

## LA INFLUENCIA DE LA HUMEDAD EN EL COMPORTAMIENTO DEL ADHESIVO

Flávio Leal Maranhão <sup>(1)</sup>; Angelo Just da Costa e Silva <sup>(2)</sup>; Eduvaldo Sichieri <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Universidad de Sao Paulo y Universidad de São Judas Tadeu, Brasil.  
flavio.maranhao@poli.usp.br

<sup>(2)</sup> Universidad de Sao Paulo y Universidad Católica de Pernambuco, Brasil.  
angelo.silva@poli.usp.br

<sup>(3)</sup> Universidad de Sao Paulo, Brasil.  
sichieri@sc.usp.br

### RESUMEN

*Los morteros adhesivos se utilizan extensamente para colocar las baldosas de gres porcelánico en los edificios porque su capacidad de adherencia y propiedades de flexibilidad aumentan la utilidad del revestimiento. Sin embargo, su comportamiento a largo plazo no se entiende bien, principalmente con relación a la degradación de la matriz polimérica.*

*Esta ponencia investiga la influencia del contenido de humedad en la flexibilidad y la capacidad de adherencia de los morteros adhesivos, sobre la base de las normas EN 12002 y EN 1348, en un mortero adhesivo producido en el laboratorio con un contenido más alto de polímero.*

*Los resultados indican que: (i) la capacidad de adherencia y la deformación transversal dependen de forma importante del contenido de la humedad; (ii) la saturación aumenta la rigidez de la matriz (iii) la función logarítmica se ajuste lo mejor a las correlaciones entre el contenido de humedad y la flexibilidad y la capacidad de adherencia; (iv) un contenido de humedad por encima del 8% (un cuarto del contenido de la saturación) genera una disminución de más del 50% de la flexibilidad y capacidad de adherencia.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Una pared externa revestida de cerámica constituye un sistema multicapa complejo, donde cada capa presenta unas propiedades diferentes y unas uniones rígidas. La tensión se genera principalmente por los agentes medioambientales como la lluvia, el sol, el viento y otros sobre el sistema en su totalidad, y el sistema reacciona así en su totalidad.

Según Medeiros <sup>[1]</sup>, para alcanzar las prestaciones esperadas del sistema, las cargas y las propiedades de los materiales deben analizarse durante el diseño del acabado.

En la fachada, este factor es incluso más relevante debido a las mayores dimensiones de los revestimientos y de las tasas cada vez mayores de esbeltez practicadas en las estructuras (Figura 1), sumadas a las demandas referentes a los efectos de las condiciones climáticas <sup>[2]</sup>, los fenómenos de fatiga <sup>[3]</sup>, la insuficiencia de las actividades de mantenimiento preventivo <sup>[4]</sup> y la falta de normas técnicas reguladoras.

Todo esto genera unos altos niveles de tensión, que afectan al comportamiento del acabado a lo largo de toda su vida útil.

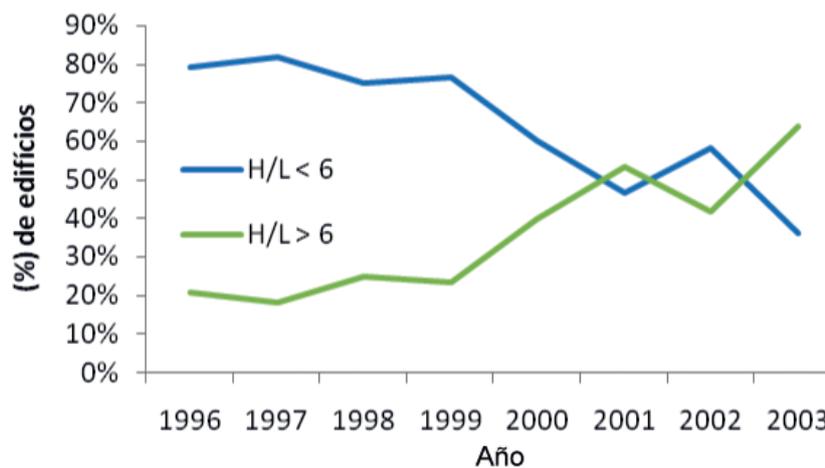


Figura 1. Variación de las tasas de esbeltez en los edificios (H/L) en la ciudad de Recife a lo largo de los años <sup>[5]</sup>. H = altura del edificio y L = anchura del edificio.

