
IMPACTOS DO NEGLIGENCIAMENTO DO TEMPO EM ABERTO DA ARGAMASSA COLANTE EM SISTEMAS DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS ADERIDOS – REVISITANDO UM FATOR IMPORTANTE PARA A DURABILIDADE

Tema: Desempenho de sistemas de revestimento.

Grupo: 1

RENAN P. DE ANDRADE¹, JONATHAN C. M. ZAPPILE², ELLEN S. S. DE MOURA³, FLÁVIO L. MARANHÃO³

¹Eng. M.Sc., Escola Politécnica da Universidade de São Paulo/EPUSP, renanandrdep@outlook.com

²Eng., Escola Politécnica da Universidade de São Paulo/EPUSP, jonathan.zappile@usp.br

³Eng., Escola Politécnica da Universidade de São Paulo/EPUSP, ellenssdm5@gmail.com

⁴Prof. Dr., Escola Politécnica da Universidade de São Paulo/EPUSP, flavio.maranhao@usp.br

RESUMO

Os elevados casos de descolamentos de revestimentos em todo o Brasil têm trazido à tona a necessidade de revisar fatores que afetam a durabilidade dos sistemas aderidos, ainda que se apresentem vastamente conhecidos. Este trabalho busca rever a influência do tempo em aberto real a partir de quatro protótipos de sistema de revestimento cerâmico que foram confeccionados para avaliação da resistência à tração variando o tempo em aberto real e a quantidade de ciclos de envelhecimento acelerado por meio choque térmico. Quando negligenciado, o tempo em aberto real mostrou causar perda abrupta da resistência de aderência e propagação do descolamento de maneira agressiva, acelerando o colapso do sistema aderido.

Palavras-chave: tempo em aberto real, desempenho, revestimentos aderidos, choque térmico.

IMPACTS OF NEGLECTING THE OPEN TIME OF ADHESIVE MORTAR IN ADHERED CERAMIC CLADDING SYSTEMS – REVISITING AN IMPORTANT FACTOR FOR DURABILITY

ABSTRACT

The high amount of coating detachment cases throughout Brazil brought to light the need to revisit factors regarding the durability of adhered systems, even though they were widely known. This work seeks to review the influence of real open time from four ceramic tile system prototypes that were made to evaluate the resistance to translation by varying the real open time and the number of cycles of accelerated aging by means of thermal shock. When neglected, real open time has been shown to cause an abrupt loss of bond strength and aggressive manifestation of detachment, accelerating the collapse of the bonded system.

Key-words: open time, performance, adhered coatings, thermal shock.



1. CONTEXTO

A busca por garantir requisitos mínimos de desempenho para as construções e seus subsistemas se tornou crescente^(1,2). John e Sato⁽³⁾ definem a durabilidade como a capacidade do edifício e seus subsistemas manterem determinado desempenho ao longo do tempo, quando expostos as condições normais de uso. A variação de desempenho, por sua vez, pode ser representada por meio de um indicador de degradação com característica mensurável e que permita o acompanhamento dos efeitos dos processos de degradação no desempenho dos sistemas e os materiais que os constituem. Para os sistemas de revestimento cerâmico (SRC) por exemplo, a resistência de aderência à tração, é uma propriedade relevante no desempenho e tem seu método de avaliação prescrito pela norma brasileira NBR 14081-4⁽⁴⁾ e NBR 13755⁽⁵⁾. A perda de resistência de aderência à tração pode ser utilizada como um indicador de degradação e, portanto, indicador de perda de desempenho.

A perda da aderência pode estar associada a fatores relacionados aos materiais, suas respectivas camadas, características e propriedades; condições ambientais e climáticas; condições construtivas e características de projeto⁽⁶⁾. Os revestimentos cerâmicos aderidos são compostos por múltiplas camadas, muitas vezes constituídas por uma base, camada de regularização, camada adesiva e camada revestida, e qualquer falha na execução de algumas destas camadas pode ser fundamental para a perda de desempenho.

