

Análisis sobre el crecimiento de hongos en diferentes revestimientos aplicados a sistemas ligeros

Analysis of fungal growth on different coatings applied to lightweight systems

A. Wirth *, F. Pacheco *, N. Toma *, B. Tutikian ¹*, V.Valiati *, L. Gomes *

* Universidade Unisinos, São Leopoldo, BRASIL

Fecha de Recepción: 06/11/2018

Fecha de Aceptación: 14/12/2018

PAG 05-14

Abstract

Walls are essential for buildings because they delimitate surroundings while influencing durability. Regarding the development of buildings, lightweight systems have emerged, which usually have internal closures of gypsum boards with several coating options. The south region of Brazil has subtropical climate, which promotes the development of fungi, which harm human health in buildings. Therefore, a test was performed according to ASTM D3273-16, for the periods of 4 and 10 weeks, to assess the resistance to growth of fungi on gypsum boards with coatings of acrylic paint, epoxy paint, smooth speckle, textured speckle and waterproof polymer. Results showed more severe deterioration of the samples coated with acrylic paint, and at 10 weeks the worst case reached a grade below 4 according to the classification of the standard and provided the development of the Aspergillus and Aureobasidium fungi, whereas the epoxy paint sample favored the growth of genera Penicillium and Aspergillus. The tests also showed significant differences in mold damage for the periods of 4 weeks (recommended by the standard) and 10 weeks (timespan of this study).

Keywords: Fungi, biological evaluation, durability coating, lightweight walls

Resumen

Las paredes son esenciales, porque delimitan el entorno e influyen en la durabilidad de los edificios. Actualmente, han surgido sistemas ligeros que tienen cierres internos de planchas de yeso con diferentes revestimientos. La región sur de Brasil tiene un clima subtropical, que promueve el desarrollo de hongos que dañan la salud humana. Por lo cual, se realizó una prueba según la norma ASTM D3273-16, durante los periodos de 4 y 10 semanas, evaluando la resistencia al crecimiento de hongos en planchas de yeso con pintura acrílica, pintura epóxica, masilla lisa, masilla texturizada y polímeros impermeabilizantes. Los resultados mostraron un deterioro más severo en las muestras recubiertas con pintura acrílica y, a las 10 semanas, el peor caso alcanzó una calificación inferior a 4 (clasificación de la norma) y mostró el desarrollo de los hongos *Aspergillus* y *Aureobasidium*, mientras que la muestra de pintura epóxica favoreció el crecimiento de los géneros *Penicillium* y *Aspergillus*. Las pruebas mostraron diferencias significativas en el daño por moho a las 4 semanas (recomendado por la norma) y a las 10 semanas (período de este estudio).

Palabras clave: Hongos, evaluación biológica, revestimiento de durabilidad, paredes ligeras

1. Introducción

El biodeterioro es causado por la presencia de microorganismos tales como bacterias y hongos y se torna visible cuando los materiales sufren cambios. Existen cuatro clases (Sterfliger; Piñar, 2013; Alsopp; Seal; Gaylard, 2004):

- I. Biodeterioro físico o mecánico: el organismo no se alimenta del material, aunque la presión ejercida por su movimiento o crecimiento hace que el sustrato se rompa
- II. Biodeterioro estético: solo hay organismos o productos metabólicos, los que no dañan el material, pero restringen su aceptabilidad
- III. Biodeterioro químico asimilatorio: el microorganismo utiliza el material como fuente de energía o alimento

- IV. Biodeterioro químico disimilatorio: puede haber excreción de productos de desecho que desfiguran o dañan los materiales y producen daños químicos.

Los microorganismos son esenciales para el biodeterioro y para la producción de alimentos y medicamentos, aunque muchas especies de hongos son patógenas y afectan la salud y la economía, contribuyendo a la vez con la contaminación del aire intradomiciliario y posibles enfermedades (Ghosal; Macher; Ahmed, 2012). Tham et al. (2017) mencionan que los hongos que crecen en los árboles, plantas y pastos liberan esporas fúngicas al aire libre, mientras que las esporas fúngicas de interiores se relacionan con la humedad que hay en los muebles. Simon-Nobbe et al. (2008) afirman que muchas enfermedades se producen por la inhalación, ingesta o contacto con esporas fúngicas, tales como las alergias, micosis broncopulmonar alérgica, sinusitis y asma alérgica. Debido a su capacidad para colonizar el cuerpo humano, éstas pueden causar aún más daño en el sistema inmunológico que el polen u otras fuentes alérgicas. Según

¹ Autor de Correspondencia:

Universidade Unisinos, São Leopoldo, BRASIL
E-mail: bftutikian@unisinos.br



Sharpe et al. (2016), la exposición cada vez mayor a la humedad intradomiciliaria debida a la contaminación por hongos es un problema mundial de salud pública, que aumenta el riesgo de enfermedades alérgicas que afectan a casi un tercio de la población europea.

La interacción entre los hongos transmitidos por el aire y el cuerpo humano fue ignorada durante mucho tiempo (Cabral, 2010). Sin embargo, el reconocimiento del síndrome del edificio enfermo (SEE o SBS en inglés) en la década de 1970, y su correlación con altas concentraciones de hongos intradomiciliarios específicos, hizo resurgir el estudio sobre hongos al interior de las viviendas. El SEE ocurre cuando los usuarios del edificio o vivienda muestran síntomas relacionados con la exposición a químicos, partículas o material biológico (Apa, 2009). De acuerdo con Al-Hunaiti et al. (2017), el polvo doméstico transmite una amplia gama de contaminantes biológicos que son tóxicos para las personas.

Johansson, Ekstrand-Tobin y Bok (2014) argumentan que la interacción entre los factores ambientales, las propiedades de los materiales y las características de los hongos son determinantes para su desarrollo en edificios y viviendas, considerándose la cantidad de agua en los materiales como el elemento más importante. Si las condiciones ambientales son favorables al moho, existe el riesgo de que crezca en los materiales a pesar del nivel crítico de humedad y de la temperatura de cada material específico, además del hecho de que distintos tratamientos pueden afectar el desarrollo de hongos (Johansson; Svensson y Ekstrand-Tobin, 2013).

