VALORIZAÇÃO DAS CINZAS DE JUREMA-PRETA PARA A PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS DE HIDRATAÇÃO CONTROLADA

VALORIZATION OF BLACK JUREMA ASH FOR THE PRODUCTION OF CONTROLLED HYDRATION MORTARS

Lylian Gabriele Carneiro Oliveira[1]; Thiago de Oliveira Ribeiro[2]; Pedro Lucas da Costa Duarte Cerqueira[3;] Gabriella Cintra dos Santos[4]; Regiane Filgueira Bôto[5]; Fernanda Nepomuceno Costa[6].

[1]Bacharela em Ciências Exatas e Tecnológicas | lyliangabriele@aluno.ufrb.edu.br | UFRB | Cruz das Almas, Brasil; [2]Bacharel em Ciências Exatas e Tecnológicas | thiagoribeiro@aluno.ufrb.edu.br | UFRB | Cruz das Almas, Brasil; [3]Bacharel em Ciências Exatas e Tecnológicas | pedrolucascerqueira@aluno.ufrb.edu.br | UFRB | Cruz das Almas, Brasil; [4]Graduanda em Ciências Exatas e Tecnológicas | gabycintr4@gmail.com | UFRB | Cruz das Almas, Brasil; [5]Bacharela em Ciências Exatas e Tecnológicas | regianeboto15@gmail.com | UFRB | Cruz das Almas, Brasil; [6]Doutora em Engenharia Civil | fernandacosta@ufrb.edu.br | UFRB | Cruz das Almas, Brasil.

Resumo:
A crescente preocupação ambiental tem incentivado o uso de tecnologias sustentáveis na construção civil, como o reaproveitamento de resíduos na produção de materiais cimentícios. Este estudo avaliou o desempenho de argamassas de hidratação controlada para revestimentos, incorporando cinzas da queima da madeira de jurema-preta (CJP) como substituto parcial do cimento Portland, nos teores de 0%, 5%, 10% e 15%. As cinzas foram peneiradas (fração < 75 µm) e utilizadas nas formulações submetidas à caracterização e ensaios nos estados fresco e endurecido. As argamassas apresentaram boa trabalhabilidade e manutenção das propriedades ao longo do tempo, com leve redução da consistência conforme o aumento do teor de cinza. Aos 28 dias, os traços com até 10% de CJP mostraram desempenho mecânico semelhante ou superior ao traço de referência. Os resultados indicam viabilidade técnica e ambiental da incorporação da CJP, contribuindo para a redução do consumo de cimento e o reaproveitamento de resíduos.

Palavras-chave:
Cinzas de jurema-preta; Resíduos; Sustentabilidade; Argamassa estabilizada.

Abstract:
The growing environmental concern has encouraged the adoption of sustainable technologies in civil construction, especially regarding the reuse of waste in the production of cementitious materials. This study evaluated the performance of controlled hydration mortars for wall and ceiling coatings, incorporating ashes from the burning of black jurema wood (black jurema ash – BJA) as a partial substitute for Portland cement at levels of 0%, 5%, 10%, and 15% by weight. The ashes were sieved (<75 µm) and used in formulations subjected to material characterization and tests in both fresh and hardened states. The mortars showed good workability and retention of properties over time, with a slight reduction in consistency as the ash content increased. After 28 days, mixtures with up to 10% BJA demonstrated mechanical performance similar to or better than the reference mortar. The results indicate the technical and environmental feasibility of incorporating BJA, contributing to cement consumption reduction and promoting waste reuse.

Keywords:
Jurema-preta ash; Waste materials; Sustainability; Stabilized mortar.

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é uma das principais responsáveis pelo consumo de recursos naturais e pela geração de resíduos sólidos, contribuindo significativamente para os impactos ambientais globais. Diante desse cenário, a busca por práticas mais sustentáveis tem impulsionado o desenvolvimento de tecnologias que priorizem o uso eficiente de materiais e a redução de resíduos, promovendo uma cadeia produtiva mais limpa e ecologicamente responsável (Guindani, 2018).

Nesse contexto, a valorização de resíduos industriais como matéria-prima alternativa na produção de materiais cimentícios tem se destacado como uma estratégia promissora. A incorporação de adições minerais, como escória de alto-forno, cinzas volantes e pozolanas, já é prevista na NBR 16697 (ABNT, 2018), permitindo a substituição parcial do clínquer na fabricação de cimento. Essa prática não apenas reduz o consumo de recursos naturais, como brita, areia e calcário, mas também contribui para a diminuição do consumo energético e das emissões de CO_2 associadas à produção de cimento (Fonseca, 2010).

Estudos têm demonstrado a viabilidade técnica do uso de resíduos na indústria cimenteira. Por exemplo, Costa e Ribeiro (2021) verificaram que resíduos da construção civil (RCC) podem substituir parte da mistura argilo-calcária na produção de clínquer Portland, mantendo o desempenho físico-mecânico do cimento e reduzindo a dependência de matérias-primas virgens.