No processo de assentamento, as placas cerâmicas são aderidas por meio de uma argamassa com propriedades adesivas. A argamassa colante é aplicada com o auxílio de desempenadeira nos quais são formados cordões. Esta interface entre a argamassa colante e a placa cerâmica é muitas vezes apontada como a interface mais crítica quanto a risco de falhas na aderência⁽⁷⁻⁹⁾ e, por isso, este processo deve ser realizado respeitando diversas diretrizes de modo a garantir aderência na interface. Dentre estas diretrizes existem procedimentos normatizados para preparo do substrato, para mistura da argamassa, para a aplicação da argamassa e placas, para quantidades e recomendações, para as diferentes tipologias de argamassas e principalmente tamanhos de placas⁽¹⁰⁻¹²⁾.

Em 1992 estudos⁽¹³⁾ já apontavam negligenciamento no processo de assentamento de placas cerâmicas, no qual eram estendidas grandes áreas de argamassa colante com posterior assentamento de placas de maneira sequencial, com o objetivo de trazer maior produtividade. Esta sequência inadequada de execução ocasiona o vencimento do tempo em aberto real da argamassa colante, e é uma das causas recorrentes de falha de adesão dos revestimentos. O tempo em aberto real é o intervalo de tempo no qual a placa pode ser assentada sobre a argamassa após estender os cordões. Em obra, este tempo em aberto pode ser averiguado quando ao tocar os cordões, já não suja os dedos com argamassa, evidenciando o tempo em aberto real excedido.

É absolutamente essencial aplicar os revestimentos enquanto o adesivo ainda estiver pegajoso. Se o adesivo secar antes da colocação das placas, pode se tornar um plano de fraqueza e indutor de futuro descolamento. Ainda que o tempo em aberto dos SRC's seja uma propriedade vastamente conhecida pela cadeia da construção, a recorrência de casos de descolamento cerâmico em todo o Brasil⁽¹⁴⁾ traz à tona a necessidade de revermos sobre sua relevância em proporcionar aderência entre os elos/camadas do sistema. Assim, é proposto o programa experimental de modo a tornar claro o impacto do negligenciamento do tempo em aberto real para a durabilidade dos revestimentos cerâmicos aderidos.

2. MÉTODOS, MATERIAIS E ENSAIOS

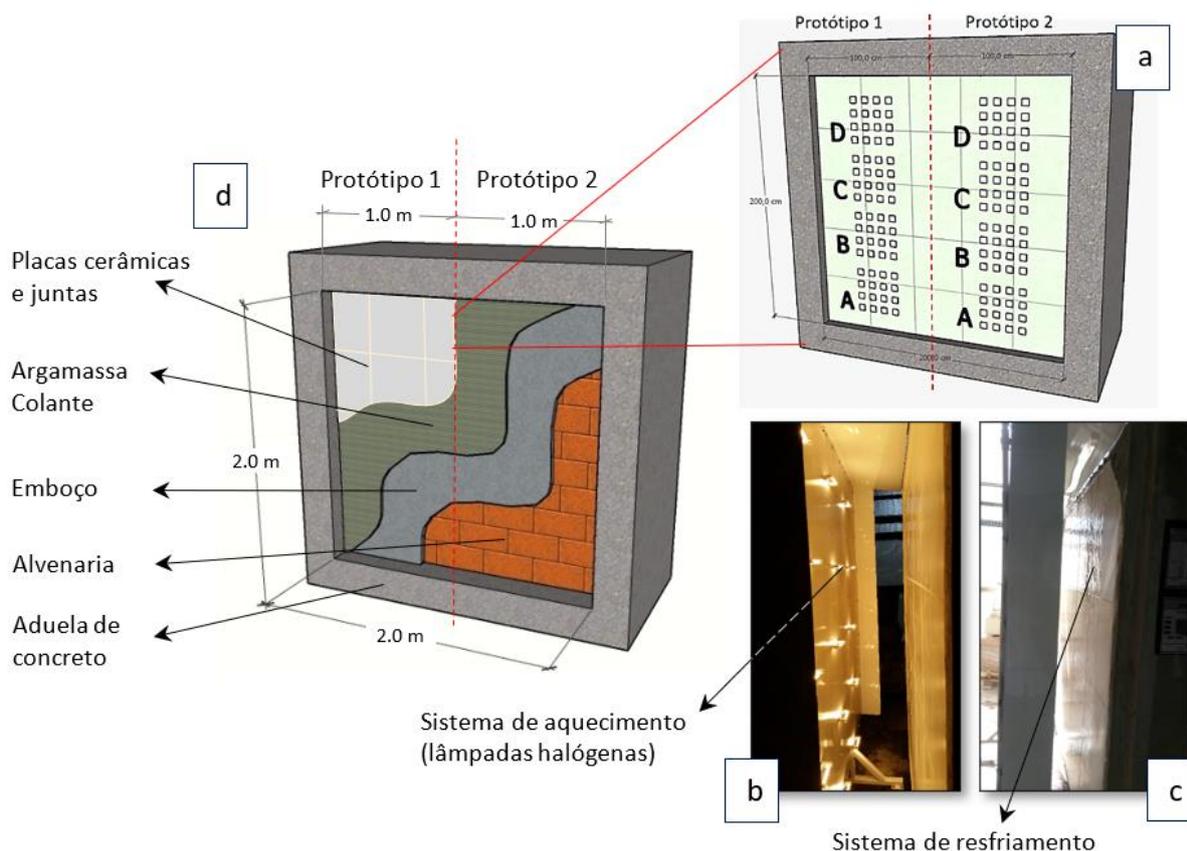
O programa experimental foi realizado em painéis testes de grandes dimensões. Foram confeccionadas duas paredes de alvenarias nas dimensões de 200 cm x 200 cm nas quais cada uma das paredes é dividida verticalmente em dois protótipos de SRC's nas dimensões de 100 cm x 200cm cada, totalizando 4 protótipos. Os protótipos foram executados dentro de aduelas de concreto com o objetivo de submeter os SRC's a confinamento em todo o entorno e restringir as movimentações térmicas laterais, assim como são expostos grande parte dos sistemas aderidos em condições reais de aplicação. Estes foram submetidos a ciclos de envelhecimento acelerado por meio de choque térmico com posterior ensaio de resistência de aderência à tração nas idades de: 0 ciclos (referencial), 10 ciclos, 50 ciclos e 200 ciclos (A, B, C e D, respectivamente). Para cada idade de ensaio de resistência de aderência à tração foram extraídas 15 amostras (Figura 1a).