El crecimiento de hongos se puede producir directamente en el hormigón, las pinturas e incluso algunos materiales de construcción pueden venir precontaminados con hongos (Adams et al., 2016). La humedad, ventilación y temperatura se encuentran entre los principales factores relacionados con la contaminación del aire intradomiciliario y el desarrollo de hongos (Stanković; Nikolić; Arandjelović, 2011). El área que sufre un daño por hongos en los materiales de construcción varía en relación a la temperatura y al tipo de material de construcción (Andersen et al., 2011, Ghosal; Macher, 2012). La intensidad del impacto en el microbioma depende de los niveles de ocupación del edificio, el movimiento de aire y de los propios ocupantes o residentes (Adams et al., 2016). Los contaminantes biológicos provienen principalmente del aire del exterior, fuentes antropogénicas y materiales de construcción (Awad et al., 2018). Incluso con la diversidad de estudios existentes relacionados con el desarrollo de hongos y materiales de construcción, los resultados aún no están del todo claros, debido a la gran variedad de materiales y otros factores que interfieren (Giuseppe, 2013).

Con respecto a los daños a los cuales los edificios son susceptibles, los materiales de construcción pueden verse afectados por los cambios climáticos que ocurren durante su uso (Grynning et al., 2017), además de la contaminación urbana, la mala calidad de los materiales de construcción y los problemas de diseño y ejecución. En virtud de estos daños, la mayoría de los edificios suele presentar altos niveles de degradación y envejecimiento prematuro, lo cual puede afectar negativamente los atributos de las construcciones, como la seguridad, la estética y la durabilidad (Possan; Demoliner, 2013).

Al evaluar la exposición de los edificios, la intensidad de la fuente del aire exterior dentro de construcciones ventiladas varía de acuerdo al tipo de ventilación existente.

La tasa de ventilación afecta la contribución relativa del aire exterior, de manera que las habitaciones con ventilación natural o con ventanas abiertas presentan perfiles microbianos similares al aire exterior y una menor influencia de otras fuentes (Adams et al., 2016). Estos factores se suman al diseño arquitectónico y se pueden reducir mediante el control de la humedad, respiración y ventilación de las edificaciones y tratamiento térmico (Singh et al., 2011).

Johansson, Svensson y Ekstrand-Tobin (2013) afirman que los hongos pueden sobrevivir por periodos y bajo condiciones que son desfavorables a su crecimiento. Sin embargo, en el transcurso del tiempo, estas condiciones casi nunca son constantes en un edificio, ya que la temperatura y la humedad varían y pueden favorecer el crecimiento de hongos.

En las edificaciones, las paredes actúan como divisores de espacios, lo que influye en la seguridad y el desempeño (Ibem et al., 2013; Thomsen, 2014). Las pinturas se aplican principalmente sobre paredes interiores y exteriores como revestimiento de superficies, debido a su influencia en la durabilidad, protección estética y valorización de los edificios (Chai et al., 2011).

Bashir y Hafeez (2016) concluyen que el desarrollo de hongos en la superficie de las zonas pintadas es una advertencia de que existe suficiente material orgánico en las paredes como para dañar la salud humana. Asimismo, los autores señalan que la pintura debe ser repelente a la humedad. Hoang et al. (2010) afirman que todavía no se ha comprendido del todo la susceptibilidad al desarrollo de hongos en materiales como planchas de yeso y estructuras metálicas livianas. Guerra (2017) indica que las planchas de aglomerado y de yeso cartón tienden a favorecer la proliferación de microorganismos.

Bath y Rangel (2005) afirman que las pinturas, por tener varios nutrientes en su composición, sufren biodeterioro causado por el crecimiento de colonias microbianas tanto en sus estados húmedo como seco, lo que altera sus funciones. Según Parjo et al. (2015), los hongos *Aspergillus niger*, *Stachybotrys* y *Cladosporium* a menudo se encuentran en paneles de recubrimiento, además de los hongos *Aureobasidium*, *Alternaria* y *Penicillium*, los que se pueden encontrar sobre capas de pintura seca. Shirakawa et al. (2002) observan desarrollo fúngico en la interfaz entre capas de pintura y en la interfaz entre pintura y sustrato.

Mensah-Attipoe et al. (2016) destacan que el crecimiento visible de hongos en los materiales de construcción es causado por la humedad prolongada en sus superficies y que el aumento de la biomasa fúngica hace la diferencia en la resistencia anti-hongos. Johansson, Svensson y Ekstrand-Tobin (2013) concluyen que los hongos se desarrollan cuando la combinación de temperatura y humedad excede las curvas límite de crecimiento calculadas. Para garantizar el crecimiento de hongos, el contenido de humedad debe ser alto, alrededor del 94-96%, y la temperatura puede variar entre 10 y 40°C (ASTM, 2016).

De acuerdo con Andersen et al. (2011), es importante identificar el tipo de hongo existente en una construcción con presencia de moho. El análisis de resistencia antifúngico se rige por la norma ASTM D3273-16 (ASTM, 2016) a través de un ensayo acelerado. Generalmente, la identificación de los hongos se realiza por medio de la observación morfológica de las esporas capturadas o después de su cultivo. Estos métodos contemplan alrededor de 90 especies consideradas comunes e importantes en los espacios interiores (Adams et

al., 2013). Luo et al. (2018) subrayan la necesidad de evaluar cómo los revestimientos y tratamientos de acabado pueden afectar al desarrollo y la supervivencia de los hongos.

Considerando este escenario, el presente artículo comparó planchas de yeso convencionales con 5 tipos de revestimiento, por medio del ensayo acelerado de la norma ASTM D3273-16 (ASTM, 2016) y realizó los análisis microscópicos y morfológicos complementarios.