Diante da ampla disponibilidade de cinzas oriundas da queima de madeiras e do uso consolidado de outras cinzas em composições cimentícias, torna-se relevante investigar novas possibilidades de aplicação. Um material com potencial de aproveitamento é a cinza de jurema-preta (CJP), cuja incorporação em argamassas de hidratação controlada (AHC) para revestimentos pode representar uma alternativa sustentável ao uso exclusivo do cimento Portland.

As AHC são definidas pela NBR 17218 (ABNT, 2024) como misturas compostas por cimento Portland, agregados miúdos, água e aditivos controladores de hidratação, podendo incluir também outros ligantes, adições e aditivos suplementares. Segundo Weisseheimer (2017), essas argamassas, produzidas em centrais, apresentam vantagens como maior precisão de dosagem, redução de desperdícios e otimização da logística de aplicação. Além disso, os aditivos controladores de hidratação permitem o uso do material por até 72 horas, contribuindo para a minimização de descartes.

Diante disso, o presente estudo tem como objetivo avaliar o desempenho de argamassas de hidratação controlada destinadas ao revestimento de paredes e tetos, utilizando a cinza de jurema-preta como substituto parcial do cimento Portland, nas proporções de 0% (referência), 5%, 10% e 15% em massa, considerando um tempo de uso de até 36 horas.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL: MATERIAIS E MÉTODOS

A escolha pela utilização da AHC neste estudo se deve às vantagens que esse tipo de material oferece no contexto da construção civil atual, como o aumento do tempo de trabalhabilidade, a redução de perdas por endurecimento precoce e a possibilidade de racionalização dos processos de execução. Essas características tornam a AHC especialmente relevante em canteiros de obras que demandam maior flexibilidade e controle sobre os tempos de aplicação, além de contribuírem para a melhoria do desempenho e da produtividade.

Para a produção das argamassas, foi utilizado cimento do tipo CP II – F 32, juntamente com aditivo incorporador de ar (AIA) e estabilizador de hidratação (AEH). A areia natural, oriunda de uma jazida localizada em Alagoinhas-BA, foi peneirada e submetida à secagem em estufa a (105 ± 5) °C por 24 horas, até alcançar massa constante. A água empregada foi destilada em equipamento da marca Marte. O resíduo de cinzas de jurema-preta foi obtido em uma padaria do interior da Bahia, proveniente da queima de lenha em forno utilizado na produção de pães e massas, sendo transportado em sacos de ráfia e armazenado em bombonas plásticas até o início dos ensaios.

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

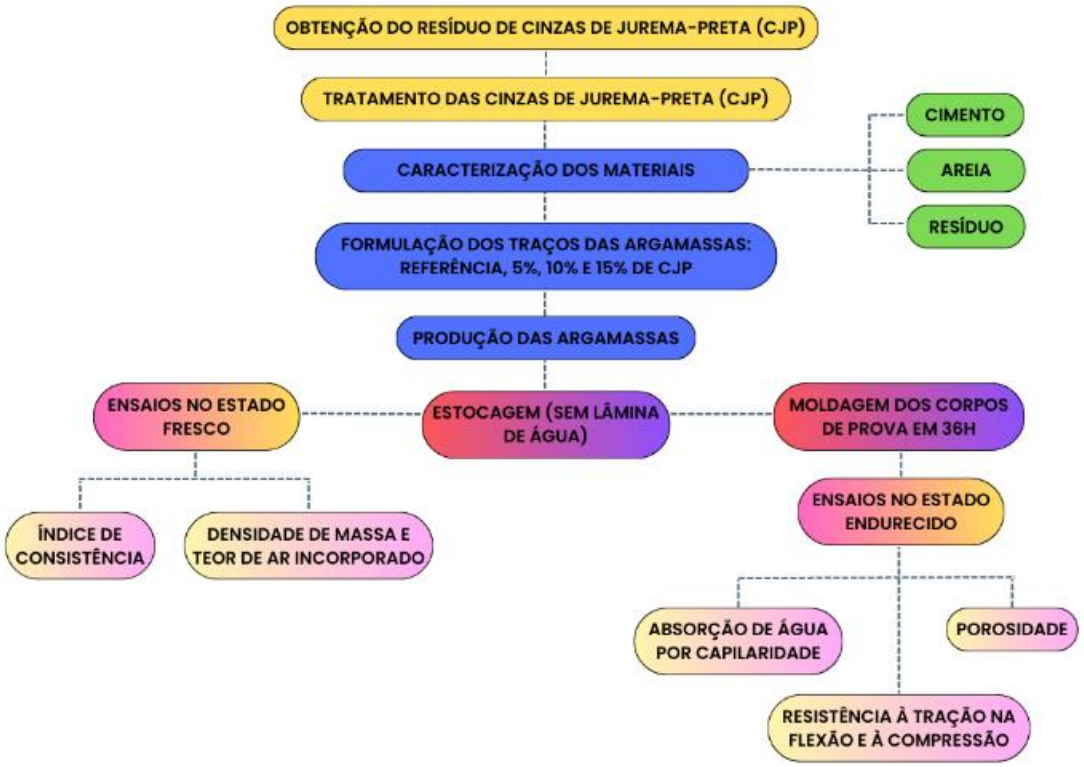

Figura 1: Planejamento experimental da pesquisa.
Fonte: Os autores (2025).

