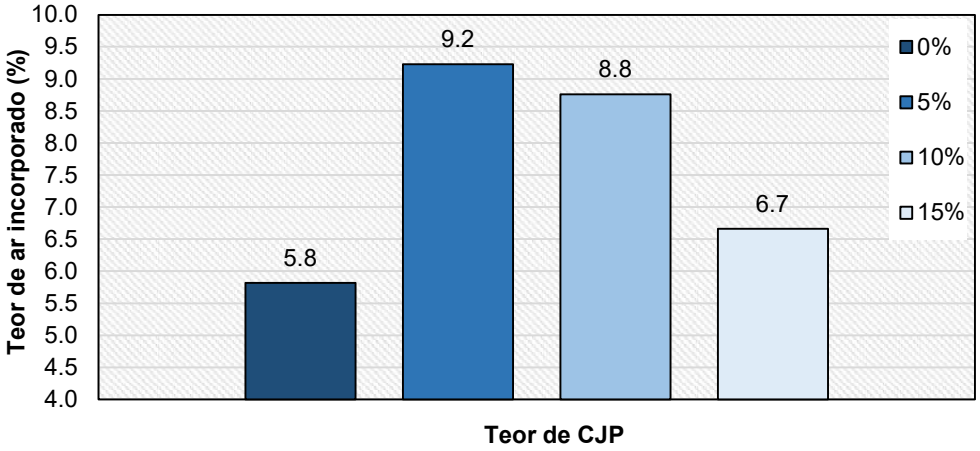


Fonte: Os autores.

De acordo com a NBR 13281-1 (ABNT, 2023) as argamassas com teores de 10% e 15% de substituição são classificadas como DF4, por apresentarem densidades superiores a 2000 kg/m³. Já a argamassa com 5% de substituição é classificada como DF3, devido à sua densidade no estado fresco estar entre 1800 e 2000 kg/m³.

Como a densidade de massa é inversamente proporcional ao teor de ar incorporado, na mistura com 5% de cinzas, na qual a densidade diminuiu, o teor de ar incorporado aumentou, conforme esperado. Por outro lado, para os teores de 10% e 15%, a densidade de massa aumentou, o que indica uma redução no teor de ar incorporado (Figura 5). Esse teor de ar reflete, em porcentagem, a quantidade de ar retido na argamassa.

Figura 5: Teor de ar incorporado nas argamassas no estado fresco, sem e com incorporação da CJP.



Fonte: Os autores.

França *et al.,* (2016) investigaram argamassas com substituição de cinzas de eucalipto e observaram um aumento no teor de ar incorporado para todos os teores de substituição analisados. Eles associaram esse aumento ao menor tamanho das partículas das cinzas de eucalipto, o que também provocou uma redução na densidade de massa em comparação à mistura de referência.

3.2.3 RETENÇÃO DE ÁGUA

A Tabela 2 apresenta os resultados da avaliação das propriedades relacionadas à interação água-argamassa nas misturas.

Tabela 2: Resultados obtidos por meio da determinação da retenção de água.

Propriedades	Teores de CJP			
	0%	5%	10%	15%
Fator água/argamassa fresca	0,91	0,91	0,90	0,91
Retenção de água (%)	98,55	98,73	98,93	98,76

Fonte: Os autores.

O fator água/argamassa fresca é um parâmetro adimensional que relaciona a massa de água à massa seca da argamassa. Em relação à retenção de água, todas as argamassas se enquadraram na classe U3, conforme a NBR 13281-1 (ABNT, 2023), apresentando valores superiores a 90%. Esse valor percentual reflete a quantidade de água que a argamassa consegue manter em relação à água inicialmente misturada, indicando sua capacidade de retenção de água e a manutenção da trabalhabilidade.