2. Método

2.1 Caracterización de los sistemas

Para el ensayo, se dispusieron planchas de yeso convencionales de 75 x 100 mm y se ensayaron según la norma ASTM D3273-16 (ASTM, 2016) con cinco tipos de revestimientos:

- Pintura acrílica mate al agua: se aplicaron tres manos de pintura mate al agua sobre las planchas de yeso, con una brocha de cerdas suaves, a intervalos de 24 horas entre cada mano. La pintura era de color blanco con dilución de agua al 80%.
- Masillas lisas: se aplicaron tres manos del producto con una espátula plástica, a intervalos de 24 horas entre cada mano.
- Masillas texturizadas: se aplicaron tres manos del producto con un rodillo de espuma, a intervalos de 24 horas entre cada mano.
- Pintura epóxica al agua: se aplicaron dos manos con dilución de agua al 10%, con un rodillo de pelo corto y a intervalos de 24 horas entre cada mano.

- Polímero impermeabilizante flexible: se aplicó un producto asfáltico, el cual se diluyó con agua para la primera capa. Cuando estuvo completamente seco (luego de 30 minutos aproximadamente), se aplicaron cinco capas entrecruzadas de la solución impermeabilizante (producto mezclado con cemento Portland tamizado CP-IV en una proporción de 1:1) aplicado con brocha, a intervalos de 90 minutos entre cada capa.

Los procedimientos de aplicación y los materiales utilizados se guiaron por las especificaciones de los fabricantes.

2.2 Ensayo de resistencia al desarrollo de hongos

El ensayo de resistencia al desarrollo de hongos se basó en la norma ASTM D3273-16 (ASTM, 2016). La cámara de ensayo consta de una tapa aislante para minimizar la pérdida de calor y las barras que soportan el aparato son de polímero para evitar la contaminación. Debajo de estas barras existe una bandeja para montar un suelo, la cual tiene una malla metálica en el fondo. La operación cuenta con una interfaz de control de temperatura que otorga condiciones isotérmicas dentro de los límites determinados por la norma. Finalmente, la base tiene un tanque de polipropileno. Los componentes se describen de la siguiente manera:

- Suelo: uno adecuado para la propagación de plantas, con 25% de turba y un rango de pH de (5,5-7,0).
- Hongos: los indicados en la Tabla 1.

Tabla 1. Hongos utilizados en el ensayo

Hongo	Código
Aureobasidium pullulans	ATCC 9348
Aspergillus niger	ATCC 6275
Penicillium sp.	ATCC 9849

Fuente: ASTM D3273-16 (2016)

- Planchas para el ensayo: considerando los tipos que permite la norma, se escogió el tipo II que se refiere a planchas de yeso de 75 x 100 mm, con un espesor entre 13 y 25 mm.

La secuencia adoptada fue colocar el suelo en presencia de agua, incubar los hongos durante 14 días y luego proceder al análisis morfológico para evaluar el desarrollo fúngico. El procedimiento del ensayo se realizó con la siguiente secuencia:

- Las muestras se dispusieron y acondicionaron a una temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ y una humedad de $50 \pm 5\%$ durante 4 días antes de ser depositadas en la cámara de ensayo.
- Exposición: las muestras se suspendieron verticalmente a 75 mm sobre la superficie del suelo preparado, a fin de permitir la libre circulación del aire, según se ilustra en la Figura 1.





Figura 1. Muestras colgadas sobre la cámara de ensayo

- c) Evaluación: se evaluó el desarrollo fúngico de las muestras cada semana, durante diez semanas, mediante una escala de calificación que estima el porcentaje de desfiguración de la superficie en una escala del 0 al 10, donde 10 significa ninguna desfiguración visual y 0 es una desfiguración total. Esta escala se obtiene restando el porcentaje de área contaminada del 100%. Los procedimientos para medir la zona dañada se basaron en Pacheco (2016) y se utilizó el software ArcMap 10.3.
- d) La evaluación del área dañada se basó en el conjunto de programas del software ArcMap 10.3 para analizar imágenes y georreferencias. La identificación de diversas manchas de colores en la imagen permite distinguir las regiones afectadas por hongos, las que fueron obtenidas mediante los programas del software ya mencionado, según se muestra en la Figura 2.

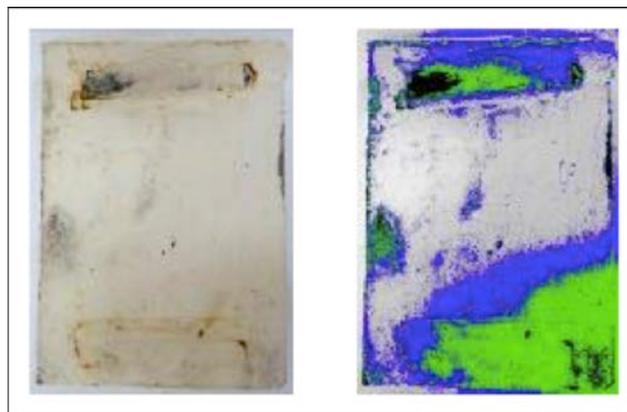


Figura 2. Muestra dañada e imagen analizada por el software ArcMap 10.3 para identificar las áreas dañadas

- e) A continuación, la zona dañada por el desarrollo fúngico se midió con el software AutoCAD®
- resolución de 1 μm . Las muestras analizadas fueron las que mostraron el mayor deterioro a simple vista.

2.3 Análisis microscópico

El análisis microscópico se llevó a cabo después de nueve semanas de pruebas. La evaluación se realizó con el microscópico digital automático modelo Smart Zoom 5, marca ZEISS, con aumentos que fluctuaron entre 10x y 1010x, profundidad de campo extendida, imágenes de alta resolución, ángulos ajustables entre -45° y $+45^\circ$ y una

2.4 Identificación de los hongos en cultivo

Se seleccionaron dos muestras de cada grupo de revestimientos, basándose en la probabilidad de presencia fúngica indicada por manchas visibles a simple vista. Después, el material con hongos se raspó y cultivó en placas de Petri, sobre un medio de agar de dextrosa y papa a 28°C durante 5 días (PDA por sus siglas en inglés) (Figura 3a, b).

