

Análise de desempenho de bloqueadores químicos por gravidade no tratamento de umidade ascendente em paredes de alvenaria

R. H. Malaquias¹, G. J. Bruschi^{2*}, D. S. Brisotto³

* Autor de Contato: gjo.bruschi@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v12i1.561>

Recepção: 13/10/2021 | Aceitação: 07/12/2021 | Publicação: 01/01/2022

RESUMO

O objetivo deste trabalho é a análise de desempenho do tratamento da umidade ascensional em paredes, através do uso de bloqueadores químicos cristalizantes e hidrofugantes disponíveis no mercado brasileiro, com a introdução dos mesmos por gravidade. A avaliação da umidade ascendente deu-se pelo cálculo da taxa de absorção de água nos corpos de prova, aliado com as imagens obtidas pela câmera termográfica. A partir dos resultados encontrados concluiu-se que o tratamento não reduziu por completo a patologia nas paredes, porém ambos os produtos obtiveram um bom desempenho, conseguindo reduzir consideravelmente as taxas de absorção de água.

Palavras-chave: umidade ascensional; patologia; barreira química.

Citar como: Malaquias, R. H., Bruschi, G. J., Brisotto, D. S. (2022), “Análisis del rendimiento de bloqueadores químicos por gravedad en el tratamiento de la humedad ascendente en muros de mampostería”, Revista ALCONPAT, 12 (1), pp. 61 - 75, DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v12i1.561>

¹ Universidade Regional do Alto Uruguai e das Missões - URI Campus Erechim, Brasil.

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Brasil.

³ Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil.

Contribuição de cada autor

Todos os autores contribuíram igualmente para a concepção e desenho do estudo. A preparação do material e a coleta de dados foram realizadas por Ronei. A análise dos dados foi realizada por Ronei (75%) e Giovani Jordi Bruschi (25%). O primeiro rascunho do manuscrito foi escrito por Giovani Jordi Bruschi e todos os autores comentaram as versões anteriores do manuscrito. Todos os autores leram e aprovaram o manuscrito final. Além disso, a Dra. Daiane de Senna Brisotto foi responsável pela supervisão da pesquisa.

Licença Creative Commons

Copyright (2022) é propriedade dos autores. Este trabalho é um artigo de acesso aberto publicado sob os termos e condições de uma Licença Internacional Creative Commons Atribuição 4.0 ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).

Discussões e correções pós-publicação

Qualquer discussão, incluindo a resposta dos autores, será publicada no terceiro número do ano 2022, desde que a informação seja recebida antes do fechamento do segundo número do ano de 2022.

Performance analysis of gravity chemical blockers in the treatment of rising damp in masonry walls

ABSTRACT

The objective of this work is the performance analysis of the rising damp treatment in walls, through the use of chemical blockers (i.e., crystallizing and water repellent) available in the Brazilian market, with their introduction by gravity. As there are no standardized tests for such a study, experiments conducted by other researchers were used as a reference. The evaluation of the rising damp was achieved by the calculation of the water absorption rate in the specimens, allied with the images obtained by the thermographic camera. From the results, it was concluded that the treatment did not completely reduce the pathological manifestation in the walls, but both products performed well and managed to reduce the water absorption rate considerably.

Keywords: rising damp; pathological manifestation; chemical barrier.

Análisis del rendimiento de bloqueadores químicos por gravedad en el tratamiento de la humedad ascendente en muros de mampostería

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es analizar el desempeño del tratamiento de la humedad ascendente en paredes, mediante el uso de bloqueadores químicos cristalizantes e hidrófugos disponibles en el mercado brasileño, con su introducción por gravedad. La evaluación de la humedad ascendente se realizó calculando la tasa de absorción de agua en las muestras, combinada con las imágenes obtenidas por la cámara termográfica. De los resultados encontrados se concluyó que el tratamiento no redujo por completo la patología en las paredes, sin embargo, ambos productos obtuvieron un buen desempeño, logrando reducir considerablemente las tasas de absorción de agua.

Palabras clave: humedad ascendente; patología; barreras químicas.

Informações legais

Revista ALCONPAT é uma publicação trimestral da Associação Latino-Americana de Controle de Qualidade, Patologia e Recuperação de Construção, Internacional, A.C., Km. 6, antiga estrada para Progreso, Merida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Website: www.alconpat.org

Reserva de direitos de uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos concedidos pelo Instituto Nacional de Direitos Autorais. Editor responsável: Dr. Pedro Castro Borges. Responsável pela última atualização deste número, Unidade de Informática ALCONPAT, Eng. Elizabeth Sabido Maldonado.

As opiniões expressas pelos autores não refletem necessariamente a posição do editor.

A reprodução total ou parcial do conteúdo e das imagens da publicação é realizada de acordo com o código COPE e a licença CC BY 4.0 da Revista ALCONPAT.

1. INTRODUÇÃO

A presença de umidade nas edificações é recorrente e pode gerar graves manifestações patológicas para o sistema construtivo. Materiais de construção porosos (e.g. tijolos e concreto) facilitam o transporte de gases e líquidos presentes no meio ambiente e, em combinação com outros fatores ambientais, podem levar a ataques biológicos, cristalização de sais, ataques químicos, danos por congelamento, etc. (Sandrolini e Franzoni 2006; Bertolini, 2010). O desenvolvimento dessas patologias pode ocorrer devido à má execução ou falta de sistema de impermeabilização, causando impacto estético e degradação das estruturas e revestimentos. Além disso, nos casos mais graves, problemas associados à saúde humana (Franzoni, 2018).

Como consequência da complexidade de seu tratamento, um dos tipos mais desafiadores de manifestação de umidade é a umidade ascensional. Reconhecido mundialmente, esse fenômeno se manifesta quando a água subterrânea flui para a base de uma construção e ascende pelos poros da estrutura por capilaridade (Massari e Massari, 1993; Alfano, 2005; Henriques, 2007). Embora ocorra com certa frequência, corresponde a um fenômeno complexo e com grande imprevisibilidade comportamental (Torres, 2014; Guimarães et al., 2016).

