ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Susceptibilidade à fissuração de revestimentos argamassados ante ciclos térmicos

Cracking susceptibility of mortar coatings under thermal cycles

Vinícius A. Coelho
Universidade Federal da Bahia | Salvador | Brasil | mrvoelho@gmail.com
Abraham R. A. Omore
Universidade Federal da Bahia | Salvador | Brasil | abrahamrodolphe@gmail.com
Priscila V. Galdino Freitas
Universidade Federal da Bahia | Salvador | Brasil | eng.freitas@hotmail.com
Vanessa G. Gonçalves
Universidade Federal da Bahia | Salvador | Brasil | vanessaedfgg@gmail.com
Francisco G. S. Silva
Universidade Federal da Bahia | Salvador | Brasil | fgabriel.ufba@gmail.com

Resumo

As camadas dos revestimentos de fachadas estão sujeitas a variações higrotérmicas cíclicas, que podem resultar em degradação precoce ou inesperada, trazendo riscos aos usuários das edificações e elevados custos de manutenção. O presente trabalho propõe o uso de um painel radiante para simular ciclos de exposição solar de forma acelerada e avaliar a susceptibilidade de revestimentos argamassados quanto à fissuração. Após exposição térmica e resfriamento com água, observou-se a incidência e o padrão de fissuração em dois tipos de argamassa, confirmando que a técnica pode ser adotada para avaliar fatores importantes no desenvolvimento de novos produtos.

Palavras-chave: Revestimento. Térmico. Argamassa. Fissuração. Ensaio.

Abstract

The layers of facade cladding are subject to cyclic hygrothermal variations, which can result in early or unexpected degradation, risks to users and high maintenance costs. This work proposes the use of a radiant panel to simulate accelerated cycles of sun exposure and evaluate the susceptibility of coatings in terms of cracking. After thermal exposure and cooling with water, the incidence and pattern of cracking were observed in two types of mortar, confirming that the technique can be adopted to evaluate important factors in the development of new products.

Keywords: Rendering. Thermal. Mortar. Cracking. Test.

Como citar:
COELHO, V. A. et al. Susceptibilidade à fissuração de revestimentos argamassados ante ciclos térmicos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

INTRODUÇÃO

Dentre os principais fatores que afetam o desempenho dos revestimentos de fachadas está a variação de temperatura, que origina tensões cíclicas de origem térmica, fomentando deformações diferenciais que podem resultar na formação de fissuras [1]. A fissuração prejudica a estética e estanqueidade dos revestimentos, facilita o ingresso de agentes agressivos, e pode comprometer a aderência entre componentes, pondo em risco a segurança dos usuários das edificações em função de potencial desplacamento e queda de partes do revestimento [2][3][4].

A variação cíclica de temperatura expõe os revestimentos a tensões de tração, compressão e cisalhamento [5], sendo ressaltada pela NBR 13755 [6] a importância de se considerar as variações térmicas e condições climáticas como importante dado de entrada para a elaboração de projetos de fachadas. Diante do contexto, torna-se evidente a relevância da compreensão do comportamento dos revestimentos quando expostos a ciclos térmicos, especialmente quanto à fissuração e aderência. Deste modo, o presente trabalho propõe a aplicação da metodologia de ciclos térmicos com painel radiante para estudo da susceptibilidade à fissuração de revestimentos argamassados de forma acelerada, possibilitando a análise do comportamento em laboratório durante o desenvolvimento de novos produtos e elaboração de técnicas de prevenção e reparo da manifestação patológica.

MATERIAIS E MÉTODOS

A abordagem desta pesquisa é experimental, com a construção de painel radiante e levante de painéis de alvenaria de blocos cerâmicos com revestimento argamassado que serão expostos a ciclos térmicos de aquecimento e resfriamento, verificando-se a ocorrência de danos.

O painel radiante foi baseado no modelo empregado por Musse *et al.* [7], constituído de placas de MDF parafusadas. A Figura 1 apresenta o equipamento utilizado, o qual abrange uma área de exposição de 90 x 70 cm, revestida com papel alumínio, e com 24 lâmpadas incandescentes halógenas de 70 W de potência, totalizando 1680 W.