2.1. TRATAMENTO DAS CINZAS DE JUREMA-PRETA

A CJP foi submetida a um processo de beneficiamento com o objetivo de remover impurezas grosseiras indesejáveis. O tratamento começou com a secagem em estufa, atingindo uma temperatura de (100 ± 5) ºC, onde permaneceu por 24 horas, e, após o esfriamento, as cinzas foram peneiradas. A amostra escolhida para a pesquisa foi a passante na peneira de abertura 75 µm (nº 200), 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 75 µm.
Fonte: Os autores (2025).

Optou-se pela utilização de amostras da CJP que passam pela referida peneira devido à sua elevada finura, a qual favorece o efeito fíler e contribui para a redução da porosidade no corpo de prova. Ademais, para a substituição parcial do cimento por CJP, buscou-se um material com granulometria semelhante à do cimento Portland, visando a uma melhor compatibilidade com a matriz cimentícia.

2.2. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Para avaliar as características da CJP e identificar possíveis aspectos que atendam aos requisitos estabelecidos pela NBR 12653 (ABNT, 2014b) para a classificação de um material pozolânico, foram realizados ensaios para determinar sua massa específica conforme NBR NM 23 (ABNT, 2000), o índice de atividade pozolânica (IAP) aos 28 dias conforme NBR 5752 (ABNT, 2014a), a perda ao fogo conforme NBR 17086-6 (ABNT, 2023) e teor de umidade conforme NBR NM 24 (ABNT, 2002).

A massa específica do cimento foi determinada conforme a NBR NM 23 (ABNT, 2000). As massas específicas dos aditivos incorporador de ar (AIA) e controlador de hidratação (ACH) foram obtidas nos manuais técnicos do Centripor 411 e Centripor Retard 225, disponibilizados pela MC-Bauchemie. Para a areia natural, aplicaram-se as seguintes normas: NBR NM 45 (ABNT, 2006) para a massa unitária, NBR NM 52 (ABNT, 2009) para a massa específica, NBR NM 248 (ABNT, 2001) para a análise granulométrica, e NBR 16973 (ABNT, 2021) para a determinação do teor de material pulverulento.

2.3. FORMULAÇÃO, PRODUÇÃO E ESTOCAGEM DAS ARGAMASSAS DE HIDRATAÇÃO CONTROLADA

Os traços para a argamassa de hidratação controlada foram definidos com base na média dos traços utilizados pelas principais centrais dosadoras da região Sul do Brasil, conforme o estudo de Guindani (2018). Nesse estudo, foi obtido um traço aproximado de 1:6:0,9 (cimento, areia e relação água/cimento), sendo que os percentuais dos aditivos, assim como a proporção água/cimento, foram ajustados para atender às características do resíduo, do agregado e do aglomerante disponíveis, além de adequar-se ao tempo de uso desejado. O resultado da formulação das argamassas está apresentado na Tabela 1.

Tempo de uso	CP II – F 32	Areia natural	AIA	AEH	a/c
36 horas	1	6	0,25%	0,45%	1,05

Tabela 1: Traço definido para o tempo de uso de 36 horas.
Fonte: Os autores (2025).

Neste estudo, além do traço de referência (sem o resíduo), a cinza de jurema-preta foi incorporada como substituto parcial do cimento em três proporções: 5%, 10% e 15%, em massa. A relação água/(cimento + CJP) foi mantida constante em todas as formulações, com o objetivo de isolar o efeito da substituição nas propriedades da argamassa e possibilitar uma comparação adequada entre os traços.

A mistura dos materiais foi realizada em misturador mecânico, utilizando um recipiente de material não absorvente, conforme as diretrizes da NBR 13279 (ABNT, 2005b). Após a homogeneização, foram realizados os ensaios no estado fresco. Em seguida, a argamassa foi acondicionada em recipiente plástico fechado, sem lâmina de água, e mantida em ambiente laboratorial, até o tempo de uso planejado, momento em que se procedeu à moldagem dos corpos de prova.

2.4. ENSAIOS NO ESTADO FRESCO

Com o objetivo de avaliar a influência dos diferentes teores da CJP no estado fresco das argamassas, foram realizados os seguintes ensaios: índice de consistência, densidade de massa e teor de ar incorporado.

A determinação do índice de consistência foi realizada conforme os procedimentos da NBR 13276 (ABNT, 2016). As medições foram efetuadas em três momentos distintos ao longo do tempo de uso de 36 horas: i) imediatamente após a mistura; ii) após 24 horas; e iii) ao final das 36 horas. Nos ensaios realizados após 24 e 36 horas, as argamassas foram previamente remisturadas por 1 minuto. A escolha desses intervalos teve como objetivo avaliar a evolução do espalhamento e as variações na consistência da argamassa ao longo do tempo, em conformidade com o limite de uso

de 36 horas estabelecido pela NBR 17218 (ABNT, 2024) para argamassas com hidratação controlada.