Os protótipos são compostos por base de alvenaria em blocos cerâmicos, camada de regularização com argamassa industrializada, revestidas com argamassa colante e placas cerâmicas rejuntadas. As características de cada camada são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Materiais e especificações.

CAMADA	ESPECIFICAÇÃO		NORMA E PROCEDIMENTOS DE EXECUÇÃO
Placa cerâmica	Dimensões:	45 × 45 × 0,6 cm	
	Absorção de água	8%	NBR ISO 13.006 ⁽¹⁵⁾
	Classificação:	BIIB	NBR ISO 13.006 ⁽¹⁵⁾
	Cor:	Branca	
Junta de assentamento	Espessura:	0,4 cm	
	Rejunte:	Tipo 1	NBR 14.992 ⁽¹⁶⁾
Argamassa colante	Classificação:	AC-2	NBR 14.081-1 ⁽⁴⁾
	Espessura:	0,7 cm	
Emboço	Espessura:	2,0 cm	NBR 13755 ⁽¹⁷⁾
Alvenaria	Tipo:	Blocos cerâmicos	NBR 8545 ⁽¹⁸⁾
	Espessura:	14,0 cm	

Figura 1 – Ilustração do detalhamento e disposição dos protótipos deste programa experimental. (a) disposição das amostras. (b) sistema de aquecimento para choque térmico. (c) sistema de resfriamento para choque térmico. (d) camadas do sistema para o programa experimental proposto



Este estudo propõe avaliar a influência de 4 diferentes tempos em aberto reais (0, 30, 60 e 90 minutos) na resistência de aderência dos SRC's estudados. As variáveis de estudo são apresentadas na Tabela 2. Estes 4 protótipos, foram submetidos também a ciclos de choque térmico com o objetivo de solicitá-los a envelhecimento artificial acelerado.