El resultado es una alta incidencia de los problemas patológicos como el agrietamiento y el desprendimiento, en países como Brasil <sup>[6]</sup>, Portugal <sup>[3]</sup>, Singapur <sup>[7]</sup> e Israel <sup>[8]</sup>.

Como una alternativa para reducir esas tensiones, los morteros modificados con polímeros se han utilizado para colocar las baldosas cerámicas principalmente porque presentan una rigidez más baja. Por otra parte, estos materiales mejoran la docilidad, retención del agua, propiedades mecánicas, capacidad de adherencia, flexibilidad y propiedades hidrófobas con respecto a los morteros tradicionales.

La evaluación de estos polímeros a la hora de reducir la rigidez y de aportar la flexibilidad a los morteros adhesivos ha sido el enfoque de varias investigaciones científicas <sup>[9, 10, 11, 12, 13 y 14]</sup>. En general, se puede concluir que cuanto mayor es la razón polímero-cemento, menos rígido y más flexible será el mortero adhesivo.

Según Fritze <sup>[13]</sup> y Maranhão; John <sup>[14]</sup>, sin embargo, estas propiedades pueden presentar reducciones superiores al 50% de su valor original cuando están expuestas a condiciones adversas, como los ambientes en contacto con el agua. Los autores, por ejemplo Ohama <sup>[15]</sup> y Su <sup>[16]</sup>, ya habían señalado que el agua constituía el agente principal de la degradación en estos materiales .

Por tanto, la estanqueidad al agua del acabado cerámico externo a lo largo de su vida útil, además de ser un tema importante *per se*, presenta un gran potencial para cambiar las propiedades de los morteros adhesivos.

Este efecto se hace todavía de mayor preocupación, según lo comentado por Fioritto <sup>[17]</sup>; a lo largo del tiempo, la acción del agua en los revestimientos cerámicos es el responsable de la aparición de los esfuerzos de compresión en la placa cerámica y, especialmente, de los esfuerzos de tracción en el mortero adhesivo debido a los diferentes coeficientes de dilatación higroscópica de estos componentes (Figura 2). Así, la pérdida de propiedades importantes, como la flexibilidad y la adherencia, estudiadas en esta investigación, se produce exactamente cuando el sistema incrementa sus demandas.

Al investigar la acción del agua en los morteros con los aditivos poliméricos, Jenni *et. al.* <sup>[18]</sup> clasificó el efecto en dos categorías: (i) **reversible** – asociado al hinchamiento y reblandecimiento de la película polimérica cuando se encuentra en contacto con agua, con unas consecuencias sobre la flexibilidad, la fuerza adhesiva y sobre parte de los movimientos de dilatación y de la contracción; y (ii) **irreversible** – asociado a los efectos de la hidratación tardía del cemento con la consiguiente alteración de la distribución de poros.

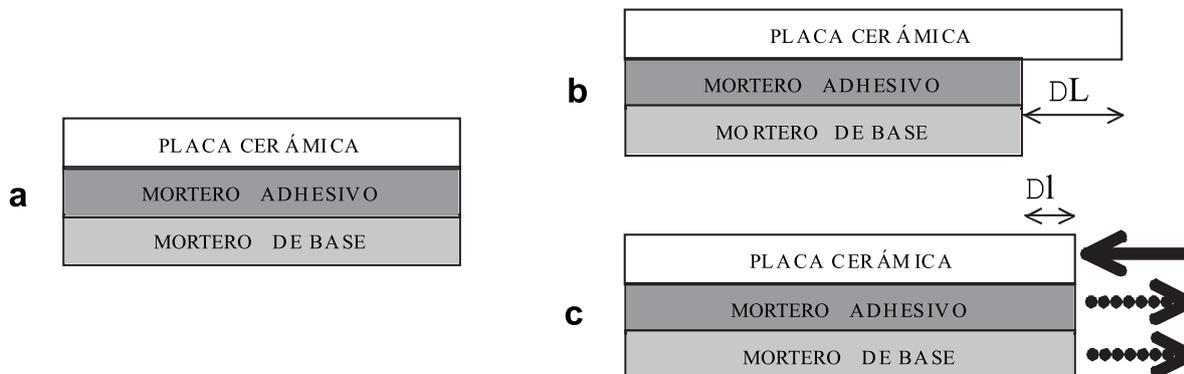


Figura 2. Diagrama de tensiones que actúan en el sistema debido a la acción del agua en los revestimientos cerámicos (a – condición seca; b – saturación del agua de la placa (capas libres – hipotéticas); c – comportamiento verdadero debido a la solidaridad entre las capas ).

