PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS DE HIDRATAÇÃO CONTROLADA CONTENDO EVA (ETILENO ACETATO DE VINILA) SEM ADITIVO INCORPORADOR DE AR

PROPERTIES OF CONTROLLED HYDRATION MORTARS CONTAINING EVA (ETHYLENE VINYL ACETATE) WITHOUT AIR-ENTRAINING ADDITIVE

Rian Campos Almeida[1]; Maria Eduarda do Nascimento Souto[2]; Jhennifer Larissa de Barros Silva[3]; Gabriel Freire dos Santos[4]; Adolpho Guido de Araújo[5]; Aline Figueiredo da Nóbrega[6].

[1]Estudante de Graduação | riancalmeida@gmail.com | UFCG | Campina Grande, Brasil;
[2]Engenheira Civil | eduarda.solto501@gmail.com | UFCG | Campina Grande, Brasil;
[3]Estudante de Graduação | jhennifer.larissa@estudante.ufcg.edu.br | UFCG | Campina Grande, Brasil;
[4]Estudante de Graduação | gabriel.freire@estudante.ufcg.edu.br | UFCG | Campina Grande, Brasil;
[5] Doutor | aguia@poli.br | UFPE | Recife, Brasil;
[6] Doutor | alinefnobrega@hotmail.com | UFCG | Campina Grande, Brasil.

Resumo:
A procura por materiais alternativos capazes de melhorar as características das argamassas tem crescido, especialmente nas argamassas de hidratação controlada, que permanecem trabalháveis por até 72 horas. Contudo, o uso de aditivos como incorporadores de ar (AIA) e estabilizadores de hidratação (AEH) eleva o seu custo. Diante disso, a incorporação de resíduos industriais surge como alternativa sustentável e economicamente viável. Este trabalho investigou argamassas de hidratação controlada contendo metacaulim (10%) e resíduo de EVA, proveniente da indústria calçadista, como substituto parcial do agregado miúdo nas proporções de 10%, 30% e 50%, além da argamassa de referência. Utilizou-se o traço 1:3 (aglomerante: agregado), em volume, com teor de água fixado em 0,95 e 0,5% de AEH sobre a massa de cimento. As argamassas foram analisadas em dois tempos de estabilização: 0h e 48h. Avaliaram-se propriedades no estado fresco (índice de consistência, densidade de massa e teor de ar incorporado) e no estado endurecido (absorção por capilaridade e resistência mecânica). Os resultados indicaram que o EVA aumentou a trabalhabilidade após 48h, porém reduziu as resistências mecânicas à medida que o teor de substituição aumentou, sendo seu uso viável até 30% de EVA, com potencial de contribuir para os ODS 9, 11 e 12.

Palavras-chave:
Resíduo de EVA (Etileno Vinil Acetato); Resíduo Industrial; Metacaulim; Sustentabilidade.

Abstract:
The search for alternative materials capable of improving the characteristics of mortars has grown, especially for controlled hydration mortars, which remain workable for up to 72 hours. However, the use of additives such as air-entraining admixtures (AIA) and hydration stabilizers (AEH) increases their cost. In view of this, the incorporation of industrial waste has emerged as a sustainable and economically viable alternative. This study investigated controlled hydration mortars containing metakaolin (10%) and EVA waste from the footwear industry as a partial substitute for fine aggregate in proportions of 10%, 30% and 50%, in addition to the reference mortar. A 1:3 (binder:aggregate) mix was used, with the water content set at 0.95 and 0.5% EVA on the cement mass. The mortars were analyzed at two stabilization times: 0h and 48h. Properties were assessed in the fresh state (consistency index, bulk density and incorporated air content) and in the hardened state (capillary absorption and mechanical strength). The results indicated that EVA increased workability after 48 hours, but reduced mechanical strength as the substitution content increased, making it viable to use up to 30% EVA, with the potential to contribute to SDGs 9, 11 and 12.

Keywords:
EVA residue (Ethylene Vinyl Acetate); Industrial Waste; Metakaolin; Sustainability.

1. INTRODUÇÃO

Na construção civil, as argamassas convencionais ainda são amplamente utilizadas nos canteiros de obras, mas enfrentam desafios significativos relacionados à produtividade, qualidade e desperdício de materiais. Além disso, demandam tempo e mão de obra para o preparo, o que eleva os custos de produção (Antoniazzi, 2019). Diante desse cenário, as argamassas de hidratação controlada (AHC), também denominadas argamassas estabilizadas, surgem como uma alternativa mais eficiente, visto que são produzidas em centrais industriais, transportadas por caminhões betoneira e entregues prontas para uso, de forma semelhante ao concreto usinado. Avanços recentes, como a padronização pela NBR 13.281 (ABNT, 2023a), e a formação do CT 204 pelo IBRACON, visam aprofundar o entendimento desse material, bem como a sua utilização.