Figura 1: Estrutura do painel radiante (à esquerda) e painel com revestimento reflexivo (à direita)



Fonte: os autores.

Para simular a camada de revestimento argamassado, construíram-se prismas de alvenaria de blocos cerâmicos assentados sobre vigas de concreto armado. As vigas foram utilizadas para proporcionar uma interface de mudança de base, região com maior propensão à ocorrência de fissuras no revestimento [6][8]. A Figura 2 mostra as dimensões do substrato, onde foram utilizados blocos cerâmicos de 6 furos horizontais, caracterizados conforme Tabela 1; argamassa de assentamento industrializada, com juntas de aproximadamente 1 cm e concreto para a viga, com resistência característica à compressão de 40 MPa determinada experimentalmente aos 28 dias;

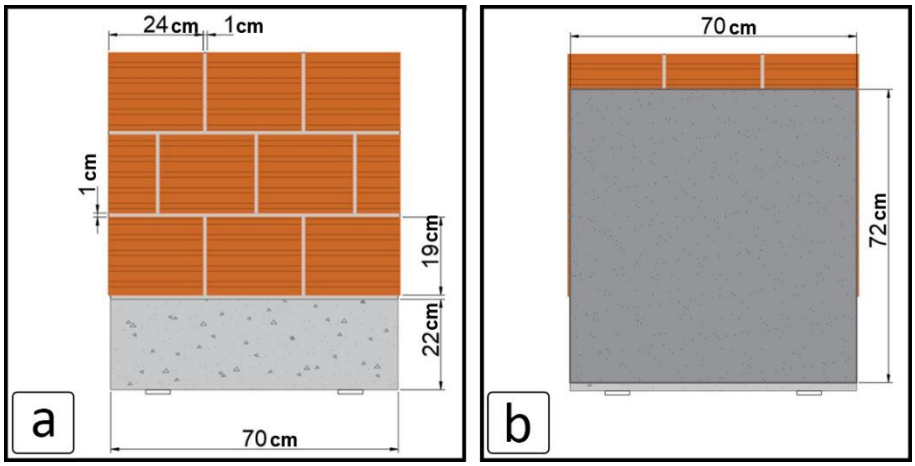
Tabela 1: Propriedades geométrica dos blocos

Propriedade	Valor	Desvio Padrão
Dimensões (C X L X H) (cm)	23,8 x 9,1 x 19,1	0,2 x 0,2 x 0,2
Espessura dos septos e paredes (cm)	0,74	0,08
Desvio em relação ao esquadro (cm)	0,13	0,12
Planeza das faces (cm)	0,23	0,07
Área bruta (cm²)	216,0	4,4

Fonte: os autores.

Ainda na Figura 2, à direita, observa-se a camada de revestimento aplicada sobre a base, com dimensões compatíveis com a área de exposição do painel térmico em 70 x 72 x 3 cm, resultando em área de exposição de aproximadamente 0,5 m² com a espessura usualmente empregada em fachadas. Para o preparo de base foi utilizado chapisco convencional, de traço 1:3 (cimento e areia), aplicado manualmente. O revestimento foi executado em camada única após sete dias da execução do chapisco e passou por cura úmida (com aspersão de água três vezes ao dia) por três dias, simulando as condições típicas de aplicação em fachadas, antes de seguir para a exposição térmica. Todas as amostras foram produzidas, acondicionadas e ensaiadas em ambiente interno de laboratório, protegidas das intempéries.

Figura 2: Painel de alvenaria sem revestimento (a) e painel revestido (b)



Fonte: os autores.

Como revestimento das amostras foram empregados dois tipos de argamassa, preparadas em betoneira. Uma mista, com maior propensão à fissuração [9][10], de traço 1:2:9:2,39 (cimento: cal: areia: água, em massa), sendo utilizados cimento Portland CP-II F 32, cal hidratada tipo CH-I e areia convencional comercializada na

região de Salvador/BA, com as características apresentadas na Tabela 2, e outra do tipo industrializada própria para revestimento, de traço 1:0,16 (argamassa anidra: água, em massa). Foram realizados ensaios para determinação do índice médio de absorção por imersão dos blocos, conforme ABNT [11], obtendo-se resultado de 14,2%. Para as argamassas mista e industrializadas, realizaram-se ensaios de resistência à tração na flexão [12], com resultados médios de 2,36 e 3,92 MPa; índice de absorção por imersão [13], obtendo-se 16,4% e 14,4%, e massa específica no estado endurecido [14], com resultados de 1,731 e 1,653 g/cm³, respectivamente.