Diversas técnicas de reparo têm sido propostas para resolver este problema. As principais podem ser subdivididas em quatro grandes grupos de acordo com sua função (Henriques, 1994): (i) soluções para evitar o acesso de água do solo; (ii) soluções para remover o excesso de água; (iii) soluções para impedir o aumento da água; e (iv) soluções para ocultar anomalias. Quando bem adaptadas e executadas, as soluções para impedir o acesso de água do solo são a técnica de reparo mais eficiente no tratamento da umidade ascendente. Esta solução pode ser realizada reduzindo a seção absorvente, aumentando a ventilação de base ou através de barreiras físicas e químicas. Embora o sistema não atue como origem do fenômeno da ascensão capilar, impede que a água atinja alturas capilares excessivas (Torres, 2013; Freitas et al., 2008).

Atualmente, a implementação de barreiras químicas é um dos métodos mais amplamente utilizados para gerenciar e resolver o fenômeno da umidade ascensional. Essa técnica consiste em fazer furos na parede ao longo de um perfil horizontal, geralmente espaçados de 10 a 15 cm, o mais próximo possível do solo em um ou ambos os lados da alvenaria, dependendo principalmente da espessura da parede (Dreyer e Hecht, 2001; Alfano et al., 2006; Lubelli et al., 2013). Os aditivos químicos introduzidos nos orifícios podem funcionar preenchendo os poros (criando uma camada impermeável na alvenaria) e/ou tornando os poros repelentes de água (inibindo o transporte capilar). Dentre as substâncias de preenchimento de poros, também conhecidos como cristalizadores ou cobridores de poros, destacam-se as acrilamidas, resinas epóxi, silicatos alcalinos e silicatos inorgânicos. Quanto aos produtos hidrofugantes, os tipos mais difundidos são os organometálicos, siliconatos, silicones e siloxanos. Esses produtos podem ter um solvente orgânico ou ser soluções aquosas ou emulsões em água, sendo encontrados com diferentes viscosidades (líquido, creme e gel) (Lubelli et al., 2013; Socoloski e Masuero, 2019).

Um dos principais problemas associados à aplicação de barreiras químicas é a dificuldade de introdução do produto nos poros, uma vez que esses normalmente estão preenchidos com água. Para apresentar eficácia, o produto químico deve interagir com todos os poros e vazios, criando uma camada horizontal hidrofóbica ou impermeável que impede o acesso de água. Se a barreira horizontal não for contínua, a água ainda pode fluir e a umidade ascendente não será interrompida. Portanto, a introdução do produto, aplicada com pressão/injeção ou alimentação por gravidade/impregnação, deve ser realizada visando a estratificação das zonas tratadas (Hees et al., 2018).

A aplicação de barreiras químicas por gravidade (Figura 1 (a)) é baseada na força da gravidade e na capilaridade dos materiais e pode ser realizada inserindo os produtos químicos sem aparatos complexos (Torres, 2014). De acordo com a maioria dos fabricantes brasileiros, a perfuração deve

ser realizada com inclinação de 45° e os furos devem ser saturados antes da inserção dos produtos, promovendo uma melhoria na dispersão e conseqüentemente em todo o processo (Socoloski, 2015). A aplicação dos produtos químicos deve ser integral e contínua abrangendo toda a área tratada. O comportamento não intrusivo em conjunto com a versatilidade desta técnica resulta em um reconhecimento mundial de seu uso em edifícios históricos. Porém, para demonstrar sua eficiência, alguns anos podem ser necessários (Carrio, 1997). Na aplicação por injeção, conforme mostrado na Figura 1 (b), o fluido é bombeado na parede por pressão, por meio de uma bomba injetora com bicos especiais que evitam a retração dos produtos. Vários conjuntos de bocais podem ser acoplados simultaneamente à bomba injetora ou a injeção pode ser executada de forma independente (Luso, 2002). A pressão de injeção não é necessariamente constante e pode variar de aplicador para aplicador, mas não deve exceder 0,4 MPa. Essa faixa evita a possível degradação nos materiais constituintes das paredes tratadas (Henriques, 1994).

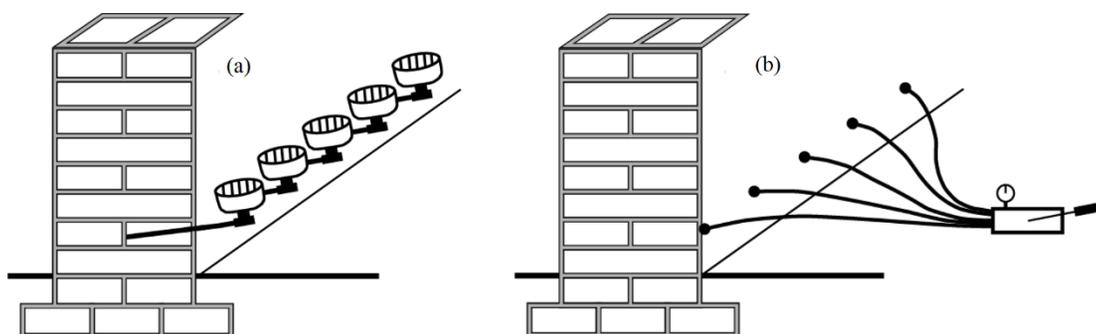


Figura 1. Introdução das barreiras químicas: (a) gravidade (b) injeção. Adaptado de Henriques (1994).

A utilização de barreiras químicas, seja por injeção ou por gravidade, tem sido amplamente investigada (Alfano et al., 2006; Freitas, 2014; Franzoni, 2014; Franzoni, 2018; Socoloski et al., 2019). As pesquisas foram realizadas em laboratório, em materiais de construção simples (Vanhellemon et al., 2008), conjuntos de materiais (Hacquebord et al., 2013) e *in-situ* (Larsen, 2012). Embora seja difícil comparar os resultados de diferentes pesquisas, considerando que os métodos experimentais geralmente não são convergentes, os estudos disponíveis fornecem uma indicação valiosa da capacidade de dispersão e eficiência de secagem dos produtos químicos (Franzoni et al., 2016). A capacidade de dispersão deve ser vista como um fator-chave para a criação de barreiras químicas funcionais e estáveis, visto que um comportamento não estacionário pode possibilitar o fluxo capilar (Hacquebord et al., 2013). Essa capacidade depende da natureza do solvente e de sua miscibilidade em água, bem como da viscosidade dos produtos químicos. Esses fatores são essenciais para o deslocamento da água dos poros (I'Anson e Hoff, 1988).