4 CONCLUSÃO

O estudo teve como objetivo avaliar o desempenho de argamassas para revestimento no estado fresco, substituindo parcialmente o cimento por CJP nas proporções de 5%, 10% e 15%, apresentando os seguintes resultados:

- A CJP não possui propriedades adequadas para ser classificado como material pozolânico, pois apresentou um índice de atividade pozolânica aos 28 dias abaixo dos requisitos normativos e uma elevada perda ao fogo.
- A substituição parcial do cimento por CJP reduz a trabalhabilidade das argamassas, diminuindo o índice de consistência conforme o teor de substituição aumenta.
- As misturas contendo CJP apresentaram menor densidade de massa no estado fresco e maior teor de ar incorporado em relação à argamassa de referência, o que pode afetar o desempenho mecânico das argamassas no estado endurecido.
- Embora a incorporação do resíduo tenha provocado variações nas propriedades das argamassas no estado fresco, estas não foram significativas, indicando que a substituição parcial do cimento por CJP é uma alternativa viável e sustentável. Ajustes na formulação, como otimização da granulometria do resíduo e uso de aditivos plastificantes, podem melhorar a trabalhabilidade, mantendo a semelhança com a argamassa de referência.

5 AGRADECIMENTOS

Ao Grupo de Pesquisa em Valorização de Resíduos na Construção Civil da UFRB (Valora Civil), ao CNPq e ao PIBITI, pelo apoio e incentivo à pesquisa, e à empresa Massa Fort Concreto pelo fornecimento dos materiais.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52.** Agregado miúdo – Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

____. **NBR NM 45.** Agregados – Determinação de massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

____. **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.

____. **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 13281-1.** Argamassas inorgânicas – Requisitos e métodos de ensaio Parte 1: Argamassas para revestimento de paredes e tetos. Rio de Janeiro, 2023.

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

____. **NBR 16697.** Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

____. **NBR NM 23.** Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação de massa específica. Rio de Janeiro, 2000.

____. **NBR 5752.** Materiais Pozolânicos – Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro, 2014.

____. **NBR NM 24.** Materiais Pozolânicos – Determinação do teor de umidade. Rio de Janeiro, 2002.

____. **NBR 12653.** Materiais Pozolânicos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2014.

BORLINI, M. C.; *et al.* Cinzas da lenha para aplicação em cerâmica vermelha. Parte I: características da cinza. Universidade Estadual do Norte Fluminense, Goytacazes – RJ; Faculdade de Engenharia Química de Lorena, Lorena – SP, 2005.

COSTA, F. N. Valorização do resíduo de construção civil por meio de sua incorporação ao processo de clinquerização. Tese de Doutorado apresentado ao Programação de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal da Bahia, Salvador – BA, 2020.

FRANÇA, D. F. S.; *et al.* Avaliação da reologia, da RAA e das propriedades de argamassas no estado fresco utilizando cinza de eucalipto como substituição parcial ao cimento Portland. **Ambiente Construído**, 2016. https://doi.org/10.1590/s1678-86212016000300098

GUIMARÃES, C. C.; SANTOS, I. C. S.; ALMEIDA, M. S. S. Cinza de padaria como adição mineral em substituição parcial ao cimento Portland na produção de argamassas. ANAIS DO 61ª CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO – CBC2019, IBRACON, Fortaleza – CE, 2019.

MENDONÇA, I. V. Caracterização e avaliação da atividade pozolânica da cinza de biomassa residual de fornos da indústria cerâmica de Crateús. Trabalho de conclusão de curso (Monografia). Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal do Ceará, UFC, Crateús – CE, 2023.

SEBRAE. Brasil ganha, em média, 130 novas padarias por dia em 2024. Agência Sebrae, 2024. Disponível em: https://agenciasebrae.com.br/cultura-empreendedora/brasil-ganha-em-media-130-novas-padarias-por-dia-em-2024/#:~:text=De%20acordo%20com%20levantamento%20realizado,CNPJs%20foram%20gerados%20por%20dia. Acesso em: 26 fev. 2025.