

RICARDO M.S.F.
ALMEIDA^{1,2*}
EVA BARREIRA²
ELISABETE SILVA³
ISABEL BRÁS³
ANA ROCHA²

1. Instituto Politécnico de Viseu, Departamento de Engenharia Civil, Viseu, Portugal
2. CONSTRUCT-LFC, Department of Civil Engineering, University of Porto, Faculty of Engineering, Porto, Portugal
3. CI&DETS – Polytechnic Institute of Viseu, Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, Viseu, Portugal
* ralmeida@estv.ipv.pt

PALAVRAS-CHAVE

Fungos
Sistema de pintura
Gesso cartonado
Tabique
Bioreceptividade

KEYWORDS

Moulds
Painting systems
Plasterboards
“Tabique” walls
Bioreceptivity

Bioreceptividade de diferentes sistemas de pintura ao desenvolvimento de fungos em paredes de tabique e placas de gesso cartonado

Bioreceptivity of different painting systems to mould growth on “tabique” walls and plasterboards

Resumo

O desenvolvimento de fungos nas superfícies dos elementos construtivos é uma das patologias mais habituais no interior dos edifícios, resultando não só na degradação precoce dos materiais, mas, especialmente, na deterioração das condições de habitabilidade. Por outro lado, intervir num edifício, reabilitando-o, é, desde logo, uma oportunidade excecional para melhorar a qualidade de vida dos seus ocupantes. Desta forma, é relevante compreender o eventual efeito inibidor que diferentes soluções de pintura poderão ter no desenvolvimento de fungos. Neste trabalho foi avaliado o desenvolvimento de fungos em quatro tipos de suporte, onde foram aplicados sistemas de pintura com diferentes características. Os suportes selecionados foram: duas paredes de tabique (solução construtiva com forte implantação no património edificado corrente), uma com argamassa à base de cal e outra com argamassa à base de cal e cimento; e duas placas de gesso cartonado (solução construtiva atualmente bastante aplicada em intervenções de reabilitação), uma normal e outra hidrófuga. Para avaliar o desenvolvimento de fungos foram adotadas duas metodologias: a contagem do número de unidades formadoras de colónias (UFC), tendo sido realizadas colheitas em seis momentos; e a inspeção visual através de registo fotográfico, incluindo a quantificação da percentagem de “pixéis negros”. No final do ensaio foi possível concluir que o gesso cartonado é um substrato mais favorável ao desenvolvimento de fungos, quando comparado com as paredes de tabique, e que a rugosidade dos substratos e o local da colheita foram aspetos relevantes para os resultados.

Abstract

Mould growth on the inner surfaces of building elements is a common pathology found in buildings, resulting not only in the early degradation of the materials but also in the deterioration of the indoor environment. On the other hand, building renovation provides an exceptional opportunity to improve the quality of life of its users. Within this scope it is therefore relevant to understand the effect that different painting solutions may have on mould growth. This work evaluated the mould growth in four kinds of substrates, with different painting systems. The selected case studies were: two “tabique” walls (constructive solution with strong implantation in the built heritage), one with lime mortar and another with lime and cement mortar; and two gypsum plasterboards (a constructive solution that is widely applied in building renovation), a normal and a water repellent. To evaluate the mould growth, two methodologies were adopted: counting the number of colony forming units (CFU) in six sampling periods; and visual inspection through photographic recording, including the quantification of the percentage of “dark pixels”. At the end of the test it was established that plasterboard was more favourable to mould growth when compared to “tabique” walls. Moreover, the roughness of the substrates and the sampling location had also significant impact on the results.

Introdução

O desenvolvimento microbiológico na superfície dos elementos construtivos é uma das patologias mais habituais no interior dos edifícios, degradando os elementos construtivos, condicionando as condições de salubridade do edifício e, consequentemente, colocando em risco a saúde dos ocupantes [1-3].

O crescimento de fungos nas superfícies dos edifícios tem vindo a assumir uma importância cada vez mais preponderante como resultado das crescentes preocupações associadas ao desempenho energético dos edifícios. Com efeito, para se reduzirem as necessidades energéticas, os edifícios são cada vez mais estanques ao ar, não se garantindo, contudo, caudais de ventilação adequados através de dispositivos devidamente dimensionados. Desta forma, o aumento da humidade existente no ar, como resultado de uma renovação inadequada, proporciona condições favoráveis para o desenvolvimento de fungos. Por outro lado, também a utilização de determinados materiais como revestimento interior das paredes e tetos, o incorreto dimensionamento da espessura do material isolante térmico e a orientação do edifício podem contribuir para agravar o problema [4-5].

Vários estudos realizados pela comunidade científica indicam que o crescimento de fungos afeta não só a durabilidade e o desempenho dos materiais, mas também tem um impacto significativo na saúde e bem-estar dos ocupantes. Infecções respiratórias (pneumonia), reações alérgicas (asma e rinite) e efeitos irritantes nos olhos, nariz e pele são referidos por vários autores como doenças relacionadas com a contaminação do ar interior por esporos fúngicos [6-7]. Do ponto de vista do edifício, os principais problemas associados ao desenvolvimento de fungos são o destacamento do revestimento, a deterioração dos materiais e a diminuição do desempenho térmico, hídrico e mecânico [8-9].

Nas habitações, a transmissão por via aérea é a que desempenha o papel mais relevante na saúde dos ocupantes. Existem diversos documentos oficiais que estabelecem valores para as concentrações críticas de esporos fúngicos no interior dos edifícios [10-12]. No entanto, as informações fornecidas pelas diferentes diretivas / normas / documentos técnicos nem sempre são coerentes. Por outro lado, também não existe informação, que possa ser aplicada de uma forma abrangente, sobre quais as concentrações que representam um perigo efetivo para a saúde [4]. De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), a persistência da presença de um número significativo de espécies de fungos patogénicos e toxicogénicos não é admissível em ambientes interiores, devendo a microflora do ar interior ser semelhante e quantitativamente inferior à do ar exterior. Relativamente às restantes espécies, considera-se admissível uma concentração máxima de unidades formadoras de colónias (UFC) de 150 UFC/m³, para misturas de esporos

fúngicos não muito comuns, e uma concentração máxima de 500 UFC/m³, para as espécies mais comuns e que geralmente ocorrem no ar exterior [11-12].

As condições de crescimento dos fungos dependem da espécie [13]. No entanto, é possível afirmar que a temperatura, a humidade relativa (e a combinação destes dois parâmetros), a existência de nutrientes, de oxigénio e o tempo de exposição desempenham um papel relevante no seu desenvolvimento [4, 14]. Existem outros parâmetros que também influenciam o crescimento de fungos, embora de uma forma menos significativa, como o valor do pH, a luz, a rugosidade da superfície e as interações bióticas [15].

Intervir num edifício, reabilitando-o, é, desde logo, uma oportunidade excepcional para melhorar a qualidade de vida dos seus utilizadores. Logo após a segurança estrutural, a garantia de condições adequadas de salubridade no interior dos edifícios deve ser encarada como uma exigência básica, potenciando as condições de habitabilidade.

Por outro lado, a intervenção no edificado existente, corrente ou com relevância patrimonial, reveste-se de especificidades que, em muitos casos, correspondem a situações de dificuldade acrescida relativamente às tecnologias e soluções construtivas, tradicionalmente pensadas na perspetiva dos edifícios novos. Desta forma, sem desvalorizar a importância dos modelos numéricos de previsão, a monitorização dos edifícios em condições de serviço, a instrumentação in-situ e a caracterização laboratorial são peças fundamentais.

Neste contexto, têm sido desenvolvidos alguns estudos relevantes. Em Cataldo et al. [16] sugere-se uma abordagem holística de inspeção do estado de conservação da cripta da Catedral de Otranto em Itália, dando-se especial ênfase às questões relacionadas com o desenvolvimento microbiológico. Em Krus et al. [17] foi proposto um modelo numérico de previsão do desenvolvimento de fungos em edifícios. Em Mesquita et al. [18] identificaram-se as espécies de fungos presentes nos documentos do arquivo da Universidade de Coimbra. Sterflinger [19] publicou uma revisão da literatura sobre o papel dos fungos como agente deteriorador do património cultural.