Apesar da existência de diversos métodos e produtos para resolver o problema da umidade ascensional, as pesquisas científicas sobre sua eficácia, tanto em laboratório quanto em campo, ainda são escassas. Além de não serem tão eficazes quanto o esperado, as soluções de tratamento podem agravar as manifestações patológicas se a tomada de decisão for inadequada. Assim, existe uma grande demanda por resultados experimentais que forneçam evidências sobre o funcionamento, eficácia e limitações desses sistemas de reparo, permitindo uma melhor compreensão do seu comportamento e, conseqüentemente, uma maior taxa de sucesso quando aplicados em alvenaria real.

Dentro deste contexto, esta pesquisa teve como objetivo estudar experimentalmente o tratamento de umidade ascensional em paredes com a utilização de barreiras químicas por gravidade, através de produtos bloqueadores com bases químicas distintas. Para tanto, foram analisados

comparativamente um produto cristalizante (silicato ativo) e um produto repelente de água (silano-siloxanos oligomérico).

2. MATERIAIS

Neste estudo, seis pequenas paredes foram construídas com a utilização de tijolos maciços cerâmicos e argamassa industrializada multiuso. As amostras foram submetidas ao procedimento de tratamento da umidade ascensional com dois produtos bloqueadores com bases químicas distintas.

2.1 Blocos cerâmicos

Foram adotados blocos cerâmicos sólidos de 190x90x50 mm (com tolerância de até 3 mm nas dimensões). Como não existe norma técnica para o ensaio de absorção de água em tijolos maciços, a NBR 15270 (ABNT, 2005) foi aplicada em substituição. Seis amostras foram preparadas seguindo cinco etapas: (i) remoção de partículas soltas e poeira; (ii) processo de secagem a 105°C durante 24 horas; (iii) pesagem para determinação do parâmetro de massa seca (d_m); (iv) imersão de cada amostra em água por 24 horas (em temperatura ambiente); e (v) nova pesagem para determinação do parâmetro de massa úmida (w_m). A taxa de absorção de água dos tijolos (WA) é determinada de acordo com (1) e os resultados obtidos podem ser visualizados na Tabela 1. Solid ceramic bricks of 190 x 90 x 50 mm (with tolerances up to 3 mm in dimensions) were adopted.

$$WA(\%) = \frac{w_m - d_m}{d_m} \times 100 \quad (1)$$

Tabela 1. Taxa de absorção de água dos blocos cerâmicos

Propriedade	Amostra						Média (%)
	1	2	3	4	5	6	
Massa seca (g)	1605,48	1597,80	1587,41	1622,99	1586,27	1682,45	25,48
Massa úmida (g)	1994,56	2021,41	2017,26	2043,88	2012,05	2057,58	
WA (%)	24,23	26,51	27,08	25,93	26,84	23,30	

2.2 Argamassa industrializada

Para o assentamento dos tijolos foi utilizada uma argamassa industrializada multiuso. A argamassa multiuso industrializada foi escolhida devido ao melhor controle de qualidade do produto, evitando possíveis variações nos resultados. Este produto é composto por cimento Portland, agregados minerais e aditivos químicos, com resistência à compressão de 1,2 MPa e relação água/matéria seca de 0,2. A argamassa foi preparada com mistura de água até atingir os parâmetros adequados de consistência e homogeneidade. A consistência mínima (20 ± 5 cm) foi determinada seguindo a NBR 13276 (ABNT, 2005). Para a execução da base das paredes, foi utilizada uma argamassa com resistência de 8 MPa

2.3 Bloqueadores químicos

Inicialmente foi realizada uma pesquisa sobre os impermeabilizantes disponíveis para o tratamento da umidade ascensional na indústria brasileira. Apenas um produto de cada base química (um cristalizante e um repelente de água) foi escolhido para a pesquisa, devido à baixa disponibilidade

de repelentes de água para esse tipo de tratamento. O produto cristalizante, denominado produto A (65% de teor ativo), estava disponível comercialmente em embalagens de 1 litro e 25 litros. O hidrofugante, denominado produto B (9% de teor ativo), era oferecido apenas em embalagens de 18 litros. A caracterização dos bloqueadores químicos, fornecida pelos fabricantes, é apresentada na Tabela 2. O produto cristalizante foi caracterizado de acordo com seu pH e a taxa de sólidos enquanto o bloqueador químico repelente de água de acordo com seu pH e massa específica.

Tabela 2. Caracterização dos bloqueadores químicos

Produto	pH	Teor de ativos	Massa específica	Informações
Cristalizante (A)	11	65%	-	Silicato ativo
Hidrofugante (B)	6,5 to 8	9%	1 kg/m ³	Silano-siloxanos oligomérico

3. MÉTODO DE PESQUISA

3.1 Execução das amostras

Para simular uma parede real, miniparedes (50x50x9cm) foram moldadas de acordo com a metodologia apresentada por Socoloski (2015), que se baseou nos modelos de Rirsch e Zhang (2010) e Freitas et al. (2008). As dimensões adotadas foram as maiores possíveis considerando que deveriam ser carregadas por duas pessoas, não ultrapassando o limite de até 50 kg. Foram preparados seis corpos de prova, dois para a aplicação do produto cristalizante (PA1 e PA2), dois para o produto hidrofugante (PB1 e PB2) e dois como referência (T1 e T2) sem nenhum tratamento químico.