A determinação da densidade de massa no estado fresco e do teor de ar incorporado foi realizada conforme os critérios estabelecidos na NBR 13278 (ABNT, 2005a). Esses ensaios foram executados nos mesmos três momentos adotados na avaliação do índice de consistência, possibilitando uma análise comparativa do comportamento das argamassas ao longo do tempo.

2.5. ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO

Com o objetivo de avaliar adequadamente as propriedades da argamassa de hidratação controlada (AHC) com a incorporação de CJP, foram moldados doze corpos de prova para cada traço estudado, sendo seis destinados aos ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão e seis ao ensaio de absorção por capilaridade. No total, foram produzidos 48 corpos de prova para a realização dos ensaios.

Os corpos de prova foram moldados em moldes prismáticos, conforme os procedimentos estabelecidos na NBR 13279 (ABNT, 2005b). Durante os três primeiros dias, permaneceram nas formas, sendo umedecidos por aspersão de água duas vezes ao dia. Após esse período, foram desmoldados e submetidos à cura submersa em água saturada com cal até a idade de 28 dias, estabelecida para a realização dos ensaios. Com o objetivo de avaliar a influência dos diferentes teores de CJP no estado endurecido das argamassas, foram realizados os seguintes ensaios: resistência à tração na flexão, resistência à compressão e absorção de água por capilaridade.

A resistência à tração na flexão e à compressão foi determinada seguindo os procedimentos estabelecidos na NBR 13279 (ABNT, 2005b). Para a análise das composições das argamassas por meio da determinação da absorção de água por capilaridade, adotou-se o procedimento descrito na NBR 9779 (ABNT, 2012).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

A Tabela 2 apresenta os resultados da caracterização dos materiais utilizados, incluindo parâmetros como a massa específica de todos os materiais, a massa unitária da areia natural e a caracterização da CJP para análise de sua pozolanicidade.

Material	Massa Específica (g/cm^3)	Massa Unitária (g/cm^3)	IAP aos 28 dias (%)	Perda ao fogo (%)	Teor de umidade (%)
Cimento CP II – F 32	3,15	-	-	-	-
Areia Natural	2,62	1,59	-	-	-
CJP	2,70	-	62,7	50	0,05
AIA	1,00	-	-	-	-
AEH	1,17	-	-	-	-

Tabela 2: Caracterização dos materiais utilizados na produção das argamassas.
Fonte: Os autores (2025).

A caracterização da CJP indicou que as cinzas não apresentam propriedades adequadas para utilização como material pozolânico. Embora o teor de umidade esteja dentro dos limites estabelecidos pela NBR 12653 (ABNT, 2014b), o índice de atividade pozolânica aos 28 dias foi de 62,7%, valor inferior aos 90% exigidos pela norma. A elevada perda ao fogo (50%) sugere uma presença significativa de carbono, indicando a ocorrência de matéria orgânica ou compostos carbonados. Resultados semelhantes foram obtidos por Souza *et al.* (2024), que, ao estudarem cinzas provenientes de padarias, concluíram que estas também não são adequadas para uso como material pozolânico. Contudo, apesar de não atenderem aos requisitos para atuação como material

pozolânico, as cinzas ainda podem exercer um papel benéfico nas misturas cimentícias, atuando como fíler.

3.2. ENSAIOS NO ESTADO FRESCO

Os ensaios de índice de consistência, densidade de massa e teor de ar incorporado foram realizados nas idades de 0 h, 24 h e 36 h. Os resultados estão sintetizados na Figura 3.

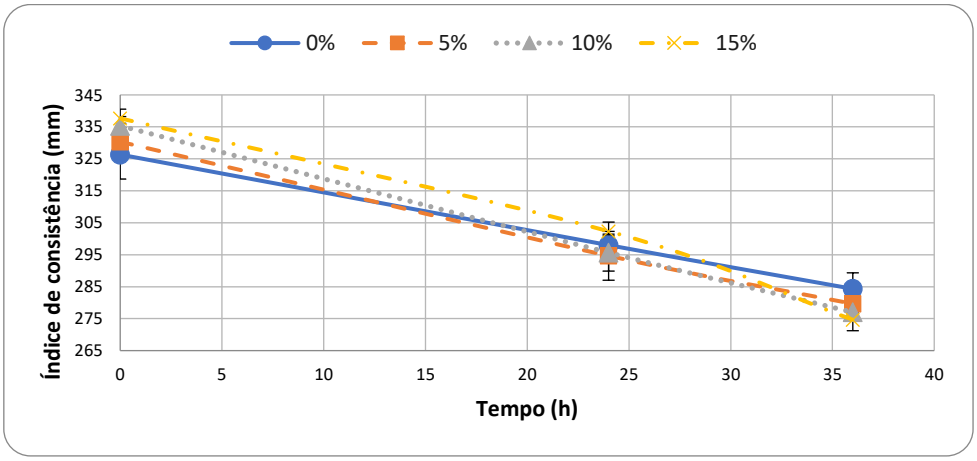

Figura 3: Índice de consistência das argamassas para tempo de uso de 36 horas.
Fonte: Os autores (2025).