No interior dos edifícios, os fungos surgem sobretudo em paredes e tetos, sendo, portanto, fundamentais as propriedades dos materiais de revestimento para o desenvolvimento da colonização fúngica [20]. Esta colonização provoca alterações de cor e das propriedades físicas e químicas dos materiais e será mais evidente em materiais de revestimento com mais propensão para serem colonizados. Surge assim o conceito de bioreceptividade, ou seja, a aptidão de um material para ser colonizado por um ou mais grupos de organismos vivos [21]. A revisão da literatura mostra que a grande maioria dos estudos publicados sobre este assunto incide na bioreceptividade de materiais pétreos e cerâmicos. No entanto, em Portugal, tradicionalmente, as tintas são o material de acabamento mais utilizado. Desta forma, é relevante compreender o

eventual efeito inibidor que diferentes soluções de pintura poderão ter no desenvolvimento de fungos.

Neste trabalho foi avaliado o desenvolvimento de fungos em quatro tipos de suportes, onde foram aplicados sistemas de pintura com diferentes características. Os suportes selecionados foram: duas paredes de tabique (solução construtiva com forte implantação no património edificado corrente), uma com argamassa à base de cal e outra com argamassa à base de cal e cimento; e duas placas de gesso cartonado (solução construtiva atualmente bastante aplicada em intervenções de reabilitação), uma normal e outra hidrófuga.

Metodologia

Para a realização deste trabalho foram selecionados dois tipos de suporte. O primeiro foi uma parede de tabique, que corresponde a uma solução construtiva tradicional, com forte expressão nas regiões norte e centro de Portugal. O segundo suporte foram placas de gesso cartonado, um material recente, mas frequentemente aplicado em intervenções de reabilitação.

De uma parede de tabique de um edifício do centro histórico de Viseu foram extraídos dois provetes onde, após a limpeza da argamassa original, foram aplicadas diferentes argamassas de preenchimento: no provete T1 ($1,22 \times 0,45 \text{ m}^2$) foi aplicada uma argamassa à base de cal, com um traço de 1:3 (cal:areia); no provete T2 ($1,20 \times 0,42 \text{ m}^2$) foi aplicada uma argamassa de cal e cimento, com um traço de 1:3:12 (cimento:cal:areia). A Figura 1 ilustra o processo de execução dos provetes. Relativamente ao gesso cartonado, foram testadas duas placas com as mesmas dimensões ($0,45 \times 0,30 \text{ m}^2$): G1, placa de gesso cartonado normal; G2, placa de gesso cartonado hidrófugo.

Nos quatro provetes foram realizados rasgos paralelos aos bordos, criando-se desta forma uma malha de elementos com $0,15 \times 0,14 \text{ m}^2$. Estes rasgos foram realizados nas duas faces dos provetes. Em cada coluna da malha, que incluía três réplicas, foi aplicado um sistema de pintura diferente. A Figura 2 mostra o aspeto final dos provetes após a execução

dos rasgos, juntamente com o esquema com o código adotado para cada elemento da malha. O código inclui uma numeração de 1 a 20 correspondente a cada um dos sistemas de pintura testados (Tabela 1), nos quais as letras A, B e C estão relacionadas com as três réplicas de cada sistema.

Numa das faces de cada provete foi realizada uma inoculação com uma suspensão de fungos previamente preparada, a outra face serviu de controlo, pelo que não foi inoculada, sendo identificada de acordo com o número do esquema seguido de zero. A preparação da suspensão de fungos envolveu a respetiva recolha num edifício de habitação (Figura 3), para garantir tratar-se de uma espécie de fungo comum nos edifícios [21-22]. A espécie de fungos escolhida foi recolhida através do método da zaragatoa (contendo solução neutralizante), numa área de tamanho conhecido (quadrado de $10 \times 10 \text{ cm}$). De seguida procedeu-se à agitação das amostras num shaker com sistema de movimentação alternada (Gesellschaft Für Labortechnik, 1083), com uma velocidade de aproximadamente 100 rpm durante 30 minutos. Isto por forma a proceder-se à devida homogeneização do meio líquido e para a ressuspensão dos fungos presentes na zaragatoa. Posteriormente, foi feita a inoculação do meio sólido Sabouraud Chloramphenicol Agar (Bioakar) com 0,5 mL de amostra. As caixas de Petri foram incubadas a uma temperatura de 27° C , durante 7 dias numa incubadora (ISCO-FTD250), ou até ao aparecimento de colónias individualizadas. A preparação da suspensão de fungos para inoculação nos provetes de ensaio foi realizada com base na norma americana MIL-STD-810G [23], dirigida a ensaios com fungos em diferentes tipos de materiais. A preparação desta suspensão fúngica teve início com a preparação de uma solução aquosa rica em nutrientes, tendo-se potenciado o crescimento das subculturas obtidas recorrendo a sucessivos ciclos de inoculação, incubação e contagem das Unidades Formadoras de Colónias (UFC) presentes no meio líquido nutritivo, pelo método de sementeira por espalhamento. Este procedimento permitiu a obtenção da suspensão de esporos com a concentração final desejada de 10^6 UFC/mL , tendo-se procedido à inoculação do provete por aspersão com um total de 0,4 mL.



Figura 1. Preparação dos provetes da parede de tabique: a) recolha *in-situ*; b) antes da aplicação da argamassa; c) após a aplicação das argamassas.

