

## Capilaridade em argamassas usinadas: aplicação de diferentes métodos experimentais

## Capillarity in machined mortars: application of different experimental methods

## Capilaridad en morteros mecanizados: aplicación de diferentes métodos experimentales

Bianca Medeiros Menezes<sup>1</sup>  
Cesar Fabiano Fioriti<sup>2</sup>

**Resumo:** O trabalho focou na comparação de duas metodologias – ABNT NBR 15259 (2005) e BS EN 1015-18 (2002) – na realização de ensaios de capilaridade e do coeficiente de capilaridade, em diferentes argamassas usinadas. O programa experimental envolveu ensaios de consistência, densidade de massa (estado endurecido), absorção por imersão total e capilaridade. Os resultados demonstraram que: [a] a NBR 15259 (2005) pode ser considerada tradicional em seus procedimentos, [b] a BS EN 1015-18 (2002) tem seus procedimentos para execução mais rigorosos, [c] há equivalência entre os resultados do coeficiente de capilaridade entre os métodos envolvidos (nos tempos verificados), embora a taxa média de absorção seja inferior com a BS EN 1015-18 (2002).  
**Palavras-chave:** Comparação de métodos. Normas técnicas. Testes experimentais. Argamassas.

**Abstract:** The paper focused on comparing two methodologies – ABNT NBR 15259 (2005) and BS EN 1015-18 (2002) – in carrying out capillary and capillary coefficient tests on different machined mortars. The experimental program involved consistency tests, mass density (hardened state), immersion absorption total and capillary. The results demonstrated that: [a] NBR 15259 (2005) can be considered traditional in its procedures, [b] BS EN 1015-18 (2002) has more rigorous execution procedures, [c] there is equivalence between the results of the capillary coefficient between the methods involved (in the times verified), although the average absorption rate is lower than the BS EN 1015-18 standard (2002).

**Keywords:** Comparison of methods. Technical standards. Experimental tests. Mortars.

**Resumen:** El trabajo se centró en comparar dos metodologías – ABNT NBR 15259 (2005) y BS EN 1015-18 (2002) – en la realización de ensayos de capilar y coeficiente de capilaridad en diferentes morteros mecanizados. El programa experimental incluyó pruebas de consistencia, densidad de masa (estado endurecido), absorción por inmersión total y capilar. Los resultados demostraron que: [a] la NBR 15259 (2005) puede considerarse tradicional en sus procedimientos, [b] la BS EN 1015-18 (2002) tiene procedimientos de ejecución más rigurosos, [c] existe equivalencia entre los resultados del coeficiente de capilaridad entre los métodos involucrados (en los tiempos verificados), aunque la tasa de absorción promedio es inferior a la norma BS EN 1015-18 (2002).

**Palabras-clave:** Comparación de métodos. Normas técnicas. Pruebas experimentales. Morteros.

Submetido 28/11/2023

Aceito 24/07/2024

Publicado 05/08/2024

<sup>1</sup> Graduanda em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual Paulista (FCT/UNESP). ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0290-257X>. E-mail: bianca.menezes@unesp.br

<sup>2</sup> Doutor em Ciências da Engenharia Ambiental. Universidade Estadual Paulista (FCT/UNESP). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5461-4495>. E-mail: c.fioriti@unesp.br

### Considerações iniciais

Definida como o fenômeno de atração e repulsão dado pelo contato de líquidos com um corpo sólido, a capilaridade ou mesmo ação capilar é dada pela tendência de líquidos subirem por tubos capilares, geralmente em se tratando da água, cujas moléculas por interações intermoleculares propiciam um movimento ascendente, que se repete continuamente (Paranhos et al., 2008). A capilaridade acontece no momento em que o material poroso entra em contato permanente com a água no estado líquido, tal fenômeno oportuniza propriedades de umidificação dos grãos sólidos consideradas como particulares, já que assegura a formação das intituladas interfaces curvas entre a água e o ar retido nos poros (Freitas et al., 2008).

Diante disso, é importante mencionar a norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 13281-1 (2023) – que se refere às argamassas para revestimentos e assentamentos –, norma nacional que gerou contribuições na temática, ou seja, prescreve um processo de padronização em sua caracterização. Contudo, visa estabelecer exigências reológicas e mecânicas por intermédio de programa experimental de ensaios, entre eles: densidade de massa aparente, capacidade de resistir à tração, capacidade de resistir à compressão, capacidade de reter água, capacidade de resistir à tração na flexão, determinação do coeficiente capilar e capacidade de resistir à aderência.

Referente a problemática ambiental que acontece mundialmente, mais precisamente a geração exacerbada de resíduos provenientes dos variados setores (industriais, comerciais e residenciais), muitos pesquisadores estão incorporando materiais residuais nos compósitos cimentícios visando a mitigação do volume acumulado e a contribuição com o ecossistema. Destarte, Cruz et al. (2019) estudaram a permeabilidade e a absorção de água capilar em argamassas produzidas com metacaulim e cal hidratada incorporadas com 10% de gesso em massa (comercial ou reciclado), pode-se notar que a incorporação de gesso possibilitou aumento da permeabilidade ao ar e também influenciou na capacidade de absorver água por capilaridade, pois possibilitou maior absorção capilar quando comparado às argamassas denominadas de referência (contendo cal hidratada ou metacaulim).

No tocante ainda dos materiais alternativos sustentáveis, Silva et al. (2020) incorporaram Poliestireno Expandido – EPS em argamassas denominadas de leves, em teores que variaram de 20 a 30% em volume. Os resultados dos ensaios indicaram que ocorreu redução da absorção por capilaridade nas argamassas produzidas com EPS, principalmente nos traços

com incorporação de 20%. Cabe salientar que os citados autores também realizaram ensaios de absorção por imersão total que corroboraram com os resultados obtidos com a propriedade capilaridade.

Enquanto Brito et al. (2023) utilizaram lodo têxtil em argamassas, variando os percentuais de incorporação de 10 a 25% como substituição do agregado, em que afirmaram ocorrer redução da capacidade de absorver água, justificada pela quantidade de material residual fino que poderia ter preenchido os poros das argamassas produzidas. Também relataram que com o aumento dos percentuais de incorporação de lodo têxtil ocorreu maior redução das taxas de água absorvida nos compósitos produzidos.

Deste modo, a capilaridade quando estudada em compósitos de cimento tradicionais ou alternativos se torna um ponto relevante para o entendimento da performance de argamassas, bem como para a apreciação do processo de durabilidade deste tipo de material.