Otro punto señalado por el autor era que la intensidad de la degradación del agua en la película polimérica depende del tipo de polímero utilizado para su dispersión, destacando que el agua de cemento saturada contribuía positivamente a la resistencia de la película polimérica cuando se compara con el agua desionizada y con una solución sintética que simula el agua del cemento. Los polímeros de VeoVa y los acrílicos son más resistentes con respecto al estireno de EVA y acrílico. La celulosa PVA y el éter fueron clasificados como solubles.

Silva *et. al.* <sup>[19]</sup> sintetizó las hipótesis que explican la acción del agua para los morteros a base de EVA- en los siguientes puntos:

- Hinchamiento de la membrana protectora de PVA con el reblandecimiento consiguiente y reducción de la resistencia mecánica. En el mismo artículo, los autores no encontraron ninguna prueba de la ocurrencia de este fenómeno;
- Presencia de productos sensibles al agua como el acetato cálcico y otros productos organometálicos, como consecuencia de la interacción química entre el PVA y los compuestos hidratos del cemento;
- Aumento de la cantidad de poros en el intervalo de 10-50nm, que son más sensibles a la tensión superficial de la fase acuosa.

Al contrario del consenso del efecto perjudicial del agua en las propiedades del mortero, no se encuentra ningún acuerdo en el requisito del comportamiento de los morteros adhesivos en condiciones de uso. Los autores, como por ejemplo <sup>[20 y 21]</sup>, abogan la tesis que hay un aumento de la resistencia a la compresión, la flexión extensible y la adherencia de estos morteros, basado en los resultados de los ensayos de envejecimiento natural durante hasta diez años; mientras que Sá <sup>[22]</sup> medía reducciones superiores al 50% en la fuerza adhesiva con las placas cerámicas cuando las probetas fueron sometidas a ciclos de envejecimiento artificial a escala de laboratorio.

Al intentar avanzar los puntos que puedan influir en los diferentes resultados, este trabajo pretende investigar la influencia del contenido de la humedad en la flexibilidad y capacidad de adherencia de uno mortero adhesivo .

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se ha desarrollado en el campo del laboratorio.

La evaluación consistió en la producción de probetas, almacenándolas en una cámara de alta humedad relativa durante 48 horas, seguidas de 26 días de exposición a unas condiciones no-controladas de laboratorio con temperaturas que variaban de  $25 \pm 5^\circ\text{C}$  y humedad de 60-70% hasta que tenían una edad de 28 días. A continuación, las probetas fueron empapadas en agua durante cerca de diez días y después retiradas simultáneamente de ella y almacenadas en pilas, en el ambiente del laboratorio durante 25 días. Los ensayos se han realizado a lo largo de este período. Después, se han extraído unos núcleos de las probetas y éstos se han pesado, obteniendo el valor de la masa húmeda, y después se colaron de nuevo en un horno ventilado a  $100^\circ\text{C}$  hasta que la masa era constante, cuando se pesaron otra vez, proporcionando el valor de la masa seca. A partir de los valores de la masa seca y húmeda, se ha determinado el contenido de humedad de las probetas en el momento de realizar los ensayos.

### 2.1. MORTERO

El mortero utilizado fue producido especialmente para este experimento y no pretende reproducir ningún tipo de composición comercialmente utilizada. Por

esta razón, los autores utilizaron unos contenidos más altos de polímero que los mencionados generalmente en las referencias. El mortero se componía de cemento compuesto tipo (alrededor de 30% de bfs (escoria de alto hormo)), piedra caliza, tipo de polímero Vinapás 5010® de AVE con un 20% de contenido en relación con el peso total de los materiales secos, y polímero de celulosa Culminal 4051® en la proporción del 1%, también relacionada con el peso total de los materiales secos.

Según Fritze <sup>[13]</sup> este contenido de polímero es apropiado para los adhesivos de colocación altamente flexibles.