Observa-se que, logo após o preparo, as argamassas com incorporação de CJP apresentaram maior espalhamento na mesa de consistência (*flow table*). Esse aumento na trabalhabilidade inicial pode ser atribuído à ação do aditivo incorporador de ar, que, ao interagir com as partículas mais finas da CJP, favorece a fluidez da mistura nas primeiras horas.

De acordo com Hartmann (2011), o AIA melhora o comportamento reológico de misturas com baixo teor de cimento ou de finos, tornando a argamassa mais coesa, trabalhável e com menor exsudação. No entanto, ao final do período de 36 horas — tempo limite de uso definido pela NBR 17218 (ABNT, 2024) — as argamassas com CJP apresentaram perda significativa de trabalhabilidade. Isso pode ser explicado pela dissipação das bolhas de ar e pela reorganização dos componentes sólidos, o que reduz a eficácia do aditivo ao longo do tempo. Segundo Guimarães *et al.* (2019), a redução da consistência com o passar do tempo está associada ao aumento da demanda por água, possivelmente em razão da maior área superficial da CJP em comparação ao cimento. Com a relação a/(cimento + CJP) mantida constante, esse fator intensifica o atrito entre as partículas, resultando em menor espalhamento nas idades posteriores.

Os resultados do ensaio de densidade de massa no estado fresco encontram-se apresentados na Figura 4. De modo geral, observa-se um aumento da densidade à medida que se eleva o teor de substituição do cimento pela CJP, especialmente nas idades de 24 h e 36 h.

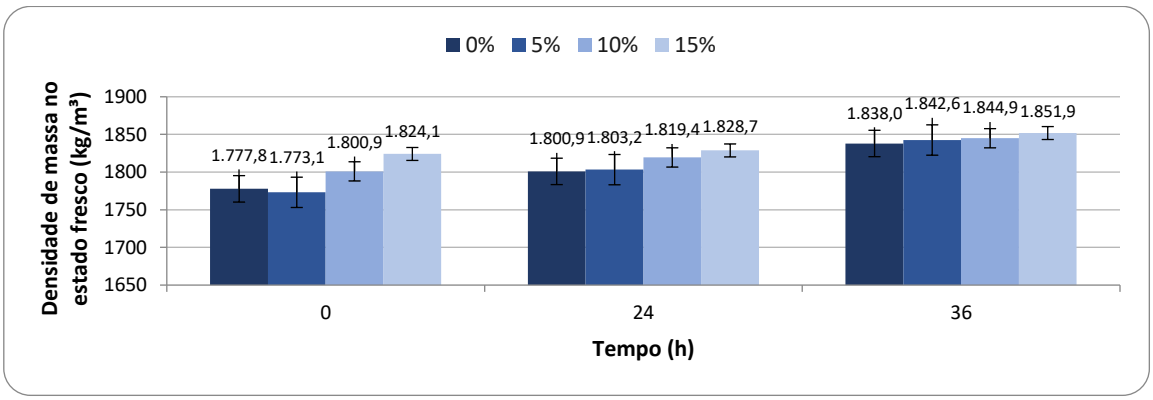

Figura 4: Densidade de massa das argamassas para tempo de uso de 36 horas.
Fonte: Os autores (2025).

Os resultados apresentados mostram um aumento na densidade de massa no estado fresco a partir do 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.

Inicialmente, poderia ser esperado um decréscimo na densidade, considerando a menor massa específica da cinza (2,70 g/cm³) em relação ao cimento Portland (3,15 g/cm³). No entanto, o comportamento observado pode ser atribuído a diferentes fatores, como a maior capacidade de absorção de água pela CJP, que pode favorecer uma melhor acomodação das partículas; a presença de impurezas de maior densidade; ou ainda uma compactação mais eficaz da matriz devido à modificação da distribuição granulométrica com a incorporação da cinza. Tais fatores contribuem para o aumento da densidade de massa da argamassa no estado fresco, mesmo com a substituição de parte do ligante por um material menos denso.

Os resultados dos teores de ar incorporado, apresentados na Figura 5, evidenciam um comportamento inversamente proporcional às densidades de massa observadas. De modo geral, verifica-se uma tendência de redução do teor de ar incorporado com o avanço do tempo de hidratação. Essa diminuição pode ser atribuída à liberação gradual do ar retido inicialmente na matriz, promovida pela acomodação e compactação das partículas ao longo do tempo.

Além disso, observa-se que, para todos os tempos analisados (0 h, 24 h e 36 h), os teores de ar incorporado diminuem à medida que se eleva o teor de substituição de cimento por CJP. Esse comportamento pode estar relacionado à maior demanda por água da CJP, que favorece a dispersão das partículas e dificulta a manutenção das bolhas de ar incorporadas na mistura.