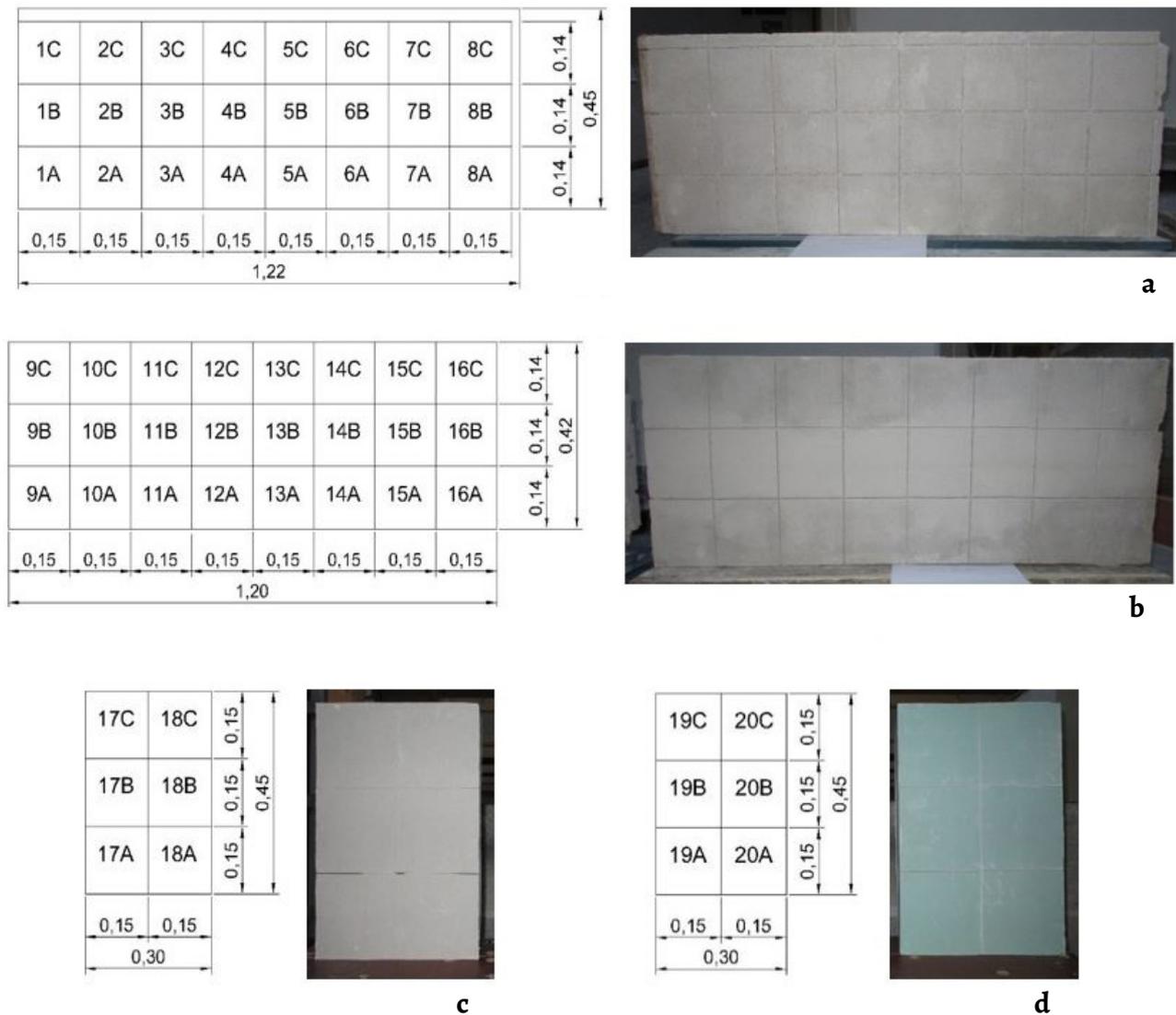


Figura 2. Representação esquemática e aspeto dos provetes após a realização dos rasgos: a) Parede T1 (argamassa de cal); b) Parede T2 (argamassa de cal e cimento); c) Gesso cartonado normal G1; d) Gesso cartonado hidrófugo G2.

A caracterização da espécie fúngica isolada realizou-se a partir da observação das características morfológicas macroscópicas e microscópicas das culturas, bem como pela realização de um conjunto de testes bioquímicos. A identificação das características morfológicas microscópicas das colónias foi realizada recorrendo a um microscópio ótico composto (Novex Holland), a partir do qual foi possível a observação das principais estruturas morfológicas e reprodutoras dos fungos. Para esta observação foi aplicado o procedimento de preparação de culturas em câmara húmida. Resumidamente, este procedimento consiste em efetuar uma preparação a fresco da colónia, a qual é colocada sobre papel de filtro humedecido com água destilada e incubada durante 7 dias a uma temperatura de 27 °C. Término o período de incubação, foi adicionada uma gota do indicador azul de metilo à preparação para observação ao microscópio. Concretizando a identificação da espécie isolada foram realizados testes bioquímicos, no

sentido de estudar o respetivo comportamento a diferentes temperaturas e valores de pH, na presença de substâncias inibidoras, bem como as preferências metabólicas ao nível da assimilação de diferentes fontes de carbono e azoto, assim como a atividade enzimática hidrolítica de uma variedade de substratos. Os resultados apontam para a espécie *Penicillium brevicompactum*.

O ensaio iniciou-se no dia 7 de fevereiro e prolongou-se até julho de 2017. Decorreu no interior de uma câmara climática com condições constantes de temperatura (22 °C) e humidade relativa (90 %). No início do ensaio foram colocadas três tiras de controlo (algodão não branqueado inoculado com o fungo selecionado) para validação das condições ambientais. Após 5 dias já era visível o desenvolvimento de fungos nestes elementos, pelo que as condições de ensaio foram validadas.

Para avaliar o desenvolvimento de fungos foram adotadas duas metodologias. Um dos procedimentos

Tabela 1. Combinação (primário + acabamento) para cada esquema de pintura e respetivas características.

Esquema	Primário			Acabamento		
	Natureza	pH	Proteção Fúngica	Natureza	pH	Proteção Fúngica
1 e 9	Acrílica	>12	Baixa	Cal apagada	>12	Baixa
2 e 10	Silicato de Potássio	>12	Baixa	Silicato de Potássio	>12	Média
3 e 11	Acrílica	8-9	Média	Vinílica	8-9	Média
4 e 12	Acrílica	8-9	Média	Estireno-acrílica	8-9	Baixa
5 e 13	Acrílica	8-9	Média	Estireno-acrílica	8-9	Alta
6 e 14	Acrílica	8-9	Alta	Vinílica	8-9	Média
7 e 15	Acrílica	8-9	Alta	Estireno-acrílica	8-9	Baixa
8 e 16	Acrílica	8-9	Alta	Estireno-acrílica	8-9	Alta
17 e 19	Acrílica	8-9	Alta	Estireno-acrílica	8-9	Baixa
18 e 20	Acrílica	8-9	Alta	Estireno-acrílica	8-9	Alta



Figura 3. a) Recolha da amostra in situ; b) e c) crescimento dos fungos para inoculação do provete.

consistiu na contagem do número de UFC, de acordo com o método da sementeira por espalhamento, tendo sido realizadas colheitas em seis momentos, aos 14, 28, 56, 84, 112 e 140 dias. A colheita foi feita recorrendo a zaragatoas, sendo a contagem das UFC efetuada 7 dias após a incubação a uma temperatura de 27 °C. No decorrer do trabalho experimental foi necessário proceder a diferentes diluições (10 ×, 50 ×, 100 ×, 1000 × e 10000 ×), para cumprir com a condição de se obter entre 20 a 200 UFC por caixa, repetindo-se consequentemente o ciclo de inoculação, incubação e contagem das UFC, descrito anteriormente.

O segundo procedimento consistiu na inspeção visual através de registo fotográfico, incluindo a quantificação da percentagem de “pixéis negros”. Para tal, todas as imagens foram passadas para uma escala de cinzas, tendo-se posteriormente extraído os dados do histograma de cores. Para a quantificação do número de “pixéis negros”, foi definido um limite RGB (red, green, blue) e contabilizado o número de pixéis abaixo desse valor. O registo fotográfico foi realizado semanalmente apenas nas faces inoculadas dos provetes. Para garantir que não estava a ser considerada

a sujidade existente no provete antes do início do ensaio, ao número de pixéis contabilizado semanalmente foi retirado o número de pixéis obtido antes da inoculação.

Tendo em conta que as colheitas efetuadas para a contagem das UFC poderiam condicionar o crescimento das colónias, cada elemento do provete foi subdividido em sete zonas, seis para a colheita das amostras e uma zona central para o registo fotográfico (Figura 4).

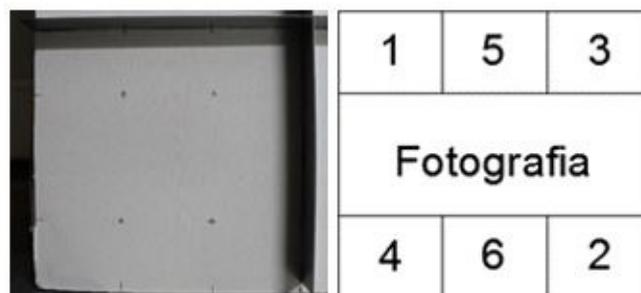


Figura 4. Fotografia e esquema com delimitação das zonas para as colheitas e para o registo fotográfico.

Resultados

Contagem das UFC

Parede de tabique – provete T1 (argamassa à base de cal)

A Figura 5 apresenta a evolução ao longo do ensaio do número de UFC para cada um dos esquemas, considerando a média das três réplicas. Verifica-se, que o esquema 1 apresenta um valor de UFC consideravelmente superior ao dos restantes esquemas, quer na face inoculada quer na não inoculada. Em ambas as faces, o número de colónias diminui da quarta para a quinta colheita, sendo os valores da sexta colheita ligeiramente superiores aos da quinta. Os maiores valores foram contabilizados na face inoculada sendo, nas últimas recolhas cerca de 4 vezes superiores aos obtidos para a face não inoculada. Relativamente aos restantes esquemas, é difícil avaliar qual o que melhor se comporta face à inibição do desenvolvimento biológico, porque, por um lado, não é possível identificar uma tendência, e, por outro, os valores são muito baixos, o que pode limitar a fiabilidade das conclusões.