O processo de envelhecimento artificial acelerado envolve ciclos sequenciais de choques térmicos realizados por meio do posicionamento de painéis de aquecimento e resfriamento em frente às paredes. O ensaio segue os requisitos prescritos no Anexo E da norma ABNT NBR 15575-4⁽¹⁹⁾. Os painéis de aquecimento são compostos por 15 lâmpadas halógenas (500W cada), dispostas simetricamente (três colunas com cinco lâmpadas cada, com espaçamento vertical de 0,40 m e espaçamento horizontal de 0,67 m), e emitem radiação constante de 450 W/m² (potência total) nas superfícies externas dos revestimentos. O sistema de resfriamento, por sua vez, opera projetando água fria (aproximadamente 20°C) por aspersão ao longo da altura das paredes, simulando assim um ambiente altamente agressivo e com elevada amplitude térmica. A Figura 1(b-c) representam ambos os sistemas



em operação. Cada ciclo foi programado para apresentar um período inicial de aumento da temperatura superficial até que o valor captado pelos termopares (na superfície externa do revestimento) atingisse aproximadamente 80 °C. Em seguida, o sistema do painel foi acionado por meio de um procedimento automatizado de controle da temperatura da superfície em 80 °C, seguido de aspersão de água até que a parede esfriasse completamente antes do início do ciclo subsequente. Os detalhes do teste de envelhecimento artificial são apresentados na Tabela 3.

Tabela 2 – Variáveis de estudo. Quatro diferentes tempos em aberto submetidos a ciclos de choque térmico

PROTÓTIPOS	TEMPO EM ABERTO	CHOQUE TÉRMICO (ciclos)
1	0 minutos (referencial)	0, 10, 50, 200
2	30 minutos	0, 10, 50, 200
3	60 minutos	0, 10, 50, 200
4	90 minutos	0, 10, 50, 200

Tabela 3 – Parâmetros dos ciclos de choque térmico para os testes de envelhecimento artificial.

PARÂMETROS	CONFIGURAÇÕES
Máxima temp. superficial	80 ± 3 °C
Mínima temp. superficial	20 ± 5 °C
Tempo de aquecimento	1.5 h
Tempo em máxima temperatura	2 h
Tempo de resfriamento	1.5 h
Tempo de ciclo (total)	5 h

O objetivo deste experimento de envelhecimento acelerado foi observar, medir e avaliar os problemas de desempenho após um determinado número de ciclos. Isso se tornou possível por meio dos ensaios de aderência, além de observação e mapeamento de propagação de descolamento por meio de testes de percussão após 0 (estado referencial), 10, 50 e 200 ciclos. Foi proposto ainda ensaio de caracterização de tempo em aberto, conforme prescreve a NBR 14081-3⁽²⁰⁾, com o objetivo de permitir comparação dos valores de resistência de aderência em substrato-padrão e ambiente controlado, ao passo que os protótipos de grandes dimensões são executados em condições mais próximas das condições de obra, com exposição a ambiente aberto e variações de temperatura e umidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. SRC submetidos a variações de tempo em aberto real

Os resultados de resistência de aderência à tração dos substratos-padrão estão apresentados na Figura 2 por meio de gráficos *box-plot* com a dispersão dos valores, linha ao centro representando a média e os valores medianos representados por “X”. Da mesma forma, a Figura 3 apresenta os resultados de resistência de aderência à tração encontrados por meio dos protótipos de grandes dimensões. Foi observada uma diminuição expressiva da resistência de aderência mesmo em placas cerâmicas assentadas sobre substratos-padrão em condições de ausência de vento, temperatura ambiente e umidade do ar controlada. Os resultados mostram valores medianos de até 0,05 MPa quando submetido a tempo em



aberto de 90 minutos e, quando comparado ao resultado referencial no qual respeita o tempo em aberto (0 minutos) com valor mediano de 0,93 MPa (Figura 4). Demonstrando assim, redução de quase 95% da resistência de aderência à tração.

Nos protótipos de grandes dimensões os resultados foram ainda mais expressivos (Figura 3). Para 0 minutos de tempo em aberto foram observados valores de resistência de aderência entre 0,34 e 0,14 MPa e aquele submetido a 30 minutos de tempo em aberto, valores entre 0,13 e 0 MPa, resultando em 9 amostras com 0 MPa. Com relação aos protótipos executados com 60 e 90 minutos de tempo em aberto, a totalidade das amostras caíram após os cortes para preparação do ensaio de resistência de aderência, representando, portanto, 0 MPa de resistência de aderência e suas quantidades apresentadas na Figura 5.