Diante do exposto, o objetivo geral do trabalho centrou na comparação de duas metodologias distintas de normas técnicas – ABNT NBR 15259 (2005) e British Standard – BS EN 1015-18 (2002) – aplicado na realização de ensaios para verificação da absorção de água por capilaridade e do respectivo coeficiente de capilaridade, em corpos de prova produzidos com diferentes argamassas usinadas.

### **Sobre a absorção por capilaridade em argamassas**

Os denominados revestimentos em argamassa têm propriedades diversas, entre elas: consistência, trabalhabilidade, retração, aderência, resistências mecânicas (tração, compressão), capacidade de absorção de água, capacidade de absorver deformações, entre outras. Todavia, segundo Joffily et al. (2018), desempenham a função de proteção e conseqüentemente propiciam o prolongamento da durabilidade e da vida útil dos sistemas estruturais e dos sistemas de vedação, pois acabam por evitar a ação direta de alguns agentes atuantes nas superfícies das edificações, como exemplo as anomalias ocasionadas pela água.

Os problemas patológicos propiciados pela água, como exemplo, a infiltração e a umidade, podem ser minimizados pelo uso de aditivos intitulados hidrofugantes incorporados nas argamassas (facilmente encontrados em estabelecimentos como lojas de materiais de construção), que têm como função tornar os revestimentos argamassados impermeáveis (Joffily et al., 2018).

Referente ao fenômeno da capilaridade, a existência de porosidade é considerada fundamental no que diz respeito a caracterização física da diversidade de materiais de construção utilizados em edificações, entre elas podem ser citadas a durabilidade e as resistências mecânicas como tração e compressão. Referente a dimensão dos poros, podemos encontrar três classificações a esse respeito: (1) os denominados microporos que acabam não participando da condução da água devido ao seu tamanho reduzido que impossibilita a passagem da água, (2) os chamados mesoporos (ou simplesmente poros capilares) que além de possuírem tamanhos de poros intermediários possibilitam a realização da condução de água no estado líquido, e (3) os intitulados macroporos (cujos poros têm as maiores dimensões) que transportam a água que se encontra no estado de vapor (Azevedo, 2013; Brito, 2009).

De maneira geral, alguns dos materiais utilizados na construção são considerados como higroscópicos (nesse caso estão inclusos os materiais cimentícios), ou seja, estando em ambientes em que ocorre a variação da umidade do ar, o seu teor de umidade acaba variando também até que atinja um estado denominado de equilíbrio, propiciado nesse caso pela adsorção de moléculas de água contidas no ar, estas se encontrando internas aos poros do material (Freitas et al., 2008).

Conforme relataram Freitas et al. (2008), visando compreender melhor a essência abordada na temática umidade, será apresentado na sequência o Quadro 1 que lista variados conceitos e parâmetros relacionados.

Quadro 1 – Conceituação e parâmetros relacionados ao tópico umidade.

Conceito/Parâmetro	Definição
Adsorção	Processo em que um determinado material com porosidade mantém moléculas de vapor de H <sub>2</sub> O presentes na região desses poros, em função de forças químicas e/ou físicas
Calor específico	Se refere à variabilidade térmica de determinado material ao receber uma quantidade específica de calor (também pode ser encontrada como capacidade térmica mássica)
Capilaridade	Processo em que o material poroso mantém H <sub>2</sub> O assim que entra em contato com H <sub>2</sub> O no estado líquido
Coefficiente de absorção de água	Caracteriza a massa de H <sub>2</sub> O absorvida pela região do material que fica em contato com H <sub>2</sub> O, de acordo com o tempo
Condensação	Processo físico em que o vapor de H <sub>2</sub> O se transforma em H <sub>2</sub> O no estado líquido, ocorrendo quando a umidade relativa atinge 100%

Evaporação	Processo físico em que a H <sub>2</sub> O líquida passa para o estado de vapor, normalmente em função de aumento de temperatura, sendo oposto da condensação
Higroscopicidade	Capacidade que o material tem de assegurar H <sub>2</sub> O por adsorção e devolver ao ambiente em que se localiza, em decorrência de temperaturas variadas e da umidade relativa
Massa volúmica	Relação do peso seco do material (sem umidade) e seu respectivo volume aparente
Permeabilidade	Se refere à capacidade dos materiais porosos de serem transpassados por determinado fluido assim que compelidos a um gradiente de pressão
Porosidade	Se refere à equivalência entre o volume de vazios dos poros e o volume total do elemento
Porosidade aberta	Materiais que permitem a movimentação de fluidos em seu interior
Porosidade fechada	Materiais cujos vazios não se comunicam entre si, permanecendo impermeáveis
Temperatura de ponto de orvalho	Se refere à temperatura até o qual o ar (ou mesmo gás) deve ser resfriado para que se inicie o processo de condensação, ou seja, temperatura que, de acordo com a quantidade de vapor de H <sub>2</sub> O presente no ar, corresponde a 100% da umidade relativa
Teor de umidade	A presença de H <sub>2</sub> O no estado líquido, sólido ou gasoso, simultaneamente ou não, permite dizer que o material se encontra úmido. Em função da quantidade de H <sub>2</sub> O contida no material podemos definir seu teor de umidade: (a) teor de umidade mássico – associação das massas de H <sub>2</sub> O e do material sem umidade, (b) teor de umidade em massa por unidade de volume – associação da massa de H <sub>2</sub> O e seu volume aparente do material sem umidade (seco), (c) teor de umidade volúmico – associação do volume de H <sub>2</sub> O presente no material e seu volume aparente do material sem umidade

Fonte: Adaptado de Freitas et al. (2008).

Posto isso, verifica-se que os diversos mecanismos que originam a umidade nos componentes de construção são considerados complexos, sendo a capilaridade um dos agentes que possibilita controlar a transferência de umidade na fase líquida. Isso significa, na prática, que o transporte realizado na fase líquida e vapor ocorre de maneira simultânea, e são dependentes da temperatura ambiente, bem como da umidade relativa, pressão exercida pelo vento, precipitação e radiação solar, sem esquecer as características que os materiais apresentam. Assim, constatou-se que a umidade está ligada ao fenômeno da capilaridade e depende de vários fatores: as propriedades dos materiais, o estado das condições climáticas, a

configuração geométrica dos componentes e a presença ou ausência de sais na água, conforme descrito por Freitas et al. (2008).