Las cepas fúngicas se identificaron en base a las estructuras reproductivas ya conocidas y documentadas en la bibliografía especializada. Luego, una pequeña fracción de estas estructuras se trató con una solución de hidróxido de potasio (KOH 3M), se realizó una tinción con floxina y se tapó con un cubreobjetos de vidrio (Figura 3c).

A continuación, el material se observó bajo el microscopio ZEISS Primo Star con la cámara AxioCam ERc 5S conectada, y el software de imágenes ZEN fijó la lente del objetivo en 40x, lo que generó un aumento de 400x.

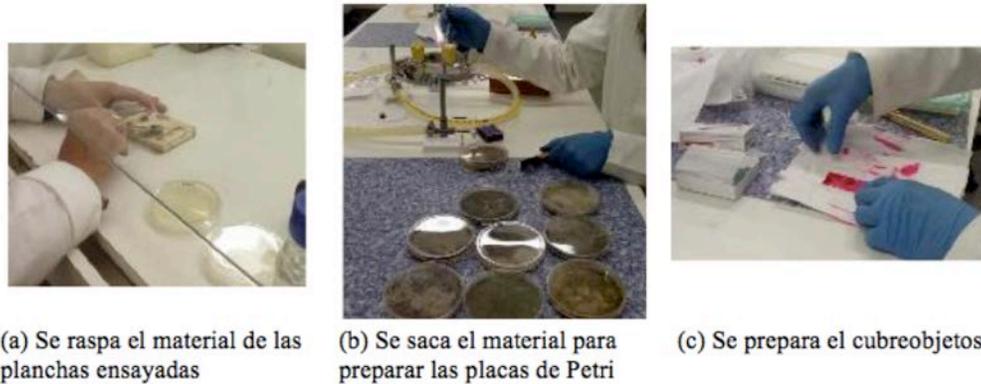


Figura 3. Procedimientos del análisis morfológico

Los hongos desarrollaron estructuras reproductivas luego de permanecer en el horno durante 5 días, lo que permitió determinar las especies de microorganismos. Por esta razón, las placas se prepararon con una pequeña porción del material que se extrajo con un asa de inoculación de platino previamente calentada, se mezcló con la solución de KOH 3M y se realizó la tinción con floxina para facilitar la observación.

Este reconocimiento se logró comparando las estructuras reproductivas encontradas en las muestras con las estructuras ya conocidas y documentas en la literatura. Según se describió anteriormente, el microscopio utilizado para este reconocimiento fue un ZEISS Primo Star.

3. Presentación y análisis de los resultados

3.1 Análisis visual y manejo del software

La acción fúngica sobre la plancha de yeso a las 4 y 10 semanas no solo reveló una desfiguración visual, sino también una desfiguración física, causada por la separación del cartón que está dentro de la plancha de yeso y por el agrietamiento en algunos recubrimientos. El uso de grapas metálicas ocasionó saltaduras y manchas de óxido en los bordes de las muestras, así como en el costado de una de las muestras con pintura acrílica. Algunas de las imágenes presentaron diferencias en los reflejos y sombras debido a la iluminación local, las cuales no fueron consideradas en las mediciones.

Hubo distintas calificaciones de degradación en las muestras, como se observa en la Tabla 2, donde 10 es la mejor y 0 es la peor situación, de acuerdo con la norma mencionada anteriormente. Durante la 4ª semana, únicamente las muestras de masilla lisa y masilla texturizada mostraron signos de desfiguración, mientras que en la 10ª semana, solo las muestras de polímero impermeabilizante y pintura epóxica no mostraron daños aparentes producidos por el ataque de estos microorganismos.

Tabla 2. Calificación de las muestras (mayor grado de manchas)

Muestra	Calificación a las 4 semanas	Calificación a las 10 semanas
Pintura acrílica	Sin cambios por hongos	3,44
Masilla lisa	8,65	5,26
Masilla texturizada	9,34	4,50
Pintura epóxica	Sin cambios por hongos	
Polímero impermeabilizante	Sin cambios por hongos	

Con el objeto de enfatizar los cambios en el aspecto visual, la Figura 4 muestra el aspecto inicial a la 4ª semana y

el aspecto final a la 10ª semana para las muestras con mayor deterioro visual.

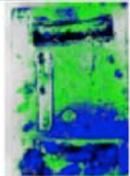
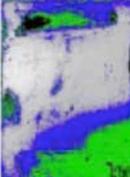
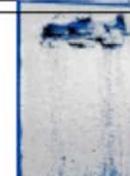
Análisis a las 4 semanas - aspecto	Imagen generada por el software	Análisis a las 10 semanas - aspecto	Imagen generada por el software
			
Pintura acrílica – Sin cambios significativos producidos por ataque fúngico		Pintura acrílica – 65,57% de área dañada. Escala de calificación de 3,44	
			
Masilla lisa – 13,35% de área dañada. Escala de calificación de 8,85		Masilla lisa – 47,36% de área dañada. Escala de calificación de 5,26	
			
Masilla texturizada – 6,63 de área dañada. Escala de calificación de 9,34		Masilla texturizada – 55,02% de área dañada. Escala de calificación de 4,50	
			
Pintura epóxica – Sin cambios significativos producidos por ataque fúngico		Pintura epóxica – Sin cambios significativos producidos por ataque fúngico	
			
Polímero impermeabilizante - Sin cambios significativos producidos por ataque fúngico		Polímero impermeabilizante - Sin cambios significativos producidos por ataque fúngico	

Figura 4. Análisis a la 4ª y 10ª semana de las muestras con distintos recubrimientos

Estos resultados indican que la resistencia al crecimiento fúngico fue más alta en las muestras recubiertas con polímero impermeabilizante y pintura epóxica, ya que estos recubrimientos mitigan la acumulación superficial de agua. Sin embargo, no debe descartarse la posibilidad de que

estas muestras desarrollen microorganismos, ya que puede ocurrir, aunque más lentamente. Con respecto al análisis mediante la escala de calificación de la norma, únicamente la muestra de masilla lisa 03 logró una calificación inferior a 9 a la 4ª semana, mientras que solo la muestra de masilla

SPANISH VERSION.....

texturizada 04 obtuvo una calificación sobre 8 a la 10ª semana, sin olvidar que dos tercios de las muestras no alcanzaron la calificación 6.