Resultados semelhantes foram relatados por Cerqueira *et al*. (2024), em estudo com argamassas de hidratação controlada com incorporação de resíduo de areia de britagem. Os autores também observaram aumento da densidade de massa e redução do ar incorporado com o avanço do tempo de estabilização, atribuída à dissipação gradual do ar aprisionado e consequente sedimentação das partículas sólidas.

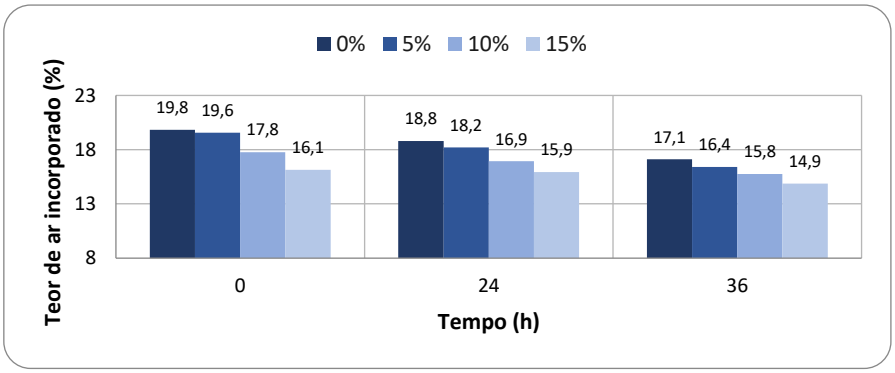

Figura 5: Teor de ar incorporado das argamassas para tempo de uso de 36 horas.
Fonte: Os autores (2025).

3.3. ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO

Após 28 dias de cura, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de absorção de água por capilaridade nos tempos de 3 h, 6 h, 24 h, 48 h e 72 h. A análise dos resultados apresentados na Figura 6 revela que a incorporação da CJP resultou em um aumento da absorção de água por capilaridade em comparação ao traço de referência (0%) para todos os tempos avaliados. Esse comportamento indica uma maior permeabilidade nas argamassas com substituição parcial de cimento por CJP, sugerindo que essa incorporação tende a comprometer a compacidade da matriz.

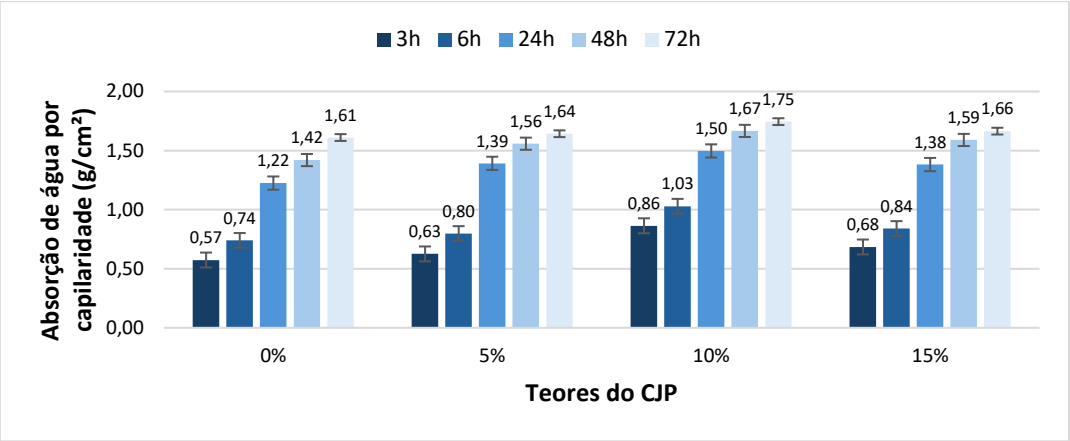

Figura 6: Absorção de água por capilaridade das argamassas para tempo de uso de 36 horas.
Fonte: Os autores (2025).

Tal efeito pode estar relacionado à ausência de reatividade pozolânica da cinza, conforme evidenciado pelo índice de atividade inferior ao mínimo exigido pela NBR 12653 (ABNT, 2014b), bem como à elevada perda ao fogo (50%), que indica a presença de material orgânico ou compostos carbonosos.

O traço com 10% de CJP apresentou o maior valor de absorção de água ao final das 72 horas (1,75 g/cm²), seguido pelo traço com 15% (1,66 g/cm²), evidenciando uma tendência de aumento da permeabilidade com o teor de substituição. Esses dados sugerem que, embora a CJP contribua para a melhora da trabalhabilidade inicial (Figura 3) e para o aumento da densidade de massa no estado fresco (Figura 4), seu uso pode comprometer o desempenho da argamassa no estado endurecido, especialmente em aplicações que exigem baixa absorção de água e maior durabilidade frente à umidade.

Os resultados da avaliação do desempenho mecânico à tração na flexão das argamassas de hidratação controlada, considerando os diferentes teores analisados, são apresentados na Figura 7, na idade de 28 dias.

