



Evaluación de la adherencia de baldosas cerámicas aplicadas como revestimiento de fachada

P. Valentini¹, C. S. Kazmierczak².

¹Curso de Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), Brasil.

²Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), Brasil.

Información del artículo

DOI:

<http://dx.doi.org/10.21041/ra.v6i2.133>

Artículo recibido el 04 de septiembre de 2015, revisado bajo las políticas de publicación de la Revista ALCONPAT y aceptado el 02 de diciembre de 2015.

Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el primer número del año 2017 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del tercer número del año 2016.

© 2016 ALCONPAT Internacional

Información Legal

Revista ALCONPAT, Año 6, No. 2, Mayo – Agosto 2016, es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A.C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat_int@gmail.com, Página Web: www.revistaalconpat.org
Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida Yucatán, C.P. 97310, fecha de última modificación: 30 de mayo de 2016.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor.

Queda totalmente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la ALCONPAT Internacional A.C.

RESUMEN

Dentro de las manifestaciones patológicas que pueden ocurrir en azulejos de cerámica se encuentra la pérdida de adherencia considerada la más seria debido a los riesgos de accidentes por el efecto de las caídas y el costo de la reparación. Este trabajo tiene como objetivo evaluar la influencia de las propiedades de diferentes placas de cerámica aplicadas con dos tipos de mortero de pega y sometidos a tres diferentes condiciones de curado (establecidas por la norma ABNT 14.081-4:2012) en la resistencia de adherencia del sistema de revestimiento. Se observó que el tipo de curado es la variable que presenta la influencia más significativa en la resistencia de adherencia, seguida por el tipo de mortero de pega, ya que el azulejo de cerámica ejerce poca influencia una vez hecho un análisis global de los resultados.

Palabras Clave: adherencia; azulejo de cerámica; mortero de pega.

ABSTRACT

The most serious pathology in ceramic tile is detachment because of the risk of accidents due to fall and the cost of repair. This research aims to evaluate the influence of ceramic plates applied with two types of adhesive mortar subjected to three different curing conditions (established by the ABNT 14081-4:2012) on the adhesion to the coating system. It was observed that cure is the variable with higher influence on the adhesive strength, followed by the type of adhesive mortar, while the water absorption of ceramic plate have a little influence on the results.

Keywords: adherence; ceramic tiles; adhesive mortar.

RESUMO

Dentre as manifestações patológicas que podem ocorrer em revestimentos cerâmicos os descolamentos são considerados as mais sérias, devido aos riscos de acidentes em decorrência da queda de placas e por seu custo de reparo. Este trabalho tem como objetivo avaliar a influência das propriedades de diferentes placas cerâmicas aplicadas com dois tipos de argamassa colante e submetidas a três diferentes condições de cura (estabelecidas pela norma ABNT 14.081-4:2012) na resistência de aderência do sistema de revestimento. Observou-se que o tipo de cura é a variável que apresenta influência mais significativa na resistência de aderência, seguida pelo tipo de argamassa colante, enquanto a placa cerâmica exerce pouca influência em uma análise global dos resultados.

Palavras-chave: aderência; revestimento cerâmico; argamassa colante.

Autor a contactar: Claudio. S. Kazmierczak (claudiok@unisinis.br)

1. INTRODUCCIÓN

Entre las manifestaciones patológicas que pueden ocurrir en revestimientos cerámicos se destacan el despegado de cerámicas, las rajaduras o agrietamientos, la eflorescencia y deterioro de las juntas (Campante y Baía, 2008). Entre las citadas, el despegado de revestimientos cerámicos son considerados los más serios, debido a los riesgos de accidentes como consecuencia de la caída de la cerámica o sus partes esto es bien sea por el costo o su reparación (Campante y Baía, 2008; Mansur, 2007).

Los despegados o separaciones tienen como característica principal la pérdida de adherencia de las placas cerámicas con el sustrato o con el mortero de fijación, en función de las tensiones ocurridas en el revestimiento cerámico exceden la capacidad de adherencia de las conexiones de esas capas (Barros e Sabatini, 2001). Factores externos como el choque térmico, la lluvia dirigida, la radiación solar y la humedad son los que ejercen mayor influencia en la degradación del sistema de revestimiento de fachada (Antunes, 2010).

Un expresivo agente de degradación de los revestimientos cerámicos de fachadas es la variación de temperatura (Consoli, 2006). La variación térmica en un mismo día, en la ciudad de Porto Alegre - RS, por ejemplo, puede ser muy alta, generando gradientes de temperatura en el orden de hasta 50°C en la superficie de la fachada. En una pesquisa buscando la Evaluación de la durabilidad de sistemas de revestimiento cerámico, realizados con cerámicas y morteros aplicadas en sustratos de concreto, a través de la inducción de tensiones de naturaleza térmica (Chew, 1992), fue constatada una reducción de 20% en la resistencia de adherencia a tracción de las cerámicas, cuando se comparan con sistemas que no pasaron por la acción de los ciclos.

Otro importante agente de degradación de las fachadas es la humedad, que se caracteriza por la existencia de agua en los materiales en forma líquida, sólida o vapor (Ribeiro, 2006). El movimiento higroscópico es una importante causa del despegado de placas cerámicas (Bauer, 1995; Ribeiro, 2006). Para limitar los movimientos higroscópicos en revestimientos cerámicos de fachada, es recomendable el uso de placas cerámicas de baja absorción de agua (Goldberg, 1998). Pensando en eso, la norma británica BS 5385-2 (BSI, 2015) especifica, tanto para placas cerámicas extruidas como prensadas, el uso en fachadas de placas con absorción de agua inferior a 3%. En ese sentido, la norma brasileña NBR 13.818 (ABNT, 1997) no presenta límite específico. En ensayos realizados en tres condiciones de humedad distintas en placas cerámicas: secadas al aire, con 0,2% de humedad; sometidas al paso de cepillo con agua sobre lentamente, resultando en 2,0% de humedad; y sumergidas en agua por un período de 30 segundos, siendo estas mantenidas en posición vertical antes del asentamiento, de modo a escurrir el agua en exceso, resultando en 8,5% de humedad, se verificó que la mayor adherencia entre placa cerámica y mortero ocurrió con piezas secas y hubo una reducción de adherencia a medida que aumentaba la cantidad de humedad de la placa al momento de su aplicación (Bauer, 1995).