A base das paredes construídas tinha aproximadamente 50 milímetros de altura, executada em argamassa armada, com tela quadrada galvanizada de 250 milímetros para a prevenção de ruptura por cisalhamento. Barras de aço foram inseridas na base da argamassa, servindo como ganchos para o manuseio dos corpos de prova, conforme mostrado na Figura 2 (a). Após o processo de cura de 21 dias, as paredes foram construídas sobre as bases. Os corpos-de-prova foram compostos por 2,5 tijolos por fileira, totalizando 8 fileiras, com juntas verticais intercaladas como em uma alvenaria real, conforme mostrado na Figura 2 (b). O contato da parede com a umidade do solo se dá através da fundação, feita de materiais cimentícios.



Figura 2. (a) Base da parede (b) Parede finalizada

3.2 Eficácia dos bloqueadores químicos

3.2.1 Taxa de absorção de água

Este teste forneceu o parâmetro principal na análise de desempenho do tratamento contra a umidade

ascendente. Os procedimentos foram baseados na pesquisa desenvolvida por Socoloski (2015), de acordo com as seguintes fases:

- Medição da massa de todos os corpos-de-prova (massa seca antes do tratamento), 21 dias após sua execução;
- Saturação das bases da argamassa (Figura 3);

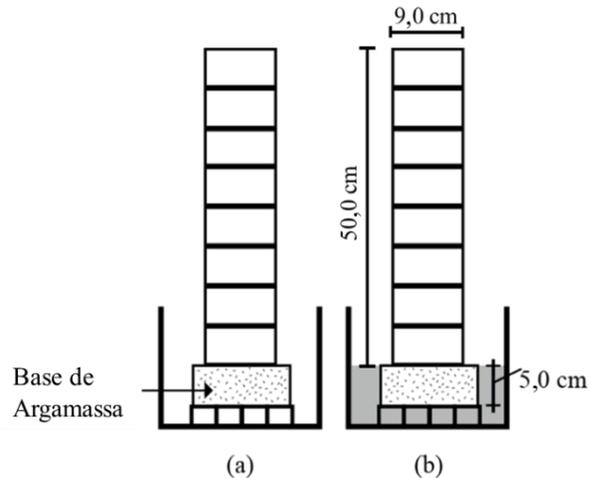


Figura 3. Saturação da base: (a) parede seca; (b) base em contato com a água. Adaptado de Socoloski (2015).

- Verificação da estabilização da massa das paredes, ocorrida entre os dias 7 e 8, indicando a estabilização da absorção de água. Medição da massa das paredes no dia 8 (massa úmida antes do tratamento);
- Cálculo da taxa de absorção de água antes do tratamento, com os valores de massa obtidos antes e após a saturação das bases;
- Tratamento das paredes com bloqueadores químicos, inseridos a 45°, com furos de 100 mm de altura e espaçamento de 100 mm cada, com um total de 5 furos por parede. Para garantir a estanqueidade do esquema, o produto foi inserido com um sistema de frascos, permitindo o controle da velocidade e do volume da injeção (Figura 4);



Figura 4. Aplicação dos bloqueadores químicos

- f) Nova saturação das bases (lâmina d'água de 50 mm) por 28 dias. Durante este período, a massa foi medida aos 7, 14 e 28 dias, respectivamente.
- g) Após 28 dias, os corpos-de-prova foram retirados da água e colocados em temperatura ambiente até a estabilização da massa, o que ocorreu em 20 dias. Medição da massa no 20º dia (massa seca após tratamento);
- h) O processo de saturação das bases foi repetido, com as paredes tratadas, para quantificar a ação preventiva. Após 8 dias, uma nova medição de massa (massa úmida após o tratamento) foi realizada para calcular a taxa de absorção de água após o tratamento.
- A taxa de absorção de água foi calculada pela diferença entre a massa seca e úmida, dividida pela área de contato das paredes e da argamassa de base, conforme Equação 2.

$$\text{Taxa de absorção (kg/m}^2\text{)} = \frac{w_m - d_m}{A} \quad (2)$$

Onde “ w_m ” representa a massa úmida da parede, “ d_m ” a massa seca e “ A ” a área de contato dos blocos da primeira fileira com a umidade.

3.2.2 Termografia

O teste de termografia, considerado qualitativo ou complementar, permite o mapeamento de uma região, distinguindo zonas de diferentes temperaturas. Assim, este teste foi utilizado para monitorar a distribuição de umidade nos corpos de prova.

Foi utilizada a câmera termográfica FLIR T440 e, durante a captura das imagens, alguns parâmetros do equipamento foram fixados, como a emissividade (0,81) e a distância entre o corpo de prova e a câmera (2 m), visando uma melhor resolução. A temperatura atmosférica medida pela câmera, no momento do experimento, era de 23°C. Além disso, para melhorar o desempenho do equipamento, um fundo escuro foi montado e instalado atrás dos corpos-de-prova, aumentando a nitidez das imagens.

Usando o software PSPP2018, as temperaturas máxima e mínima da parede foram determinadas durante todo o período de teste. As escalas de cores adotadas foram iguais para todas as imagens para permitir a comparação visual. É importante ressaltar que neste teste a câmera fornece apenas o registro do parâmetro de temperatura, não incluindo a taxa de umidade ou qualquer outra informação. Assim, embora as imagens contribuam para um diagnóstico, não são necessariamente decisivas na análise.

3.2.3 Análise de custos

Para avaliar o custo de execução desse tipo de tratamento, foi investigado o valor de cada produto, e seu consumo medido considerando a espessura (90 mm) e o comprimento (1 m) das paredes testadas. Dessa forma, foi possível estimar qual dos bloqueadores químicos apresentou o melhor custo-benefício (ou seja, o menor custo por metro linear de parede tratada).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Taxa de absorção de água

A massa de cada corpo de prova testado foi registrada para calcular a taxa de absorção antes e após o tratamento químico. Os resultados são apresentados na Tabela 3 e na Figura 5.