## 2.2. FLEXIBILIDAD

La preparación de la probeta y los procedimientos del ensayo siguieron las directrices de la norma EN 12002 <sup>[23]</sup>, la cual es específica para evaluar la flexibilidad de los morteros adhesivos, y sobre las que existe una gran cantidad de datos publicados. Se ha modificado solamente el soporte superior, reduciéndolo de 97 cm a 2.0 cm (Figura 3), ya que el último ha estado en uso entre los investigadores, y para minimizar la variación de la superficie de contacto entre el soporte y la probeta para los casos de grandes deformaciones.

Para los ensayos, se ha utilizado una máquina universal Instron con una celda de carga de 1KN. Se midieron la deformación transversal y la carga última.



Figura 3. Configuración del ensayo utilizando el programa experimental para medir la flexibilidad.

## 2.3. CAPACIDAD DE ADHERENCIA

Los procedimientos de la capacidad de adherencia se han basado en la norma NBR 14084 <sup>[24]</sup>, utilizando el ensayo de arranque directo con una celda de carga de 5,0kN.

Las baldosas cerámicas utilizadas en los experimentos eran un gres porcelánico con 0,1% absorción de agua y formato de 50mm x 50mm. El mortero fue aplicado en un sustrato de hormigón normalizado utilizando una llana de 6mm x 6mm y, después de 5 minutos, las baldosas eran posicionadas y prensadas con una carga muerta de 2,0kg para 30s.

Para cada sustrato, se han utilizado diez probetas, sumando un total de cuarenta resultados.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 4 presenta los resultados de la deformación transversal en tres momentos importantes: antes de la inmersión (en seco), probeta saturada (en húmedo) y después del secado (25 días).

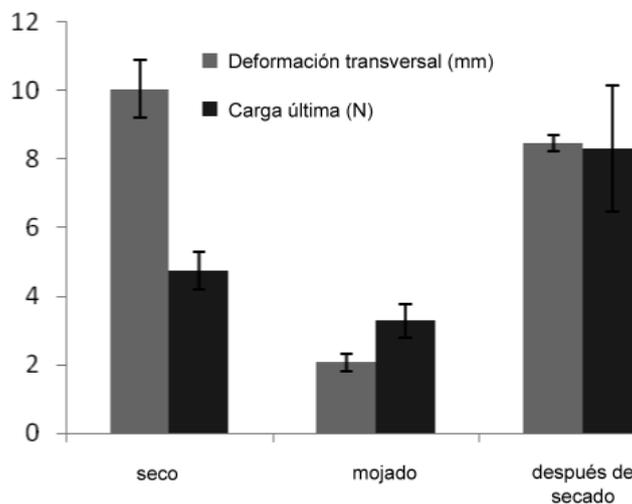


Figura 4. Resultados medios del ensayo de la deformación transversal.

Los resultados demuestran claramente que la inmersión en agua causa una reducción importante de la deformación transversal y de la carga última. Por otra parte, durante el proceso de secado la carga última muestra un aumento importante (70% más alto que en seco) mientras que la deformación transversal no alcanzó el valor inicial, una reducción alrededor de 15%.

Fritze <sup>[13]</sup>, al utilizar una condición de almacenaje similar, notó que la saturación puede causar unas reducciones importantes de la deformación transversal.

La Figura 5 muestra todos los resultados obtenidos durante el proceso de secado.