Os resultados da primeira colheita, realizada ao fim de 14 dias de ensaio, revelaram a presença de UFC em apenas três elementos da face inoculada, não ultrapassando, no entanto, as 2,5 UFC/cm². Dois desses elementos correspondem ao esquema 1 e o outro ao esquema 7. Nesta recolha, a face não inoculada não apresentou desenvolvimento biológico. Aos 28 dias, a face inoculada já apresentava 11 elementos com UFC, mantendo-se apenas os esquemas 3 e 8 sem fungos. O crescimento biológico na face não inoculada apenas ocorreu

em 7 dos 24 elementos, não apresentando os esquemas 2, 4 e 7 quaisquer UFC. O maior número de colónias registado foi de 85 UFC/cm², no esquema 1 da face não inoculada.

Os resultados da terceira e quarta colheitas confirmaram que o esquema 1 era o mais contaminado em ambas as faces, sendo o elemento 1B o que apresentou mais colónias de fungos. Nestas colheitas, quase todos os elementos, quer da face inoculada quer da face não inoculada, apresentaram desenvolvimento biológico. No esquema de pintura 3 da face não inoculada, o valor obtido é destoante dos demais. Contudo, sendo consideravelmente mais baixo do que o do esquema 1, não condiciona a interpretação dos resultados. Na quinta colheita, aos 112 dias, verificou-se que o esquema 1 se mantinha o mais colonizado, apesar de alguns valores serem inferiores aos da recolha anterior. Nos restantes esquemas o número de UFC foi relativamente baixo, quando comparado com o do esquema 1.

Os resultados da última colheita indicaram um aumento do número de colónias em alguns dos elementos, no entanto, noutros esse valor foi menor, quando comparado com o da quinta recolha. Tal como nas colheitas anteriores, o desenvolvimento biológico foi bastante maior no esquema 1, em ambas as faces, do que nos restantes esquemas. Globalmente, a face inoculada apresentou mais UFC.

A diminuição no número de colónias nalguns dos elementos pode estar relacionada com o facto das colheitas se realizarem em zonas distintas e das contagens das UFC apenas contabilizarem os microrganismos viáveis.

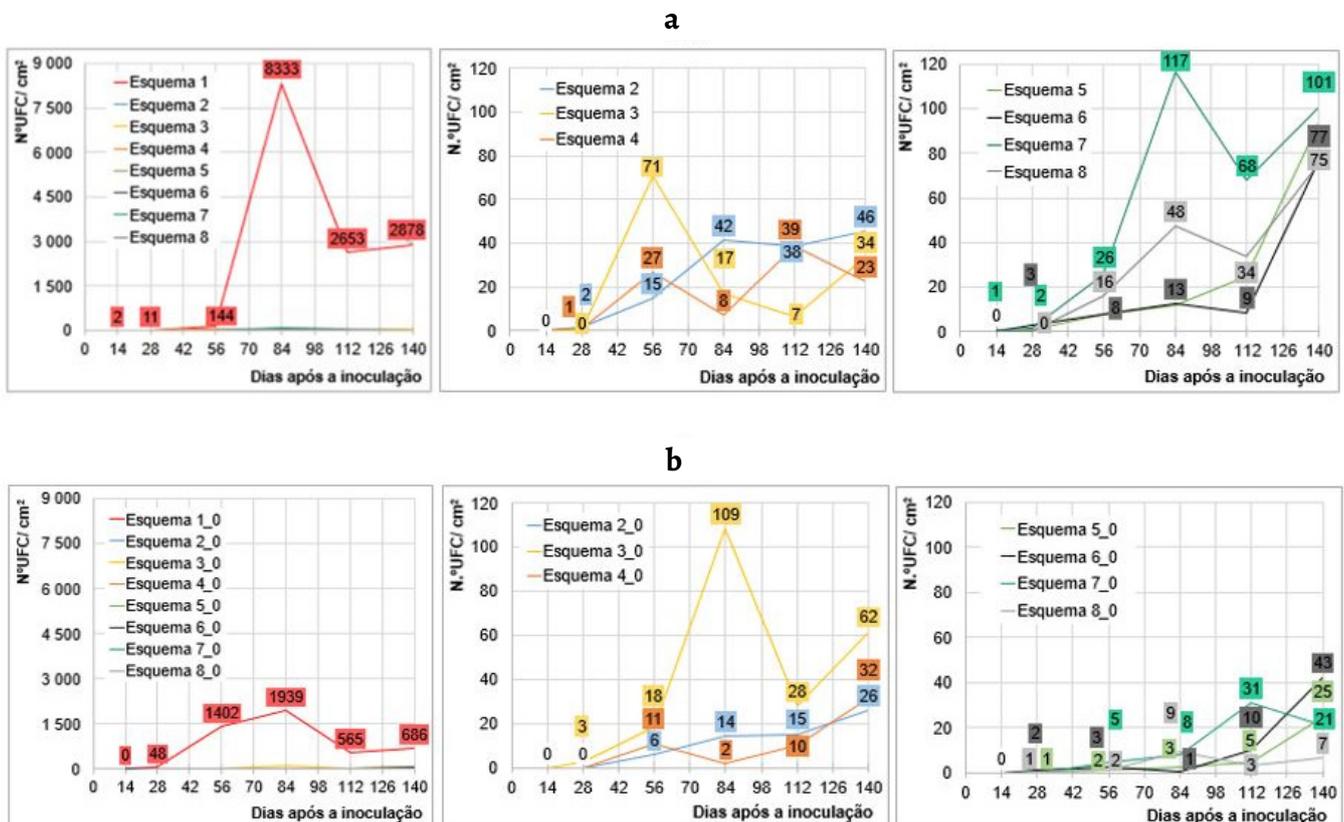


Figura 5. Número de UFC/cm² das seis colheitas realizadas no provete T1 (argamassa de cal): a) face inoculada; b) face não inoculada.