As argamassas de hidratação controlada são compostas por cimento, areia fina (podendo variar a granulometria conforme a aplicação) e aditivos como estabilizadores de hidratação (AEH) e incorporadores de ar (AIA) (Carasek, 2010; Bauer *et al.*, 2015), sendo projetadas para um período de utilização estendido, geralmente entre 24 e 72 horas. Os AEH controlam a reação de hidratação do cimento, mantendo a argamassa trabalhável, enquanto os AIA melhoram a plasticidade e a coesão. Para garantir a estabilização, é necessário evitar a perda de água da argamassa armazenada, frequentemente protegida por uma lâmina d'água (Matos, 2013). Após a aplicação, seu comportamento é similar ao das argamassas convencionais (Macioski, 2014). Diversos fatores, como método e tempo de mistura, tipo e quantidade de aditivos, características dos agregados, qualidade da água e condições ambientais, podem influenciar o desempenho final da argamassa (Casali *et al.*, 2017; Antoniazzi, 2019).

Nesse contexto, cresce o interesse pela incorporação de resíduos industriais como alternativa para aprimorar o desempenho das argamassas e contribuir para práticas mais sustentáveis. Estudos envolvendo argamassas e concretos convencionais já demonstram a viabilidade do uso de resíduos como o Etileno Vinil Acetato (EVA), provenientes da indústria calçadista, resíduos cerâmicos e pó de borracha de pneu (Andrade, Medeiros, 2012; Melo, 2017; Bernardi, 2019). O EVA, em especial, tem mostrado potencial de melhorar o isolamento acústico e reduzir a massa específica da argamassa, o que pode beneficiar a estrutura final (Andrade, Medeiros, 2012).

No entanto, a adição do resíduo pode reduzir a resistência mecânica da argamassa. Para mitigar esse efeito, a utilização de adições pozolânicas, como o metacaulim, surge como uma alternativa eficiente, uma vez que esse material contribui para a durabilidade e o desempenho mecânico, além de reduzir a porosidade e melhorar a resistência à penetração de agentes agressivos (Paulino, 2020; Laurentino, 2019; Mota *et al.*, 2016).

Além disso, essa abordagem contribui diretamente com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, ao promover inovação nos processos construtivos, incentivar práticas de economia circular e reduzir os impactos ambientais. A indústria calçadista, segundo Abicalçados (2022), é uma das maiores do país e responsável por gerar grande volume de resíduos que, muitas vezes, são descartados de forma inadequada. A substituição parcial da areia por esse resíduo contribui, portanto, para a preservação de um recurso natural cada vez mais escasso (UNEP, 2022), e reduz a pegada de carbono associada à construção civil.

Diante disso, esta pesquisa propõe a produção de argamassas de hidratação controlada (AHC) incorporando a adição pozolânica do metacaulim e promovendo a substituição parcial do agregado miúdo pelo resíduo de EVA, sem o uso de aditivo incorporador de ar. A proposta busca avaliar as propriedades da argamassa no estado fresco e endurecido.

2. MÉTODOS

O procedimento metodológico seguiu as seguintes etapas:

a) Caracterização física dos materiais (massa unitária, massa específica e composição granulométrica);

b) Preparo das amostras;
c) Ensaios no estado fresco (índice de consistência, densidade de massa fresca e teor de ar incorporado);
d) Ensaios no estado endurecido (densidade de massa aparente, absorção de água por capilaridade, resistência à tração na flexão e resistência à compressão axial).

2.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS MATERIAIS

Durante todo o processo da pesquisa, foram utilizados os seguintes materiais: Cimento Portland (CP V-ARI), areia natural lavada (AN), água, resíduo calçadista (EVA), metacaulim comercial (MC) e aditivo estabilizador de hidratação (AEH).

A caracterização física dos materiais utilizados na produção das argamassas foi realizada por meio de ensaios de massa unitária, conforme a NBR 16972 (ABNT, 2021), e de massa específica, de acordo com a NBR 16.605 (ABNT, 2017). O cimento Portland (CP V-ARI) apresentou massa unitária de 0,916 g/cm³ e massa específica de 2,92 g/cm³. Para a areia natural (AN), os valores foram de 1,670 g/cm³ e 2,62 g/cm³, respectivamente. O resíduo calçadista (EVA) apresentou massa unitária de 0,264 g/cm³ e massa específica de 1,25 g/cm³, enquanto o metacaulim comercial (MC) apresentou massa unitária de 0,491 g/cm³ e massa específica de 2,59 g/cm³. O aditivo estabilizador de hidratação (AEH) apresentou massa específica de 1,140 g/cm³.