Silva (2011) observa que las planchas expuestas a una atmósfera natural se contaminaron con varios hongos, entre los cuales se mencionan los que se utilizan en este estudio. El autor explica que el análisis visual es incorrecto, ya que muchos contaminantes encontrados en los ensayos biológicos no fueron vistos en sus análisis. Gajaca y Brazolin (2012) agregan que los cambios físicos pueden ocurrir sin que cambie el color de los materiales y su recubrimiento, lo que se puede considerar como una falsa evidencia de desempeño.

3.2 Análisis microscópico

El análisis microscópico reveló la presencia de hongos en las muestras (Figura 5), junto con el cambio de color del material. También indicó la falta de evidencias visuales de la presencia de microorganismos en la muestra de pintura epóxica 01, en conformidad con el análisis visual. Además,

se encontraron evidencias de contaminación en la muestra de polímero impermeabilizante, que contradicen el análisis anterior, aun cuando estas conclusiones todavía están sujetas a confirmación por el análisis morfológico.

En cuanto al resto de este análisis, las muestras de polímero impermeabilizante y pintura epóxica mostraron un alto grado de deterioro cuando se analizaron con el microscopio, a pesar de no haber presentado cambios visuales. La capa de agua que se mantuvo durante el ensayo del polímero impermeabilizante puede haber afectado su capa más externa, generando así un gran daño físico incluso sin poseer las condiciones para el desarrollo fúngico. Este resultado indica que el material impermeabilizante puede alcanzar valores críticos más altos, ya que no alcanzó niveles de humedad ni una temperatura que permitiera el crecimiento de hongos (Johansson; Svensson y Ekstrand-Tobin, 2013). Silva (2011) también observa que el mantener una capa de agua retrasó e inhibió el ataque fúngico en una zona al aire libre sujeta a efectos climáticos.

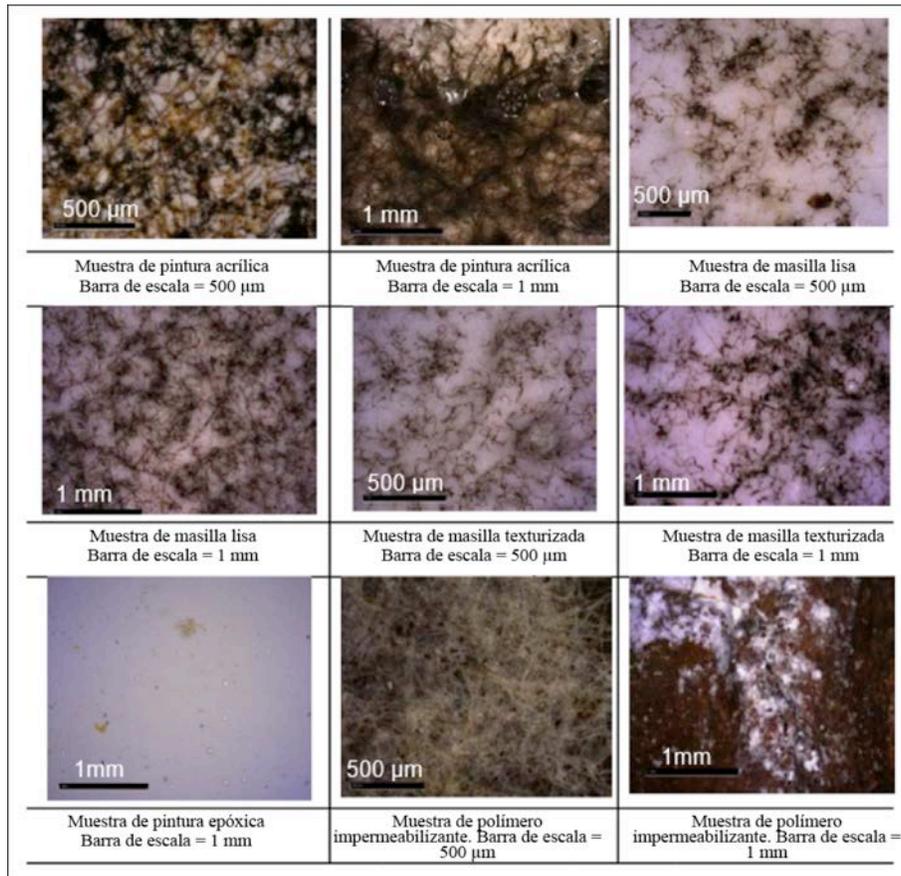


Figura 5. Imágenes generadas por el microscopio

3.3 Análisis morfológico

El análisis morfológico con el microscopio identificó los hongos basado en Putzke y Putzke (2004) y diferenció los

géneros de manera taxonómica, con el objeto de descubrir los tres tipos de hongos presentes en la cámara de ensayo, según se especifica en la Figura 5.