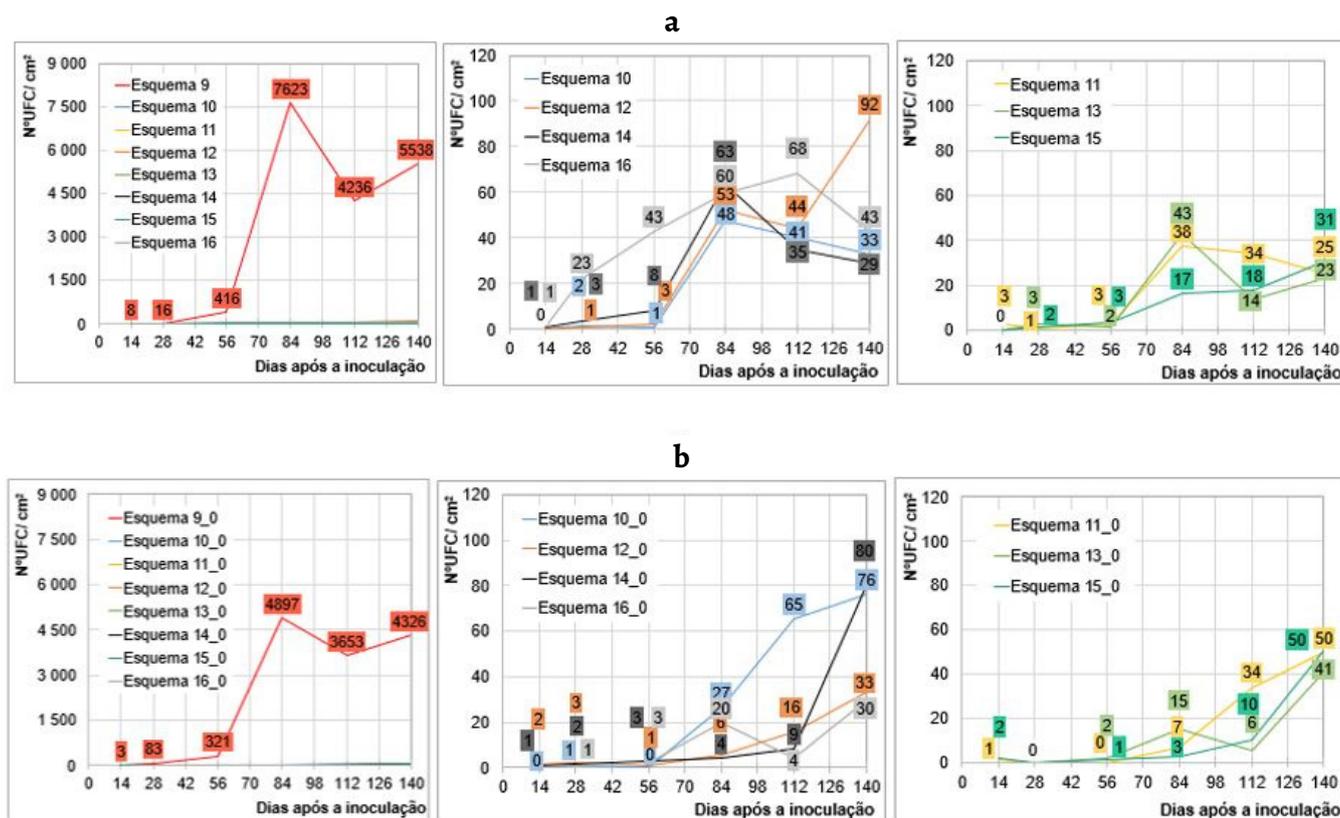


Figura 6. Número de UFC/cm² das seis colheitas realizadas no provete T2 (argamassa de cal e cimento): a) face inoculada; b) face não inoculada.

Parede de tabique – provete T2 (argamassa de cal e cimento)

A Figura 6 apresenta a evolução ao longo do ensaio do número de UFC para cada um dos esquemas, considerando a média das três réplicas. Tal como no provete T1, o esquema 9, equivalente ao esquema 1 no provete T1, apresenta um valor de UFC consideravelmente superior ao dos restantes esquemas, quer na face inoculada quer na não inoculada. No entanto, ao contrário do caso anterior, a diferença entre a face inoculada e não inoculada não é muito significativa. Mais uma vez, é difícil avaliar qual dos restantes esquemas se comporta melhor face à inibição do desenvolvimento biológico. Os dois tipos de argamassa (cal, no provete T1, e cal e cimento, no provete T2) apresentam valores muito semelhantes, pelo que não é possível apontar qual o que apresenta um desempenho mais eficaz.

Na parede T2, na face inoculada, os primeiros resultados (aos 14 dias) indicaram que existiam fungos em 4 dos 24 elementos, atingindo uma concentração máxima de 25 UFC/cm². Os elementos referidos pertencem aos esquemas 9, 11, 14 e 16. Na face não inoculada detetaram-se colónias de fungos em 8 dos 24 elementos, no entanto, o valor máximo foi de apenas 5 UFC/cm². Os elementos contaminados integram os esquemas 9, 11, 12, 14 e 15. Em ambas as faces o valor máximo ocorreu num dos elementos do esquema 9.

Os resultados da segunda recolha (aos 28 dias) mostraram um desenvolvimento fúngico em 11 elementos da face inoculada, sendo que o maior valor registado foi de

62,5 UFC/cm². A face não inoculada apresentava menos elementos afetados, 9 em 24, sendo que a maior concentração ocorreu no esquema 9, com um valor de 242,5 UFC/cm².

Os resultados obtidos aos 56 dias mostraram um crescimento de fungos sobretudo no esquema 9 da face inoculada, atingindo agora as 1220 UFC/cm². Nesta face existiam ainda 3 elementos sem presença de fungos. Na face não inoculada era também o esquema 9 que apresentava mais colónias de fungos. Nesta face 6 elementos permaneciam sem presença de fungos.

Na quarta recolha, realizada aos 84 dias de ensaio, mais uma vez o desenvolvimento fúngico ocorreu sobretudo no esquema 9, nas duas faces da parede, sendo que num dos elementos se registou 21721 UFC/cm². Nesta fase do ensaio, todos os elementos da face inoculada já se encontravam contaminados, enquanto na face não inoculada, em dois elementos pertencentes aos esquemas 11 e 15, não tinham sido ainda detetadas quaisquer colónias de fungos.

Os resultados da quinta recolha (aos 112 dias) confirmaram o desenvolvimento fúngico, principalmente no esquema 9. No entanto, na face inoculada, identificaram-se alguns elementos em que o número de UFC diminui comparativamente com a quarta recolha. Na face não inoculada, de modo geral, o número de colónias contabilizado em cada elemento foi inferior ao registado na face inoculada.

Os resultados da última recolha revelaram um ligeiro aumento do número de colónias relativamente à quinta

recolha em alguns elementos. Nos outros elementos manteve-se a diminuição verificada na recolha anterior. Os valores mais elevados desta recolha, tal como nas anteriores, ocorreram no esquema 9, atingindo as 8917 UFC/cm² no elemento C da face inoculada do provete.

Placas de gesso cartonado – provetes G1 e G2

A Figura 7 apresenta a evolução ao longo do ensaio do número de UFC para cada um dos esquemas, considerando a média das três réplicas. Ao contrário do expectável, e do que ocorreu com as paredes de tabique, as faces não inoculadas foram as que apresentaram maior número de UFC. Estes resultados podem resultar das condições em que foi realizado o ensaio. Por um lado, o volume da câmara climática onde se mantiveram os provetes é relativamente pequeno, podendo ter favorecido a contaminação dos elementos não inoculados. Por outro lado, os provetes de gesso cartonado foram fotografados fora da câmara, ao contrário das paredes de tabique, o que poderá ter potenciado ainda mais a contaminação das suas faces não inoculadas.

Comparando os dois sistemas de pintura utilizados nestes provetes (com proteção fúngica baixa – esquemas 17 e 19, e com proteção fúngica alta – esquemas 18 e 20), confirma-se que os esquemas com uma proteção fúngica

alta são mais eficazes a limitar o desenvolvimento biológico, garantindo menores valores de UFC. Contudo, na face não inoculada esse efeito não é tão evidente, uma vez que todos os esquemas apresentam valores muito semelhantes.

No que diz respeito ao desempenho das duas placas de gesso cartonado, normal (G1) e hidrófugo (G2), o provete G2 mostrou-se menos eficaz face ao desenvolvimento de fungos. Com efeito, as suas características hidrófugas poderão estar a garantir maior quantidade de humidade na superfície, proporcionando, assim, condições mais favoráveis para o crescimento biológico. Além disso, a natureza específica dos materiais constituintes dos dois tipos de placa pode também estar a influenciar, uma vez que os nutrientes disponíveis podem ser diferentes.

Relativamente ao provete de gesso cartonado normal (G1), na primeira amostragem (aos 14 dias) não foram detetadas colónias em nenhuma das faces, no entanto, na segunda contagem (aos 28 dias) já foi observado crescimento fúngico na face inoculada em ambos os esquemas de pintura. Na face não inoculada, apenas no esquema 17 se detetaram colónias, não excedendo, no entanto, as 7,5 UFC/cm².