La durabilidad de un sistema de revestimiento de fachada con placas cerámicas depende, por lo tanto, de las condiciones de exposición. Los movimientos de contracción y de expansión resultantes de las variaciones en la temperatura y la humedad que generan tensiones en la unión con el sustrato, que a lo largo del tiempo resultarían despegados. Esos despegados de revestimientos cerámicos de fachadas pueden ocurrir por ruptura adhesiva en las uniones placa cerámica/mortero, mortero/yeso, yeso/friso grueso y friso grueso/sustrato, o por ruptura cohesiva en el interior de cualquiera de estas capas (Mansur, 2007). El levantamiento de manifestaciones patológicas en revestimientos con placas cerámicas, se observó que en 84% de los edificios analizados hubo despegado con ruptura adhesiva en la unión placa cerámica/friso (Mansur, Do Nascimento y Mansur, 2012). Eso se da en razón que esta unión es la región del sistema de revestimiento más solicitada por esfuerzos de cizallamiento, cuando son considerados efectos

térmicos y de expansión higroscópica de las placas cerámicas (Abreu, Leitão y Lucas, 2004; Saraiva, Bauer e Bezerra, 2001).

Como las condiciones de exposición de determinada fachada difícilmente pueden ser alteradas, la vida útil del revestimiento irá a depender de las decisiones de proyecto y la calidad de la ejecución, que van a definir la resistencia de adherencia inicial del revestimiento. La correcta especificación de la placa cerámica, de mortero adhesivo y del procedimiento de aplicación es fundamental para este desempeño.

En este trabajo, fue evaluada la relación entre la porosidad de placas cerámicas (utilizando tres tipos de cerámicas con diferente absorción de agua), la composición del mortero de pega (utilizando dos tipos de morteros) y las condiciones de curado (siendo adoptadas las tres diferentes formas de curado establecidas por la norma ABNT 14.081-4:2012) en la resistencia de adherencia del sistema de revestimiento.

2. MATERIALES UTILIZADOS

Fueron evaluados composiciones entre un sustrato-patrón, placas cerámicas con tres diferentes concentraciones de absorción de agua, dos morteros de pega y tres condiciones de curado. El sustrato-patrón utilizado para los ensayos de adhesión fue adquirido a través del proveedor normalizado por la ABNT, atendiendo a las exigencias de la NBR 14.081-2 (ABNT, 2012). La absorción de los bloques es de 0,3 cm³ de agua en el transcurso de 4 horas, estando abajo del límite de 0,5 cm³ establecido por la norma.

Fueron utilizadas placas cerámicas prensadas con tres diferentes niveles de absorción de agua (IIa, IIb y III), determinados a través de la NBR 13.817 (ABNT, 1997). Para cada tipo de placa fueron determinadas la absorción de agua, según la NBR 13.818 (ABNT, 1997) y la absorción de agua por capilaridad según las especificaciones del procedimiento de la RILEM TC 116 PCD (1999).

La Tabla 1 muestra los valores de absorción de agua de las placas cerámicas.

Tabla 1. Absorción de agua de las placas cerámicas.

	BIIa	BIIb	BIII
Límite inferior	3,01%	6,01%	10,01%
Resultado obtenido en el ensayo	4,80%	7,30%	12,50%
Limite Superior	6,00%	10,00%	

Todas las placas cerámicas están dentro de los límites establecidos por la NBR 13.817 (ABNT, 1997), confirmando la clasificación del grupo de absorción indicado por el fabricante.

El perfil de absorción de agua (en g/cm²) obtenido por el procedimiento de la RILEM puede ser visualizado en la Figura 1.

El valor promedio de coeficiente de capilaridad de la placa cerámica tipo BIIa y de 0,046 g/cm².min^{1/2}, de la placa BIIb 0,085 g/cm².min^{1/2} y de la placa BIII 0,185 g/cm².min^{1/2}. Las cerámicas del grupo BIIa poseen el menor coeficiente de capilaridad, seguido por la BIIb y, por último las placas BIII, presentan el mismo comportamiento observado en los ensayos de absorción de agua.

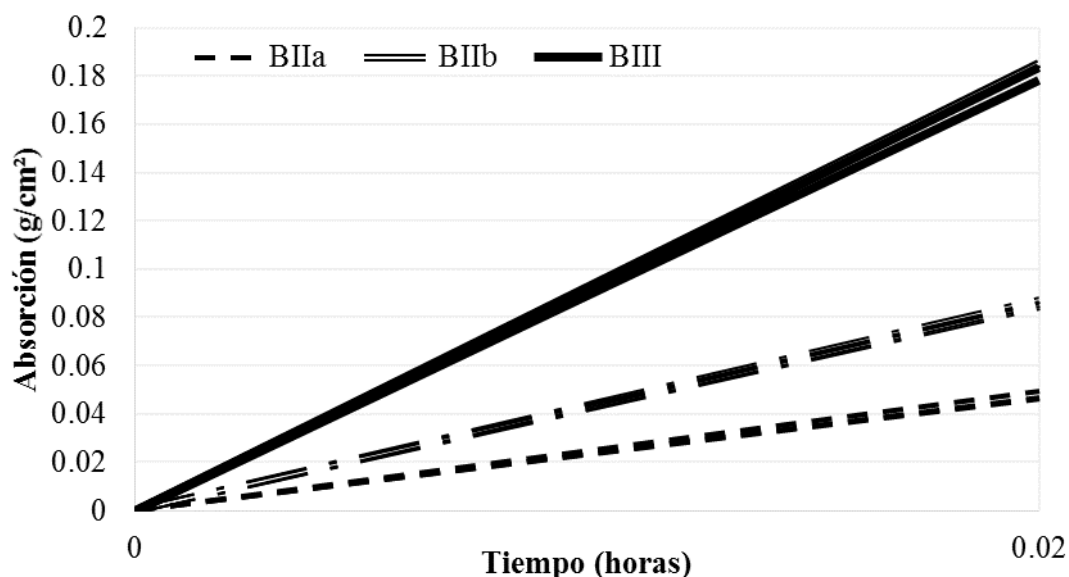


Figura 1. Perfil de absorción de agua por capilaridad das placas cerámicas.