Figura 2 – Resistência de aderência à tração dos substratos-padrão executados com diferentes tempos em aberto

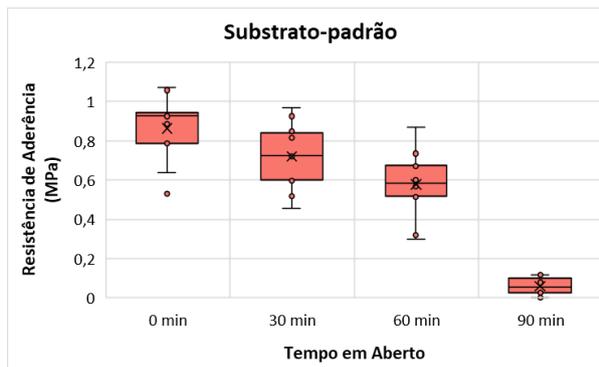


Figura 3 – Resistência de aderência à tração dos protótipos de grandes dimensões executados com diferentes tempos em aberto

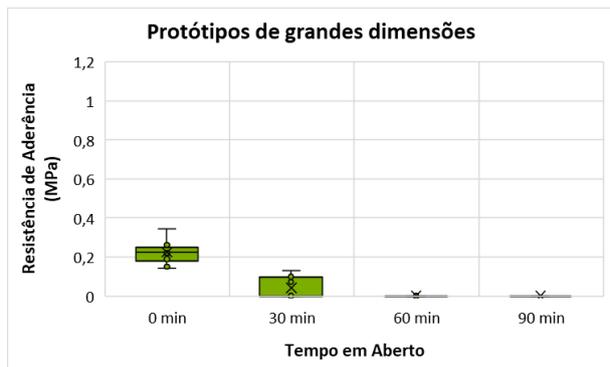


Figura 4 – Resultados medianos dos substratos-padrão e protótipos de grandes dimensões

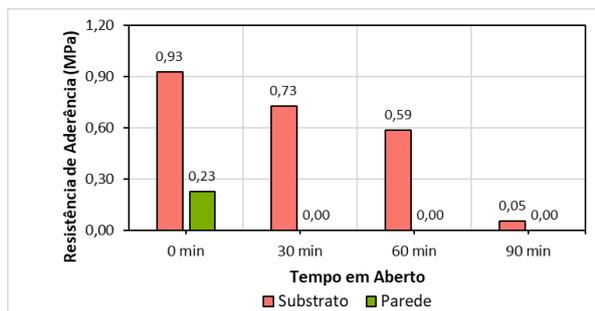
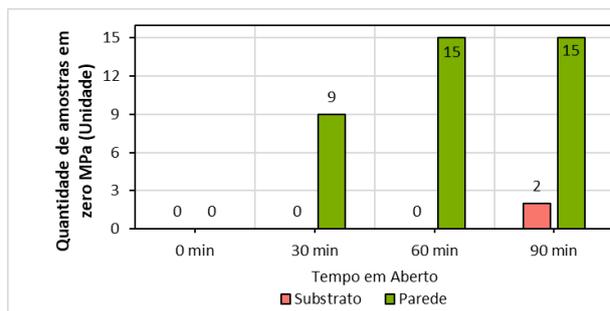


Figura 5 – Quantidade de amostras com 0 MPa dos substratos-padrão e protótipos de grandes dimensões



3.2. SRC submetidos a ciclos de choque térmico

Os protótipos de grandes dimensões submetidos a ciclos de choque térmico têm seus resultados medianos de resistência de aderência apresentados na Figura 6. Ainda que tenha sido respeitado o tempo em aberto (protótipo referencial) no momento do assentamento das placas cerâmicas, os SRC submetidos a ciclos de choque térmico apresentaram expressiva redução da resistência de aderência. Caindo de 0,23 MPa para 0,08 MPa e totalizando queda de resistência de 65%. Conforme observado anteriormente, o negligenciamento do tempo em aberto por si só já se apresenta fator preponderante para a queda abrupta da resistência de aderência à tração e permanecendo valores medianos próximos ou equivalente a 0 MPa mesmo após ciclos de choque térmico, como observados os resultados de resistência de aderência medianos para 30, 60 e 90 minutos de tempo em aberto.

Os SRC submetidos a elevados tempos em aberto se apresentaram suscetíveis a apresentar baixa ou nenhuma resistência de aderência à tração e suas quantidades são apresentadas na Figura 7. À medida que se extrapola o tempo em aberto, maior se apresenta a quantidade de amostras com 0 MPa de resistência de aderência, chegando à totalidade das quedas das placas dos protótipos com 60 e 90 minutos de tempo em aberto submetidos a 200 ciclos de choque térmico.