Tabla 3. Hongos encontrados en las muestras

Muestra	Hongo identificado
Pintura acrílica	<i>Aspergillus</i>
Pintura acrílica	<i>Aspergillus</i> y <i>Aureobasidium</i>
Masilla lisa	<i>Aspergillus</i>
Masilla lisa	<i>Aspergillus</i>
Masilla texturizada	<i>Aspergillus</i>
Masilla texturizada	<i>Aspergillus</i>
Pintura epóxica	<i>Penicillium</i>
Pintura epóxica	<i>Penicillium</i> y <i>Aspergillus</i>
Polímero impermeabilizante	<i>Aspergillus</i>
Polímero impermeabilizante	<i>Aspergillus</i>

La Figura 6 muestra las imágenes generadas por este análisis, las que representan las estructuras reproductivas de

tres hongos identificados de acuerdo a lo descrito en la literatura y sus grupos taxonómicos.

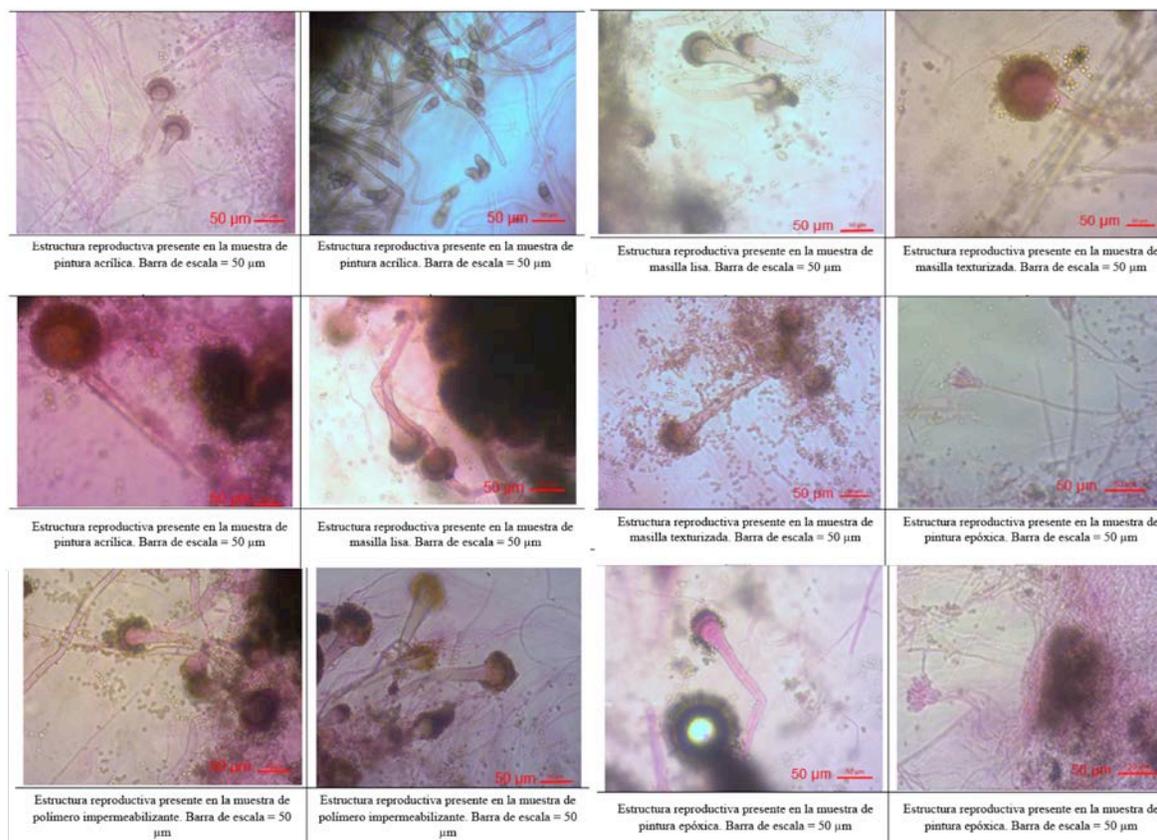


Figura 6. Imágenes generadas por el análisis morfológico con el microscopio

Como se puede observar, todas las muestras mostraron desarrollo de hongos, incluso aquellas que no presentaron signos visuales de contaminación. Por lo tanto, actuaron en conformidad con las evidencias del análisis

microscópico y confirmaron la estructura reproductiva de los tres géneros utilizados en el estudio. Aun cuando no mostraron signos de desfiguración por microorganismos en los análisis ya mencionados, las muestras de pintura epóxica

SPANISH VERSION.

y pintura acrílica presentaron una formación de colonias de *Penicillium* y *Aspergillus* y de *Aspergillus* y *Aureobasidium*, respectivamente. El *Aureobasidium* y el *Penicillium* se encuentran entre los hongos presentes en las películas de pintura enumeradas por Allsopp et al. (2004). Además, el hongo del tipo *Aureobasidium* se desarrolló únicamente en la muestra de pintura acrílica y el *Penicillium* se encontró solamente en las muestras de pintura epóxica. El *Aspergillus* se detectó en todas las muestras, excepto en una de pintura epóxica, lo cual coincide con los resultados de Bath y Rangel (2005) cuando identificaron el hongo del género *Aspergillus*. Según los autores, estos resultados se pueden explicar por dos razones: o bien las pinturas tenían cantidades insuficientes de biocidas o los hongos se volvieron resistentes a estos agentes.

Mensah-Attipoe et al. (2016) observan que los hongos *Aspergillus* son más sensibles a las variaciones de humedad que aquellos de las especies *Cladosporium* y *Penicillium*. Y con respecto al género *Aspergillus*, estos autores notaron que desde el día 0 a la semana 1 hubo una reducción significativa en las unidades que forman colonias, seguida de un aumento importante hasta la semana 4. Puesto que las condiciones de ensayo requerían una humedad constante, no había obstáculos para el desarrollo y permanencia de los *Aspergillus*.

Siguiendo con el género *Aspergillus*, Shirikawa et al. (2002) reportaron su presencia en superficies pintadas, pero no en pinturas deterioradas. Por ende, el rango de tiempo del ensayo puede afectar la identificación de este género.