### **Materiais e métodos**

Inicialmente foram confeccionados oito corpos de prova por dosagem de argamassa usinada (totalizando 32 testemunhos). Tais corpos de prova tiveram medidas de 4 x 4 x 16 cm (prismáticos), o adensamento empregado foi o manual e o procedimento de cura adotado foi o natural (protegido das intempéries) durante 28 dias. A Figura 1 apresenta alguns detalhes dos corpos de prova confeccionados durante o programa experimental.

Figura 1 – a) Fôrmas dos corpos de prova; b) Fôrmas preenchidas; c) Corpos de prova após processo de cura.



Fonte: Elaboração própria (2022).

Segue abaixo a composição das dosagens de argamassa usinada, conforme apresentado na Tabela 1, as quais são comercializadas por uma empresa especializada em concreto usinado localizada em Presidente Prudente, Brasil.

Tabela 1 – Composição dos materiais constituintes das argamassas usinadas.

Dosagem	Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Areia média (kg/m <sup>3</sup> )	Areia fina (kg/m <sup>3</sup> )	Água (kg/m <sup>3</sup> )	Aditivo incorporador de ar (g/m <sup>3</sup> )	Aditivo superplastificante (g/m <sup>3</sup> )
A	210	110	1250	200	700	—
B	245	120	1340	180	600	—
C	315	802	535	205	—	2500
D	257	120	1340	180	600	—

Fonte: Jomane Usina de Concreto (2022).

As dosagens em questão foram doravante denominadas de A (Argamassa Estabilizada), B (Argamassa Estabilizada 6 MPa), C (Argamassa Autonivelante) e D (Argamassa Estabilizada 8 MPa). Na Tabela 2 são apresentados os parâmetros obtidos com as dosagens usinadas.

Tabela 2 – Parâmetros de proporcionamento das argamassas.

Dosagem	Relação água/cimento (massa)	Relação água/materiais secos (massa)	Relação agregado/cimento (massa)
A	0,95	0,13	6,48
B	0,73	0,10	5,96
C	0,65	0,12	4,24
D	0,70	0,10	5,68

Fonte: Elaboração própria (2022).

Cabe mencionar que o cimento utilizado nas misturas foi o CPII-F-40 da marca Supremo. Quanto aos aditivos, o incorporador de ar foi o Mortard A2 (marca GCP Grace) e o superplastificante foi o CQ Flow Wall 8000 (marca Camargo Química). Com relação às areias – de granulometria média e fina – ambas são de proveniência natural.

Após os processos de moldagem e cura natural os corpos de prova passaram por programa de ensaios experimentais realizado nas dependências do Laboratório de Sistemas Estruturais, localizado na Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT da Universidade Estadual Paulista – UNESP, em Presidente Prudente – SP.

### Técnicas de ensaio

Para dar início aos procedimentos de laboratório, inicialmente cabe salientar que os resultados alcançados no programa experimental serão apresentados com auxílio de gráficos gerados no software Excel. Tais procedimentos são apresentados na sequência:

Consistência (mini-slump) – A consistência de cada tipo de argamassa usinada produzida foi verificada por meio do ensaio de mini-slump (Kantro, 1980), que possibilitou a constatação da trabalhabilidade por meio da sua fluidez/plasticidade (Figura 2). Este ensaio necessitou de um molde tronco-cônico aberto nas duas extremidades – Ø inferior 40 mm e Ø superior 20 mm – além de uma placa de vidro quadrada de dimensões 50 x 50 x 0,5 cm, posicionada sobre uma folha de papel milimetrado para auxiliar na leitura. O molde tronco-cônico foi posicionado sobre a placa de vidro, no centro dos dois eixos traçados no papel milimetrado, e posteriormente preenchido com a argamassa. Após 1 minuto, o molde foi retirado verticalmente, o que resultou no escoamento da argamassa na placa de vidro. Por fim, duas medidas ortogonais por cada dosagem foram verificadas para conferir o espalhamento do material (argamassa), sendo a consistência atribuída a média das duas leituras realizadas (em mm). A adoção deste método de ensaio se deve ao fato da unidade institucional em foco, tal como a empresa construtora não disporem de mesa de consistência estabelecida na ABNT NBR 13276 (2016).

Figura 2 – a) Molde tronco-cone sob a placa de vidro; b) Adição da argamassa no interior; c) Argamassa após ser retirada do molde.



Fonte: Elaboração própria (2022).

Densidade de massa no estado endurecido – Ensaio realizado pelas determinações da ABNT NBR 13278 (2005), com 28 dias de cura, em que foram empregados oito corpos de prova por argamassa usinada. O resultado obtido foi a média aritmética dos valores obtidos, incluindo o respectivo desvio-padrão relativo.

Absorção de água por imersão – Este ensaio foi conduzido seguindo as determinações da ABNT NBR 9778 (2005), com 28 dias de cura, utilizando oito corpos de prova por argamassa usinada produzida conforme mostra a Figura 3. A taxa de água absorvida correspondeu à média aritmética dos valores, acompanhada do respectivo desvio-padrão relativo.

Figura 3 – Representação gráfica dos procedimentos: a) Pesagem do corpo de prova seco; b) Adição de água; c) Processo de absorção de água pelos corpos de prova; d) Corpos de prova imergidos pela água.



Fonte: Elaboração própria (2022).

Absorção de água por capilaridade (método brasileiro) – Realizado conforme a ABNT NBR 15259 (2005), de maneira geral, os corpos de prova prismáticos foram colocados sobre a lâmina de água com  $5 \pm 1$  mm. A superfície do corpo de prova que ficou em contato com a água foi lixada. O período para verificação das massas após o contato com a água foi de 10 e 90 minutos (Figura 4). A absorção por capilaridade ( $A_t$ ), em  $g/cm^2$ , para cada tempo, de cada testemunho, foi calculada com auxílio da Equação (1):

$$A_t = \frac{M_t - M_0}{16} \quad (1)$$

Em que:

$M_t$  = massa do prisma em cada período (g);

$M_0$  = massa inicial do prisma (g);

$16$  = área do prisma em contato com a água (g).

O coeficiente capilaridade ( $c$ ), em  $\text{g}/\text{dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$ , de cada testemunho, foi calculado por meio da Equação (2):

$$c = (M_{90} - M_{10}) \quad (2)$$

Em que:

$M_{90}$  = massa do prisma após 90 min (g);

$M_{10}$  = massa do prisma após 10 min (g).

Figura 4 – Etapas do ensaio de absorção por capilaridade: a) Detalhe da lâmina de água; b) Absorção gradativa; c) Pesagem aos 10 minutos; d) Pesagem aos 90 minutos.