Os resultados da terceira amostragem, realizada aos 56 dias de ensaio, mostraram um desenvolvimento fúngico relativamente baixo, uma vez que os valores obtidos não

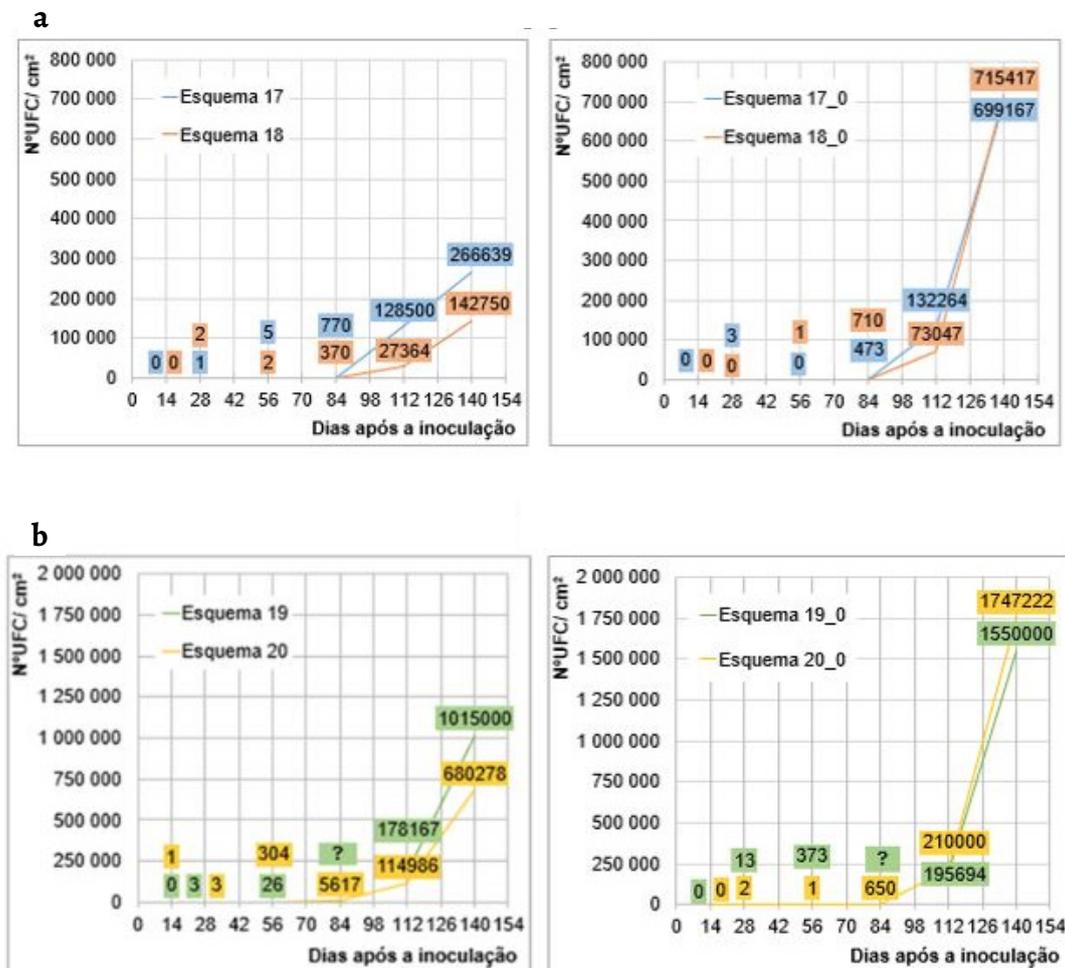


Figura 7. Número de UFC/cm², das seis colheitas realizadas na face inoculada e na face não inoculada dos provetes: a) G1 (gesso cartonado normal); b) G2 (gesso cartonado hidrófugo).

ultrapassaram 10 UFC/cm². A quarta amostragem (aos 84 dias) revelou crescimento de fungos em ambos os sistemas de pintura (17 e 18) e em ambas as faces do provete. Os resultados da quinta amostragem (112 dias após a inoculação) mostraram um crescimento de fungos muito significativo. Os resultados obtidos na sexta amostragem (140 dias) indicaram, mais uma vez, um considerável desenvolvimento fúngico. O valor máximo foi de 1575000 UFC/cm² e ocorreu no esquema de pintura 18, na face não inoculada.

Os resultados obtidos na placa de gesso cartonado hidrófugo (G2) mostraram um padrão desenvolvimento idêntico ao registado na placa de gesso cartonado normal. As três primeiras amostragens revelaram apenas valores residuais de UFC. Na quarta amostragem, as UFC começaram a aumentar e, na quinta e sexta amostragens, observou-se um aumento exponencial das colónias.

Inspeção visual (registo fotográfico)

Parede de tabique – provete T1 (argamassa à base de cal)

Visualmente só foram detetados fungos nos três elementos do esquema 1 da face inoculada. Os primeiros fungos visíveis foram detetados aos 49 dias no elemento 1A. Aos 56 dias identificaram-se microrganismos no elemento 1C e aos 77 dias no elemento 1B. A Figura 8 mostra o crescimento biológico no esquema 1C em dois momentos do ensaio. Foram destacadas nas imagens as zonas com crescimento visível de fungos, uma vez que também existiam manchas nos elementos devido à acumulação de sujidade e poeiras. Verifica-se que é no lado esquerdo dos elementos que o desenvolvimento biológico é mais evidente, o que pode estar relacionado com o facto de corresponder à extremidade do provete.

Para os elementos do esquema 1, com fungos visíveis, foi contabilizada a percentagem de “pixéis negros”. Uma vez que os elementos apresentavam manchas de sujidade no início do ensaio, para facilitar a interpretação dos resultados e garantir que apenas o crescimento de fungos era considerado, à percentagem de “pixéis negros” de cada imagem foi retirada a respetiva percentagem de “pixéis negros” obtida antes da inoculação (Figura 9).

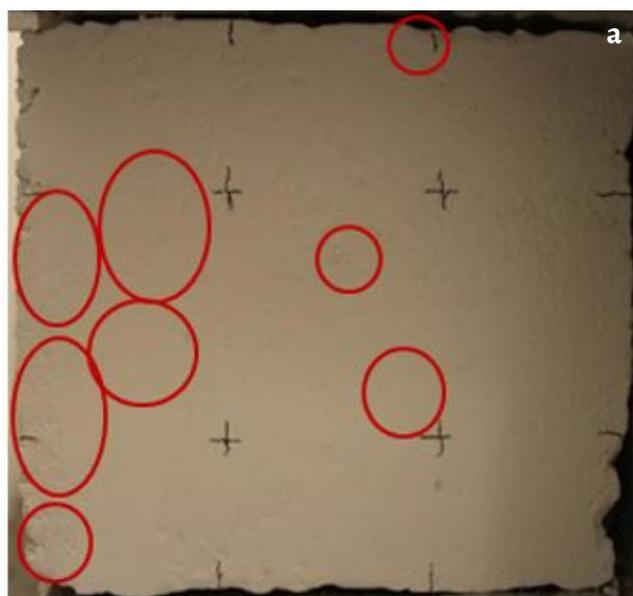


Figura 8. Registo fotográfico do esquema 1C aos 0 dias (a) e 112 dias (b).

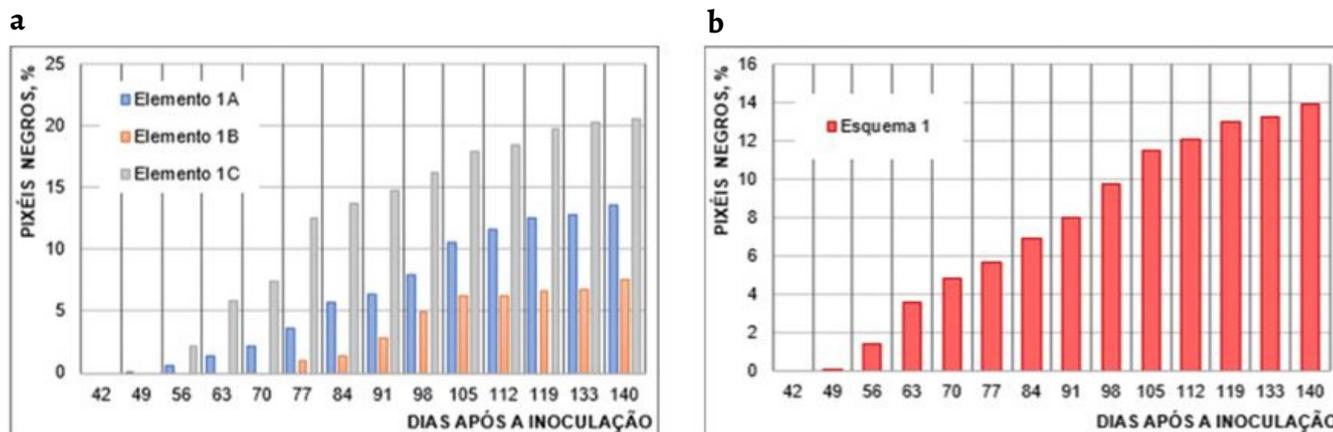


Figura 9. Quantificação do crescimento de fungos no esquema 1 do provete T1: a) elementos 1A, 1B e 1C; b) média das três réplicas.