As curvas granulométricas do MC e EVA foram obtidas pelo método de difração de raios laser via seco, por um granulômetro CILAS 1090, medindo partículas de 0,04 µm a 500 µm. Os resultados para o metacaulim, utilizado no estudo, foram fornecidos por Sales (2022) que utilizou o mesmo material. Esses resultados estão apresentados na Figura 1 (a). Já a composição granulométrica da areia natural (AN), determinada conforme a NBR 17.054 (ABNT, 2022), é exibida na Figura 1(b).

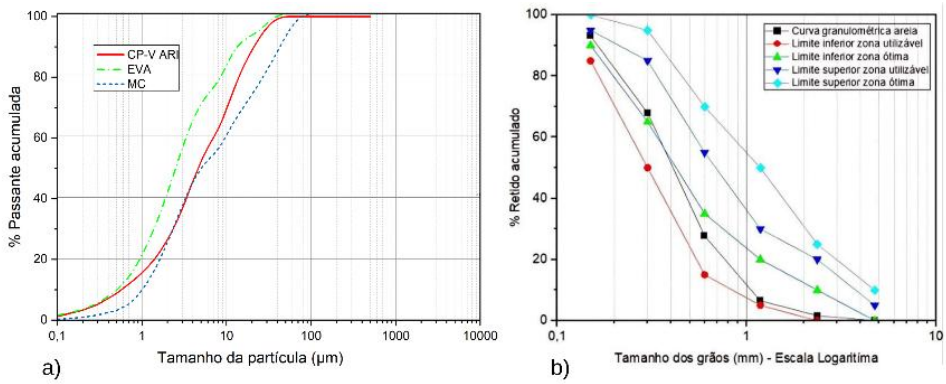

Figura 1: a) Resultados da análise granulométrica do MC, CP-V, EVA; b) Resultado da análise granulométrica da AN.
Fonte: Os autores (2025).

As análises granulométricas mostram que o MC tem partículas maiores com dimensão em torno de 50 µm, enquanto o EVA possui dimensão máxima de 56 µm. Cerca de 70% das partículas no CP-V-ARI têm diâmetro inferior a 10,1 µm, enquanto no MC, cerca de 70% têm diâmetro inferior a 10 µm. Notavelmente, o MC tem grãos menores do que o CP-V-ARI, o que pode contribuir para o efeito fíller. Na Figura 1 (b), a areia utilizada apresenta um diâmetro máximo dos grãos foi de 2,40 mm e o módulo de finura de 2,0.

2.2. PREPARO DAS AMOSTRAS

A preparação das amostras de argamassa envolveu uma mistura de referência e outras três variações com diferentes teores de substituição do agregado miúdo por resíduo de EVA. Todas as amostras, incluindo a de referência, continham 10% de metacaulim (MC) em massa do aglomerante. Ressalta-se que não foi utilizado o aditivo incorporador de ar (AIA) em nenhuma das composições. As argamassas com EVA foram formuladas com substituições de 10%, 30% e 50% em volume da areia pelo resíduo de EVA. Como o EVA é mais volumoso que a areia, sua incorporação foi realizada com base no volume, convertendo-se posteriormente as quantidades em massa para a preparação

em laboratório. Todos os materiais tiveram suas proporções ajustadas para massa, a fim de garantir precisão na dosagem.

O traço da mistura de referência utilizada neste estudo foi de 1:3 (aglomerante: agregado) em volume, o que corresponde, após conversão, a 1:5,35 em massa. A relação água/cimento (a/c) foi fixada em 0,95, uma vez que estudos laboratoriais prévios indicaram que valores inferiores resultaram em perda significativa de trabalhabilidade após 48 horas de estabilização. Para assegurar a estabilidade da mistura, foi adicionado 0,5% de aditivo estabilizador de hidratação (AEH) em massa do aglomerante, conforme a dosagem recomendada pelo fabricante, que varia entre 0,2% e 1,0%. Os teores de aditivo foram definidos com base nos estudos de Paulino (2020) e com os dados fornecidos pela concreteira local SUPERMIX CONCRETO SA, situada em Campina Grande-PB, onde a pesquisa foi desenvolvida.