Fueron utilizadas morteros de pega industrializados para uso externo de dos tipos: mortero de pega industrializada tipo AC II y mortero de pega industrializada tipo AC III, que posee en su composición más aditivos promotores de adherencia y retentores de agua que las del tipo AC II. El mortero de pega tipo AC II utilizada en el estudio es compuesta por cemento Portland CP IV (cemento puzolánico), arena y aditivos. De acuerdo con el fabricante, el aditivo “Ecocecel Uno” tiene la función de propiciar poco deslizamiento, trabajabilidad y mayor retención de agua. El producto “PLV 2000” es un polímero que proporciona aumento de la resistencia química y flexibilidad, además de mejor adhesión. El mortero de pega tipo AC III, además de los materiales citados, posee formiato de calcio. El formiato de calcio es un acelerador de curado para sistemas a base de Cemento Portland, promoviendo aceleración en las reacciones químicas de los aluminatos y facilitando la disolución de la cal. Proporciona aumento del tiempo abierto, menor permeabilidad y aumento significativo de la resistencia del mortero. Los ensayos realizados en el programa experimental están relacionados en la Tabla 2.

Tabla 2. Ensayos realizados y sus respectivas normas.

Ensayos de caracterización	Norma utilizada
Ensayos en el estado fresco	
Densidad de peso aparente	NBR 14.086 (ABNT, 2004)
Índice de consistencia	NBR 13.276 (ABNT, 2005)
Retención de agua	NBR 13.277 (ABNT, 2005)
Determinación del deslizamiento	NBR 14.081-5 (ABNT, 2012)
Determinación del tiempo abierto *	NBR 14.081-3 (ABNT, 2012)
Ensayos en el estado endurecido	
Absorción por capilaridad	NBR 15.259 (ABNT, 2005)
Absorción de agua total	NBR 9.778 (ABNT, 2005)
Resistencia a tracción en la flexión	NBR 13.279 (ABNT, 2005)
Resistencia a compresión	NBR 13.279 (ABNT, 2005)
Determinación de la variación dimensional y del peso	NBR 15.261 (ABNT, 2005)

- Obs.: para la ejecución de este ensayo fueron utilizados dos conjuntos compuestos por sustrato patrón, placas cerámicas del grupo de absorción BIII y morteros de pega de los tipos AC II e ACIII preparadas conforme a la NBR 14.081-2 (ABNT, 2012) sobre el sustrato patrón en la dirección longitudinal

De los ensayos realizados para la caracterización en el estado endurecido, apenas el ensayo de resistencia de adherencia a tracción es previsto por norma específica de morteros de pega. Los demás ensayos fueron adaptados a partir de las normas de morteros para revestimientos. Los resultados son presentados en la Tabla 3.

Tabla 3. Caracterización de los morteros en estado fresco y endurecido.

Ensayos de Caracterización Morteros de pega:	Resultados:		Límites especificados por las Normas
	AC II	AC III	
Estado Fresco			
Densidad de peso aparente - γ_s (g/cm ³)	1,46	1,44	-
Índice de consistencia (mm) *	213	214	-
Retención de agua (%) *	99	99	-
Determinación del deslizamiento (mm)	0,1	0,1	2
Estado Endurecido			
Coefficiente de capilaridad (g/dm ² .min ^{1/2}) *	3,49	4,96	-
Absorción de agua total (%) *	23,78	23,50	-
Índice de vacíos (%) *	34,51	35,69	-
Peso específico real (g/cm ³) *	2,22	2,36	-
Resistencia a tracción en la flexión (MPa) *	2,5	2,6	Desvío abs. máx. $\leq 0,3$ MPa
Resistencia a compresión (MPa) *	3,9	4,3	Desvío abs. máx. $\leq 0,5$ MPa

* Adaptadas de las normas específicas para morteros de revestimiento

En el estado fresco, tanto a morteros AC II como a AC III obtuvieron resultados muy próximos, no siendo posible distinguirlas a partir de las propiedades medidas en estos ensayos. En el ensayo de Determinación e3l deslizamiento a los morteros presentaron el mismo valor, inferior al máximo permitido por la NBR 14.081-5 (ABNT, 2012), de 2mm. En la determinación del tiempo a cielo abierto, la AC II tuvo como resultado de 0,50 MPa y la AC III 0,62 MPa. Los valores obtenidos en los ensayos corresponden a la NBR 14.081-3 (ABNT, 2012), que especifica un valor mínimo de 0,50 MPa. En estado endurecido, los resultados para ambos morteros tiene valores muy próximos, excepto en la relación a la capilaridad, donde el mortero AC III obtuvo un valor superior a AC II. El mortero de pega tipo AC III tiene una variación dimensional superior a la de AC II, con fuerte variación en las primeras edades, visualizada en la Figura 2.