Tabela 2: Propriedades físicas da areia

Propriedade	Valor
Dimensão máxima característica (mm)	1,18
Massa específica (g/cm³)	2,61
Massa unitária (g/cm³)	1,455
Módulo de finura	1,35
Teor de material pulverulento (%)	2,49%

Fonte: os autores.

O ensaio de exposição térmica se baseou no procedimento descrito pelo Anexo E da NBR 15575-4 [15], que prescreve 10 ciclos de aquecimento e resfriamento. Cada ciclo consistiu na exposição do revestimento ao painel radiante até atingir temperatura superficial de 80 °C, medida com um termopar fixado no centro da área de exposição, seguido do resfriamento com lançamento contínuo de água em temperatura ambiente até que a temperatura superficial retornasse a 30 °C. Os revestimentos foram ensaiados logo após a cura, com idade de 3 dias, para simular as condições experimentadas por revestimentos de fachada em aplicações práticas.

A avaliação da metodologia de ensaio se deu com a observação do surgimento e progressão de fissurações após os ciclos térmicos, medição da abertura de fissuras com fissurômetro e mapeamento das fissuras com determinação do Índice de Fissuração (IF), que corresponde à razão entre o comprimento total das fissuras e a área do painel, conforme proposto por Bauer e Silva [9]. Neste sentido, foi proposta uma adaptação à metodologia dos autores que originalmente realizaram a medição com barbantes. Neste trabalho, foi feito o mapeamento por meio de software CAD, após um processo de ortogonalização e tratamento das imagens para melhoria de contraste [16]. Todas as medidas foram realizadas após a conclusão dos 10 ciclos.

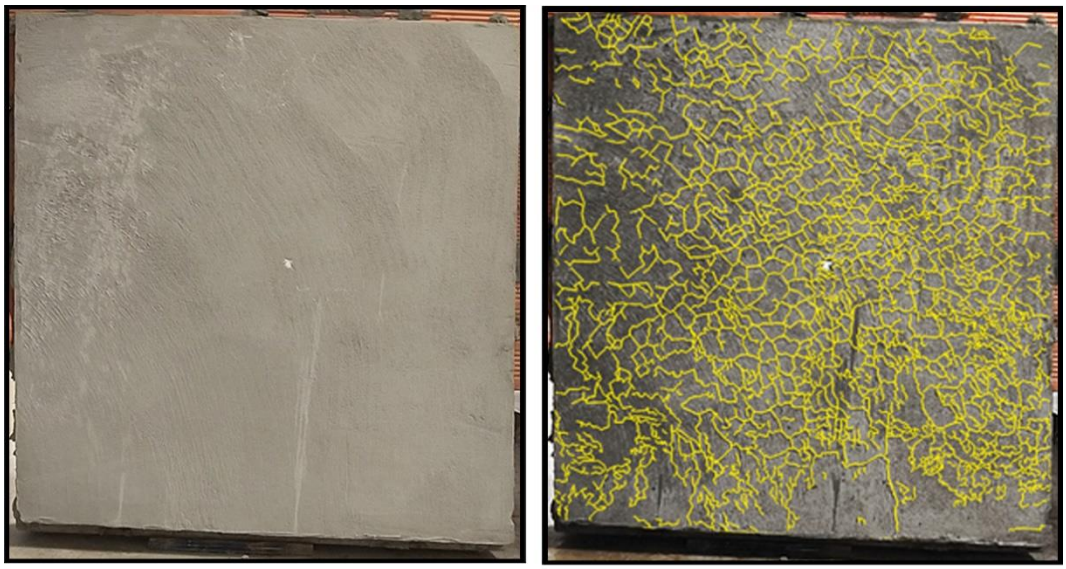
Também foi realizado teste percussivo com vareta de madeira rígida em todo o revestimento, buscando identificar regiões com som cavo, característico de falhas de aderência.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O revestimento industrializado se apresentou íntegro após o período de cura, sem fissuras mesmo quando umedecido. No entanto, após o segundo ciclo térmico, começaram a surgir múltiplas microfissuras distribuídas por toda a superfície, com abertura tão diminuta que foram visíveis apenas pelo contraste quando a superfície era umedecida (Figura 3). A abertura das fissuras foi tão diminuta que não pôde ser

mensurada com o fissurômetro, sendo menor que a escala. Os resultados de fissuração indicados na Tabela 3 sugerem potencial influência da base sobre o comportamento do revestimento.