Quanto à substituição do agregado miúdo pelo resíduo de EVA, foram adotados teores de 10%, 20% e 30%, com base no estudo de Andrade e Guimarães (2017), que evidenciou diferenças significativas nas propriedades das argamassas com esses níveis de substituição. Essa substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de EVA também se justifica por uma questão sustentável, já que contribui para a redução do uso da areia natural, cuja extração em grande escala tem causado sérios impactos ambientais (Macedo, 2021). A escolha do teor de 10% de metacaulim fundamentou-se nos estudos de Paulino (2020), que relataram um aumento na resistência à compressão axial em comparação à mistura de referência. O metacaulim foi incorporado por suas propriedades pozolânicas, que favorecem o desenvolvimento da resistência mecânica (Laurentino, 2019).

Como descrito anteriormente, optou-se por não utilizar aditivo incorporador de ar (AIA), visto que ensaios laboratoriais pilotos demonstraram que o aumento da substituição por EVA favorece a incorporação de ar.

O procedimento de mistura das argamassas foi realizado conforme as diretrizes da NBR 16.541 (ABNT, 2016b). As etapas seguidas durante o processo foram as seguintes:

a) Inserção dos materiais secos no recipiente da batedeira e adição de 75% da água com o aditivo estabilizador de hidratação. Mistura por 30 segundos em velocidade baixa e 1 minuto em velocidade alta;
b) Raspagem das paredes internas do recipiente por 1 minuto;
c) Adição dos 25% restantes da água e mistura por 1 minuto em velocidade alta.

Após o amassamento, as argamassas foram submetidas a dois tempos de estabilização: 0h e 48h. Para as misturas de 0h, foram moldados seis corpos de prova em recipientes prismáticos com dimensões de 4 x 4 x 16 cm, conforme a norma NBR 13.279 (ABNT, 2005b). Já as misturas de 48h foram armazenadas em recipientes de PVC, com uma lâmina d'água de 3 cm, em local protegido do sol e do vento. Após o tempo de estabilização correspondente, as amostras foram moldadas e, posteriormente, desmoldadas após o endurecimento. Em seguida, seguiu para uma cura úmida até os 28 dias de idade antes de serem avaliadas no estado endurecido.

No estado fresco, foram realizados os ensaios de índice de consistência - NBR 13.276 (ABNT, 2016a), densidade massa fresca e teor de ar incorporado - NBR 13.278 (ABNT, 2005a). Já para o estado endurecido avaliou-se a absorção de água por capilaridade - NBR 15.259 (ABNT, 2005c), resistência à compressão axial e resistência à tração na flexão - NBR 13.279 (ABNT, 2005b).

Quanto ao ensaio de absorção de água por capilaridade, três corpos de prova foram posicionados sobre uma lâmina contendo água destilada com altura de 5 ± 1 mm. As massas foram aferidas nos tempos de 10 minutos e 90 minutos, a fim de se determinar a absorção capilar ao longo do tempo. Além disso, no que se refere aos ensaios mecânicos, foram utilizados três corpos de prova para cada mistura, os quais foram rompidos em uma prensa hidráulica da marca Shimadzu Servopulser, modelo EHF-EM100K1-020-0A, com capacidade máxima de 100 kN e velocidade de carregamento de 50 N/s.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. ESTADO FRESCO

A consistência das argamassas foi avaliada com base no índice de consistência, adotando-se o valor de 260 ± 5 mm, conforme especificado na NBR 16.541 (ABNT, 2016b). Para cada mistura, foram realizadas três medições dos diâmetros de espalhamento, e a média dos valores obtidos foi calculada. A Figura 2 apresenta os resultados referentes ao ensaio.

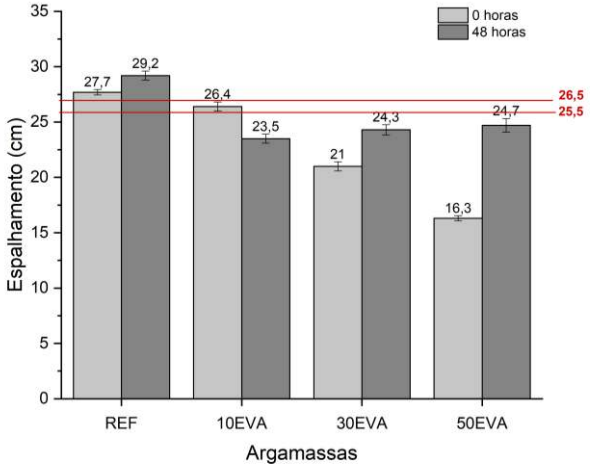

Figura 2: Espalhamento das argamassas de hidratação controlada sem e com o EVA.
Fonte: Os autores (2025).