Tabela 3. Taxa de absorção antes e depois do tratamento

Amostra	Área de contato (m ²)	Antes do tratamento				Após tratamento				Redução (%)
		Massa seca – 21 de cura após a confecção (kg)	Massa úmida – 8 dias de contato com água (kg)	Taxa de absorção (kg/m ²)		Massa seca – 21 de cura após a confecção (kg)	Massa úmida – 8 dias de contato com água (kg)	Taxa de absorção (kg/m ²)		
				Por amostra	Média			Por amostra	Média	
T1	0,045	52,68	54,60	42,24	45,87	52,50	54,40	41,80	44,55	2,88
T2	0,045	51,65	53,90	49,50		51,60	53,75	47,30		
PA1	0,045	49,50	50,95	56,11	49,51	49,00	49,90	19,80	20,35	58,90
PA2	0,045	50,60	52,50	42,90		50,55	51,50	20,90		
PB1	0,045	47,90	50,45	31,90	36,85	47,60	48,25	14,30	11,00	70,15
PB2	0,045	48,50	50,45	41,80		48,20	48,55	7,0		

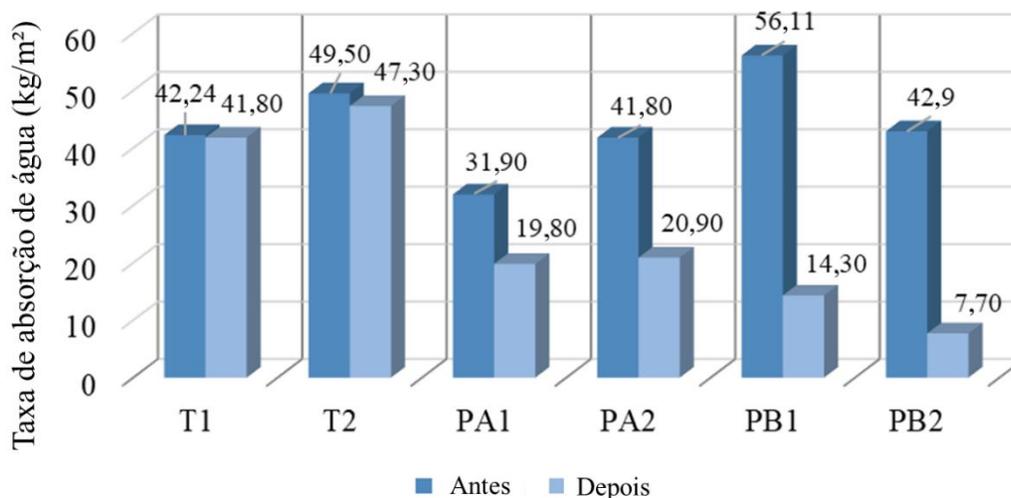


Figura 5. Taxa de absorção de água

Os valores da Tabela 3 demonstram que antes do início do tratamento ocorreu um aumento na massa dos corpos-de-prova quando expostos à umidade. Porém, de acordo com a Figura 5, os resultados mostram que ambos os produtos foram capazes de reduzir consideravelmente as taxas de absorção dos corpos-de-prova tratados. A aplicação do produto cristalizante resultou em uma redução média de 58,9% na taxa de absorção de água, enquanto para o produto hidrofugante essa redução foi de 70,15%. O fato das paredes de controle apresentarem um pequeno decréscimo na massa e, conseqüentemente, diminuição na taxa de absorção (2,88%), já era esperado devido ao processo de equivalência evidenciado entre a taxa de evaporação e absorção e, uma vez que esta pesquisa analisou um corpo de prova de tamanho reduzido, o processo ocorreu mais rápido do que normalmente seria quando comparado a uma construção de tamanho real.

Tabela 4. Massa das amostras durante o tratamento

Amostra	Massa durante o tratamento (kg)		
	7 dias	14 dias	28 dias
T1	-	-	54,25
T2	-	-	53,55
PA1	50,85	50,20	49,80
PA2	52,30	51,65	51,35
PB1	49,75	48,95	48,45
PB2	50,30	49,65	49,20

As medidas de massa durante o tratamento (7, 14 e 28 dias após a aplicação dos bloqueadores) são apresentadas na Tabela 4. Os resultados são equivalentes aos obtidos por Socoloski (2015) para os dois tipos de bloqueadores químicos, com os menores valores de massa obtidos em 28 dias de saturação. Isso pode ser explicado pelo fato de que, ao longo do tempo, a taxa de evaporação supera a taxa de absorção (esse índice diminui à medida que os poros se cristalizam ou com comportamento hidrofugante devido à ação química). Além disso, a redução de massa foi claramente superior com o produto hidrofugante. Esses resultados podem ser visualizados na Figura 6.

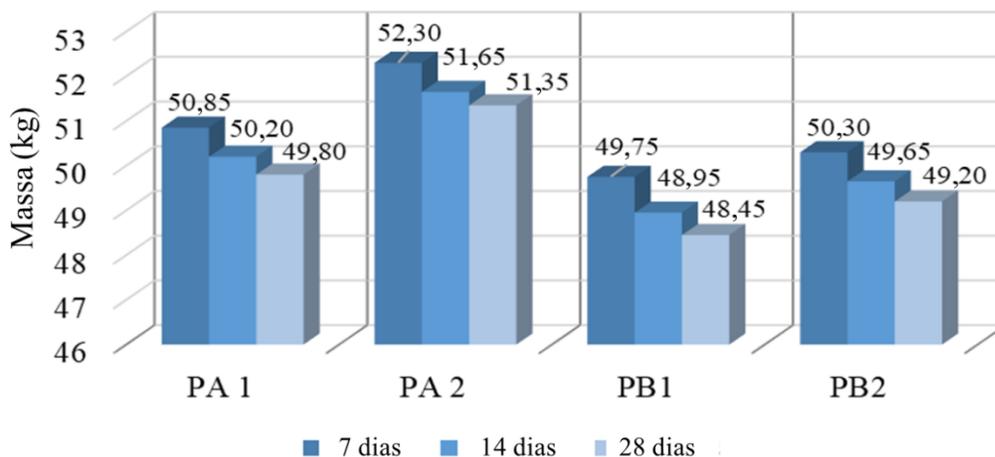


Figura 6. Comparação entre as massas durante o tratamento

Seguindo a avaliação do desempenho dos produtos, para a prevenção do fenômeno da umidade ascensional, a Figura 7 mostra uma comparação entre a massa úmida antes e depois do tratamento. Embora a prevenção não seja o foco principal do método avaliado, os resultados demonstram o potencial da utilização dos produtos como recurso preventivo na construção.

