

REVISIÓN DE LOS FACTORES QUE AFECTAN DIRECTAMENTE A LA DURABILIDAD DE LOS RECUBRIMIENTOS CERÁMICOS ADHERIDOS - INVESTIGACIÓN DEL ESCENARIO BRASILEÑO

Renan P. de Andrade⁽¹⁾, Ana Paula Margarido⁽²⁾, Julio C. Carvalho⁽²⁾, Mauricio M. Resende⁽²⁾, Anderson V. Chaves⁽³⁾, Flávio L. Maranhão⁽¹⁾

⁽¹⁾**Polytechnic School of the University of São Paulo – Brasil**

⁽²⁾**Ceramic Center of Brazil – Brasil**

⁽³⁾**ANFACER – Asociación Brasileña de Fabricantes de Baldosas Cerámicas, Sanitarios y Productos Afines – Brasil**

Los altos niveles de desprendimiento de baldosas cerámicas adheridas en todo Brasil han traído a la luz la necesidad de retomar la discusión sobre los factores que afectan a la durabilidad de los sistemas adheridos. Aunque estos factores sean conocidos por la ciencia desde hace mucho tiempo a través de diversos estudios y publicaciones sobre el tema, el escenario plantea la necesidad de que sean recordados para que, consecuentemente, se evidencie su relevancia en la garantía de adherencia entre las uniones/capas de recubrimientos cerámicos y proporcionen durabilidad. Aunque cuando mencionamos recubrimiento cerámico, a menudo nos referimos a la propia pieza, es importante entender que este elemento forma parte de un contexto más amplio. El recubrimiento de baldosas cerámicas adheridas debe ser visto como sistémico, ya que depende de varios elementos que trabajan estrechamente interconectados para garantizar, además de buenas características estéticas, buenas condiciones de integridad. Estos sistemas suelen estar compuestos por una base (soporte de colocación), ya sea de mampostería, hormigón o con armazones ligeros de acero; capa de anclaje (preparación del soporte de colocación); capa de revoco; capa adhesiva, muchas veces con el uso de mortero adhesivo y, por último, la baldosa cerámica con sus juntas de colocación rejuntadas. Aunque las capas del sistema están expuestas a las mismas condiciones climáticas, estos componentes están formados por materiales con propiedades diferentes y sus respuestas a las acciones en el entorno de aplicación suelen ser distintas, ya que están adheridas entre sí.

La respuesta de un determinado material con ciertas propiedades afectará directamente al comportamiento del material/capa adyacente con propiedades diferentes al que debe adherirse. La adherencia de capas compuestas por materiales con diferentes propiedades provoca concentraciones de tensiones y una respuesta en cadena a estas solicitudes en las diferentes capas del sistema. Los modelos computacionales junto con los programas experimentales han aportado importantes respuestas a la comprensión de estos fenómenos. Cuando estas tensiones se suman a errores derivados del proyecto, incorrecta prescripción de los materiales utilizados, errores en la ejecución de cada una de las capas, incumplimiento de la normativa vigente, entre otros errores que incluyen acciones físicas, químicas o mecanismos de degradación, o incluso, todas estas acciones sumadas, pueden dar lugar a un mal acomodo de las tensiones a lo largo del recubrimiento y afectar directamente a la durabilidad de este sistema adherido. En esta temática, este trabajo pretende contribuir a la comprensión de los mecanismos que afectan a la durabilidad y principalmente a la adherencia entre las diferentes capas del sistema de recubrimiento cerámico adherido y, a través de la revisión bibliográfica, mostrar cuáles son los factores que afectan directamente a su durabilidad.

1. CONTEXTUALIZACIÓN

Según John y Sato [1] el análisis de la eficacia de una construcción debe hacerse a partir del grado de satisfacción con que el producto construido y sus sistemas cumplen las funciones para las que fueron diseñados. Es decir, atienden a las necesidades de sus usuarios, garantizando los requisitos mínimos de durabilidad durante un determinado período de tiempo. La norma brasileña sobre Durabilidad de Edificios Residenciales [2] define que la durabilidad se evalúa según la capacidad del edificio y sus partes de cumplir sus funciones en condiciones de uso y mantenimiento durante la vida útil estipulada en el proyecto, manteniendo las prestaciones de sus sistemas y garantizando determinadas propiedades de los materiales. La variación de las prestaciones puede representarse a través de un indicador de la degradación con una característica medible que permita monitorizar los efectos de los procesos de degradación sobre las prestaciones de los sistemas y de los materiales que los constituyen.

Para los Sistemas de Recubrimiento Cerámico Adherido (SRCA), por ejemplo, la resistencia a la adherencia por tracción es una propiedad relevante en el desempeño y tiene su método de evaluación prescrito por las normas brasileñas NBR 14081-4 [3] y 13755 [4]. La pérdida de resistencia a la adherencia por tracción puede ser utilizada como un indicador de degradación y, por lo tanto, un indicador relevante de pérdida de rendimiento.