Conforme a Figura 2, no tempo de 0h, observa-se uma redução progressiva no espalhamento das argamassas com a substituição do agregado miúdo pelo resíduo de EVA, em relação à argamassa de referência (REF). A mistura 10EVA apresentou uma redução de 4,69%, enquanto 30EVA e 50EVA apresentaram reduções mais expressivas, de 24,19% e 41,17%, respectivamente. Apenas a mistura 10EVA manteve-se no intervalo estabelecido por norma.

Após 48h de estabilização, todas as amostras contendo EVA apresentaram valores inferiores ao da REF. As reduções para 10EVA, 30EVA e 50EVA foram de 19,52%, 16,78% e 15,41%, respectivamente. No entanto, ao comparar os valores de espalhamento entre os tempos de 0h e 48h dentro de cada grupo, nota-se que 30EVA e 50EVA tiveram aumentos de 15,71% e 51,53%, respectivamente, enquanto a 10EVA apresentou queda de 10,98%. Esse comportamento foi observado tanto nas amostras contendo EVA quanto na amostra de referência, sendo atribuído a fatores como a redistribuição da água na matriz da argamassa e a dispersão mais eficiente das partículas ao longo do tempo (Pinheiro *et. al.*, 2019).

Quanto a densidade de massa fresca e teor de ar incorporado, a Figura 3 apresenta os resultados obtidos.

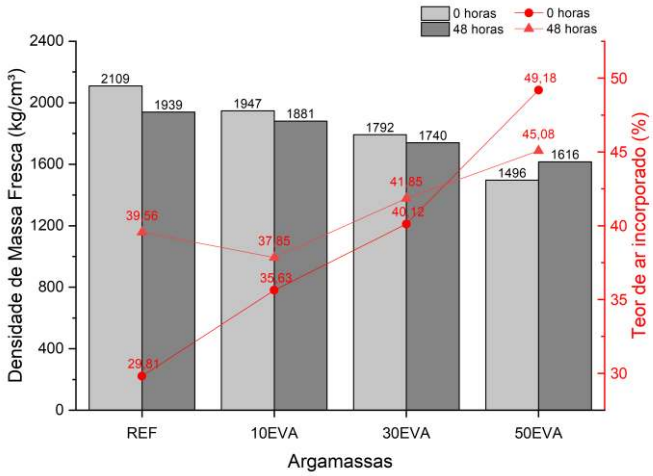

Figura 3: Gráfico: densidade de massa fresca e teor de ar incorporado das argamassas de hidratação controlada sem e com o EVA.
Fonte: Os autores (2025).

Na Figura 3, verifica-se que a densidade de massa fresca diminui com o aumento da substituição do agregado miúdo por resíduo de EVA, tanto no tempo de 0h quanto após 48h. Em 0h, as misturas 10EVA, 30EVA e 50EVA apresentaram reduções de 7,67%, 15,03% e 29,08%, respectivamente, em relação à argamassa de referência. Após 48h, as mesmas amostras continuaram apresentando densidades inferiores à REF, com reduções de 3,00% para 10EVA, 10,27% para 30EVA e 16,66% para 50EVA. No entanto, a amostra 50EVA apresentou um aumento de 8,33% em sua própria densidade entre 0h e 48h, possivelmente devido à redução do teor de ar incorporado ao longo do tempo.

Em relação ao teor de ar incorporado no tempo de 0h, todas as misturas com EVA apresentaram aumento em comparação à argamassa de referência. A amostra 10EVA teve um acréscimo de 19,5%, enquanto 30EVA e 50EVA apresentaram aumentos de 34,5% e 64,9%, respectivamente, indicando que a incorporação de EVA favorece a introdução de ar na argamassa. Com 48h de estabilização, a mistura 10EVA decaiu 4,3% em relação à referência, enquanto as misturas 30EVA e 50EVA apresentaram um aumento de 5,8% e 13,9%, respectivamente. Segundo a NBR 13281-2 (ABNT, 2023), o teor de ar incorporado em argamassas destinadas ao assentamento não deve ultrapassar 22%. Considerando esse critério, observa-se que todas as formulações avaliadas excederam esse limite, o que pode comprometer sua aplicação em determinadas funções. Resultados semelhantes foram observados por Souza (2023), reforçando essa tendência.

3.2. ESTADO ENDURECIDO

Quanto à análise no estado endurecido, a Figura 4 apresenta os resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade, realizado consoante a NBR 15.259 (ABNT, 2005c).