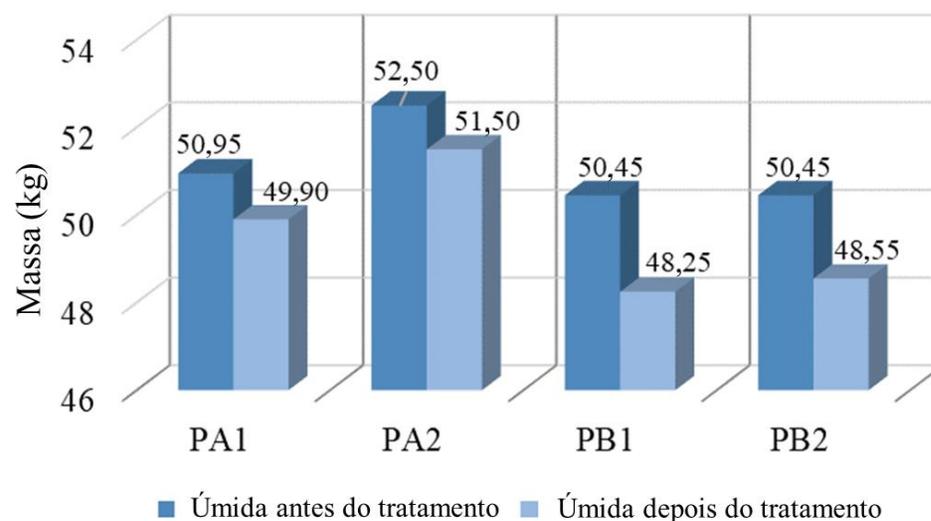


Figura 7. Comparação entre as massas úmidas antes e depois do tratamento

Para confirmar se as reduções na taxa de absorção foram significativas, os resultados foram tratados estatisticamente e analisados pelo método de variância (ANOVA). O desfecho é apresentado na Tabela 5 e classifica a diferença como significativa.

Tabela 5. Análise de variância

Propriedade		Soma quadrada	Graus de liberdade	Média quadrada	Teste de Fisher	Significante
Absorção	Entre grupos	1199,11	2	599,55	47,95	Sim
	Dentro grupos	37,51	3	12,50	-	-
	Total	1236,62	5	-	-	-

Para verificar as dissimilaridades dos grupos, foi realizado o teste de Fischer. Observou-se que, estatisticamente, não houve diferença significativa entre os resultados comparando os produtos cristalizantes e repelentes de água. Porém, quando comparadas às amostras não tratadas (grupo controle), obteve-se uma redução significativa na taxa média de absorção, indicando a eficácia do tratamento (Figura 8).

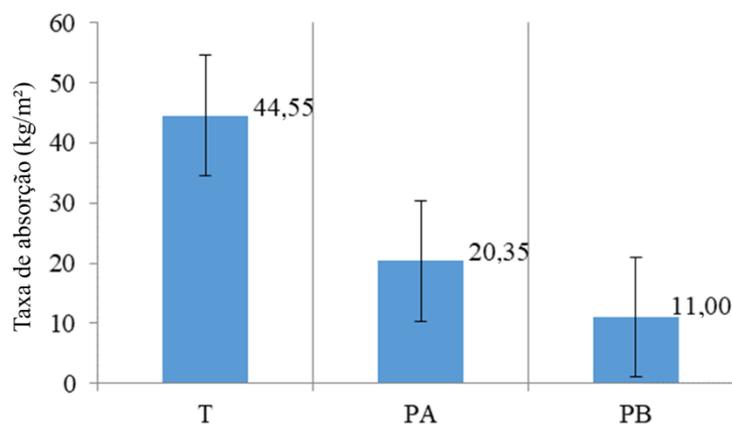


Figure 8. Comparação entre a taxa de absorção média após o tratamento

4.2 Termografía

As imagens obtidas pelo teste de termografia, Figuras 9 a 12, demonstram qualitativamente a temperatura dos corpos de prova antes do tratamento e aos 28 dias de tratamento. As áreas com cores mais claras, tons de laranja, representam temperaturas mais altas (ou seja, regiões mais secas).