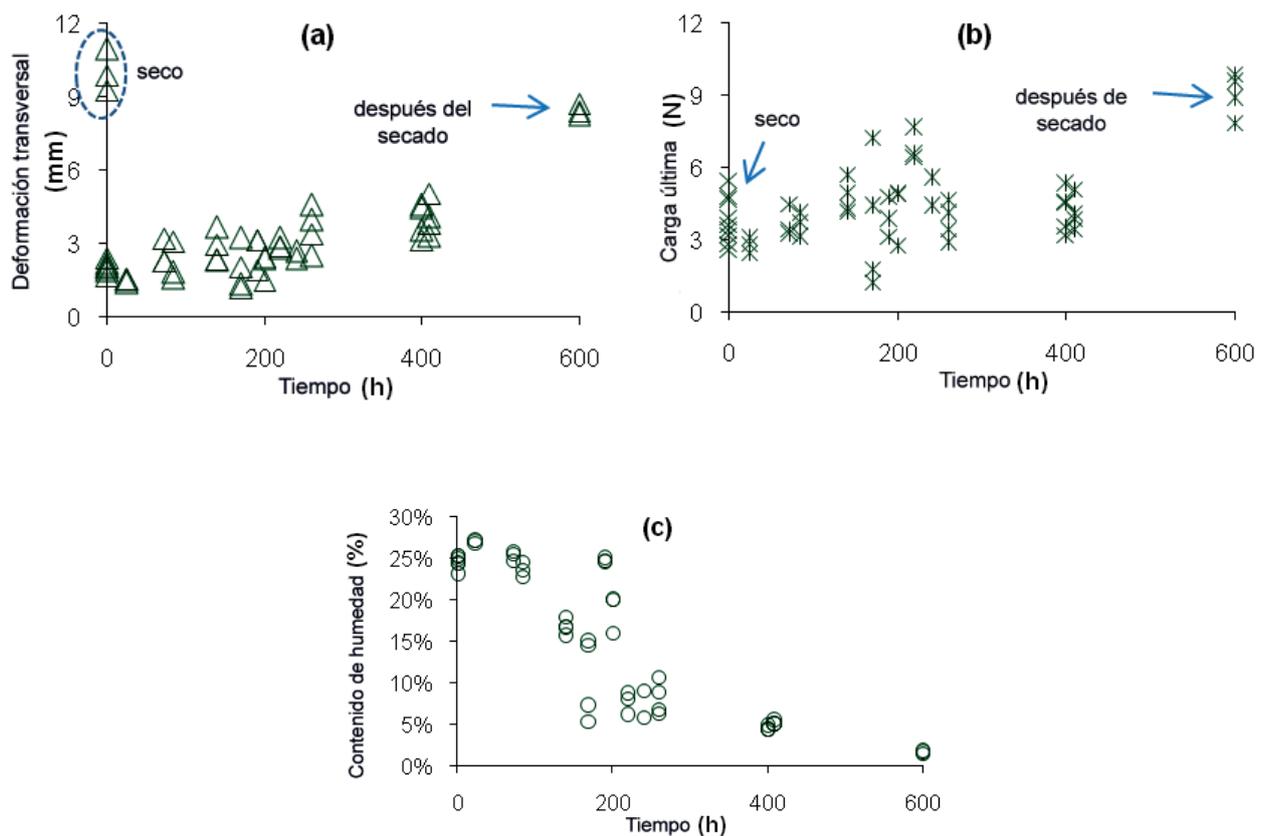


Figura 5. Resultados del ensayo de la deformación transversal. (a) deformación transversal x tiempo, (b) carga última x tiempo y (c) contenido de humedad x tiempo.

Se observa claramente que, a lo largo del secado (veinticinco días), el contenido de la humedad disminuye gradualmente, mientras que la carga última y la deformación transversal aumentan.

Para la deformación transversal, solamente después de 72 horas después de la inmersión, las probetas presentan una deformación superior a 2,5mm, la cual se establece por la EN 12002 como el mínimo para el mortero flexible (S1). Para la carga última, se ha observado una dispersión grande, a pesar del aumento continuo.

Es importante observar que, al mismo tiempo, se ha observado una variación grande en los resultados del contenido de la humedad como consecuencia de las diferencias en la exposición superficial por el almacenaje apilado utilizado.

El tiempo grande requerido para secar este mortero es una consecuencia del contenido del polímero de celulosa que es más alto que el utilizado generalmente.

La disminución de la deformación transversal es causada por el hinchamiento y reblandecimiento en la matriz del polímero <sup>[18]</sup>. Los aumentos en la carga última son la hidratación de cemento que cambia el sistema poroso del mortero <sup>[19]</sup>.

La Figura 6 muestra la deformación transversal y la carga última comparada con el contenido de humedad de la probeta.