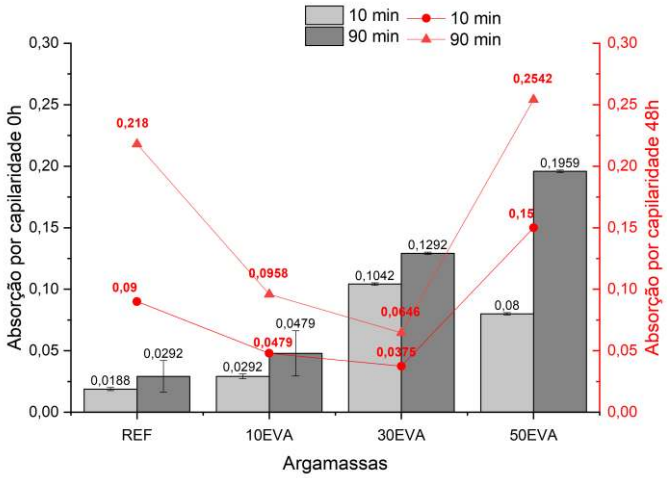

Figura 4: Gráfico: absorção de água por capilaridade das argamassas de hidratação controlada sem e com o EVA.
Fonte: Os autores (2025).

Conforme a Figura 4, no tempo de 0h, todas as misturas com EVA apresentaram maior absorção por capilaridade, tanto em 10 quanto em 90 minutos, em comparação à argamassa de referência. Em 10 minutos, os aumentos foram de 55,3% para 10EVA, 455,3% para 30EVA e 325,5% para 50EVA. Já em 90 minutos, os acréscimos foram de 64,1% para 10EVA, 342,5% para 30EVA e 563,1% para 50EVA em relação à REF.

Após 48h de estabilização, a mistura 10EVA apresentou reduções de 46,8% em 10 minutos e 56,0% em 90 minutos, em relação à mistura de referência. A 30EVA também teve diminuições, sendo 58,3% em 10 minutos e 70,3% em 90 minutos. Já a 50EVA foi a única que apresentou aumento, com 66,7% a mais em 10 minutos e 16,6% em 90 minutos, comparada à REF.

Nas misturas realizadas após 48 horas, o aumento na absorção foi superior em comparação às misturas de 0 horas. Esse aumento da absorção após 48 h em relação à 0h de estabilização, pode estar relacionada com a formação de poros intercomunicáveis gerados pela evaporação da água livre na matriz devido a maior exsudação provocada durante as 48h de estabilização, ocasionando o acréscimo da porosidade, consequentemente, aumentando a absorção de água das argamassas, como constatado também por Garlet (1998) para o concreto.

No que tange aos resultados de resistência mecânica, a Figura 5 apresenta os dados obtidos para a resistência à compressão axial e resistência à tração por flexão.

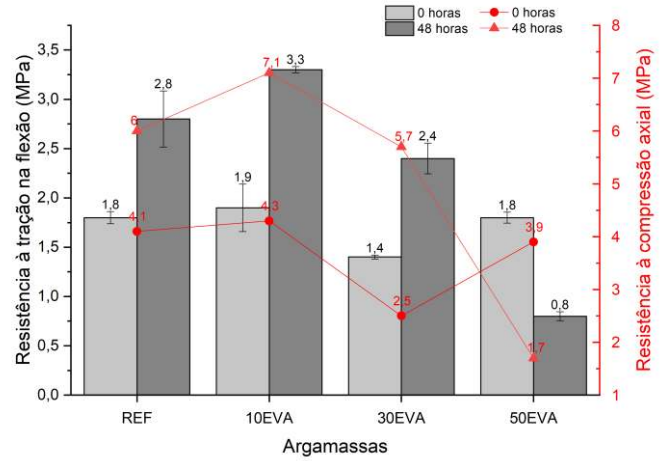

Figura 5: Gráfico: resistência à compressão axial e resistência à tração na flexão das argamassas de hidratação controlada sem e com o EVA.
Fonte: Os autores (2025).

Segundo a Figura 5, observa-se que, no tempo de 0h, as misturas com substituição por resíduo de EVA apresentaram variações em relação à argamassa de referência. A mistura 10EVA apresentou aumento de 4,88% na resistência à compressão, enquanto as misturas 30EVA e 50EVA apresentaram reduções de 39,02% e 4,88%, respectivamente. Em 48h, a 10EVA obteve aumento de 18,33% em relação à referência, a 30EVA teve redução de 5,00%, e a 50EVA apresentou uma queda acentuada de 71,67%. De acordo com a classificação da NBR 13281-2 (ABNT, 2023) e os resultados apresentados na Figura 5, todas as misturas analisadas no tempo de 0 horas apresentaram resistência à compressão abaixo do valor mínimo exigido para a classe AAE5 (5 MPa). Após 48 horas de estabilização, no entanto, observou-se uma melhora em todos os resultados, com exceção da mistura com 50% de EVA, que ainda apresentou resistência inferior ao limite estabelecido pela norma.