Los SRCA deben considerarse como un conjunto de capas estrechamente vinculadas, compuestas por materiales con diferentes propiedades químicas, térmicas e higroscópicas. Se trata de sistemas multicapa formados por una base (soporte de colocación), tradicionalmente de mampostería u hormigón; capa de anclaje (preparación del soporte de colocación); capa de revoco (enlucido); capa adhesiva, comúnmente realizada con mortero adhesivo o resinas adhesivas; y capa de revestimiento, formada por baldosas cerámicas y juntas de colocación rejuntadas. Por lo tanto, la presencia de una interfaz entre estas capas es inevitable, pero también fundamental, para el buen funcionamiento del sistema (Figura 1).

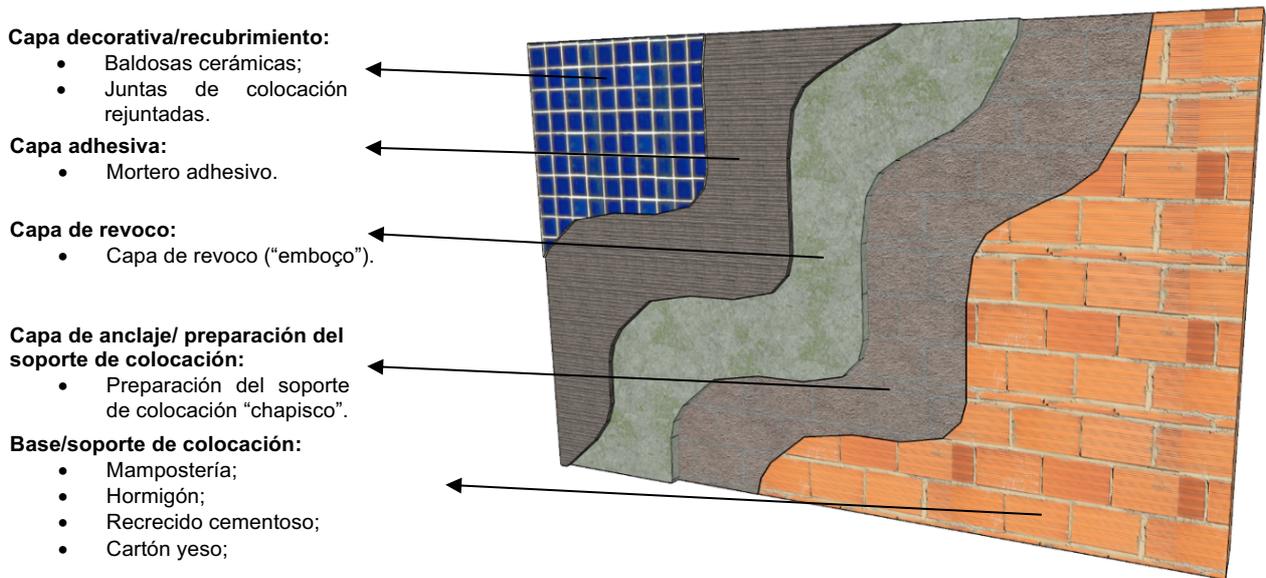


Figura 1 – Sistemas tradicionales de revestimiento cerámico adherido (SRCA) en Brasil.

La adherencia entre capas de los SRCA puede verse afectada por factores relacionados con los materiales utilizados, las propiedades y compatibilidad de las capas, la técnica de aplicación empleada y las condiciones climáticas presentes en el momento de realizar las capas y aplicar los materiales, además del tiempo y las condiciones ambientales a las que estarán expuestos estos sistemas de recubrimiento [5]. Al estar íntimamente adheridos, cualquier movimiento diferencial en alguna de estas capas provocará la aparición de tensiones en todo el conjunto adherido (Figura 2). Dependiendo de las características de los materiales, geometría y propiedades de las capas, las tensiones derivadas de estas deformaciones pueden ser de mayor o menor intensidad, llegando incluso a provocar la pérdida total de adherencia y el colapso de la adherencia de la capa [6]. El colapso de la adherencia en cualquiera de las interfases del sistema adherido se conoce como desprendimiento.



Figura 2 – Factores que influyen en la adherencia de los SRCA [5].

La Cámara Brasileña de la Industria de la Construcción (CBIC) realizó una encuesta en todo Brasil hasta 2019 sobre casos de manifestación patológica de desprendimiento de revestimientos cerámicos adheridos y los datos verificados incluyen más de 2,6 millones de metros cuadrados de áreas desprendidas, distribuidas en 157 edificios, 66 ciudades, 17 estados e involucran 49 empresas constructoras del país además de 14 proveedores de baldosas cerámicas [7]. Los números señalados por la CBIC presentan sólo un escenario relacionado con el espacio muestral encuestado, lo que lleva a reflexionar sobre el hecho de que estos números son aún mayores y pone de relieve la magnitud de la patología del desprendimiento que enfrenta el país.