Figura 3: Revestimento de argamassa industrializada: após cura, sem fissuras (à esquerda); após ciclos térmicos, fissuras mapeadas distribuídas (à direita).



Fonte: os autores

O revestimento misto (Figura 4) apresentou fissuras típicas de retração após a cura, com abertura média de 0,45 mm no canto superior direito e 1,05 mm na região próxima à viga de concreto. A variação entre os índices de fissuração registrados entre as bases (Tabela 3) deve-se à fissuração que ocorreu na zona de transição, típica do comportamento de retração devido ao fluxo diferencial de água entre substratos distintos durante a cura. Foi registrado aumento do índice de fissuração após ciclos térmicos em função do surgimento de novas fissuras e crescimento daquelas existentes.

Tabela 3: Medidas de fissuração após ciclos térmicos

Medida	Mista[A]	Mista[B]	Industrializada
Comprimento total de fissuras (m)	1,37	2,16	42,28
Índice de fissuração sob alvenaria (m/m²)	1,40	3,43	83,9
Índice de fissuração sob concreto (m/m²)	6,15	6,69	78,8

A – Após cura; B – Após ciclos térmicos.

Fonte: os autores.

É possível observar na Figura 4 a progressão das fissurações pré-existentes e o surgimento de novas, que se destacam com o contraste oriundo do umedecimento do painel. A fissura do canto superior direito teve sua abertura média aumentada para 0,50 mm, enquanto a fissura horizontal na interface com a viga passou para 1,40 mm, comportamento similar ao observado por Musse *et al.* [7]. Ainda mais expressiva foi a ocorrência do desplacamento de um pedaço do revestimento, de forma brusca, sobre a base de concreto, durante o resfriamento do segundo ciclo térmico. Não foi detectado som cavo na camada antes do ensaio térmico e o restante do revestimento também não apresentou som cavo após conclusão dos ciclos.

Figura 4: Revestimento de argamassa mista: após cura, com fissuras de retração (à esquerda); após ciclos térmicos, com fissuras maiores e desplacamento (à direita)



Fonte: os autores

Observando a região desplacada (Figura 5), foi constatado que a fissura percorreu toda a espessura da camada argamassada, sendo provável que o desplacamento tenha ocorrido pela sucessiva fragilização da ligação entre base e revestimento uma vez que não houve som cavo, característico de falhas de aderência, antes da exposição térmica, além da permanência de parte do chapisco sobre a base. À medida em que a fissura avança pela camada argamassada, as regiões mais internas ficam sujeitas ao ingresso de água e ocorrência de danos pelo choque térmico durante os ciclos, culminando em mais degradação à microestrutura até que ocorra a falha [17].

Observa-se que na idade ensaiada, o desenvolvimento de resistência mecânica do revestimento ainda é incipiente, refletindo diretamente na severidade dos danos registrados, o que reforça a importância dos cuidados com a camada de revestimento argamassado durante as primeiras idades.

Figura 5: Vista da fissura na região desplacada



Fonte: os autores

CONCLUSÕES

Os resultados encontrados demonstram a viabilidade de uso da metodologia de exposição térmica com painel radiante para a indução de fissuras em revestimentos argamassados. Tal procedimento contribui para a avaliação do desempenho de sistemas de revestimento, principalmente durante desenvolvimento de produtos associados à prevenção, tratamento e controle de fissuração, onde diversas variáveis intrínsecas à camada de revestimento podem ser investigadas, como o traço; metodologia de cura; espessura; número de camadas; tipos de base; tratamentos superficiais etc., colaborando para a identificação de fragilidades e avanços em tratamentos e prevenções contra uma manifestação deletéria a qual todos os revestimentos estão expostos, principalmente aqueles situados em ambiente externo.