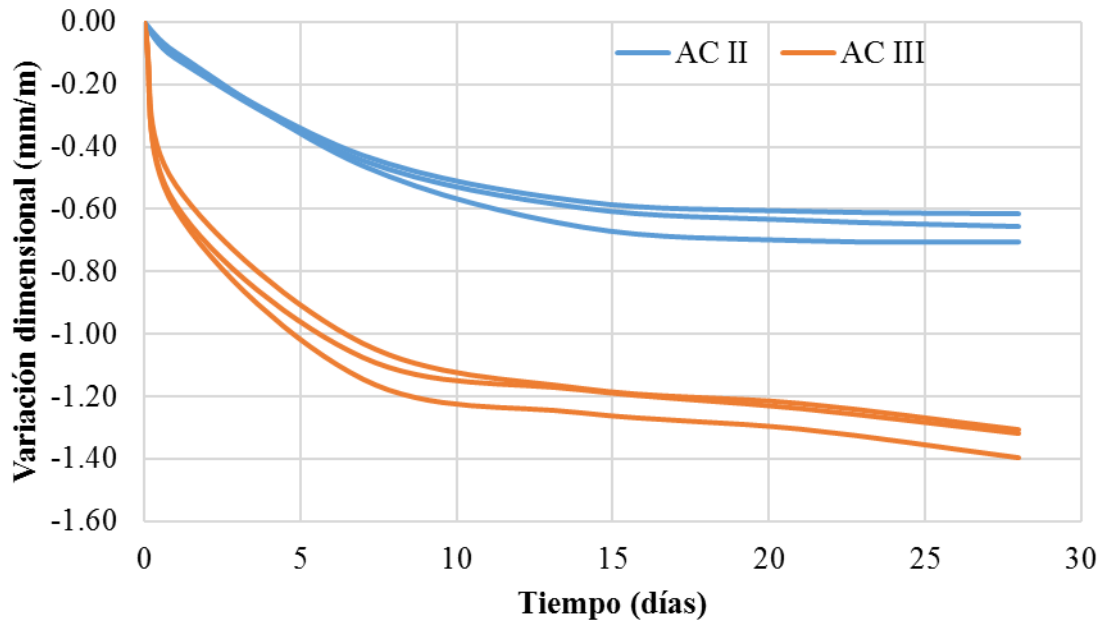


Figura 2. Variación dimensional de los morteros de pega.

Ambos morteros presentan gran variación de peso en los primeros días (variando de 5 a 8%), por tanto, al contrario de lo verificado en la variación dimensional, la variación de peso fue mayor para los morteros de pega tipo II. A partir del séptimo día la variación de los dos morteros comenzó a estabilizarse, variando poco hasta el final del ensayo, de acuerdo con lo presentado en la Figura 3.

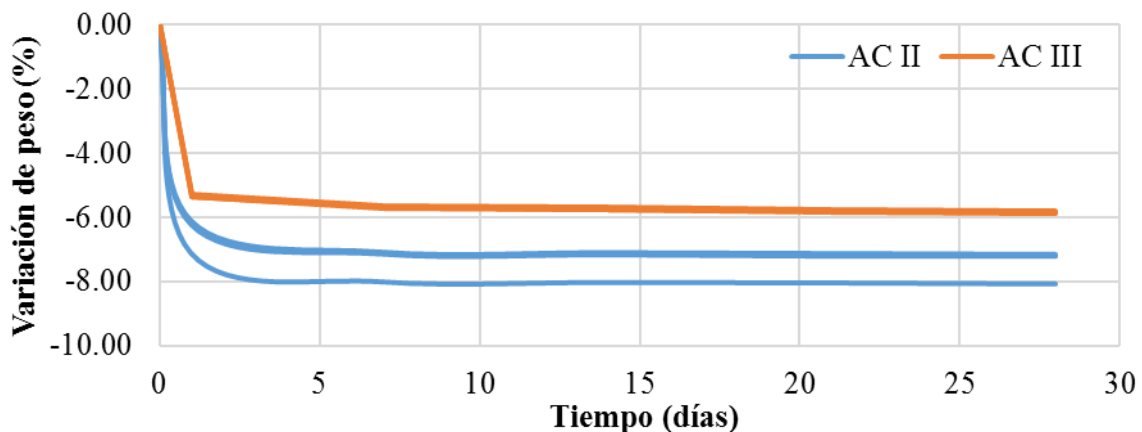


Figura 3. Variación de peso de los morteros de pega.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN SOBRE LA ADHERENCIA DEL SISTEMA SUSTRATO-PATRÓN/MORTERO DE PEGA /BALDOSA CERÁMICA

Los diversos sistemas formados por las combinaciones entre sustrato patrón/mortero de pega/baldosa cerámica fueron evaluados a partir de la determinación de la resistencia de

adherencia a tracción y de extensión de la adherencia. Las composiciones, en total dieciocho conjuntos de diez ejemplares, fueron identificados de la siguiente manera:

- II y III: Morteros de pega tipo II y III, respectivamente;
- BIIa, BIIb y BIII: Grupo de absorción de agua de las cerámicas;
- N, IA y AE: Tipos de curado a los que los conjuntos fueron sometidos (normal, inmersión en agua y calentamiento con estufa, respectivamente). Los procedimientos buscan evaluar el comportamiento del mortero de pega en diversas situaciones de curado: la condición normal simula una condición ideal de aplicación; el curado por inmersión simula la acción de mojado producto de lluvia y acumulaciones que pueden ocurrir en losas, y el curado con estufa procura evaluar el efecto de intensa exposición al sol durante el período de curado.

Posterior al asentamiento de las baldosas cerámicas con uso de mortero de pega sobre el sustrato-patrón, los conjuntos fueron sometidos a tres condiciones de curado. En el curado normal (N) los conjuntos permanecieron durante 28 días en condiciones ambientales de laboratorio (temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ y humedad relativa del aire de $60 \pm 5\%$), conforme especificaciones de la NBR 14.081-2 (ABNT, 2012). El curado con inmersión en agua (IA) los conjuntos fueron sometidos, durante siete días, a las condiciones de laboratorio y posteriormente fueron inmersos en agua a $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, donde permanecieron durante veinte días. En el curado con calentamiento en estufa (AE) los conjuntos fueron sometidos durante 14 días a la condición de curado normal en ambiente de laboratorio y entonces fueron colocados en una estufa con ventilación forzada con temperatura de $(70 \pm 2)^\circ\text{C}$ hasta los 28 días. El ensayo de resistencia de adherencia a tracción fue realizado según la NBR 14.081-4 (ABNT, 2012), conforme se observa en la Figura 4. En cada sustrato, se realizaron diez ensayos evaluando la resistencia de adherencia a tracción y la extensión de adherencia, luego del período de curado de los conjuntos. Los ensayos fueron realizados siguiendo las especificaciones de la NBR 14.081-4 (ABNT, 2012), utilizando el equipo da marca Dinatest, modelo DS2-DPU-1100, con capacidad máxima de 5000N.