De acuerdo con la Norma Brasileña de Durabilidad de los Edificios Residenciales NBR 15575-1 [2], la vida útil de proyecto del sistema de recubrimiento cerámico debe alcanzar como mínimo 20 años para revestimientos externos y fachadas, y 13 años para revestimientos internos y pavimentos. Sin embargo, las situaciones más comunes de desprendimiento tienden a ocurrir menos de 5 años después del final de la construcción [8]. Según estos autores, el 50,9% de los edificios estudiados presentaron señales patológicas de desprendimiento en las fachadas antes de los 5 años de uso, período mucho menor que el especificado por la norma NBR 15575-1 [2].

Los factores que influyen en la aparición de la manifestación patológica del desprendimiento pueden resumirse, según Carasek et al. [5], mediante los requisitos de uso y aplicación de los siguientes pilares:

- Mortero
- Sustrato
- Técnica de aplicación
- Condiciones climáticas
- Tiempo de exposición (degradación)

2. PILARES: MORTERO Y SUSTRATO

2.1 MORTERO DE ANCLAJE/PREPARACIÓN DEL MORTERO PARA EL SOPORTE DE COLOCACIÓN

El mortero de preparación de la superficie de la base es conocido en Brasil como "chapisco". Su finalidad es mejorar la adherencia de la siguiente capa a ejecutar, garantizando una mayor área de adherencia a través de una superficie con elevadas propiedades de rugosidad y porosidad [9]. Su función principal es proporcionar una mayor área de contacto y servir de puente de adherencia para la ejecución de la capa posterior. Tiene una función secundaria de normalización de la superficie en términos de absorción de agua, ayudando al proceso de intercambio y retención de agua además del anclaje mecánico de la capa adyacente [10]. Generalmente, su mezcla se compone de áridos finos de elevado tamaño de partícula y consistencia muy fluida para garantizar su capacidad de esparcimiento durante el proceso de aplicación. Sus propiedades reológicas permiten el anclaje del mortero base en los poros del sustrato y la presencia de áridos de gran tamaño proporciona una mayor superficie, permitiendo un mayor anclaje de la capa adyacente.

Cuando se aplica sobre superficies de baja permeabilidad, como estructuras de hormigón y paredes, es importante lijar estas superficies para asegurar el anclaje del mortero base en la superficie de hormigón.

Tras el lijado, se recomienda lavar la superficie para poder eliminar las partículas de polvo sueltas que podrían impedir el proceso de anclaje y provocar fallos de adherencia en la interfaz entre la superficie de hormigón y el mortero de preparación de la base.

La negligencia en el lijado o incluso el lavado después del lijado ha mostrado casos de desprendimiento del sistema de recubrimiento en esta interfase, ya que las superficies hormigonadas son generalmente lisas debido al efecto de pared de los encofrados de hormigón, agravado por la presencia de un agente desmoldeante presente en el proceso de hormigonado. La manifestación patológica del desprendimiento puede aparecer durante el proceso de recubrimiento cuando no se tienen en cuenta estos procesos (Figura 3).



Figura 3 – Manifestación patológica de desprendimientos en las interfases del recubrimiento con la superficie del hormigón, incluso durante la fase de ejecución del sistema de recubrimiento adherido.

El descuido del proceso de curado de esta capa también puede causar la desagregación de los áridos con una pérdida significativa de la resistencia superficial, perdiendo completamente la función de puente de anclaje de la capa. Los ambientes con altas temperaturas y la presencia de fuertes vientos inhiben el proceso de hidratación del cemento y provocan un curado incorrecto de la capa. Por lo tanto, es una razón común para el fracaso de la adherencia y un acelerador del proceso de degradación del SRCA.

2.2 MORTERO DE REVOCO

Se conoce en Brasil como “emboço”. Según lo definido por la Norma Brasileña para revestimientos exteriores de fachadas NBR 13755 [11], la capa de revoco tiene la función de revestir y regularizar la superficie de la capa de anclaje (mortero de preparación del soporte de colocación), para proporcionar una superficie/sustrato regular que permita recibir otra capa, como la capa de revestimiento de mortero decorativo, capa de revestimiento cerámico o capa de pintura.

Sus propiedades se rigen por la Norma Brasileña NBR 7200 [12]. Tal como está previsto para la capa de preparación del soporte de colocación, la capa de revestimiento exige un cuidado especial con la dosificación del mortero, preparación de la mezcla, cantidad de agua de amasado, lugar de aplicación, preparación de la superficie, vida útil del mortero, tiempo abierto y proceso de curado correcto [13].

Existen diversas manifestaciones patológicas asociadas a la incorrecta prescripción del mortero de revoco, incompatibilidad con el material del soporte, traza correcta, correcta manipulación, garantía de las propiedades especificadas en el proyecto, resistencia superficial, etc.

Cuando la capa de revoco es aplicada en los revestimientos externos de paredes y fachadas, los requisitos y precauciones son regidos por la Norma Brasileña NBR 13755 [9]. Cuando se utiliza para revestimientos internos de paredes y techos, las recomendaciones de aplicación y los requisitos mínimos se presentan en las Normas Brasileñas NBR 7200 [12], 13281 [14], 13749 [15] y 14081 [3,16-18].