Fonte: Elaboração própria (2022).

Evidencia-se que os valores alcançados no ensaio de coeficiente de capilaridade foram transformados em  $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$  (conforme norma europeia), para que pudessem ser comparadas as duas metodologias propostas.

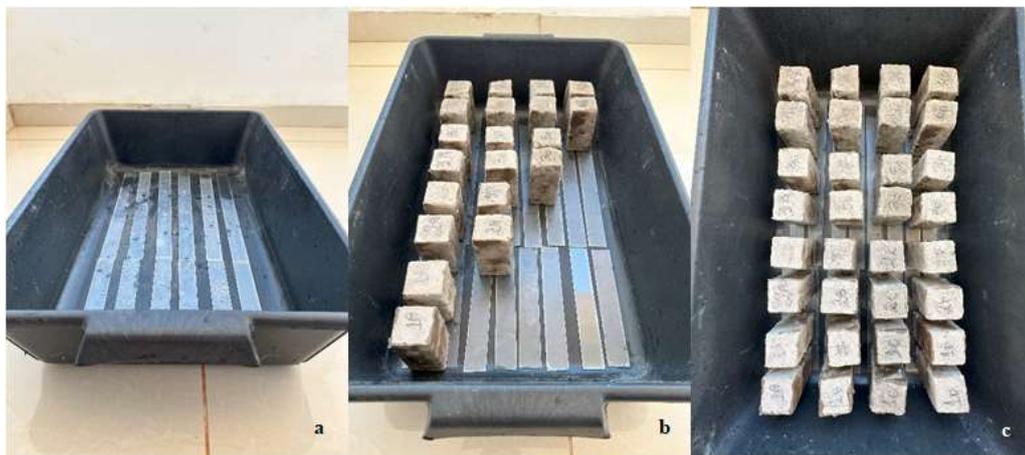
Foram empregados oito corpos de prova (prismas) por dosagem de argamassa usinada produzida, após os 28 dias de cura, em que o valor final foi a média aritmética do coeficiente de capilaridade, contendo o respectivo desvio-padrão relativo. A título de conhecimento, a referida norma brasileira ABNT NBR 15259 (2005) recomenda a utilização de um mínimo de 3 testemunhos.

Cabe salientar que no Brasil temos vigente a ABNT NBR 9779 (2012), que também trata de absorção por capilaridade em argamassas e concretos. Porém, o testemunho de argamassa utilizado nesta outra norma deve ser oriundo de testemunho extraído, contendo um volume mínimo de  $195 \text{ cm}^3$  de material. Ademais, a ABNT NBR 9779 (2012) propicia o

cômputo apenas da absorção de água por capilaridade, não fazendo qualquer menção ao cálculo do coeficiente de capilaridade. Daí se encontra justificada a escolha neste trabalho pela ABNT NBR 15259 (2005).

Absorção de água por capilaridade (método europeu) – Conforme a BS EN 1015-18 (2002), cujo procedimento foi realizado pela seção dos semiprismas que ficaram em contato com a lâmina de água. Como particularidades da referida norma em correspondência com a norma brasileira, é pertinente informar que a norma europeia preconiza: (i) que o corpo de prova de 4 x 4 x 16 cm deve ser cortado ao meio, utilizando semiprismas no ensaio; (ii) a base que foi cortada do prisma, originando o semiprisma, deve ficar em contato com a lâmina de água; (iii) os semiprismas devem ter suas laterais revestidas por algum material isolante (exemplo: cera de abelha, resina epóxi, parafina, silicone, etc.) sendo a água absorvida apenas pela região inferior do corpo de prova; (iv) a lâmina de água deve estar entre 5 e 10 mm de altura; (v) a determinação da massa inicial deve ser feita entre 6 a 10 minutos após o contato com a água, depois aos 10, 30, 60, 90, 180, 300, 480, 1440, e 2880 minutos (Figura 5).

Figura 5 – a) Alocação das lâminas de separação; b) Posicionamento dos corpos de prova; c) Corpos de prova em ensaio.



Fonte: Elaboração própria (2022).

A absorção por capilaridade ( $A_t$ ), em g, de cada testemunho, foi calculada utilizando a Equação (3):

$$A_t = M_t - M_d \quad (3)$$

Em que:

$M_t$  = massa seca do semiprisma (g);

$M_d$  = massa após imersão do semiprisma no intervalo  $i$  (g).

Enfatiza-se que os valores atingidos no ensaio de absorção por capilaridade foram transformados em g/cm<sup>2</sup> (conforme norma brasileira), para que pudessem ser comparadas as duas metodologias propostas.

O coeficiente de capilaridade ( $c$ ), em kg/m<sup>2</sup>.min<sup>0,5</sup>, de cada testemunho, deverá ser calculado por meio da Equação (4):

$$c = \frac{(M_{90} - M_{10})}{A \times (\sqrt{90} - \sqrt{10})} \quad (4)$$

Em que:

$M_{90}$  = massa do semiprisma na acepção de 90 min (g);

$M_{10}$  = massa do semiprisma na acepção de 10 min (g);

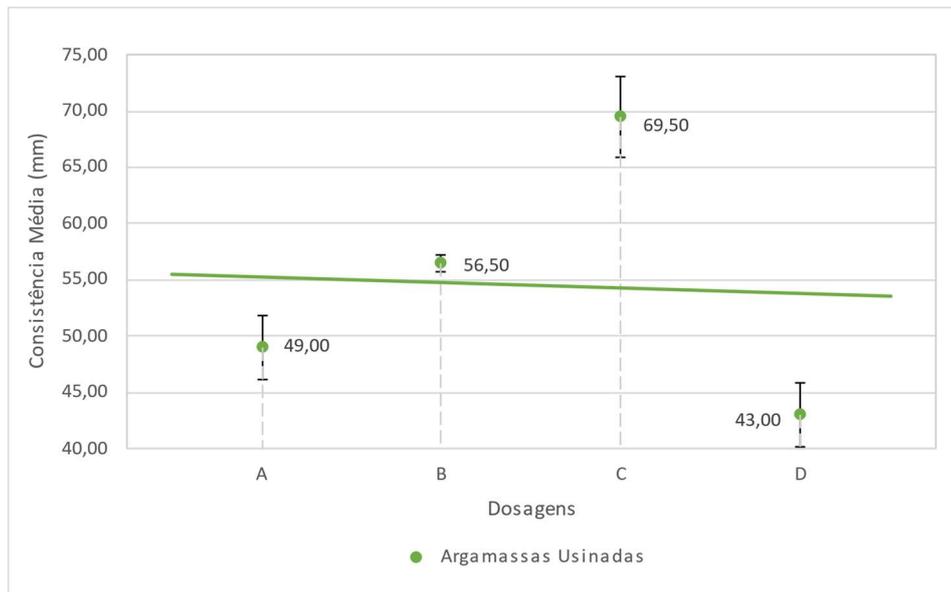
$A$  = área da base do semiprisma (m<sup>2</sup>).