Shirikawa et al. (2002) reportan que el *Aureobasidium* se encontraba presente en las superficies al comienzo de las pruebas, pero las cantidades disminuyeron durante la cuarta semana y se recuperaron en las semanas siguientes, lo que sugiere que la presencia y concentración de hongos sufre cambios con el transcurso del tiempo. Por otro lado, como este género ya estaba presente en las superficies, su fijación inicial se puede haber nutrido de la interacción hidrofóbica con la superficie de pintura fresca. Al analizar viviendas reales, Gi et al. (2002) no perciben la presencia de *Aureobasidium*, por lo que los resultados concuerdan con este estudio, ya que en la verdadera exposición y degradación de los materiales, este género puede disimular su aspecto y sobrevivir.

Estos autores también afirman que este hongo parece no verse afectado por los cambios que sufre la pintura, los que al parecer promueven preferentemente otros hongos, a pesar de que este microorganismo es capaz de recuperarse cuando se ve expuesto a efectos climáticos más severos y de los que se encuentra sobre todo en recubrimientos de

superficie más antiguos. Los resultados de este artículo son análogos, considerando que este tipo de hongo solo se desarrolló en las muestras recubiertas con pintura acrílica y se intensificó a medida que transcurrieron las semanas.

Sharpe et al. (2016) perciben un aumento de los riesgos de contaminación en las superficies, causada por los géneros *Aspergillus*, *Penicillium* y *Cladosporium*, debido a la condensación, mientras que la humedad dentro del tejido del edificio se asoció únicamente a un mayor riesgo de *Aspergillus* y *Penicillium*.

4. Conclusión

Los resultados señalan una diferencia de clases basada en el análisis visual establecido por la norma ASTM D3273-16 (ASTM, 2016) y el ensayo de resistencia al crecimiento de hongos a las 4 semanas (tiempo de ensayo recomendado por la norma) y a las 10 semanas (tiempo adoptado en este estudio). Durante el ensayo de 4 semanas, solo las muestras de masilla lisa y texturizada presentaron signos de moho en su superficie, alcanzando calificaciones cercanas a 9 o más, lo que corresponde a los grados más leves de la escala de calificación. Sin embargo, a las 10 semanas, únicamente las muestras de pintura epóxica y polímero impermeabilizante no mostraron daños aparentes, mientras que todas las demás muestras obtuvieron calificaciones menores a 6.

Todas las muestras que fueron objeto de un análisis morfológico mostraron presencia de hongos, considerando que el hongo del género *Aspergillus* se desarrolló en el 90% de ellas, lo que es consistente con los resultados de Rahman et al. (2012), quien identificó la predominancia de este microorganismo en sus experimentos. El género *Aureobasidium* solo se detectó en la muestra de pintura acrílica y el hongo *Penicillium* se encontró únicamente en las muestras de pintura epóxica. Según Rahman et al. (2012), los hongos de los géneros *Aspergillus* y *Penicillium* son parte del grupo que se encuentra más frecuentemente en interiores. La muestra de pintura epóxica, aun sin evidencias estéticas ni daños físicos, desarrolló dos hongos simultáneamente, el *Penicillium* y el *Aspergillus*. De manera similar, la muestra de pintura acrílica, en la que se desarrollaron los géneros *Aspergillus* y *Aureobasidium*, presentó daños estéticos más severos, con una calificación bajo 4, a pesar de ostentar un menor daño físico en el análisis microscópico. Estos resultados son consistentes con los de Andersen et al. (2011), quien afirma que existe una microbiota asociada a cada material de construcción.

5. Referencias

- Adams R. I. et al. (2013), The diversity and distribution of fungi on residential surfaces. *PloS one*, v. 8, n. 11, p. e78866, doi: 10.1371/journal.pone.0078866.
- Adams R. I. et al. (2016), Ten questions concerning the microbiomes of buildings. *Building and Environment*, 109: 224-234, doi: 10.1016/j.buildenv.2016.09.001
- APA. Agência portuguesa do ambiente. (2009). Laboratório Referência do Ambiente. Qualidade do Ar em Espaços Interiores: Um Guia Técnico. Amadora, Março.
- Al-hunaiti A. et al. (2017), Floor dust bacteria and fungi and their coexistence with PAHs in Jordanian indoor environments. *Science of the total environment*, 408 (20): 940-945, doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.05.211.
- Allsopp D., Seal K. J., Gaylarde C. C. (2004), *Introduction to biodeterioration*. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press.
- Andersen B. et al. (2011), *Associations between Fungal Species and Water-Damaged Building Materials*. Applied and environmental