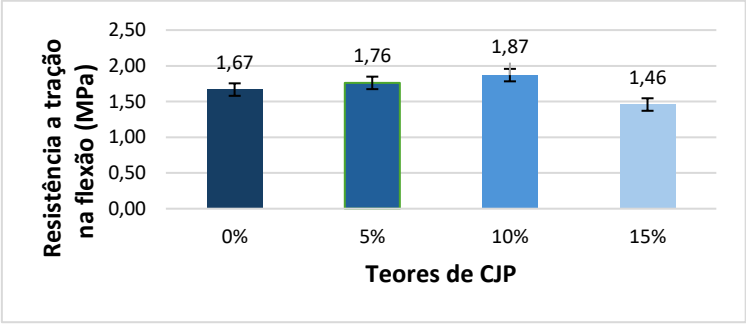

Figura 7: Resistências a tração na flexão das argamassas para tempo de uso de 36 horas.
Fonte: Os autores (2025).

Observa-se que a resistência aumenta com a incorporação de até 10% de resíduo, atingindo o maior valor (1,87 MPa). Esse comportamento sugere que a substituição moderada do cimento por CJP pode contribuir positivamente para o desempenho mecânico da argamassa, possivelmente devido a efeitos físicos, como a dispersão das partículas e a melhoria da trabalhabilidade, que favorecem o adensamento no estado fresco

Esse mesmo comportamento foi observado no estudo de Cerqueira *et al.* (2024), no qual a substituição da areia de britagem na composição da argamassa de hidratação controlada resultou em um desempenho satisfatório para a resistência à tração na flexão com 10% de resíduo em substituição ao cimento. No entanto, para o teor de 15%, observa-se uma redução na resistência à tração (1,46 MPa). Isso ocorre porque a CJP não possui propriedades pozolânicas, ou seja, não contribui para a formação de compostos adicionais que aumentariam a resistência. Assim, ao

substituir parte do cimento por esse resíduo, retira-se um componente essencial para o ganho de resistência e o substitui por um material que não proporciona benefícios semelhantes no processo de hidratação.

Um estudo relevante que apresentou resultados semelhantes é o de Silva *et al.* (2017), no qual os autores investigaram o efeito da incorporação de 20% de pó de brita granítica em argamassas de revestimento. Os resultados indicaram que a substituição parcial do cimento pelo resíduo proporcionou um aumento nas resistências à tração na flexão e à compressão em comparação com a argamassa convencional, especialmente nas idades iniciais de cura. Esses achados reforçam que a incorporação de resíduos pode contribuir positivamente para as propriedades mecânicas das argamassas, desde que o teor de substituição seja criteriosamente definido. Assim como observado no presente estudo, o desempenho é otimizado em teores moderados, enquanto proporções elevadas tendem a comprometer a integridade da matriz, afetando a compacidade e, consequentemente, a durabilidade do material.

Em complementação à avaliação do desempenho mecânico, os resultados da resistência à compressão estão apresentados na Figura 8. Observa-se que a incorporação da CJP promoveu um leve aumento na resistência à compressão para os teores de 5% (5,12 MPa) e 10% (5,52 MPa), em comparação ao traço de referência (5,00 MPa). Esse comportamento sugere que a substituição moderada do cimento por CJP pode beneficiar a microestrutura da argamassa, possivelmente por meio de um efeito de preenchimento das partículas, que melhora a compactação da matriz. No entanto, a substituição de 15% resultou em uma queda significativa da resistência (4,35 MPa), indicando que o excesso de resíduo compromete o desempenho mecânico. Isso pode ser atribuído à ausência de reatividade pozolânica da CJP, o que limita a formação de produtos cimentícios como C-S-H e CH, essenciais para o ganho de resistência.

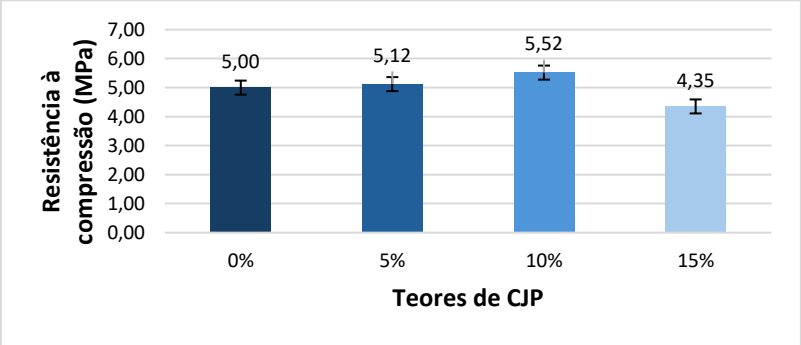

Figura 8: Resistências à compressão das argamassas para tempo de uso de 36 horas.
Fonte: Os autores (2025).

Esses achados são compatíveis com o estudo de Oliveira *et al.* (2019), que investigaram a incorporação de resíduos de cerâmica vermelha em argamassas, substituindo 10% da massa de cimento por esses resíduos. Os autores constataram que essa substituição não comprometeu as resistências à compressão e à tração, e ainda promoveu um ganho de resistência, evidenciando a viabilidade da utilização de resíduos como substitutos parciais do cimento. Esses resultados corroboram a ideia de que a definição de um teor ótimo de substituição é fundamental para garantir o equilíbrio entre sustentabilidade e desempenho técnico.