Foram utilizados oito corpos de prova (semiprismas) por dosagem de argamassa usinada produzida, aos 28 dias, em que o valor final foi a média aritmética do coeficiente de capilaridade, contendo o respectivo desvio-padrão relativo. Também a título de conhecimento, a referida norma europeia BS EN 1015-18 (2002) recomenda a utilização de um mínimo de 3 testemunhos neste ensaio.

## Resultados e discussões

Os resultados dos procedimentos experimentais são apresentados neste tópico, iniciando pela Figura 6 que apresenta os valores obtidos nos ensaios de consistência.

Figura 6 – Consistência média das dosagens de argamassa.

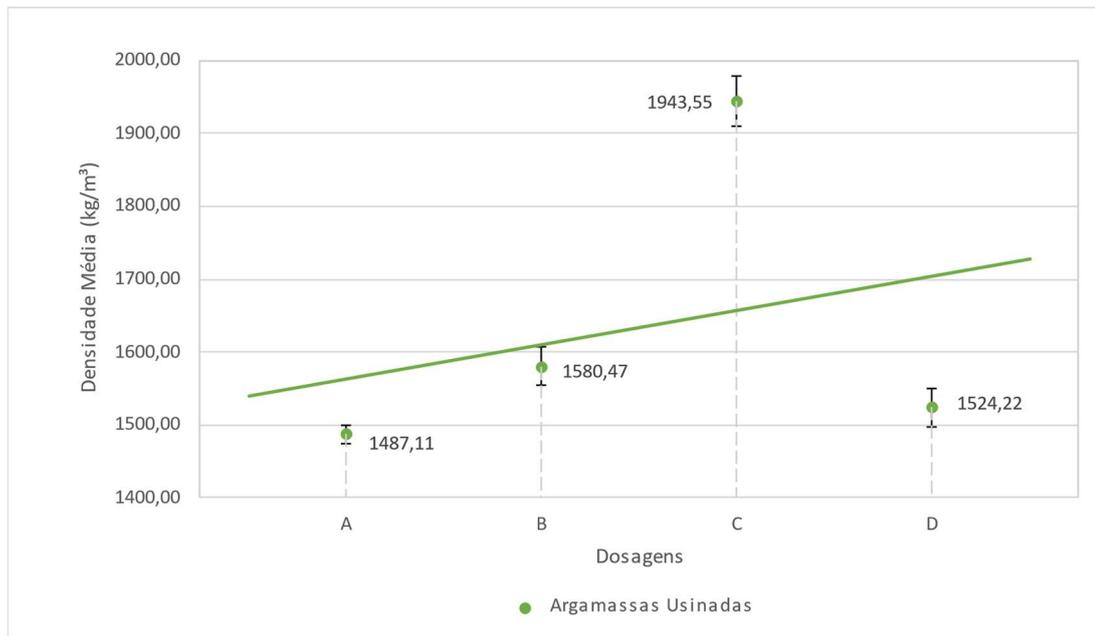


Fonte: Elaboração própria (2023).

De modo geral, a Figura 6 apresenta que a dosagem C apresentou maior valor de consistência quando comparado às dosagens B, A e D, respectivamente ficando ainda, acima da média entre eles. Cabe notar que as dosagens A, B e D, não apresentaram grandes variações em seus resultados, em função da similaridade da quantidade de materiais, como cimento, areia fina e areia grossa, diferentemente da dosagem C, que devido às quantidades de areia serem similares, e dispor da presença do aditivo superplastificante, observou-se que o compósito se espalhou sobre os eixos traçados no papel milimetrado. Quanto aos valores do desvio padrão, os resultados considerados baixos apontam que a maioria dos valores se encontram próximo da média, exceto pelo valor da dosagem C, que foi de 3,54. Essa informação leva a inferir outras questões quando associadas aos demais ensaios, abordados adiante. E conforme relatou Marvila et al. (2017), quanto maior a trabalhabilidade das argamassas menor é a porosidade nelas, e consequentemente menor seu coeficiente de capilaridade.

Os resultados do ensaio de densidade de massa no estado endurecido são apresentados na Figura 7.

Figura 7 – Densidade de massa no estado endurecido das dosagens de argamassa.



Fonte: Elaboração própria (2023).

Pela Figura 7, em associação ao resultado do ensaio anterior, foi possível ratificar que, assim como nos resultados anteriores a dosagem C apresentou valores mais elevados, indicando melhor empacotamento dos materiais que constituíram a mistura, diminuindo a porosidade do material. Os resultados do desvio padrão foram considerados baixos, apontando que a maioria dos valores se encontra próximo da média.

Nas argamassas os poros acabam sendo formados quando ocorre sua fase de endurecimento, já que nessa etapa surge uma trama de poros resultante do conjunto de ações realizadas nos processos de confecção e de cura (Rato, 2006).