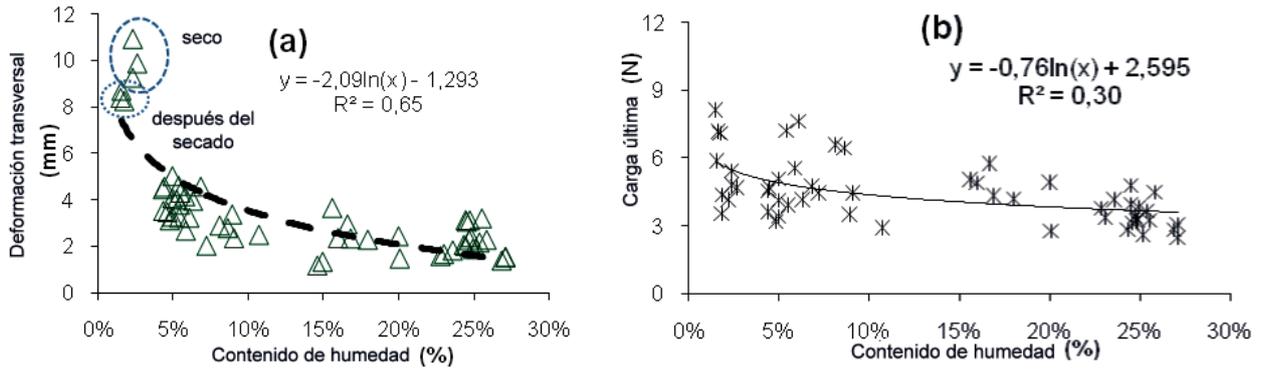


Figura 6. Resultados para el ensayo de la deformación transversal. (a) Flexibilidad y (b) Carga última

En este caso, se ha observado una correlación claramente logarítmica entre la deformación transversal y el contenido de humedad.

La humedad de las probetas “en seco” y “después del secado” fue similar (alrededor de 2%), y los valores superiores al 5% provocan una reducción importante de la deformación transversal.

La carga última no presenta una buena correlación con el contenido de humedad. Una explicación para este comportamiento podría ser una baja precisión de la celda de carga utilizada (1000N) para valores inferiores a 10N.

La Figura 7 presenta el resultado de la capacidad de adherencia.

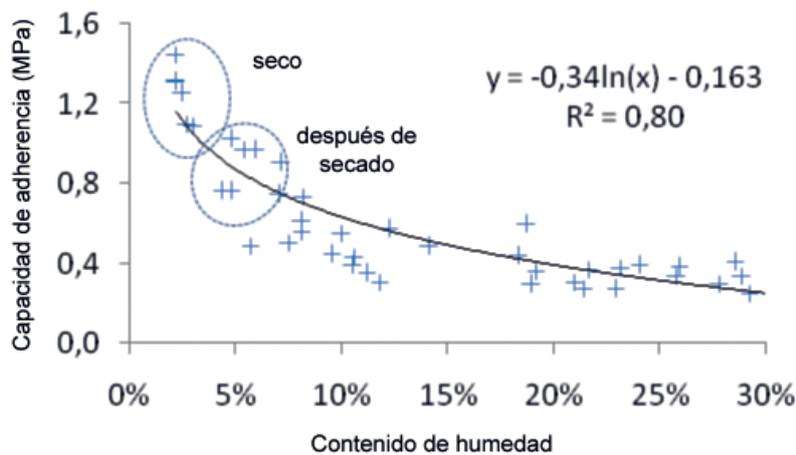


Figura 7. Capacidad de adherencia x Contenido de humedad

La figura muestra una reducción importante en la capacidad de adherencia cuando el contenido de la humedad aumenta. En este caso, las probetas “en seco” muestran un contenido de humedad similar a lo observado en el ensayo de la deformación transversal (alrededor del 2%) mientras que no lo hicieron las “después de secado” (desde 5% hasta el 7%). Este comportamiento se debe probablemente a una cinética de secado más baja por la protección de la baldosa cerámica.

La reducción de la capacidad de adherencia por la saturación está bien documentada [11 y 25]. En este caso, para alcanzar un  $0,5\text{N/mm}^2$  de la capacidad de adherencia, la saturación total no es necesaria. Los valores superiores al 15% son suficientes.

Como lo observado en el ensayo de la deformación transversal, la correlación logarítmica ha sido la mejor para ajustar los resultados.

La Figura 8 muestra la capacidad de adherencia y los resultados de la deformación transversal normalizados ( $1,45\text{MPa}$  y  $10,95\text{mm}$  para la capacidad de adherencia y la deformación transversal, respectivamente).