Figura 4. Piezas metálicas pegadas sobre las placas cerámicas adheridas al sustrato-patrón.

La Figura 5 muestra la media de los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia de adherencia realizado en los conjuntos. De los nueve conjuntos de ensayo realizados con el mortero de pega tipo II, apenas los sometidos a curado normal cumplieron con el valor de 0,5 MPa, mínimo requerido por la NBR 14.081-1 (ABNT, 2012). A pesar que los valores de resistencia de adherencia a tracción de los morteros de pega tipo III ser superiores a los del mortero tipo II, ningún conjunto utilizando el mortero de pega tipo III logró el valor de adherencia mínimo requerido por la NBR 14.081-1 (ABNT, 2012), de 1,0 MPa.

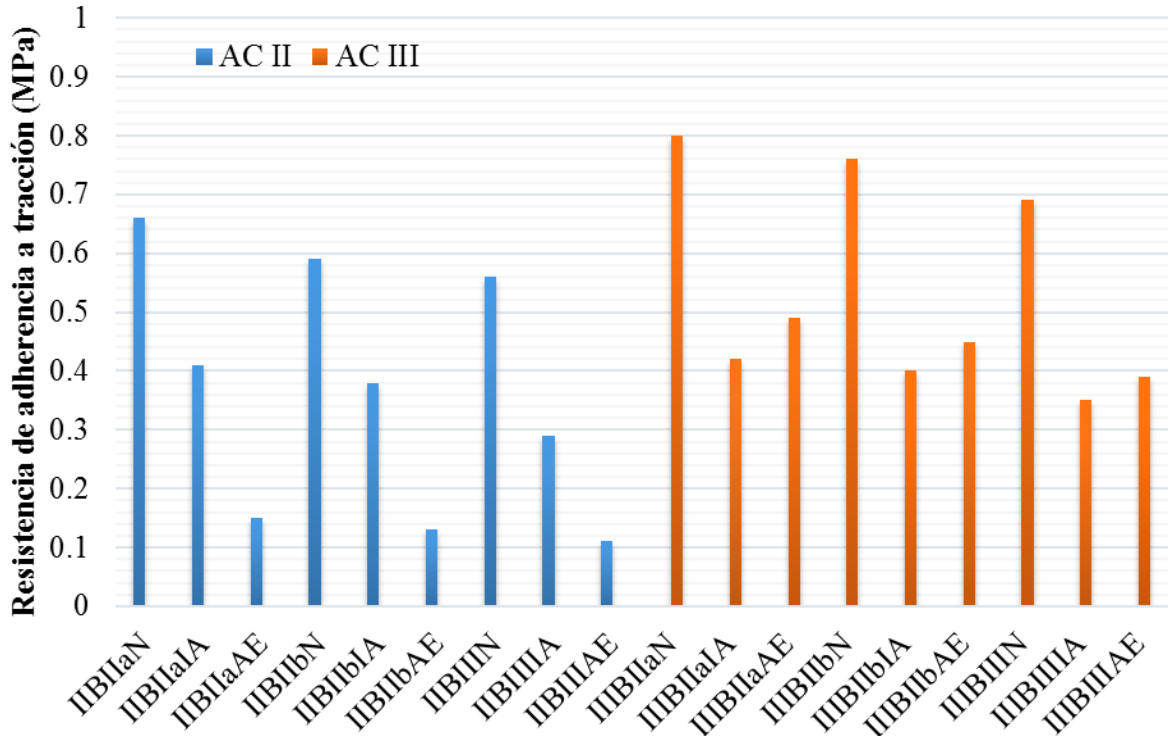


Figura 5. Resultados de la resistencia de adherencia a tracción de los conjuntos ejecutados y valores mínimos a ser alcanzados, según la NBR 14.081-1 (ABNT, 2012).

La influencia de las propiedades de los materiales en la resistencia de adherencia de los conjuntos foé evaluada estadísticamente. Fue evaluada la importancia del efecto de las variables estudiadas (variables independientes) en la resistencia de adherencia a Los resultados del análisis son visualizados en la Tabla 4.

Tabla 4. Análisis de variancia de las variables en estudio en relación a la resistencia de adherencia.

	Suma de los cuadrados	Grados de libertad	Suma de los cuadrados promedios	Valor da varianza	Nivel de significancia
Mortero de pega	1200,50	1	1200,50	22,5133	0,000476
Placa cerámica	245,78	2	122,89	2,3046	0,142235
Curado	5018,11	2	2509,06	47,0530	0,000002

Considerando un nivel de significancia de 5 % ($p < 0,05$), se verifica que el tipo de cura es la variable que presenta mayor efecto significativo, seguida por el tipo de mortero de pega.

Comparando las características de los morteros utilizados, se puede levantar la hipótesis sobre el comportamiento de la resistencia de adherencia.

La mayor resistencia de adherencia fue obtenida en el proceso de curado N (curado ambiente en laboratorio por 28 días). En el proceso de curado IA (inmersión en agua) la resistencia de adherencia cayó para 60% en el mortero tipo AC II y 52% en el mortero AC III. En este proceso,

el curado ocurre a temperatura y humedad ambiente por siete días, y luego ocurre la inmersión de las piezas. Considerándose que los dos morteros utilizados en el estudio son a base de cemento Portland puzolánico (con dosis de puzolanas de 50%), se puede estimar que el grado de hidratación a los siete días aún es pequeño, y que la saturación consecuente de la inmersión resulta en una expansión diferencial de la placa cerámica y/o del sustrato, resultando en tensiones de cizallamiento en la interfaz con el mortero, que reducen la adherencia del sistema. En el proceso de curado AE (con estufa) la resistencia de adherencia cayó para 22% en el mortero AC II y 59% en el mortero AC III. En este proceso de curado es utilizado un tiempo de 14 días seguido por calentamiento en estufa hasta la edad de 28 días, lo que perjudica fuertemente el proceso de curado del cemento puzolánico y ocasiona la menor resistencia de adherencia. En el mortero AC III, el hecho de perder la resistencia de adherencia del curado con inmersión en agua casi se iguala a perder la resistencia de adherencia de la curada con calentamiento en estufa y se da en presencia de formiato de calcio en su composición, que acelera el aumento de la resistencia de adherencia a tempranas edades.