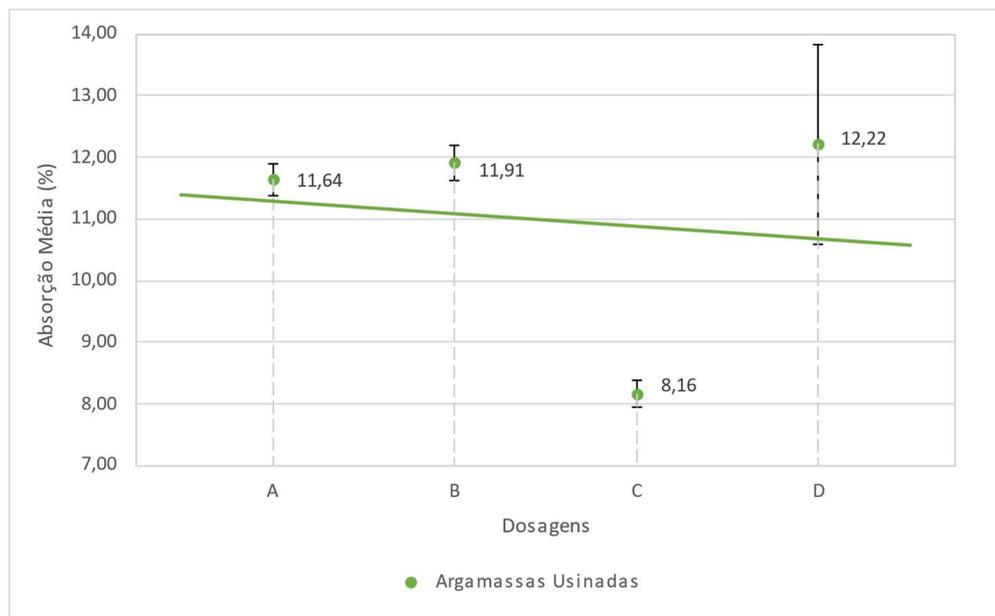
Face ao exposto, no que se refere a porosidade, os agregados propiciam a denominada estabilidade volumétrica, atuando na constituição da estrutura porosa. Enquanto a pasta de cimento preenche essa estrutura porosa, os poros são formados pelos vazios entre a pasta cimentícia e os agregados, e podemos encontrar poros somente na pasta de cimento oriundos das reações químicas provenientes do aglomerante e da água (Salomão e Bauer, 2017).

Uma alternativa para o preenchimento dos poros nos compósitos de cimento, segundo Arruda et al. (2018), seria incorporar nos traços e dosagens materiais pozolânicos como a sílica ativa, pois essa adição preencheria os vazios entre as partículas de cimento, e conseqüentemente

reduziria a porosidade dos materiais cimentícios. De maneira paralela, ocorreria a redução da capacidade de absorção de água pelo material, fato este que indicaria a diminuição da probabilidade de surgimento de danos patológicos, devido à dificuldade de a água penetrar no material.

A Figura 8 ilustra os resultados da absorção de água por imersão.

Figura 8 – Absorção de água por imersão das dosagens de argamassa.

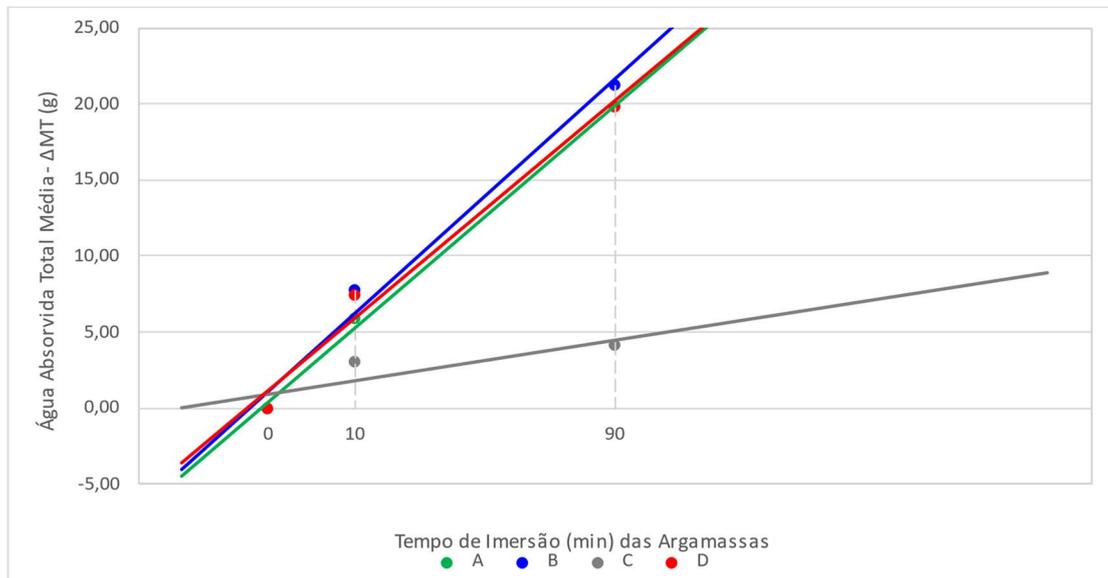


Fonte: Elaboração própria (2023).

Nos ensaios de absorção da Figura 8, ocorreu uma discrepância no que diz respeito aos gráficos dos resultados anteriores, ou seja, a dosagem C (em decorrência da alta densidade de massa), como esperado, foi identificada com absorção mínima, fato que ratificou o melhor empacotamento dos materiais constituintes da argamassa. Referente aos valores do desvio padrão, os resultados considerados baixos apontam que a maioria dos valores se encontram próximo da média, neste caso exceção dada ao valor obtido na dosagem D (1,62). Além disso, corroborou com Marvila et al. (2017), reforçando que maior trabalhabilidade está associada a menor quantidade de poros no compósito, e conseqüentemente inferior absorção de água.

Na Figura 9 constam os resultados da água absorvida durante a realização dos ensaios de capilaridade pelo método brasileiro.

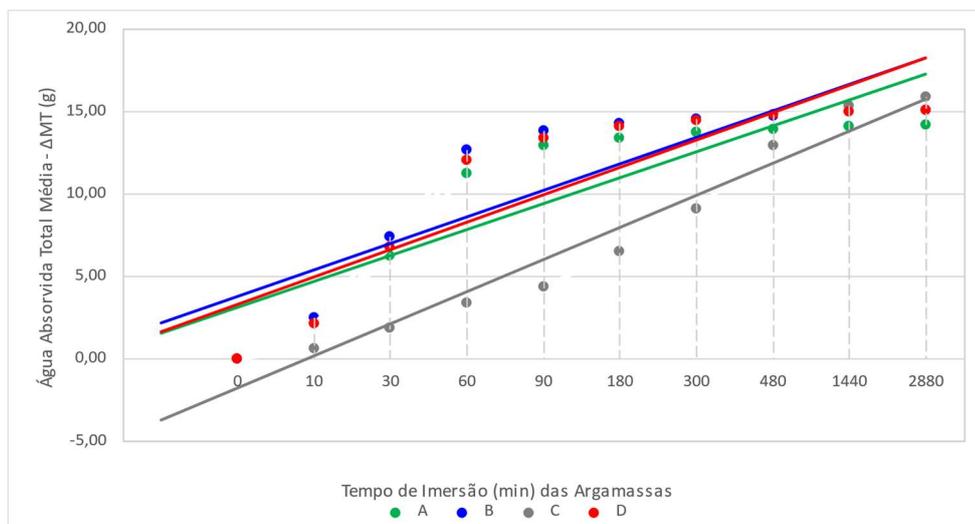
Figura 9 – Resultados da água absorvida no ensaio de capilaridade (método brasileiro) das dosagens de argamassa.