- microbiology, 77 (12): 4180–4188, doi: 10.1128/AEM.02513-10.
- ASTM. American society for testing and materials (2016)**, ASTM D 3273-16: Standard Test Method for Resistance to Growth of Mold on the Surface of Interior Coatings in an Environmental Chamber (ASTM).
- Awad A. H. et al. (2018)**, Air microbial quality in certain public buildings, Egypt: A comparative study. *Atmospheric Pollution Research*, 2018, 9: 617-626, doi: 10.1016/j.apr.2017.12.014
- Bach E. E.; Rangel Á. R. (2005)**, Biodeterioração de tintas à base de água por fungos. *Exacta*, núm. 3, pp. 79-84, Universidade Nove de Julho - São Paulo, Brasil.
- Bashir U., Hafeez R. (2016)**, Deterioration of painted wall surface by fungal saprobes: isolation and identification. *Pakistan Journal of Phytopathology*, 28: 09-13.
- Cabral João P. S. (2010)**, Can we use indoor fungi as bioindicators of indoor air quality? Historical perspectives and open questions. *Science of the total environment*, 408 (20): 4285-4295, doi: 10.1016/j.scitotenv.2010.07.005.
- Chai J.B., Brito J., Silva A., Gaspar P.L. (2011)**, Previsão da vida útil de pinturas de paredes exteriores, *Revista de Engenharia Civil*, 41 (20): 51-63.
- Gajaca L. M., Brazolin S. (2012)**, Biodeterioração de materiais utilizados na construção civil: métodos de ensaio e uso de biocidas. In: ENTAC: Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído, 14., Juiz de Fora.
- Ghosal S., Macher J. M., Ahmed K. (2012)**, Raman microspectroscopy-based identification of individual fungal spores as potential indicators of indoor contamination and moisture-related building damage. *Environmental science & technology*, 46 (11): 6088-6095, doi: 10.1021/es203782j.
- Gi B.F., Wu P.C., Tsai J.C., Su H.J. (2005)**, Fungal growth on building materials and levels of airborne fungi in homes. *Proceedings: Indoor Air 2005*: 1500-1504.
- Giuseppe E. (2013)**, Nearly zero energy buildings and proliferation of microorganisms: a current issue for highly insulated and airtight building envelopes. *Londres: Springer*. 2013.
- Grynning S. et al. (2017)**, Climate adaptation of buildings through MOM- and upgrading – State of the art and research needs. 11th Nordic Symposium on Building Physics, NSB2017, Trondheim, Norway.
- Guerra F. L. (2017)**, Bolor nas paredes pode causar danos às estruturas das edificações. *AECweb*.http://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/bolor-nas-paredes-pode-causar-danos-as-estruturas-das-edificacoes_7490_0_1. Accessed on 22 Mar. 2017.
- Hoang Chi P. et al. (2010)**, Resistance of green building materials to fungal growth. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 64 (2): 104-113, doi: 10.1016/j.ibiod.2009.11.001.
- Ibem E.O., Opoko A.P., Adebayo A.B., Amole, D. (2013)**, Performance evaluation of residential buildings in public housing estates of Ogun State, Nigeria: users' satisfaction perspective. *Journal of Frontiers Architectural Research*, 2 (2): 178-190, doi: 10.1016/j.foar.2013.02.001
- Johansson P., Ekstrand-Tobin A., Bok G. (2014)**, An innovative test method for evaluating the critical moisture level for mould growth on building materials. *Building and Environment*, 81: 404-409, doi: 10.1016/j.buildenv.2014.07.002
- Johansson P., Svensson T., Ekstrand-Tobin A. (2013)**, Validation of critical moisture conditions for mould growth on building materials. *Building and Environment*, 62: 201-209, doi: 10.1016/j.buildenv.2013.01.012.
- Luo J., Chen X., Crump K., Zhou H., Davies D.G., Zhou G., Zhang N., Jun C. (2018)**, Interactions of fungi with concrete: significant importance for bio-based self-healing concrete. *Construction and building materials*, 164: 275-285, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.12.233.
- Mensah-Attipoe J. et al. (2016)**, Comparison of methods for assessing temporal variation of growth of fungi on building materials. *Microbiology*, 162, 1895–1903, doi: 10.1099/mic.0.000372
- Pacheco F. (2016)** Investigaç o da rela o entre os par metros de projeto das estruturas de concreto armado visando   durabilidade. Dissertation (Master's) – Unisinos University, Civil Engineering Graduate Program, S o Leopoldo, RS. 185p.
- Parjo U. K. et al. (2015)**, Effect of Fungal Growth on the Surface of Painted Plasterboards. *Advances in Environmental Biology*, 9(20): 15-19.
- Possan E., Demoliner C. A. (2013)**, Desempenho, durabilidade e vida  til das edifica es: Abordagem Geral. *Revista T cnico-Cient fica*, 1 (1).
- Putzke J., Putzke M. T. L. (2004)**, Os Reinos dos Fungos. 2. ed. Santa Cruz do Sul: EDUNISC.
- Rahman et al. (2012)**, Incidence and remediation of fungi in a sick building in Malaysia: a case study. *Aerobiologia*, 28:275–283, doi: 10.1007/s10453-011-9226-y.
- Sharpe et al. (2016)**, Identifying risk factors for exposure to culturable allergenic moulds in energy efficient homes by using highly specific monoclonal antibodies. *Environmental Research*, 144: 32–42, doi: 10.1016/j.envres.2015.10.029.
- Shirakawa M. A., Gaylarde C.C., Gaylarde P.M., John V., Gambale W. (2002)**, Fungal Colonization and succession on newly painted buildings and the effect of biocide. *FEMS Microbiology Ecology*, Volume 39 (2), 165-173, doi: 10.1111/j.1574-6941.2002.tb00918.x.
- Silva L.F. (2011)**, Capacidade de deteriora o de cepas de Eucalyptus spp por funos xil fagos. Dissertation (Master's) - Federal University of Espirito Santo, Forestry Sciences Graduate Program, Jer nimo Monteiro, ES. 77 p.
- Simon-Nobbe, Birgit et al. (2008)**, The spectrum of fungal allergy. *International archives of allergy and immunology*, 145 (1): 58-86.
- Singh J., Yu C., Kim J. T. (2011)**, Building Pathology—Toxic Mould Remediation. *Indoor and Built Environment*, 20 (1): 36-46, doi: 10.1177/1420326X10392056.
- Stankovi  A., Nikoli  M., Arandjelovi  M. (2011)**, Effects of indoor air pollution on respiratory symptoms of non-smoking women in Ni , Serbia. *Multidisciplinary respiratory medicine*, 6 (6): 351-355, doi 10.1186/2049-6958-6-6-351.
- Sterfliner K., Pi nar G. (2013)**, Microbial deterioration of cultural heritage and works of art- tilting at windmills? *Applied microbial biotechnology*, 97 (22): 9637-9646 doi:10.1007/s00253-013-5283-1
- Tham R. et al. (2017)**, The role of outdoor fungi on asthma hospital admissions in children and adolescents: A 5-year time stratified case-crossover analysis. *Environmental Research*, 154: 42–49, doi: 10.1016/j.envres.2016.12.016.
- Thomsen A. (2014)**, Housing pathology, a new domain or a new name? European Network for Housing Research- ENHR- 2014, Conference, Tarragona, Spain.