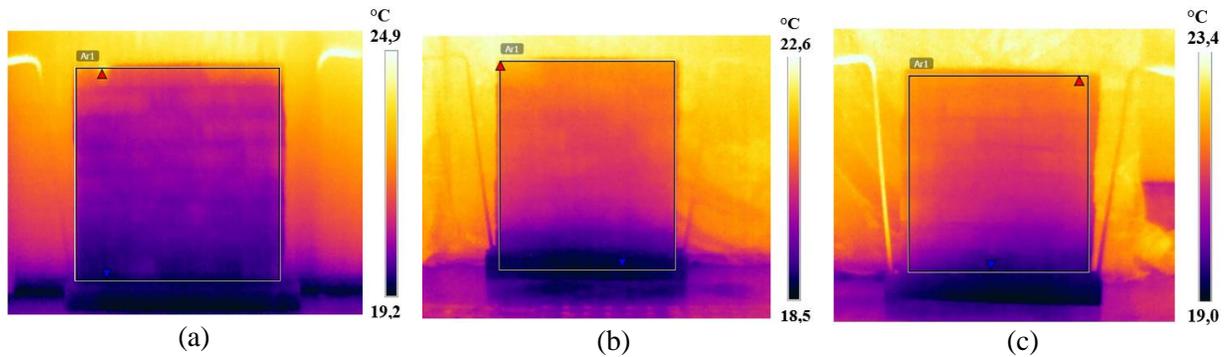


Figura 9. Amostra PA1: a) parede seca; b) parede úmida; c) parede aos 28 dias

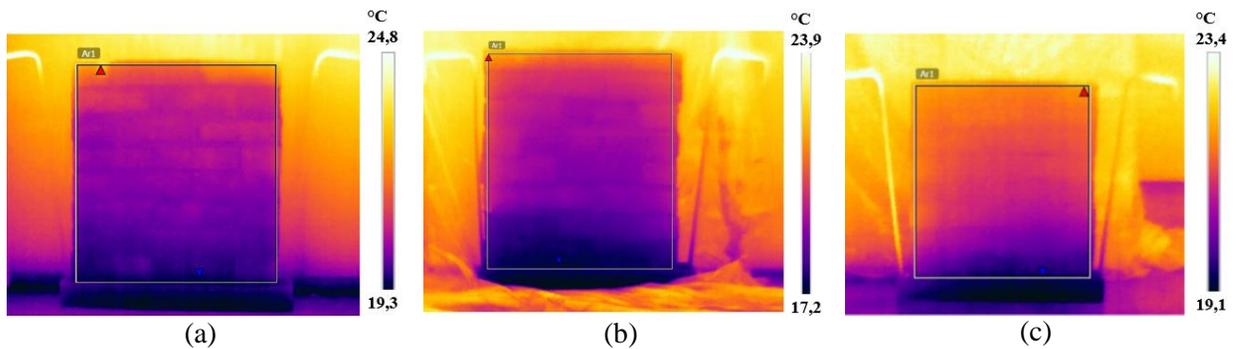


Figura 10. Amostra PA2: a) parede seca; b) parede úmida; c) parede aos 28 dias

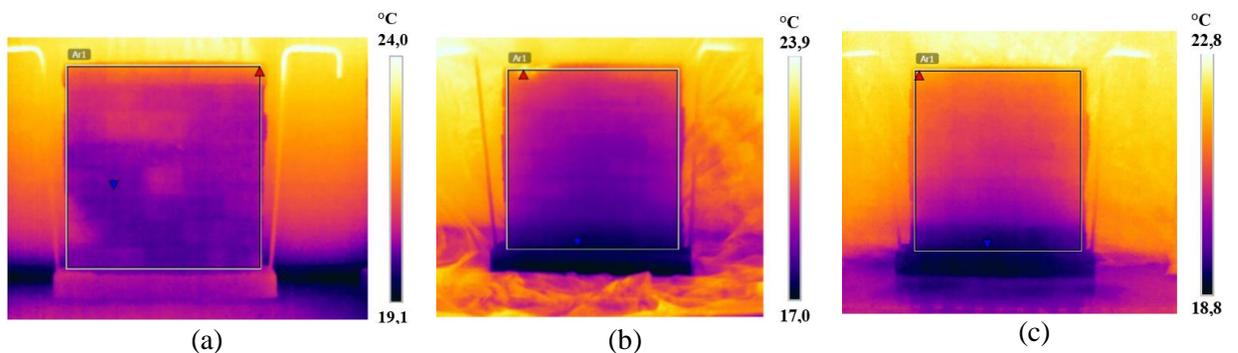


Figura 11. Amostra PB1: a) parede seca; b) parede úmida; c) parede aos 28 dias

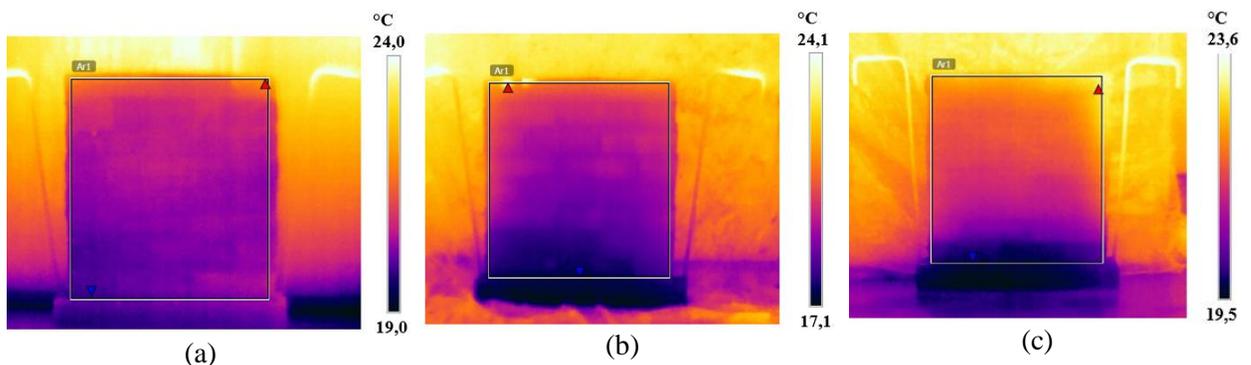


Figura 12. Amostra PB2: a) parede seca; b) parede úmida; c) parede aos 28 dias

De maneira geral, as imagens mostram inicialmente que, antes do tratamento e com a parede seca, havia umidade distribuída por toda a parede, exceto na parte superior e nas bordas, devido ao maior contato com o ar nesses locais. Após a saturação das bases, as paredes apresentam uma faixa azul-escura acentuada, próxima à base, que caracteriza a presença de umidade ascensional. Aos 28 dias de tratamento, foi observada redução da faixa de umidade, indicando um desfecho favorável dos produtos aplicados.

4.3 Análise de custos

Ao analisar o desempenho dos produtos, ambos foram absorvidos pelas paredes em um período de aproximadamente 1 dia, com um consumo por furo de 125 ml para o produto A (cristalização) e 60 ml para o produto B (hidrofugante). Embora a redução na taxa de absorção de água, causada pelos dois produtos, não tenha apresentado diferença estatística, o hidrofugante apresentou o melhor custo-benefício, chegando a quase 1/5 do valor do produto cristalizante, conforme mostrado na Tabela 6.

Tabela 6. Análise de custo

Parâmetro	Produto		
	A (Cristalizador)	B (Hidrofugante)	
Volume embalagem (L)	1,00	25,00	18,00
Preço (R\$)	36,50	595,00	189,00
Consumo (l/m)	1,25	1,25	0,60
Custo (R\$/m)	45,63	29,75	6,30

O custo por metro linear do hidrofugante foi de R\$ 6,30, enquanto o cristalizante atingiu R\$ 29,75, representando um acréscimo de mais de 4 vezes.