Em relação ao comportamento dos materiais estudados, foi identificada tendência de maior fissuração térmica sobre as bases de alvenaria em relação à base de concreto, que pode estar associada à influência das propriedades higrotérmicas do substrato na distribuição de tensões do revestimento. O revestimento industrializado apresentou microfissuras generalizadas, porém com aberturas mínimas, visíveis apenas por meio do contraste ao umedecer a camada. O revestimento misto, que apresentou fissuração por retração antes da exposição térmica, teve menor comprimento total de fissuração, porém com aberturas excessivas que culminaram no comprometimento da integridade da camada com os ciclos térmicos.

Futuros trabalhos podem utilizar a técnica para investigar a influência de fatores importantes na formação de fissuras, como metodologias de cura, idade, espessura e tipos de acabamento superficial. Além disso, a ocorrência de desplacamento durante o ensaio reforça a importância do conhecimento sobre o desempenho térmico dos revestimentos do ponto de vista da segurança, sendo fundamental o entendimento do comportamento dos materiais (base e revestimento) ainda na fase de projeto, onde podem ser realizados estudos exploratórios para adequação dos materiais levando em conta as particularidades de cada obra.

REFERÊNCIAS

[1] GOMES, A. O.; NEVES, C.; SOUZA, S.L.M. Utilização de telas em sistemas de revestimentos com argamassa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS. **Anais** […]. v. 7, 2007.

[2] BAUER, E.; CASTRO, E. K. De; ANTUNES, G. R.; LEAL, F. E. Identification and Quantification of Failure Modes of New Buildings Façades in Brasília. In: XII DBMC - International Conference on Durability of Building Materials and Components, 2011. Porto, Portugal. **Anais** […]. Editora FEUP, P. 1–7.

[3] BAUER, E.; CASTRO, E. K.; SILVA, M. N. B. Estimate of the facades degradation with ceramic cladding: Study of Brasilia buildings. **Ceramica**, v. 61, n. 358, p. 151–159, 2015.

[4] OLIVEIRA, M. J.; SILVA, L.; SEQUEIRA, P.; VILHENA, J. AVALIAÇÃO DO RISCO DE FISSURAÇÃO POR RETRAÇÃO PLÁSTICA EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO. In: 3º Simpósio Argamassas e Soluções Térmicas de Revestimento. 2018. Coimbra, Portugal. **Anais** […].

[5] FIORITO, A. J.S.I. **Manual de argamassas e revestimentos: estudos e procedimentos de execução**. Pini, 1994.

[6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13755**: Revestimentos cerâmicos de fachadas e paredes externas com utilização de argamassa colante - Projeto, execução, inspeção e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro. 2017.

[7] MUSSE, D. S.; COELHO, V. A.; GONÇALVES, J. P.; SILVA, F. G. S. Desempenho do revestimento de argamassas reforçadas com telas: estudo de fissuração e do comportamento mecânico. **Ambiente Construído**, v. 20, n. 3, p. 467–491, 2020.

[8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7200**: Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento. Rio de Janeiro. 1998.

[9] BAUER, E.; SILVA, F. G. S. AVALIAÇÃO DA FISSURAÇÃO EM ARGAMASSAS. In: VIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2009. Curitiba, Brasil. **Anais** [...].

[10] BROCARDO JUNIOR, M. A. **Avaliação do uso de cinza de casca de arroz residual no controle de fissuras em argamassas de revestimento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2021.

[11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-1**: Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria - Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro. 2023.

[12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro. 2005.

[13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro. 2005.

[14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro. 2005.

[15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais — desempenho - parte 4: requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE. Rio de Janeiro. 2021.

[16] MACÊDO, M. S. P. H. de. **Mensuração da degradação de fachadas em argamassa empregando a inspeção de edifícios**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil). Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

[17] SENTENA, J. A. A.; KAZMIERCZAK, C. de S.; KREIN, L. A. Degradação de revestimentos de argamassa com finos de resíduos de concreto por ciclos térmicos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 211-224, 2018. http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212018000100217.