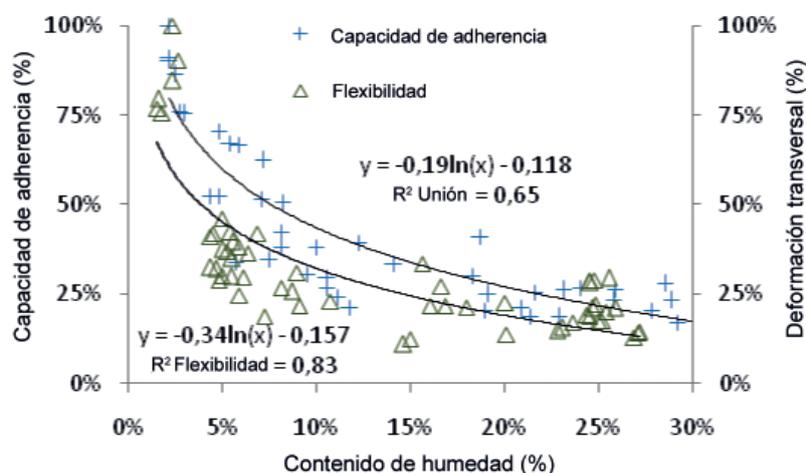


Figura 8. Resultados normalizados para la capacidad de adherencia y la deformación transversal

Está claro que ambas curvas son similares a pesar de los diferentes índices de correlación. Para este mortero, un contenido de humedad superior al 8% es suficiente para reducir la deformación transversal y la capacidad de adherencia en más del 50%. Este contenido de humedad representa el 25% del valor más alto medido en esta investigación.

#### 4. CONCLUSIÓN

El comportamiento del mortero adhesivo utilizado para colocar las baldosas de gres porcelánico debería ser influido en gran medida por varios aspectos, como el contenido de la humedad y la temperatura.

Sobre la base de estos resultados, está claro que el comportamiento del adhesivo depende de la estanqueidad al agua del sistema cerámico, la cual, en términos prácticos, está controlada por la integridad del mortero de rejuntado. Por otra parte, a pesar de no existir ningún defecto, la condensación podría aumentar el contenido de humedad del mortero.

Por lo tanto, es previsible que el efecto del polímero en una fachada real pueda reducirse debido a la humedad real y puede ser la causa de los fallos de revestimiento, como los desprendimientos.

Las conclusiones principales de los resultados del laboratorio son:

- I. La capacidad de adherencia y la deformación transversal dependen en gran medida del contenido de la humedad;
- II. La capacidad de adherencia muestra una correlación mejor con el contenido de la humedad que la deformación transversal;
- III. Que la inmersión en el agua aumenta la rigidez de la matriz, caracterizada por un aumento de la carga última;
- IV. La función logarítmica es la mejor para ajustar las correlaciones entre el contenido de humedad, la flexibilidad, y la capacidad de adherencia;
- V. El contenido de humedad superior al 8% (un cuarto del contenido de la saturación) disminuye en más del 50% la flexibilidad y la capacidad de adherencia.

A pesar de los resultados obtenidos, este trabajo demuestra que las propiedades importantes de los morteros adhesivos, como la deformabilidad y la fuerza adhesiva, esenciales para un funcionamiento adecuado del sistema, son muy sensibles a la presencia de la humedad. Con esto, en vista de la exposición natural de estos morteros a los ciclos de humectación-secado a lo largo de su uso en las fachadas, es de importancia suprema definir, en el diseño, los criterios de aceptación para estos productos para poder anticipar la bajada en el comportamiento previsto, según se ha demostrado en el estudio actual.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] MEDEIROS, J.S. A method to the design of ceramic tiling facades. En: WORLD CONGRESS ON CERAMIC TILE QUALITY, VI. Castellón, 2000. Qualicer 2000. Castellón, Camara Oficial de Comercio, Industria y Navegación, 2000. v.3, p.179-188.
- [2] MATOS, Viviane Cavalcante de Mello; LIMA, Mariângela Geimbra. Manual para avaliação de fachadas importância da avaliação dos fatores ambientais de degradação. En: XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ENTAC. Florianópolis, 2006.
- [3] Lucas, José A. Ceramic Tiles for paving or walls. Laboratorio Nacional de Engenharia Civil. Lisboa (portugal), 1999. 232 p. (in Portuguese)
- [4] BRE. BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT. Building façade maintenance: legal liability and damage limitation. England: BRE, 2001.<http://www.bre.co.uk/pdf/facademaintenance.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2007.
- [5] FONTE, Antônio Oscar Cavalcanti; FONTE, Felipe Luna Freire; CASTILLO, Arlen Angélica Hilda Espinosa; PEDROSA, André Victor Alves da Costa. Características e parâmetros estruturais de edifícios de múltiplos andares em concreto armado construídos na cidade do Recife. En: 47º Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON. Recife, 2005. pXII274-XII284.
- [6] Maranhão, F. ; Costa e Silva, Angelo. Medeiros, J. S. Building Façade with Porcelain Stoneware Tiles in Recife Brazil. World Congress on Ceramic Tile Quality, 9, 2006. 95-105
- [7] Guan, Will; Alum, Jahidul. External Wall Tiling in the Tropical City of Singapore. Construction Technology Monography. Center for Advanced Construction Studies, 1997. 103p.