5. CONCLUSÕES

- Verificou-se que ambos os produtos apresentaram redução significativa nas taxas médias de absorção de água dos corpos-de-prova.
- O produto cristalizante gerou uma redução média, quando comparado às paredes não tratadas, de 32% na taxa de absorção de água, enquanto o produto hidrofugante 28,18%. Porém, estatisticamente, essa diferença não foi significativa, indicando que ambos apresentam o mesmo desempenho.
- Em relação ao custo-benefício (fator decisivo na escolha do bloqueador), concluiu-se que o hidrofugante teve uma vantagem sobre o cristalizante, com um custo cerca de 5 vezes menor.
- Embora o sistema de injeção, utilizado nesta pesquisa, tenha sido projetado para evitar vazamentos e controlar a velocidade de aplicação, a injeção foi ocasionalmente obstruída durante a aplicação do produto em cristalização, mostrando a necessidade de estudar a velocidade ideal de injeção. A execução desta técnica fora do ambiente de laboratório provavelmente geraria problemas ergonômicos, devido à sua complexidade no escopo do equipamento. A necessidade de estudos sobre novos métodos de aplicação de produtos se apresenta como imprescindível na criação de um sistema in situ mais prático.
- Por fim, é de referir que a ocorrência de umidade ascendente não é uma patologia simples e a procura de conhecimentos e de novas técnicas, que possam melhorar o desempenho das edificações e reduzir os custos do tratamento, é de grande importância.

6. REFERÊNCIAS

- Alfano, G., Chiancarella, C., Cirillo, E., Fato, I. F. (2006), *Long-term performance of chemical damp-proof courses: twelve years of laboratory testing*. Building and Environment. 41:1060-1069. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.04.017>
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2005). *NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2005). *NBR 15270: Componentes cerâmicos parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio*. Rio de Janeiro.
- Bertolini, L. (2010), “*Materiali da costruzione: degrado, prevenzione, diagnose, restauro*”, Editore CittàStudi; 2ª ed., Sondrio/Italy.
- Carrió, J. M. (1997), “*Patología de Cerramientos y Acabados Arquitectónicos*”, Munilla-Leria; 2ª ed., Madrid/Spain.
- Dreyer, J., Hecht, C. (2001), *Injection methods for retrofitting of moisture damaged constructions*. Transactions on the Built Environment. 55: 517-526.
- Franzoni, E. (2018), *State-of-the-art on methods for reducing rising damp in masonry*. Journal of Cultural Heritage. 31: S3-S9. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2018.04.001>
- Franzoni, E. (2014), *Rising damp removal from historical masonries: a still open challenge*. Construction and Building Materials. 54: 123-136.
- Franzoni, E., Rirsch, E., Paselli, Y. (2016). “*Laboratory models for the assessment of the effectiveness of chemical damp-proofing in masonry: existing methods and some proposals for new fixtures*”, in: International RILEM Conference Materials, Paris.
- Freitas, R. J. G. (2014), “*Técnicas de tratamento/controle da humidade ascensional – Catálogo*”, Masters Thesis, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Freitas, V.P.; Torres, M.I.M.; Guimarães, A. S. (2008), “*Humidade Ascensional*”, FEUP edições; 1.ª ed., Porto/Portugal.
- Guimarães, A. S., Delgado, M. P. Q., De Freitas, V. P. (2016), *Treatment of rising damp in historic buildings: experimental campaign of wall base ventilation and interface effect analysis*. Cultural Heritage. 20: 733-738. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2016.02.012>
- Hacquebord, A., Lubelli, B., Lubelli, R., Nijland, T. (2013), *Evaluation of spreading and effectiveness of injection products against rising damp in mortar/brick combinations*. Procedia Chemistry. 8: 139–149. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2013.03.019>
- Hess, R. P. J., Lubelli, B. H. A. (2018), *New test methods to verify the performance of chemical injections to deal with rising damp*. Journal of Cultural Heritage. 31: S52-S59.
- Henriques, F. M. A. (1994), “*Humidade em Paredes*”. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Henriques, F. M. A. (2007), “*Humidade em Paredes*”. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- I'anson, S. J., Hoff, W. D. (1988), *Chemical injection remedial treatments for rising damp–I. The interaction of damp-proofing fluids with porous building materials*. Building and Environment. 23: 171-178. [https://doi.org/10.1016/0360-1323\(88\)90001-7](https://doi.org/10.1016/0360-1323(88)90001-7)
- Larsen, P. L. (2012), *Determination of water content in brick masonry walls using a dielectric probe*. Journal of Architectural Conservation. 18, 47-62. <https://doi.org/10.1080/13556207.2012.10785103>
- Lubelli, B., Van Hees, R. P. J., Hacquebord, A. (2013), *Experimental study of the distribution of chemical products against rising damp in substrates with different water saturation degrees*. Construction and Building Materials. 40: 891-898. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.062>

- Luso, E. (2002), “*Contribuição para intervenções no Centro Histórico de Bragança*”. Masters Thesis, Universidade de Minho, Minho.
- Massari G., Massari I. (1993), *Damp Buildings, Old and New*. ICCROM, 17: 2-30.
- Rirsch, E., Zhang, Z. (2010), *Rising damp in masonry walls and the importance of mortar properties*. Construction and Building Materials. 24: 1815-1820. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.04.024>
- Sandrolini, F., Franzoni, E. (2016), *An operative protocol for reliable measurements of moisture in porous materials of ancient buildings*. Building and Environment. 41: 1372-1380. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.05.023>
- Socoloski, R. F. (2015), “*Tratamento de umidade ascensional em paredes através de barreiras químicas por gravidade*”, Masters Thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Socoloski, R. F., Masuero, A. B. (2019), *Evaluation of the efficiency of the treatment for rising damp on walls through the insertion of chemical barriers by gravity*. Construction and Building Materials. 210: 660-672. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.018>
- Torres, I. M. (2013), *Wall base ventilation system to treat rising damp: the influence of the size of the channels*. Journal of Cultural Heritage. 15: 121-127. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2013.03.005>
- Torres, R. J. de M. M. (2014), “*Humidades ascensionais em paredes de alvenaria de edifícios antigos*”, Masters Thesis, Instituto Superior Técnico (IST), Lisboa, 2014.