Se observa que en todos los morteros y condiciones de curado que la resistencia de adherencia de las placas cerámicas BIIa fue superior al de las placas cerámicas BIIb, que también fue superior a la adherencia de las placas cerámicas BIII. Este resultado tiene una relación directa con la absorción de agua de las placas cerámicas, indicando que el exceso de absorción de agua puede perjudicar la adherencia.

La cara interna de las placas cerámicas utilizadas en el ensayo de adherencia fue fotografiada para determinación de extensión de adherencia. Se usó el programa AutoCAD, aplicando el comando “polilínea” y trazando manualmente los bordes de la región adherida. Al final de la ejecución de los trazados, estos fueron reticulados y determinado el área. La Figura 6 (derecha) muestra la retícula con el trazado marcado en color blanco y con aplicación de efecto transparente.

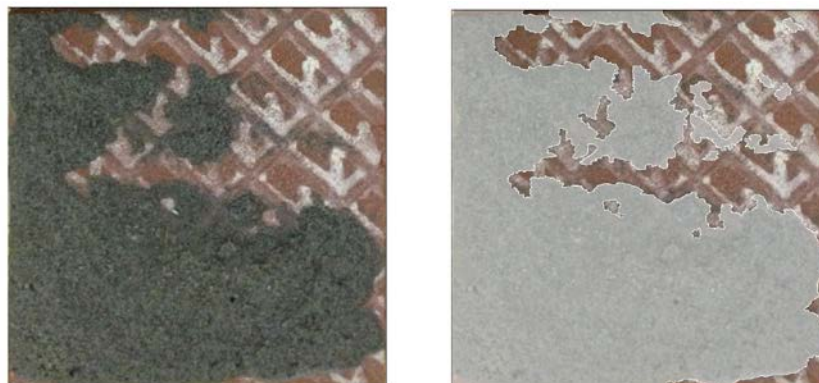


Figura 6. Visualización de la extensión de la adherencia de una placa cerámica.

La extensión de adherencia fue elevada en todos los conjuntos, siendo que apenas los conjuntos IIBIIbN y IIIBIIbN tienen un valor promedio de extensión de adherencia inferior a 90%. En la Figura 7 son visualizados los resultados individuales de extensión de adherencia de las 180 placas ensayadas, siendo posible afirmar que no hay una relación directa entre extensión y resistencia de adherencia. La extensión de adherencia puede ser influenciada por la naturaleza de los materiales constituyentes del sustrato y de los morteros, así como las propiedades de los morteros (Moura, 2007). Una buena extensión de adherencia, aun cuando fundamental, no es suficiente para garantizar un buen anclaje de mortero aplicado en sustratos de bloques cerámicos (Pagnussat, 2013).

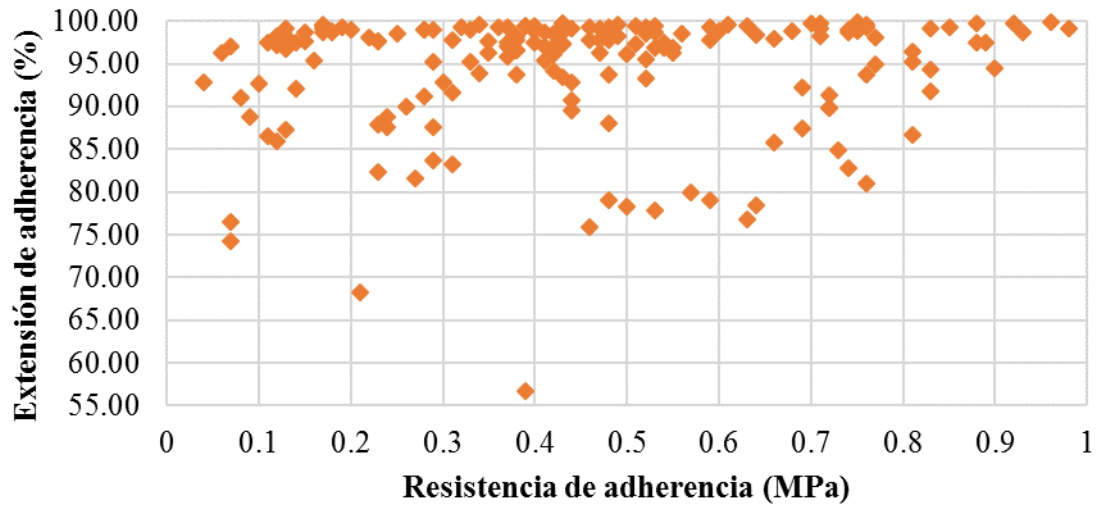


Figura 7. Extensión de adherencia x resistencia de adherencia.

La influencia del tiempo abierto del mortero (tiempo entre el mezclado del mortero con agua y su aplicación) en la resistencia y la extensión de adherencia de las placas cerámicas fue evaluada en los morteros AC II y AC III y mostró ser significativa. Se usó el tiempo abierto de 5 minutos y de 20 minutos. La resistencia de adherencia disminuyó cerca de 10% y la extensión de adherencia disminuyó entre 40 y 50%, según se ve en la Figura 8.