2.3 MORTERO ADHESIVO

En el proceso de colocación de las baldosas cerámicas en la capa de revestimiento cerámico, las baldosas cerámicas se adhieren utilizando un mortero con propiedades adhesivas. El mortero adhesivo se aplica con la ayuda de una llana con la que se forman cordones [9]. La interfaz entre el mortero adhesivo y la baldosa cerámica se identifica a menudo como la interfaz más crítica en términos de riesgo de fallos de adherencia [19-21] y, por lo tanto, este proceso debe llevarse a cabo respetando varias directrices para garantizar la adherencia en la interfaz. Entre estas directrices existen procedimientos normalizados para la preparación del sustrato, para la mezcla del mortero, para la aplicación del mortero y de las baldosas, para las cantidades y recomendaciones, para los diferentes tipos de mortero y para los tamaños mayoritarios de las baldosas [4,22,23]. La técnica de aplicación utilizada y las condiciones climáticas en el momento de la aplicación son cruciales para el buen comportamiento y consecuente durabilidad del sistema adherido.

3. PILARES: TÉCNICA DE APLICACIÓN Y CONDICIONES CLIMÁTICAS

Un factor de gran influencia en este pilar es la garantía de área de contacto entre el adhesivo y la baldosa cerámica. La reología del mortero adhesivo y el control de la técnica de aplicación tienen gran influencia en el área de contacto obtenida entre la baldosa cerámica y el mortero adhesivo [13,24]. La NBR 13755 [9] sugiere la inspección del dorso del revestimiento después de la colocación como control de calidad del proceso de colocación de las baldosas. No es raro encontrar cobertura inferior al 90% (Figura 4) exigido por la Norma Brasileña [25-27], comprometiendo la fuerza de adherencia del SRCA y consecuentemente su durabilidad (Figura 5).



Figura 4 – Superficie real de la baldosa desprendida, que revela la reducción efectiva del área de contacto causada por un procedimiento de fraguado deficiente [27].

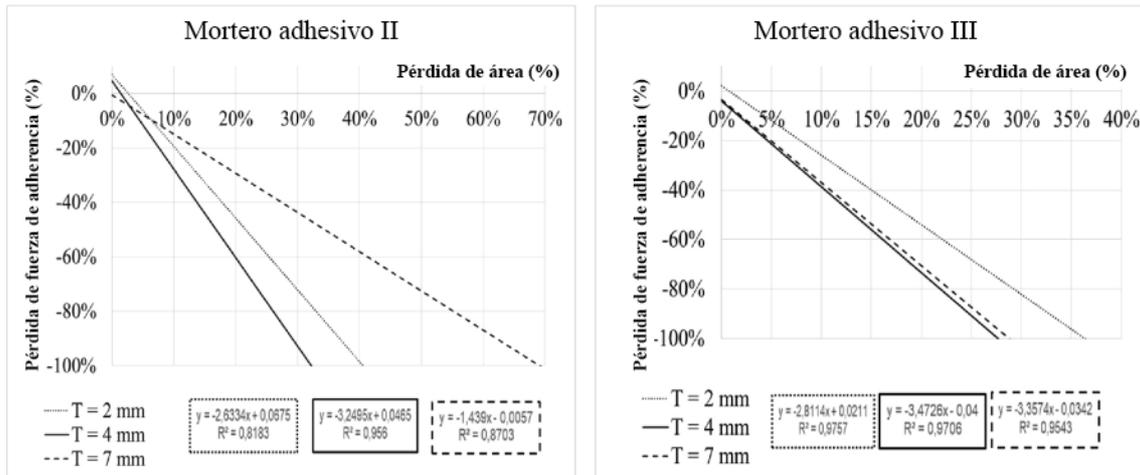


Figura 5 – Línea de tendencia lineal de la pérdida de fuerza de adherencia debida a la pérdida de área de contacto en probetas con morteros adhesivos de los tipos 2 y 3 [26].

En 1992 [28] algunos estudios ya señalaban negligencias en el proceso de colocación de baldosas cerámicas, en el que se extendían grandes áreas de mortero adhesivo con posterior colocación de baldosas de forma secuencial, con el objetivo de aportar mayor productividad. Esta secuencia inadecuada de ejecución provoca el vencimiento del tiempo abierto del mortero adhesivo y es una de las causas recurrentes de fallo de adherencia de los recubrimientos. El tiempo abierto real es el intervalo de tiempo en el que se puede colocar la baldosa cerámica sobre el mortero después de extender los cordones. En la obra, este tiempo abierto se puede comprobar cuando, al tocar los cordones, los dedos ya no se ensucian de mortero, lo que demuestra que se ha superado el tiempo abierto. Es absolutamente imprescindible colocar las baldosas cerámicas cuando el adhesivo aún está pegajoso. Si el adhesivo se seca antes de colocar las baldosas cerámicas, puede convertirse en un plano de debilidad, ya que la formación de una película superficial sobre el cordón de mortero adhesivo dificulta el contacto del adhesivo con la baldosa cerámica (Figura 6). Este proceso aumenta la pérdida de resistencia a la adherencia por tracción (Figura 7), convirtiéndose en un inductor de futuros desprendimientos [20].