A [Figura 9a](#) mostra o crescimento em cada elemento e a [Figura 9b](#) a média das três réplicas. Verifica-se que o elemento 1C apresenta maior quantidade de fungos visíveis (cerca de 20 %), sendo que o maior crescimento detetado ocorreu entre os 70 e 77 dias após o início do ensaio. O elemento 1B apresenta a menor área afetada, com cerca de 7 %, e o elemento 1A apresenta cerca de 14 % de fungos visíveis.

Parede de tabique – provete T2 (argamassa de cal e cimento)

Tal como no provete T1, no provete T2 apenas se detetou presença de fungos no esquema 9. A primeira manifestação destes microrganismos ocorreu no elemento 9C, 49 dias após a inoculação dos provetes. Nos elementos 9A e 9B identificaram-se os primeiros fungos aos 70 e aos 77 dias de ensaio, respetivamente. Nos restantes esquemas do provete T2 (esquemas 10 a 16) não foi possível detetar visualmente quaisquer fungos nas suas superfícies.

A [Figura 10](#) mostra a evolução da percentagem de “pixéis negros” na zona central dos elementos 9A e 9B. Apesar do elemento 9C apresentar fungos visíveis na sua superfície, estes não se localizam na zona central (zona da fotografia) e, portanto, não pode ser incluído na análise. Verifica-se que, ao contrário dos resultados das contagens das UFC, quando

se avalia a percentagem de “pixéis negros”, os valores obtidos para o provete com argamassa de cal e cimento (T2) são bastante inferiores, apontando para uma menor visibilidade dos fungos presentes na superfície do provete. Este facto pode estar relacionado com a rugosidade do provete ou com a maior capacidade deste tipo de argamassa inibir o desenvolvimento biológico.

Placas de gesso cartonado – provetes G1 e G2

A primeira observação de fungos ocorreu na placa de gesso cartonado hidrófugo (G2) após 49 dias de ensaio, enquanto na placa de gesso cartonado normal (G1) as primeiras manifestações visíveis ocorreram apenas aos 56 dias. Nos dois provetes, as primeiras manifestações fúngicas surgiram junto às extremidades dos elementos, propagando-se de seguida para o seu interior. Em alguns elementos foi possível identificar dois modos de propagação: um correspondendo a pequenos aglomerados de pontos ao longo da superfície; e o outro correspondendo a um crescimento aleatório ao longo de toda a superfície do elemento. Como exemplo, a [Figura 11](#) mostra o desenvolvimento fúngico no elemento 17A, onde os dois modos de propagação podem ser identificados.

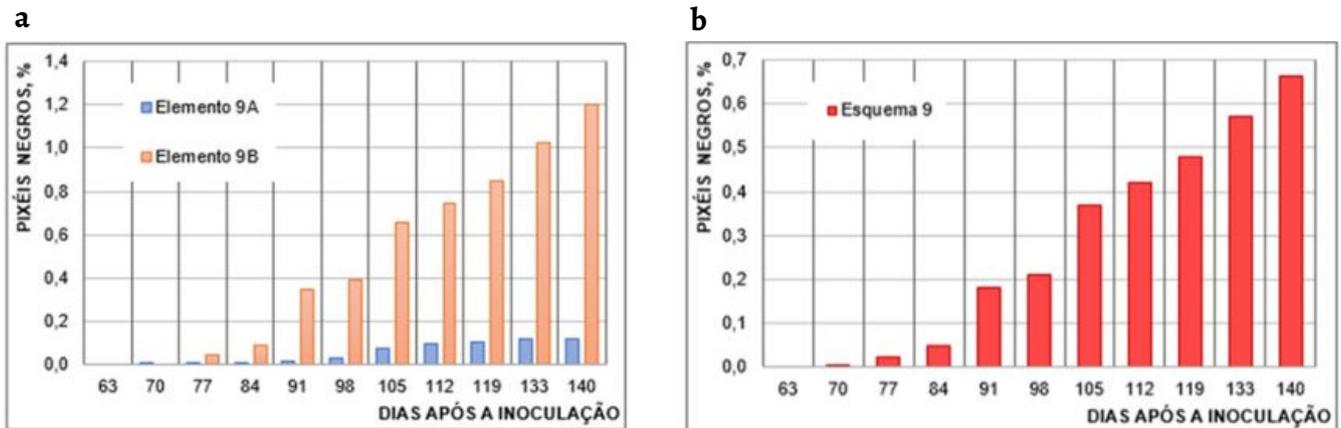


Figura 10. Quantificação do crescimento de fungos no esquema 9 do provete T2: a) elementos 9A e 9B; b) média das duas réplicas.

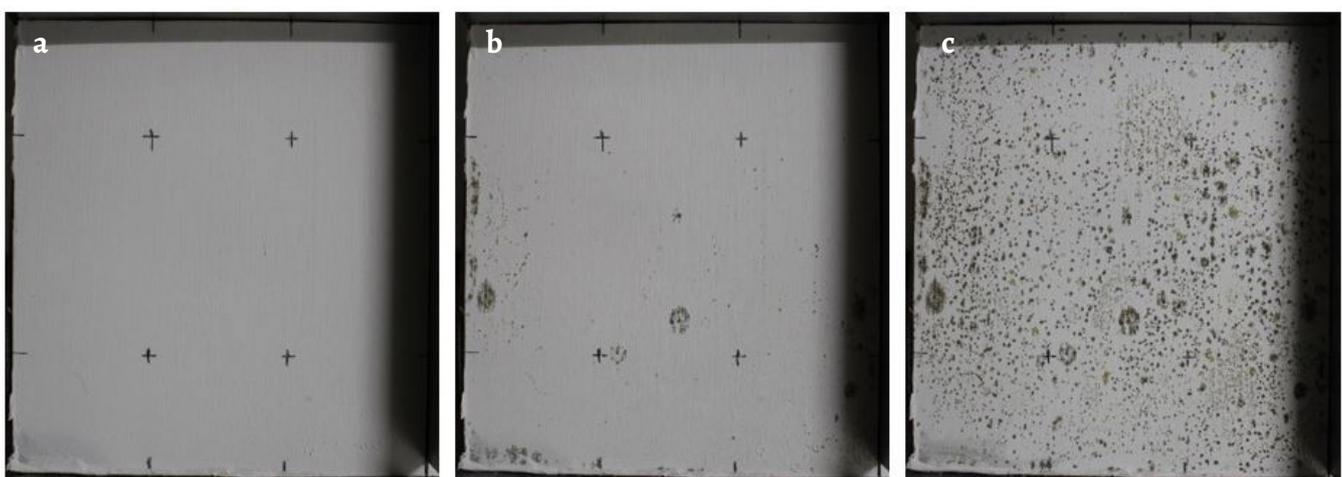


Figura 11. Registo fotográfico do esquema 17A aos 56 (a), 77 (b) e 112 (c) dias.