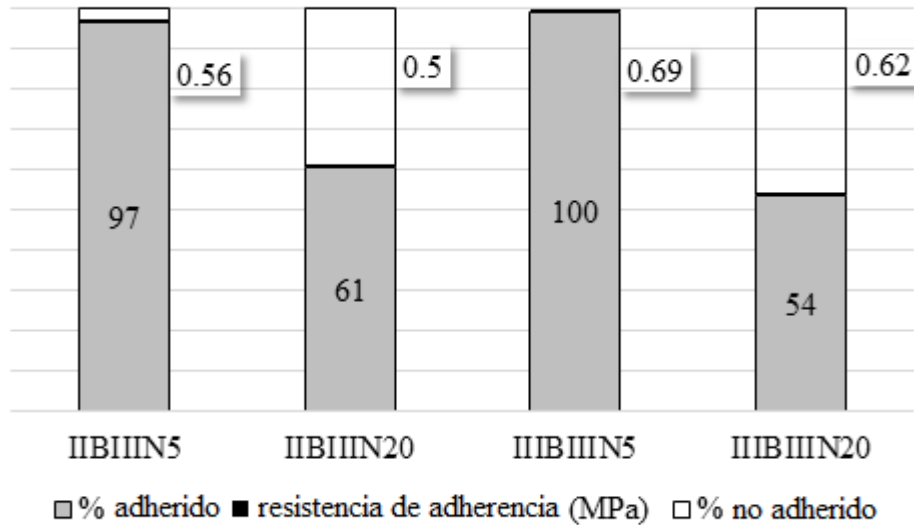


Figura 8. Extensión de adherencia en función del tiempo abierto de los morteros.

En la Figura 9 se observa la pérdida de extensión de adherencia típica de la aplicación de la placa cerámica pasado un tiempo excesivo de espera, que resulta en la pérdida de extensión de adherencia y disminución de la resistencia de adherencia a tracción. El fenómeno ocurre por aumento de la rigidez de los bordes del mortero, que impide su esparcimiento durante la aplicación de la placa cerámica.

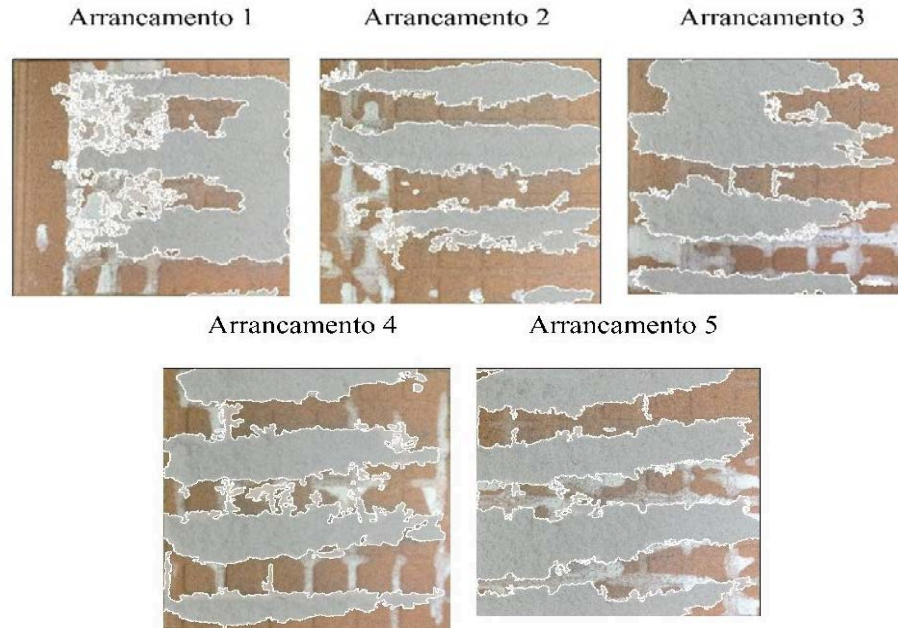


Figura 9. Extensión de la adherencia típica de asentamiento de la placa cerámica pasado el tiempo excesivo de espera.

4. CONSIDERACIONES FINALES

A través del análisis de los resultados de los ensayos realizados, se puede observar que:

- Para los morteros de pega utilizadas, todas a base de cemento Portland, la condición de curado es la variable con mayor significancia en los resultados de resistencia de adherencia a tracción, seguida por el tipo de mortero de pega. Tal hecho llama la atención para las diferencias de curado típicas del proceso de aplicación de placas cerámicas en fachadas, donde las piezas son sometidas a diferencias importantes de temperatura y humedad, así como del eventual mojado según las precipitaciones durante el período de curado. El curado normal (ambiente de laboratorio con temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ y humedad relativa del aire de $60 \pm 5\%$) presentó los mejores resultados, y fue la única condición de curado en que los morteros de pega en estudio fueron aprobados en los conjuntos de ensayos previstos en las normas;
- Las características de la placa cerámica, en función de la permeabilidad, no influyeron significativamente en la resistencia de adherencia del sistema, en un análisis en conjunto de todos los resultados. Entre tanto, se considera un determinado tipo de mortero de pega y una condición de curado específico, el aumento en la absorción de agua de la placa cerámica implica una disminución de resistencia de adherencia;
- No hay relación estadísticamente significativa entre la extensión de adherencia y la resistencia de adherencia de las placas cerámicas;
- El tiempo de espera entre la mezcla del mortero de pega con agua y su aplicación ejerce gran influencia en la extensión de adherencia de la placa cerámica y disminuye su resistencia de adherencia. Este hecho alerta para la necesidad de especificación de tiempos máximos de aplicación de morteros de pega, que deben ser controlados durante la aplicación;
- Considerando los materiales utilizados, los únicos conjuntos que alcanzaron la resistencia de adherencia a tracción mínima estipulada por la NBR 14.081-1 (ABNT, 2012) fueron el

IIBIIaN, IIBIIbN y el IIBIIIN, todos ejecutados con el mismo mortero de pega (AC II) y sometidos al mismo tipo de curado (normal).