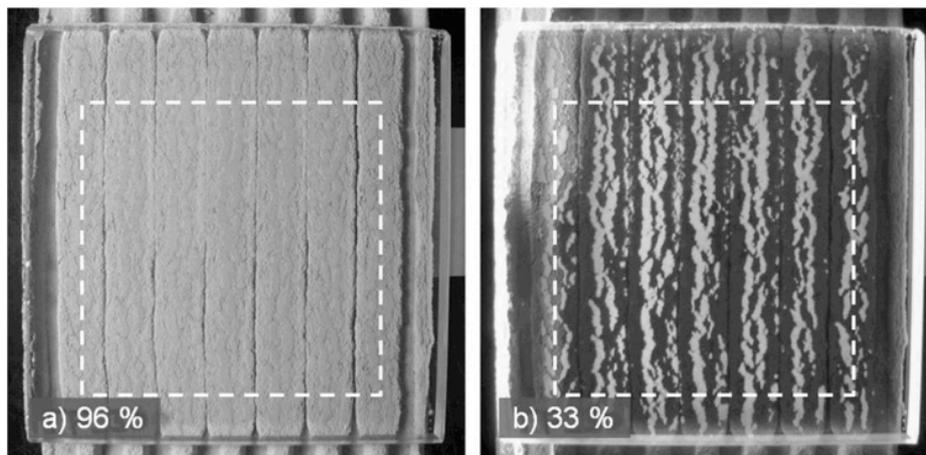


Figura 6 – (a) Fotografía de una placa de vidrio de 10 x 10 cm incrustada 30 min después de peinar el mortero. Muestra elaborada según la norma EN 1347. Los caballones de mortero están prensados hasta ocupar el 96% del área (medido dentro del área marcada). (b) Misma muestra iluminada lateralmente. La piel aparece oscura. El área de humectación brillante mide un 33% del área (medido dentro del área marcada) [20].

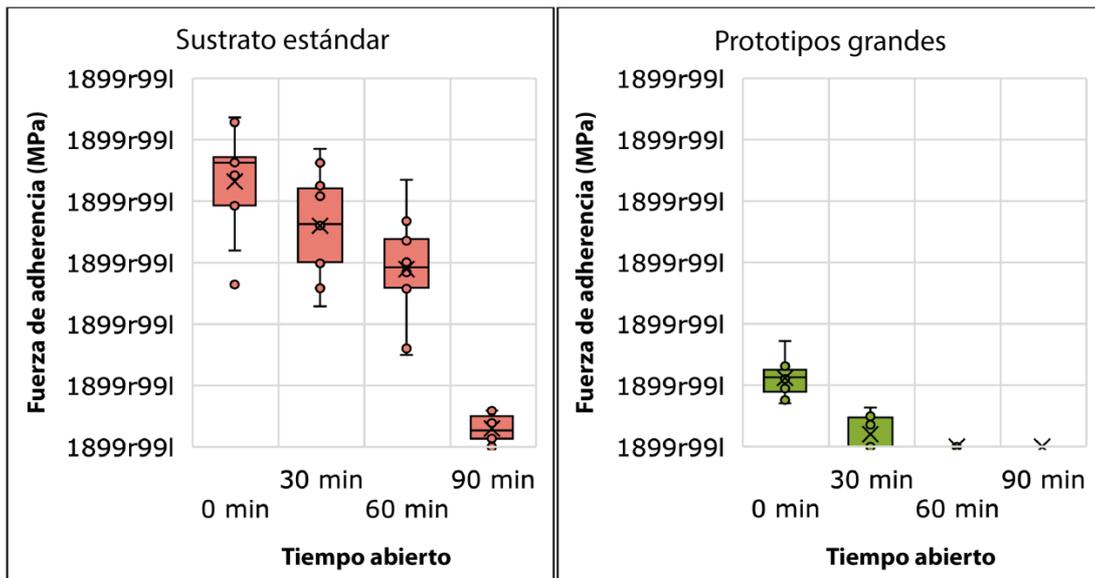


Figura 7 – Influencia del tiempo abierto en sustratos estándar y en prototipos grandes con una pérdida abrupta de resistencia a la adherencia por tracción [29].

4. PILAR: TIEMPO DE EXPOSICIÓN (DEGRADACIÓN)

Varios estudios experimentales ya han demostrado la disminución del rendimiento en los sistemas de recubrimiento cuando se someten a variaciones térmicas por la propagación de daños. Yiu, Ho y Lo [30] y Andrade et al. [25] midieron reducciones de más del 50% en la resistencia a la cizalladura y en la adherencia a la tracción, respectivamente, al someterlas a poco más de 100 ciclos de calentamiento y enfriamiento acelerados en entornos de laboratorio.