No que se refere à resistência à tração na flexão, em 0h, a mistura 10EVA apresentou aumento de 5,56% em relação à referência, a 30EVA teve redução de 22,22%, e a 50EVA apresentou o mesmo valor da REF. Após 48 horas, a 10EVA obteve aumento de 17,86% em comparação com a referência, enquanto a 30EVA apresentou redução de 14,29%, e a 50EVA um decréscimo de 71,43%. Adotando a classificação da NBR 13281-1 (ABNT, 2023) e analisando os resultados da Figura 5, observa-se que apenas as amostras com 30% de EVA, no tempo de 0 horas, e a amostra com 50% de EVA, após 48 horas de estabilização, apresentaram resistência à tração inferior ao valor mínimo exigido para a classificação R1 (1,5 MPa). Todas as demais formulações apresentaram resistência à tração superior a 1,5 MPa, enquadrando-se, portanto, em classes superiores à R1.

Os melhores resultados foram observados na mistura 10EVA, tanto na compressão quanto na tração por flexão. A mistura 30EVA apresentou melhora ao longo do tempo, embora tenha se mantido levemente abaixo da referência. A 50EVA, por sua vez, demonstrou perda significativa de desempenho em ambas as resistências com o tempo de estabilização. De acordo com Souza (2023), que utilizou os mesmos materiais e observou comportamento semelhante, esse resultado pode ser atribuído ao excesso de água livre na matriz, cuja evaporação durante o processo de endurecimento reduziu a disponibilidade de água para as reações de hidratação, comprometendo o desenvolvimento adequado da microestrutura do compósito. Além disso, segundo Guimarães e Andrade (2017), a utilização de agregados menos resistentes, como o resíduo de EVA, pode comprometer a aderência à matriz cimentícia e resultar em maiores índices de porosidade.

4. CONCLUSÕES

A partir da análise dos dados obtidos, é possível concluir que:

- No estado fresco, houve redução no índice de consistência com o aumento do teor de EVA, sendo que apenas a mistura com 10%, com 0 horas de estabilização, manteve-se dentro do limite estabelecido pela norma NBR 16.541 (ABNT, 2016b). Apesar disso, após 48 horas de estabilização, as misturas 30EVA e 50EVA apresentaram melhora no espalhamento, o que pode indicar uma ação retardada do EVA na liberação de água, influenciando positivamente a trabalhabilidade da mistura ao longo do tempo.
- A densidade de massa fresca reduziu à medida que aumentou o teor de EVA, enquanto o teor de ar incorporado aumentou, principalmente nas misturas com maiores percentuais de substituição de areia por EVA. Isso reforça a capacidade do resíduo de EVA incorporar ar, o que pode permitir a redução ou eliminação do uso de aditivos incorporadores de ar.
- Em relação à absorção de água por capilaridade, as misturas 10EVA e 30EVA mostraram redução significativa após 48 horas. Por outro lado, a mistura 50EVA apresentou aumento na absorção, o que pode estar relacionado à formação de poros interligados.
- Quanto às resistências mecânicas, a mistura 10EVA foi a que apresentou os melhores resultados, apresentando aumento tanto na compressão axial quanto na tração por flexão, em comparação à referência. A mistura 30EVA obteve um desempenho inferior à REF,

enquanto a 50EVA apresentou um comportamento estável para resistência à tração na flexão e uma queda significativa na resistência à compressão, possivelmente devido à menor aderência do EVA à matriz cimentícia e ao aumento da porosidade. De forma geral, os resultados atendem, em sua maioria, aos requisitos mínimos de desempenho definidos pelas normas NBR 13.281-1 (ABNT, 2023a) e NBR 13.281-2 (ABNT, 2023b), considerando os valores de resistência aos 28 dias.