5. REFERENCIAS

- Abreu, M.; Leitão, V.; Lucas, J.C. (2004), “*Modeling the Behavior of Ceramic Tile Coverings*”, VIII World Congress on Ceramic Tile Quality – Qualicer, Castellón: (España), p. 3.
- Antunes, G. R. (2010), “*Estudo de manifestaciones patológicas em revestimento de fachada em Brasília - sistematização da incidência de casos*”. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, p. 48.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9.778 (2005), “*Argamassa e concreto endurecidos – Determinación da absorción de agua, índice de vazios e massa específica*”, Rio de Janeiro, pp. 1-4.
- _____. NBR 13.276 (2005), “*Argamassa para asentamiento e revestimiento de paredes e tetos – Preparo da mistura e Determinación do índice de consistência*”, Rio de Janeiro, pp. 1-3.
- _____. NBR 13.277 (2005), “*Argamassa para asentamiento e revestimiento de paredes e tetos – Determinación da retenção de agua*”, Rio de Janeiro, pp. 1-3.
- _____. NBR 13.279 (2005), “*Argamassa para asentamiento e revestimiento de paredes e tetos – Determinación da resistencia a tracción na flexão e a compressão*”, Rio de Janeiro, pp. 1-9.
- _____. NBR 13.817 (1997), “*Placas cerâmicas para revestimento – Clasificación*”, Rio de Janeiro, pp. 1-2.
- _____. NBR 13.818 (1997), “*Placas cerâmicas para revestimento – Especificación e métodos de ensayo*”, Rio de Janeiro, pp. 11-13.
- _____. NBR 14.081-1 (2012), “*Argamassa colante industrializada para asentamiento de placas cerâmicas – Parte 1: Requisitos*”, Rio de Janeiro, pp. 1-5.
- _____. NBR 14.081-2 (2012), “*Argamassa colante industrializada para asentamiento de placas cerâmicas – Parte 2: Execução do substrato-padrão e aplicação da argamassa para ensayos*”, Rio de Janeiro, pp. 1-9.
- _____. NBR 14.081-3 (2012), “*Argamassa colante industrializada para asentamiento de placas cerâmicas – Parte 3: Determinación do tiempo em aberto*”, Rio de Janeiro, pp. 1-6.
- _____. NBR 14.081-4 (2012), “*Argamassa colante industrializada para asentamiento de placas cerâmicas – Parte 4: Determinación da resistencia de adherencia a tracción*”, Rio de Janeiro, pp. 1-7.
- _____. NBR 14.081-5 (2012), “*Argamassa colante industrializada para asentamiento de placas cerâmicas – Parte 5: Determinación do deslizamento*”, Rio de Janeiro, pp. 1-6.
- _____. NBR 14.086 (2004), “*Argamassa colante industrializada para asentamiento de placas cerâmicas – Determinación da densidade de massa aparente*”, Rio de Janeiro, pp. 1-2.
- _____. NBR 15.259 (2005), “*Argamassa para asentamiento e revestimiento de paredes e tetos – Determinación da absorción de agua por capilaridad e do coeficiente de capilaridad*”, Rio de Janeiro, pp. 1-3.
- _____. NBR 15.261 (2005), “*Argamassa para asentamiento e revestimiento de paredes e tetos – Determinación da variação dimensional (retracción ou expansão linear)*”, Rio de Janeiro, pp. 1-6.
- Barros, M. M. S. B.; Sabbatini, F. H. (2001), “*Produção de revestimentos cerâmicos para paredes de vedação em alvenaria: diretrizes básicas*”, (São Paulo, Brasil: EPUSP), p. 27.
- Bauer, R. (1995), “*Despedados em revestimentos cerâmicos, análises e recomendações*”, in: Simpósio brasileiro de tecnologia de morteros. ANTAC, Goiânia (Brasil), pp. 193-201.

- British Standards Institution (BSI). (2015), “*Wall and floor tiling – Part2: Design and installation of external ceramic, natural stone and mosaic wall tiling in normal conditions*”, Code of practice – BS5385-2. London, p. 36.
- Campante, E.D.; Baía, L.L. M. (2008), “*Proyecto e execução de revêstimento cerâmico*”, (São Paulo, Brasil: O Nome da Rosa), pp. 87-90.
- Cnew, M. Y. L. (1992), “*The Study of Adhesion Failure of Wall Tiles*”, Building and Environment, v 27, n°4, pp. 493-499.
- Consoli, O. J. (2006), “*Análise da Durabilidade dos Componentes das Fachadas de Edifícios, Sob a Ótica do Proyecto Arquitetônico*”, Dissertación de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, p. 96.
- Goldberg, R. P. (1998), “*Direct adhered ceramic tile, stone and thin brick facades*”, Technical design manual. (USA: Laticrete International), p. 117.
- Mansur, A. A. P. (2007), “*Mecanismos Físico-Químicos de Adherencia na Interface Argamassa Modificada com Polímeros/Cerâmica de Revestimiento*”, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, p. 3.
- Mansur, A. A. P.; Do Nascimento, O. L.; Mansur, H. S. (2012), “*Mapeamento de Patologias em Sistemas de Revestimiento Cerâmico de Fachadas*”, Construindo, v. 4, n. 01, p. 64.
- Moura, C.B. (2007), “*Adherencia de revestimientos externos de morteros em sustratos de concreto: influencia das condiciones de temperatura e ventilación na cura do chapisco*”, Dissertación de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 29.
- Pagnussat, D. T. (2013), “*Efeito da temperatura de queima de blocos cerâmicos sobre a resistencia de adherencia a tracción de revestimientos de argamassa*”, Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 161.
- Ribeiro, F. A. (2006), “*Especificación de Juntas de Movimentación em Revestimientos Cerâmicos de Fachadas de Edifícios: Levantamento do Estado da Arte*”, Dissertación de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, pp. 43-45.
- RILEM Technical Committees. RILEM TC 116 PCD (1999), “*Permeability of concrete as a criterion of its durability*”, Materials and Structures, v. 32, pp. 174-179.
- Saraiva, A. G.; Bauer, E.; Bezerra, L. M. (2001), “*Análise das tensiones entre argamassa colante e placas cerâmicas submetidas a esfuerzos de natureza térmica*”, Revista Ambiente Construído, v. 2, n. 2, pp. 47-56.