Cuando se exponen a variaciones de temperatura, las distintas capas sufren dilataciones térmicas cuyas magnitudes dependen de sus propiedades mecánicas y térmicas, como el módulo de Young (E), el coeficiente de Poisson (ν) y el coeficiente de deformación térmica lineal (α), específicos de cada material. Las restricciones de desplazamiento en las interfaces entre las capas, una vez adheridas entre sí, junto con el calentamiento o enfriamiento desigual a lo largo del espesor del SRCA, generan deformaciones diferenciales que, en consecuencia, provocan tensiones normales y tangenciales. Cuando las tensiones que actúan sobre una determinada capa superan el límite de resistencia del material que la compone, se produce un fallo. Este fallo puede estar restringido a una pequeña región, sin consecuencias prácticas para la cubierta, o puede propagarse durante los ciclos térmicos [31]. El proceso de aumento de los picos de tensión se acelera cuando existen huecos en la interfaz de unión, acelerando el proceso de degradación. Este fenómeno se ha ilustrado en varios trabajos mediante modelización computacional utilizando elementos finitos (Figura 8).

En las últimas dos décadas, ha habido un creciente interés en el enfoque computacional para modelizar deformaciones y tensiones en estos sistemas [27]. Una de las principales publicaciones fue la realizada por Mahaboonpachai et al. [32] en la que, a partir de expresiones analíticas y el posterior análisis de la energía y los modos de fractura en las interfaces, se pueden mostrar las zonas con mayor concentración y propagación del daño mediante modelos matemáticos.

Los autores encontraron que la expansión diferencial entre las capas constituye uno de los principales factores en la degradación del SRCA, ya que acelera la propagación de grietas y consecuentemente la pérdida de adherencia.

Otra aproximación importante fue realizada por Felixberger [33] que evaluó la influencia del espesor de la capa de mortero adhesivo, las dimensiones de las baldosas cerámicas y las propiedades mecánicas de los materiales. El autor concluye que características como la posición y los picos de mayores esfuerzos de cizalladura se encuentran generalmente en los bordes de los recubrimientos.

Más recientemente, varios trabajos de la Universidad de Berna han abordado el tema, destacando Herwegh et al. [34] que, basándose en una modelización numérica computacional bidimensional, proponen que la deformación impuesta por la retracción del mortero adhesivo y los huecos dejados por un asentamiento imperfecto son los factores que ejercen la mayor influencia en la disminución de las prestaciones de los SRCA.

Zurbruggen y Herwegh [35] presentaron mapas de distribución de tensiones en sistemas de recubrimiento, destacando que los puntos de mayor tracción se encuentran en los bordes de las baldosas cerámicas, confirmando las conclusiones ya encontradas en investigaciones anteriores [33].

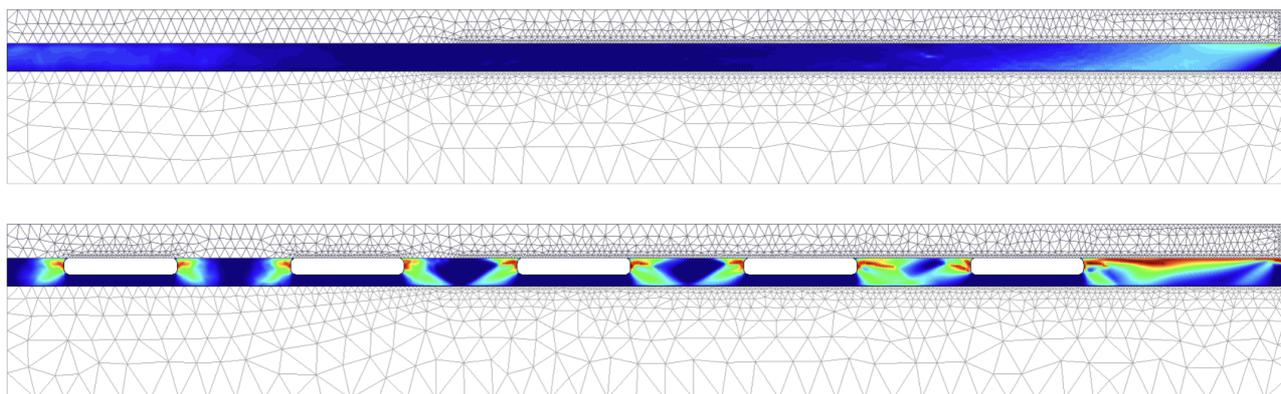


Figura 8 – Estado final de los modelos tras el ciclo de calentamiento [31].

Los modelos computacionales permitieron visualizar claramente los fenómenos de propagación de daños en las interfaces con presencia de huecos o fallos de asentamiento. Los estudios que proponen la creación de prototipos a gran escala indican una reducción sustancial de la resistencia a la adherencia y una elevación abrupta de las zonas desprendidas, detectada mediante ensayos de golpeo con martillo en prototipos a gran escala [29]. El aumento del sonido hueco tras los ciclos de choque térmico pone de manifiesto la propagación de los daños, como demuestra la modelización computacional, y la aceleración de la degradación del SRCA es evidente (Figura 9).