- [8] Shoheit, I.M.; Paciuk, M. Service life prediction of exterior cladding components under standard conditions. *Construction Management and Economics* 22 (2004), 1081–1090.
- [9] Afridi, MUK; Ohama, Y; Demura, K.; Iqbal, MZ. Strength and Elastic Properties of Powdered and Aqueous Polymer-Modified Mortars. *CEMENT AND CONCRETE RESEARCH* 24 (2004), 1195 – 1213.
- [10] Akiama, Solange Y.; Medeiros, Jonas S.; Sabbatini, Fernando H. Flexibilidade de Argamassas Adesivas. *Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Salvador, Brasil, 1997* (En portugués)
- [11] Harold, Hardy. Modification of Ceramic Tile Adhesive with Redispersible Polymer Powders. *World Congress on Ceramic Tile Quality, 6, Castellon, España, 1998.*
- [12] Medeiros, Jonas S.; Sabbatini, Fernando H.; Akiama, S Y. Flexibility of adhesive mortars: an experimental study. *World Congress on Ceramic Tile Quality, 5. Castellon, 1998.*
- [13] Fritze, Peter. Deformability and Water RESistance of C1 and C2 According to EM 12004. *World Congress on Ceramic Tile Quality, 8, Castellon, España, 1998.*
- [14] Maranhão, F.; John, V. Avaliação da Influência do Teor de Umidade na Flexibilidade de Argamassas Colantes . *Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Salvador, Brasil, 2007* (En portugués)
- [15] Ohama, Yoshihiko. Polymer-based Admixture. *CEMENT AND CONCRETE COMPOSITIES* 20 (1998), 189-212.
- [16] SU, Zhao. Microstructure of Polymer Cement Concrete. *Doctoral Thesis. Delft University of Technology, Netherlands, 1995, 174p.*
- [17] Fioritto, A.J.S.I. *Manual for Mortars and Rendering - research and application.* Editora Pini, São Paulo, 1994, 93-103.( En portugués)
- [18] Jenni, A.; Zurbriggen, R. ; Holzer, L.; Herwegh M. Changes in microstructures and physical properties of polymer-modified mortars during wet storage. *CEMENT AND CONCRETE RESEARCH* 36 (2006) 79 – 90.
- [19] Silva, Denise; Monteiro, Paulo. ESEM analysis of polymeric film in EVA-modified cement paste. *Cement and Concrete Research* 35(2005) 2047-2050.
- [20] Perényi, C. Polymer Modified Mortars. *MATERIAUX ET CONSTRUCTIONS*, n.1, 1968, 13-21.
- [21] Shulze, Joaquim; Killermann, Otmar. Long-term Performance of Redispersible Powder in Mortar. *CEMENT AND CONCRETE RESEARCH* 31 (2001), 357-362
- [22] Sá, Ana Margarida Vaz Duarte Oliveira. Durabilidade de Cimentos-Cola em Revestimentos Cerâmicos Aderentes a Fachada. *Dissertação (mestrado). Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, Portugal, Janeiro, 2005, 148p.*
- [23] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION – Adesivi per Piastrale – Determinazione della Deformazione Trasversale di Adesivi Sigillanti e Cementizi – EN 12002, noviembre 2002.
- [24] Brazilian Association for Technical Standardization Dry-set Portland cement mortars – Determination of the bond tensile strength. 2004. (in portuguese)
- [25] Oliveria, Juliana.; Silva, Denise; Gomes. Effect of Wetting and Drying on the Behavior of Polymer-Modified Cement Materials. *IBRACON Materials Journal Volume 1, Number 1 (Diciembre 2005) p. 59-74.*