Figura 6 – Resultados medianos de resistência de aderência dos protótipos de grandes dimensões submetidos a choque térmico

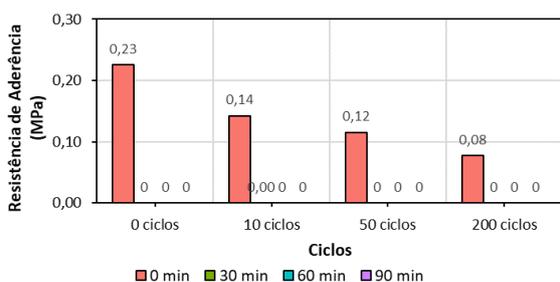
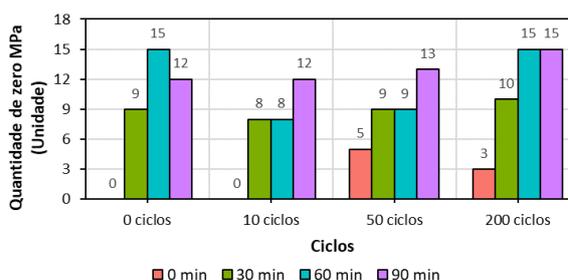


Figura 7 – Quantidade de amostras com 0 MPa dos protótipos de grandes dimensões submetidos a choque térmico

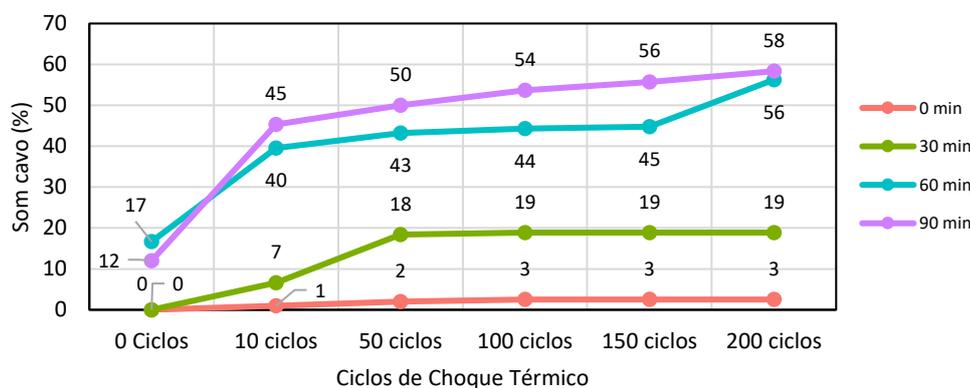


3.3. Mapeamento a percussão e detecção de som cavo

Estes mesmos protótipos de grandes dimensões quando submetidos a ensaio de percussão para a detecção de som cavo, foi possível observar notável aumento de áreas descoladas e apontadas por indicação de som cavo. Com relação ao protótipo com placas assentadas respeitando tempo em aberto mínimo (0 minutos), ainda que tenha sido observada expressiva redução da resistência de aderência após ciclos de choque térmico, o sistema teve apenas 3% de sua área aderida delaminada (com presença de som cavo). Aumento de áreas descoladas se apresentaram mais significativas à medida que se observa os protótipos

de 30, 60 e 90 minutos de tempo em aberto em seu processo executivo. Os protótipos com 60 e 90 minutos de tempo em aberto apresentaram quase 60% de sua área descolada após ciclos de choque térmico, sendo observado agravamento da área descolada já nos primeiros 10 ciclos.

Figura 8 – Percentual de som cavo (descolamento) detectado por percussão sobre a área revestida dos SRC com diferentes tempos em aberto e submetidos a ciclos de choque térmico



4. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O programa experimental aqui apresentado mostrou que o negligenciamento do tempo em aberto nos SRC estudados se apresentou fator importante para a queda de resistência de aderência à tração dos sistemas aderidos, assim como evidenciado em outros trabalhos⁽²¹⁾, chegando a valores que representam colapso total do sistema aderido e com presença de grandes extensões de área descoladas. Estes sistemas aderidos podem sofrer prejuízos ainda maiores quando submetidos ao ciclo natural de aplicação, com presença de variações térmicas que aceleram seu processo de degradação, comportamento também observado em diversos outros trabalhos^(22,23).