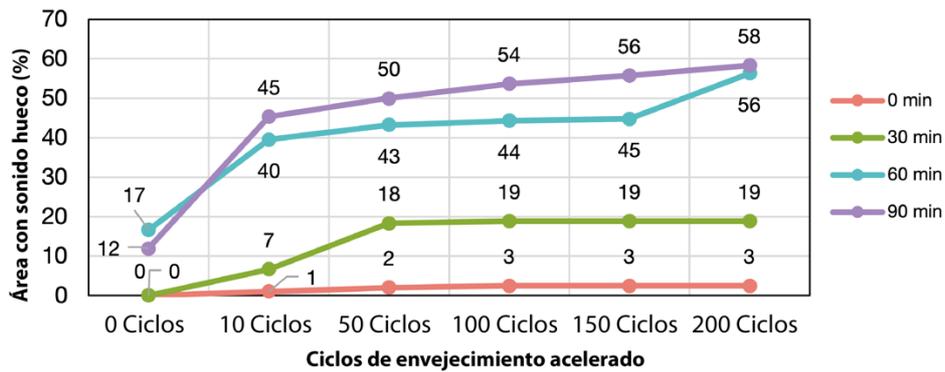


Figura 9 – Influencia del tiempo abierto en grandes prototipos de sistemas de recubrimiento cerámico con una mayor presencia de zonas con sonido hueco (desprendimiento) cuando se someten a envejecimiento acelerado [29].

5. CONSIDERACIONES FINALES

Este trabajo pretende contribuir a la comprensión de los mecanismos que afectan a la durabilidad y especialmente a la adherencia en las diversas capas del sistema de revestimiento cerámico adherido. El elevado número de casos de desprendimientos de revestimientos en todo Brasil ha puesto de manifiesto la necesidad de reconsiderar, a través de una revisión bibliográfica y los descubrimientos publicados, los factores que afectan a la durabilidad de los sistemas adheridos, aunque sean ampliamente conocidos.

El autor propone presentar estos factores a través de cinco pilares: (i) mortero; (ii) sustrato; (iii) técnica de aplicación; (iv) condiciones climáticas y; (v) tiempo de exposición (degradación). A continuación, se presentan las principales conclusiones:

- Los Sistemas de Recubrimiento Cerámico Adherido (SRCA) deben ser analizados y diseñados como un conjunto multicapa y no sólo como un recubrimiento con propiedades estéticas únicamente;
- Este conjunto está formado por capas con características y propiedades diferentes y su ejecución debe ser considerada capa a capa;
- La negligencia en la ejecución de cualquiera de las capas puede provocar el colapso total de las capas adyacentes a las que se adhiere el revestimiento;
- Se deben considerar diversas precauciones y requisitos mínimos en la especificación de los morteros, ya sea para la capa de anclaje, la capa de revoco o la capa adhesiva;
- Se deben garantizar propiedades mínimas en el proceso de ejecución de estas capas para que el sustrato sea capaz de recibir la capa adyacente, garantizando buenas condiciones de adherencia y promoviendo la durabilidad del sistema en su conjunto;
- Deben cumplirse los protocolos y técnicas de aplicación prescritos por las normas vigentes, por las buenas prácticas de ingeniería y por diversos artículos publicados sobre el tema;
- Las capas de los sistemas de revestimientos cerámicos adheridos deben ser diseñadas no sólo para garantizar buenos indicadores de desempeño en el momento de la ejecución, sino también requerimientos mínimos de durabilidad de acuerdo con su ambiente de aplicación.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] John; VM, Sato NMN. Durabilidade de componentes da construção. En: Pereira EMAS [e] FOR, editor. *Construção e Meio Ambiente*, vol. 7, Porto Alegre: ANTAC, 2006; 2006, p. 296.
- [2] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15575-1: Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. 2013. <https://doi.org/01.080.10; 13.220.99>.
- [3] 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 2012.
- [4] 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. 2017.
- [5] Carasek H, Japiassú P, Cascudo O, Velosa A. Bond between 19th Century lime mortars and glazed ceramic tiles. *Constr Build Mater* 2014;59:85–98. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.02.043>.
- [6] Fiorito AJSI. Manual de argamassas e revestimentos - Estudos e procedimentos de execução. 2nd ed. São Paulo: 2009.
- [7] CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Entrevista: Desplacamento cerâmico - Construção civil defende rápida resolução. Agência CBIC 2019. <https://cbic.org.br/entrevista-desplacamento-ceramico-construcao-civil-defende-rapida-resolucao/> (accessed October 1, 2023).
- [8] CAMPANTE EF, SABBATINI FH. Durabilidade dos revestimentos cerâmicos de fachada e sua influência na qualidade e segurança das edificações. Seminário Internacional NUTAU, 2000, São Paulo: 2000.
- [9] Brazilian National Standards Organization - ABNT. NBR 13755: Revestimentos cerâmicos de fachadas e paredes externas com utilização de argamassa colante — Projeto, execução, inspeção e aceitação — Procedimento 2017.
- [10] Carasek H. Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substratos porosos: Avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, 1996.
- [11] ABNT. ABNT NBR 13755 - Revestimentos cerâmicos de fachadas e paredes externas com utilização de argamassa colante - Projeto, execução, inspeção e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro: 2017.
- [12] Brazilian Association of Technical Standards. NBR 7200: Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimento 1998:1–13.
- [13] Stolz CM, Masuero AB, Pagnussat DT, Kirchheim AP. Influence of substrate texture on the tensile and shear bond strength of rendering mortars. *Constr Build Mater* 2016;128:298–307. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.10.097>.
- [14] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de parede e teto - Requisitos 2005.
- [15] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13749: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Especificação. 2013.
- [16] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14081-1: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Parte 1: Requisitos 2012.
- [17] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14081-3: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas Parte 3: Determinação do tempo em aberto 2012.
- [18] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14081-2: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas Parte 2: Execução do substrato padrão e aplicação da argamassa para ensaios 2015.
- [19] Jenni A, Holzer L, Zurbruggen R, Herwegh M. Influence of polymers on microstructure and adhesive strength of cementitious tile adhesive mortars. *Cem Concr Res* 2005;35:35–50. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.06.039>.
- [20] Bühler Th, Zurbruggen R, Pieles U, Huwiler L, Raso RA. Dynamics of early skin formation of tiling mortars investigated by microscopy and diffuse reflectance infrared Fourier transformed spectroscopy. *Cem Concr Compos* 2013;37:161–70. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.10.008>.
- [21] Winnefeld F, Kaufmann J, Hack E, Harzer S, Wetzel A, Zurbruggen R. Moisture induced length changes of tile adhesive mortars and their impact on adhesion strength. *Constr Build Mater* 2012;30:426–38. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.023>.
- [22] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13753: Revestimento de piso interno ou externo com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – Procedimento 1996.
- [23] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13754: Revestimento de paredes internas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – Procedimento 1996.
- [24] Gonzaga Lopes Junior L, Pereira De Andrade R, Leal Maranhão F. Simulação laboratorial das forças necessárias ao preenchimento do tardo no processo de assentamento de placas cerâmicas. XIII SBTA - Simpósio Brasileiro de Tecnologia Das Argamassas 2019;1:495–503.
- [25] Andrade RP de, Resende MM, Maranhão FL. Avaliação de fatores que influenciam para o destacamento de revestimentos cerâmicos. XII Simpósio Brasileiro de Tecnologia Das Argamassas - SBTA 2017 2017.
- [26] Melo AC, Costa e Silva AJ, Torres SM, Delgado JPMQ, Azevedo AC. Influence of the contact area in the adherence of mortar – Ceramic tiles interface. *Constr Build Mater* 2020;243:118274. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118274>.
- [27] Curci HCF, de Andrade RP, Maranhão FL, Gomes HC, Campello EMB. Analysis of adhered tiling systems based on experimental evaluation and numerical modeling. *Constr Build Mater* 2022;325:126746. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126746>.
- [28] Chew MYL. The study of adhesion failure of wall tiles. *Build Environ* 1992;27:493–9. [https://doi.org/10.1016/0360-1323\(92\)90047-S](https://doi.org/10.1016/0360-1323(92)90047-S).

- [29] Renan P. de Andrade, Jonathan C. M. Zappile, Ellen S. S. de Moura, Flávio L. Maranhão. Impactos do negligenciamento do tempo em aberto da argamassa colante em sistemas de revestimentos cerâmicos aderidos – Revisitando um fator importante para a durabilidade. XIV Simpósio Brasileiro de Tecnologia Das Argamassas - SBTA 2023:1–12.
- [30] Yiu CY, Ho DCW, Lo SM. Weathering effects on external wall tiling systems. *Constr Build Mater* 2007;21:594–600. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.11.002>.
- [31] Curci HCF, Campello EMB, Campelo HC, Maranhão FL, Andrade RP. Método dos elementos finitos com mecânica do dano aplicada à avaliação do desempenho de sistemas de revestimento cerâmico sob indução de fluxo térmico controlado. 61º Congresso Brasileiro Do Concreto - CBC 2019 2019:1–16.
- [32] Mahaboonpachai T, Kuromiya Y, Matsumoto T. Experimental investigation of adhesion failure of the interface between concrete and polymer-cement mortar in an external wall tile structure under a thermal load. *Constr Build Mater* 2008;22:2001–6. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.07.002>.
- [33] Felixberger JK. Polymer-modified thin-bed tile adhesives. Augsburg: 2008.
- [34] Herwegh M, Zurbruggen R, Mettier R, Winnefeld F, Kaufmann J, Wetzel A. Hygrical shrinkage stresses in tiling systems: Numerical modeling combined with field studies. *Cem Concr Compos* 2015;55:1–10. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.06.016>.
- [35] Zurbruggen R, Herwegh M. Daily and seasonal thermal stresses in tilings: a field survey combined with numeric modeling. *Mater Struct* 2016;49:1917–33. <https://doi.org/10.1617/s11527-015-0623-5>.