Em conclusão, o uso de aditivo incorporador de ar pode ser dispensado nas formulações de argamassas com adição de resíduo de EVA, uma vez que estas apresentaram teor de ar incorporado superior ao limite estabelecido em norma. Além disso, a substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de EVA, em combinação com metacaulim, mostrou-se viável para a produção de argamassas de assentamento, conforme os critérios das normas NBR 13.281-1 (ABNT, 2023a) e NBR 13.281-2 (ABNT, 2023b), desde que observadas as porcentagens adequadas de substituição. Para teores superiores a 30%, as argamassas não atenderam ao requisito mínimo de resistência mecânica definido pelas normas. Recomenda-se, portanto, a realização de estudos complementares para avaliar a influência da película de água nas misturas com resíduo de EVA, especialmente em substituições mais elevadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABICALÇADOS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE CALÇADOS. **Relatório sensorial indústria de calçados.** Brasil, 2022. Disponível em: https://assets.abicalcados.com.br/3374/Relat%C3%B3rio-Setorial-2022.pdf. Acesso em: 5 mai. 2025.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016a.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005a.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005b.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.281-1**: Argamassas inorgânicas — Requisitos e métodos de ensaios. Parte 1: Argamassas para revestimento de paredes e tetos. Rio de Janeiro, 2023a.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.281-2**: Argamassas inorgânicas — Requisitos e métodos de ensaios. Parte 2: Argamassas para assentamento e argamassas para fixação de alvenaria. Rio de Janeiro, 2023b.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.259**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005c.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16.541**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura para a realização de ensaios. Rio de Janeiro, 2016b.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16.605**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16.972**: Agregados – Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro, 2021.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17.054**: Agregados – Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2022.

ANDRADE, É. S.; GUIMARÃES, C. C. Propriedades de argamassas com EVA (Ethylene Vinyl Acetate) em substituição parcial ao agregado. **Reec – Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 13, n. 1, p. 174-192, 2017.

ANDRADE, L. A. S.; MEDEIROS, R. Reaproveitamento de rejeitos de EVA para produção de placas utilizáveis na construção civil. **Revista Científica Indexada Linkania Master**, v. 3, n. 3, p. 1-13, 2012.

ANTONIAZZI, J. P. **O efeito dos aditivos incorporador de ar e estabilizador de hidratação nas propriedades das argamassas estabilizadas**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2019.

BAUER, E.; REGUFFE, M.; NASCIMENTO, M. L. M.; CALDAS, L. R. Requisitos das argamassas estabilizadas para revestimento. *In:* **Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**, Porto Alegre, 2015.

BERNARDI, T. M. **Avaliação do comportamento de argamassas de revestimento com incorporação de pó de borracha de pneu**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal do Pampa. Alegrete, 2019.

CARASEK, H. Argamassas. *In:* ISAIAS, G. C. (ed.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais.** São Paulo: IBRACON, p. 892-944, 2010.

CASALI, J. M.; MANN NETO, A.; ANDRADE, D. C.; ARRIAGADA, N. T. **Avaliação das propriedades do estado fresco e endurecido da argamassa estabilizada para revestimento**. *In:* **Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**, São Paulo, 2017.

GARLET, G. **Aproveitamento de Resíduos de E.V.A. (Ethylene Vinyl Acetate) como Agregado para Concreto Leve na Construção Civil.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1998

LAURENTINO, R. N. A. **Estudo da argamassa estabilizada para assentamento com adição mineral de metacaulim**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal de Campina Grande. Paraíba, 2019.

MACEDO, J. W. N. de. **Argamassa de revestimento produzida a partir da substituição do agregado natural por resíduo de scheelita e pó de pedra.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2021.

MACIOSKI, G. **Avaliação do comportamento de argamassas estabilizadas para revestimento.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

MATOS, P. R. D. **Estudo da utilização de argamassa estabilizada em alvenaria estrutural de blocos de concreto.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2013.

MOTA, J. M. F.; OLIVEIRA, R. A.; CARNEIRO, A. M. P. Durabilidade de argamassas com adição de metacaulim para reforço de alvenaria. **Revista Matéria**, v. 21, n. 4, p. 1105-1116, 2016.

PAULINO, I. M. **Propriedades de argamassa estabilizada contendo metacaulim e resíduo de tijolo cerâmico.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2020.

PINHEIRO, R. C.; AMORIM, E. C. A.; SILVA, C. S. D.; COSTA E SILVA, A. J. D. Avaliação das Propriedades da Argamassa Estabilizada de 36 Horas em Diferentes Tempos de Utilização. *In:* **Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**, Goiânia, 2019.

SALES, L. P. B. **Influência do cloreto de cálcio nas propriedades reológicas de pastas de cal com adições pozolânicas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2022.

SILVA, I. C. **Argamassa estabilizada para assentamento contendo etileno acetato de vinila (EVA) e metacaulim**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal de Campina Grande. Paraíba, 2023.

SOUZA, L. S. M. **Propriedades de argamassas estabilizadas contendo metacaulim e EVA (etileno acetato de vinila)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2023.

UNEP – UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Sand and sustainability: 10 strategic recommendations to avert a crisis.** Geneva: GRID-Geneva, 2022.