5. AGRADECIMENTOS

Os estudos foram desenvolvidos sob apoio do Departamento de Engenharia de Construção Civil – PCC e Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica – PEF da Escola Politécnica da USP. Os pesquisadores agradecem ainda o convênio, apoio e financiamento por parte da Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres – ANFACER, por meio do projeto de pesquisa FDTE-1732.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. de Freitas, V. P., Corvacho, H., Quintela, M. & Delgado, J. M. P. Q. Assessing the durability of mortars tiles – A contribution for a prediction model. **Engineering Failure Analysis** **44**, 36–45 (2014).
2. Silva, A., de Brito, J. & Gaspar, P. L. A comparative multi-criteria decision analysis of service life prediction methodologies for rendered façades. **Journal of Building Engineering** **20**, 476–487 (2018).
3. John; V. M. & Sato, N. M. N. Durabilidade de componentes da construção. in **Construção e Meio Ambiente** (ed. Pereira, E. M. A. S. [e] F. O. R.) vol. 7 296 (ANTAC, 2006, 2006).
4. **ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14081-4:** Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas Parte 4: Determinação da resistência de aderência à tração. Preprint at (2012).
5. **ABNT - 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. Preprint at (2017).
6. Carasek, H., Japiassú, P., Cascudo, O. & Velosa, A. Bond between 19th Century lime mortars and glazed ceramic tiles. **Construction and Building Materials** **59**, 85–98 (2014).
7. Jenni, A., Holzer, L., Zurbriggen, R. & Herwegh, M. Influence of polymers on microstructure and adhesive strength of cementitious tile adhesive mortars. **Cem Concr Res** **35**, 35–50 (2005).
8. Bühler, Th., Zurbriggen, R., Pieleles, U., Huwiler, L. & Raso, R. A. Dynamics of early skin formation of tiling mortars investigated by microscopy and diffuse reflectance infrared Fourier transformed spectroscopy. **Cem Concr Compos** **37**, 161–170 (2013).
9. Winnefeld, F. *et al.* Moisture induced length changes of tile adhesive mortars and their impact on adhesion strength. **Constr Build Mater** **30**, 426–438 (2012).

-
10. **ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13753:** Revestimento de piso interno ou externo com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – Procedimento. Preprint at (1996).
 11. **ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13754:** Revestimento de paredes internas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – Procedimento. Preprint at (1996).
 12. **ABNT - 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. Preprint at (2017).
 13. Chew, M. Y. L. The study of adhesion failure of wall tiles. *Building and Environment* **27**, 493–499 (1992).
 14. CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Entrevista: Deslocamento cerâmico - Construção civil defende rápida resolução. **Agência CBIC** <https://cbic.org.br/entrevista-deslocamento-ceramico-construcao-civil-defende-rapida-resolucao/> (2019).
 15. **ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 13006:** Placas Cerâmicas – Definições, Classificação, Características e marcação (2020).
 16. **ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14992:** A.R. - Argamassa à base de cimento portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios. Preprint at (2003).
 17. **ABNT - 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. Associação Brasileira de Normas Técnicas* (2017).
 18. **ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8545:** Execução de alvenaria sem função estrutural de tijolos e blocos cerâmicos. Preprint at (1984).



-
19. **ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15575:4** - Edificações habitacionais - Desempenho Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE. Preprint at (2013).
20. **ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14081-3:** Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas Parte 3: Determinação do tempo em aberto. Preprint at (2012).
21. Gonzaga Lopes Junior, L., Pereira De Andrade, R. & Leal Maranhão, F. **Simulação laboratorial das forças necessárias ao preenchimento do tardez no processo de assentamento de placas cerâmicas.** *XIII SBTA - Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas 1*, 495–503 (2019).
22. Curci, H. C. F., de Andrade, R. P., Maranhão, F. L., Gomes, H. C. & Campello, E. M. B. Analysis of adhered tiling systems based on experimental evaluation and numerical modeling. *Constr Build Mater* **325**, 126746 (2022).
23. Andrade, R. P. de, Curci, H. C. F., Moura, E. S. S. de, Gomes, H. C. & Maranhão, F. L. Avaliação das tensões nas camadas de revestimento cerâmico após indução de aquecimento superficial em diferentes condições. *Cerâmica industrial* **26**, 1–13 (2021).