4. CONCLUSÕES

O estudo analisou o desempenho de argamassas de hidratação controlada utilizadas para revestimento de paredes e tetos, incorporando cinzas de jurema-preta (CJP) como substituto parcial do cimento Portland. A partir dos resultados obtidos, é possível destacar as seguintes conclusões:

- A substituição parcial do cimento por até 10% de CJP resultou em um leve incremento nas resistências à compressão e à tração na flexão, sem comprometer significativamente a

trabalhabilidade das misturas, indicando um efeito de preenchimento benéfico à microestrutura da argamassa.

- O tempo de uso estendido das argamassas até 36 horas demonstrou ser eficiente, mantendo-se a consistência adequada ao longo do tempo, o que favorece a aplicação prática no canteiro de obras.

- A incorporação da CJP promoveu aumento na densidade de massa da argamassa e redução do teor de ar incorporado, refletindo maior compactação da mistura no estado fresco.

- Do ponto de vista ambiental, o reaproveitamento das cinzas de jurema-preta contribui para a redução do descarte de resíduos e para a preservação de recursos naturais, representando uma alternativa sustentável para a construção civil.

- Portanto, a substituição parcial do cimento por CJP é tecnicamente viável para teores de até 10%, mostrando potencial de aplicação em argamassas de hidratação controlada com ganhos em sustentabilidade e desempenho equilibrado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5752: Materiais Pozolânicos – Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014a.

_____. **NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade**. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

_____. **NBR 12653: Materiais Pozolânicos – Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014b.

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

_____. **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: ABNT, 2005a.

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

_____. **NBR 16697: Cimento Portland – Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

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

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

_____. **NBR 17218: Argamassa inorgânica de hidratação controlada – Coleta, transporte, recebimento e homogeneização do material para a realização de ensaios**. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

_____. **NBR NM 23: Agregado graúdo – Determinação de massa unitária e de massa aparente**. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

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

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

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

_____. **NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

CERQUEIRA, P. L. C. D.; SANTOS, J. S.; BOTO, R. F.; CALDAS, V. S. O.; COSTA, F. N. Avaliação de propriedades no estado fresco de argamassa estabilizada para revestimento com incorporação de areia de britagem. *In:* **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC)**. Maceió, 2024.

CERQUEIRA, P. L. C. D.; SANTOS, J. S.; BOTO, R. F.; CALDAS, V. S. O.; COSTA, F. N. Impacto da substituição parcial de areia natural por resíduo de britagem na resistência mecânica da argamassa estabilizada para revestimento de paredes e tetos. *In:* **65º Congresso Brasileiro do Concreto (CBC)**. IBRACON, Maceió, 2024.

COSTA, F. N.; RIBEIRO, D. V. Evaluation of phase formation and physical-mechanical properties of Portland cements produced with civil construction waste. **Cement**, v. 5, p. 100012, 2021.

FONSECA, G. C. **Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2010.

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. *In:* **61º Congresso Brasileiro do Concreto (CBC)**. IBRACON, Fortaleza, 2019.

GUINDANI, E. N. **Argamassa estabilizada para revestimento: avaliação da influência da adição de finos nas propriedades do estado fresco e endurecido**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

HARTMANN, C. Aditivos químicos para concretos e cimentos. *In:* ISAIA, G. C. **Concreto: ciência e tecnologia**. São Paulo: IBRACON. v. 1, pp. 347-380, Cap. 10, 2011.

OLIVEIRA, E. M.; OLIVEIRA, E. M.; PETERSON, M.; PELISSER, F.; OLIVEIRA, C. M.; ANTUNES, E. G. P. Análise da resistência à compressão e tração de argamassa com adição de resíduo de cerâmica vermelha. **Matéria**, v. 24, n. 2, p. e12368, 2019.

SILVA, J. P.; ZANGESKI, D. S. O.; NASCIMENTO, D. F.; NOVAIS, J. W. Z.; FERREIRA, R. L.; LOPES, L. L. B. F. Análise Comparativa entre a Resistência à Tração na Flexão e Compressão da Argamassa Convencional e Argamassa com Adição de Pó de Brita Granítica. **Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v. 21, n. 3, p. 161-166, 2017.

SOUZA, C. O.; JESUS, L. S.; SANTOS, T. J. C.; CRQUEIRA, P. L. C. D.; COSTA, F. N. Corpos de prova em miniatura para avaliação da incorporação de cinzas de fornos de padaria em matrizes cimentícias. *In:* **65º Congresso Brasileiro do Concreto (CBC)**. IBRACON, Maceió, 2024.

WEISSEHEIMER, L. F. **A influência do uso da argamassa estabilizada na diminuição de impactos ambientais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo, 2017.

AGRADECIMENTOS

Ao Grupo de Pesquisa em Valorização de Resíduos na Construção Civil da UFRB (Valora Civil), à FAPESB e à empresa Massa Fort Concreto pela doação dos materiais.