Fonte: Elaboração própria (2023).

A Figura 10 ilustra os resultados da água absorvida durante os ensaios de capilaridade pelo método europeu.

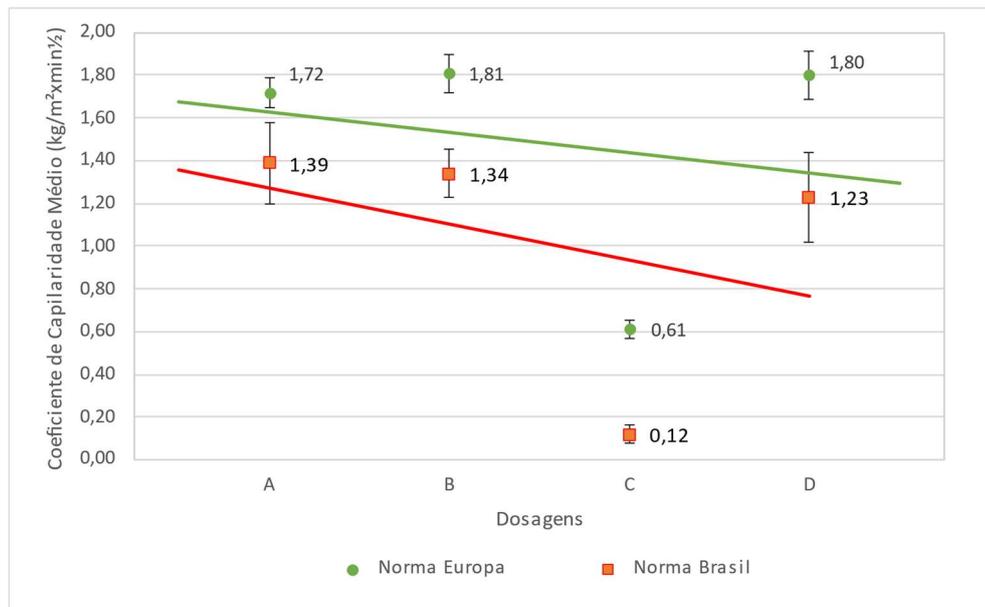
Figura 10 – Água absorvida no ensaio de capilaridade (método europeu) das dosagens de argamassa.



Fonte: Elaboração própria (2023).

Na Figura 11 são apresentados os valores dos coeficientes de capilaridade obtidos por meio das duas metodologias distintas (normas europeia e brasileira).

Figura 11 – Coeficiente de capilaridade das diferentes dosagens de argamassa.



Fonte: Elaboração própria (2023).

De modo a agregarem valor ao conhecimento da área de capilaridade na construção civil, de modo mais específico no comparativo entre duas normas vigentes e utilizadas simultaneamente por dois locais no mundo: a norma técnica brasileira ABNT NBR 15259 (2005) e a europeia BS EN 1015-18 (2002), foi possível verificar que a dosagem C destoa das demais (A, B e D), tanto pelas Figuras 9 e 10 como também pela Figura 11. Logo, na dosagem C, que sempre apresentou diferenças: quanto a consistência, densidade e absorção de água por imersão total, também foi o que mais se diferenciou nos dois métodos, brasileiro e europeu. Em relação aos valores do desvio padrão apresentados na Figura 11, os resultados obtidos foram baixos apontando que a maioria dos valores se encontra próximo da média (A = 0,07, B = 0,09, C = 0,04 e D = 0,11). A Figura 11 também destaca o fato da norma técnica BS EN 1015-18(2002) apresentar menor taxa média de absorção de água com consequente valores dos coeficientes de capilaridade menores que os apresentados pela norma brasileira ABNT NBR 15259 (2005). Cabe informar que numericamente as diferenças obtidas nos coeficientes de

capilaridade foram de  $0,33 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$  (19,19%),  $0,47 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$  (25,97%),  $0,49 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$  (80,33%) e  $0,57 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$  (31,67%), respectivamente para as argamassas A, B, C e D. Destarte, a dosagem C apresentou maior variação de resultado, como mencionado anteriormente. Por conseguinte, foi possível observar por meio das Figuras 9, 10 e 11 as principais alterações nos tempos em comum, a 10 e 90 minutos, após o primeiro contato dos corpos de prova com a água.

Para Bauer e Rago (2002), seus resultados em argamassas de rejuntamento apontaram que a maior permeabilidade também representa elevada capacidade de absorção capilar (ressaltando que na época os citados autores utilizaram o projeto de norma brasileira referente ao assunto).

Destarte, foi possível verificar que em 10 minutos a alternância da absorção média de água pela norma brasileira foi maior que a absorção pela norma europeia. Aos 90 minutos, a variação da absorção média foi similar para ambas as metodologias avaliadas. No que diz respeito ao comparativo entre os coeficientes de capilaridade, a dosagem C, embora abaixo da média, apresentou um coeficiente de capilaridade maior segundo a norma europeia do que pela norma brasileira.

Conforme Bauer et al. (2013), seus estudos em argamassas usinadas mostraram que a capacidade de absorção capilar tem conexão direta com outros ensaios, pois o coeficiente de capilaridade tende a ser maior em argamassas que apresentam, respectivamente, maior poderio de aderência à tração e resistência à compressão com valores considerados baixos. Mesmo assim, tanto argamassas usinadas como as industrializadas têm tendência a apresentar valores de coeficiente de capilaridade superiores a  $2,5 \text{ g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$ , referente a faixa C2 de propriedades de argamassas – ABNT NBR 15259 (2005) – recomendada para revestimentos que recebem chuva.

Marvila et al. (2017) também realizou estudos de equidade em relação às normas ABNT NBR 15259 (2005) e BS EN 1015-18 (2002), e relataram existir pouca diferença dos resultados, induzindo que seria mais viável utilizar-se a ABNT NBR 15259 (2005) pelo reduzido tempo de duração e cálculos mais simples.

### **Considerações finais**

As constatações ostentadas estão condicionadas aos procedimentos experimentais utilizados no desenvolvimento do trabalho, bem como das características dos materiais e equipamentos empregados.

De maneira geral, as seguintes considerações foram observadas: [a] a norma técnica ABNT NBR 15259 (2005) pode ser considerada tradicional em seus procedimentos de execução quando comparada a norma técnica BS EN 1015-18 (2002), principalmente por não prescrever nenhum tipo de revestimento das faces laterais dos corpos de prova; [b] a norma técnica BS EN 1015-18 (2002) tem procedimentos de execução mais rígidos quando comparados a norma técnica ABNT NBR 15259 (2005); [c] existe equivalência entre os resultados do coeficiente de capilaridade entre os métodos envolvidos, embora tanto a taxa média de absorção de água (nos tempos verificados) como os valores dos coeficientes de capilaridade sejam menores com norma técnica BS EN 1015-18 (2002); [d] mesmo com a variação dos tempos finais de execução dos ensaios, 90 minutos para a ABNT NBR 15259 (2005) e 2880 minutos para a BS EN 1015-18 (2002), a absorção de água média foi similar nas duas metodologias.

É válido pontuar que para o ensaio de capilaridade outras normas técnicas internacionais também prescrevem a vedação lateral dos testemunhos. Pelo motivo de similaridade dos procedimentos entre as normas técnicas estrangeiras, atrelado ao tempo de ratificação da norma técnica ABNT NBR 15259 (2005), seria interessante a verificação de causas das diferenças entre as normas, e uma posterior investigação para a equidade de resultados ou métodos, isso se deve ao fato de que o envolvimento de um maior número de medidas, os vários tempos de ensaio e o procedimento de vedação lateral, se mostram mais passíveis de terem suas informações próximas a realidade e conseqüentemente maior confiabilidade para análise de dados de capilaridade.

### **Agradecimento**

Ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela concessão de bolsa de iniciação científica PIBIC 2022/2023 a autora.

## Referências

ARRUDA, F. F.; SILVA, D. L.; BENTO, A. J.; FONSECA, J. M. M. Absorção por capilaridade em concreto produzido com adição de sílica ativa. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA – CONTECC, 2018, Maceió. **Anais [...]**. 2018. p.1-6.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT 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.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13281-1: Argamassas inorgânicas – Requisitos e métodos de ensaios Parte 1: Argamassas para revestimento de paredes e tetos**. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15259: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade**. Rio de Janeiro, 2005.

AZEVEDO, Joana Maria Carvalho Benta de. **Absorção por capilaridade de soluções aquosas salinas em materiais porosos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto, Porto, 2013.

BAUER, E.; FEITOSA, C. P.; RODRIGUES FILHO, H.; ALMEIDA, P. O. Análise das argamassas de revestimento (industrializadas e usinadas), empregadas em obras do Distrito Federal, quanto aos requisitos e ao desempenho. In: CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE PATOLOGIA E RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS, 9, 2013, João Pessoa. **Anais [...]**. 2013. p. 1-10.

BAUER, R. J. F.; RAGO, F. Normalização de argamassas colantes para assentamento e argamassas para rejuntamento de placas cerâmicas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.2, n.2, p. 71-84, 2002.

BRITO, E. P. C., LIMA, K. P. B. A., CUNHA, A. L. X., SANTOS, V. A., ARAÚJO, F. W. C., LINS, C. M. M. S., MORAES, A. S., HOLANDA, R. M. Comportamento de argamassas de revestimento com incorporação do lodo gerado por lavanderia industrial de jeans do agreste pernambucano. **DELLOS: Desarrollo Local Sostenible**, Curitiba, v.16, n.47, p. 2610-2627, 2023.

BRITO, Vânia Patrícia Santos. **Influência dos revestimentos por pintura na secagem do suporte**. Dissertação (Mestrado em Reabilitação de Edifícios). Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2009.

CRUZ, T. A. M.; PEREIRA, V. M.; GERALDO, R. H.; CAMARINI, G. Avaliação da permeabilidade ao ar e absorção capilar de argamassas de cal, metacaulim e gesso. In: WORKSHOP DE TECNOLOGIA DE PROCESSOS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS – TECSIS, 2, 2019, São Paulo. **Anais [...]**. 2019. p. 1-6.

EUROPEAN STANDARD. **EN 1015-18: Methods of test for mortar for masonry: part 18: determination of water – Absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar.** Brussels: European Committee for Standardization (CEN), 2002.

FREITAS, Vasco; TORRES, Maria Isabel; GUIMARÃES, Ana Sofia. **Humidade ascensional.** FEUP Edições: Porto, 2008.

JOFFILY, I. A. L.; SANTANA, B. V.; ALEIXO, I. V. Avaliação da absorção por capilaridade de argamassas com diferentes aditivos impermeabilizantes. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE IMPERMEABILIZAÇÃO, IBI – INSTITUTO BRASILEIRO DE IMPERMEABILIZAÇÃO, 15, 2018, São Paulo. **Anais [...]**. 2018. p.1-16.

JOMANE USINA DE CONCRETO. Dosagens de argamassas: procedimentos utilizados na central Presidente Prudente. **Jomane – Concretagem e Serviços**, Presidente Prudente, 2022.

KANTRO, D. L. Influence of water reducing admixtures on properties of cement paste – a miniature slump test. **Cement Concrete and Aggregate**, Pensilvânia, v.2, n.2, p. 95-102, 1980.

MARVILA, M. T.; ALEXANDRE, J.; AZEVEDO, A. R. G.; ZANELATO, E. B.; MONTEIRO, S. N.; DELAQUA, G. C. G.; AMARAL, L. F. Estudo da capilaridade para argamassas de múltiplo uso. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 72, 2017, São Paulo. **Anais [...]**. 2017. p. 1-7.

PARANHOS, A.; VECHIA, D.; BELTRAME, M. Capilaridade: um fenômeno de superfície com aplicações cotidianas. In: XII ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E VIII ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 12, 2008, São José dos Campos. **Anais [...]**. 2008. p.1-2.

RATO, Vasco Nunes da Ponte Moreira. **Influência da microestrutura morfológica no comportamento de argamassas.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil – Reabilitação do Patrimônio Edificado). Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2006.

SALOMÃO, M. C.; BAUER, E. Estudo da estrutura porosa de argamassas de revestimento e sua relação com a absorção de água por capilaridade. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 12, 2017, São Paulo. **Anais [...]**. 2017. p.1-11.

SILVA, M. W. M., AZEVEDO, C. M., FARIAS, L. S., GOMES, E. M. DA R., CORDEIRO, L. de N. P. Absorção de água em argamassa leve com a incorporação de poliestireno expandido. **Scientia Plena**, Sergipe, v.16, n. 2, p. 1-7, 2020.