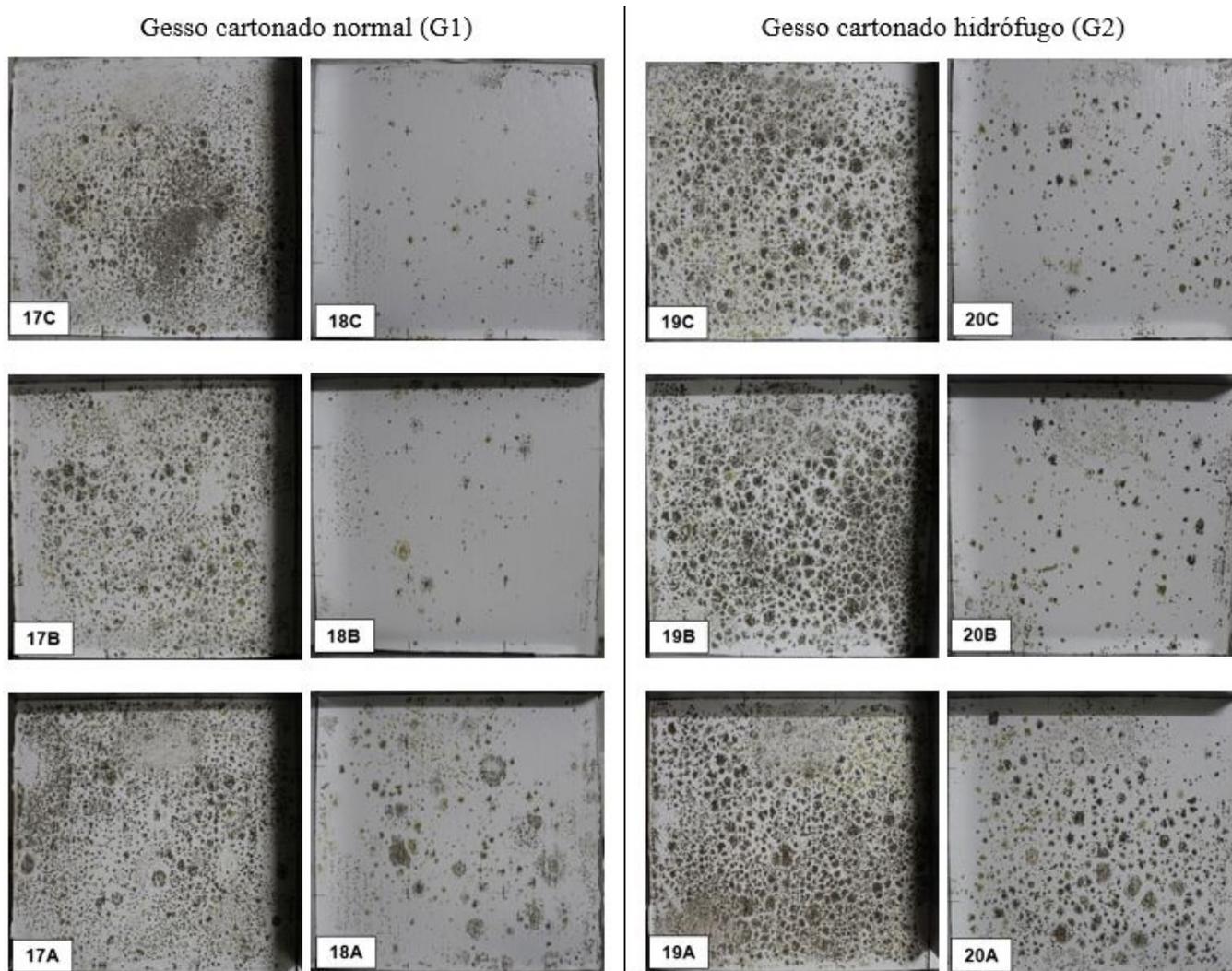


Figura 12. Registo fotográfico dos provetes de gesso cartonado no final do ensaio.

Apesar dos resultados das contagens de UFC terem sido idênticos para os dois sistemas de pintura, a inspeção visual permite identificar diferenças claras entre eles. A Figura 12 mostra o aspeto final da face inoculada de todos os elementos das duas placas de gesso cartonado. As imagens evidenciam desde logo o elevado nível de colonização biológica. No entanto, é possível verificar o melhor desempenho dos sistemas de pintura que incluem agente fungicida em maiores quantidades (esquemas 18 e 20).

A Figura 13 mostra a evolução da percentagem de “pixéis negros” na zona central dos elementos do provete G1 e a Figura 14 nos elementos do provete G2. De uma maneira geral, o elemento A (à cota mais baixa) é o que apresenta maior percentagem de “pixéis negros”, embora nos esquemas 17 e 19 (com proteção fúngica baixa), a diferença entre os vários elementos não seja tão notória. Vários fatores podem ter contribuído para este fenómeno, nomeadamente o efeito da gravidade, a proximidade de uma superfície perpendicular e o procedimento de aplicação da tinta. Por outro lado, estes resultados permitem validar os resultados da observação visual. Os gráficos das Figuras 13 e 14 mostram claramente que o número de “pixéis negros” é claramente superior nos

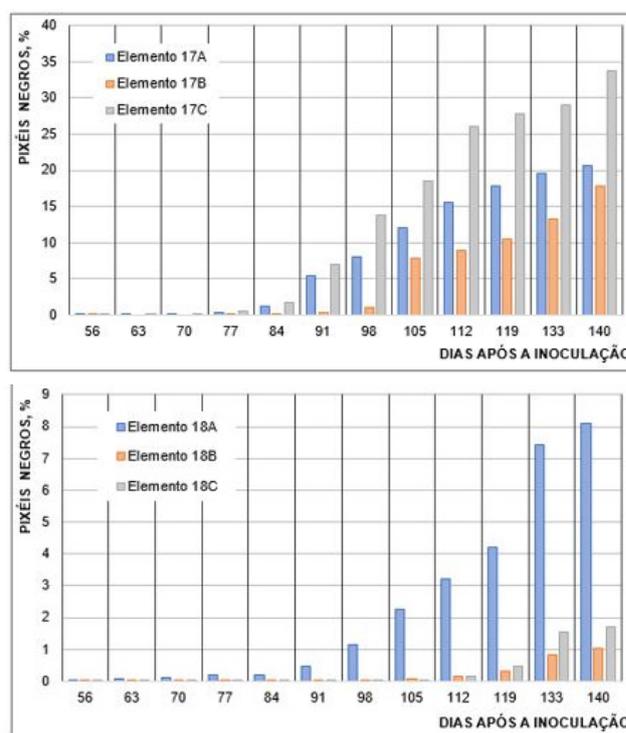


Figura 13. Quantificação do crescimento de fungos no provete G1.

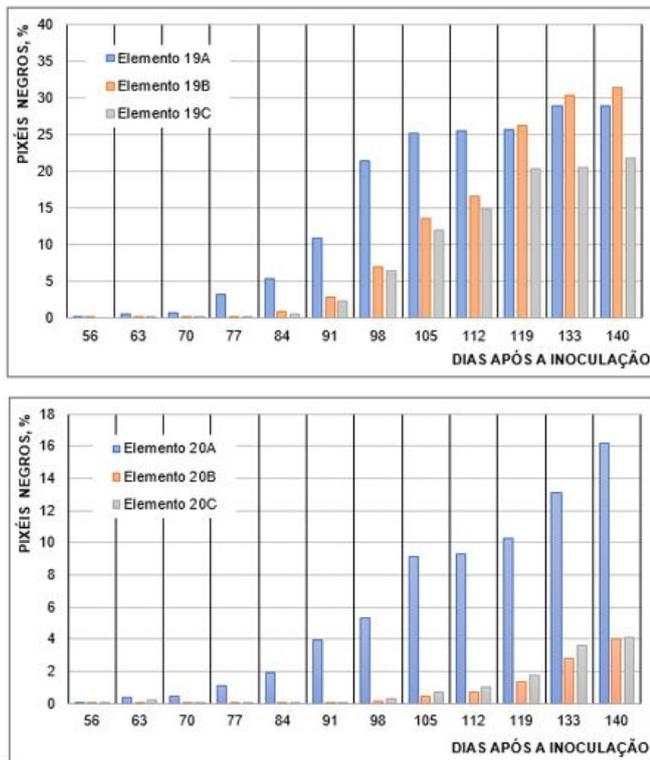


Figura 14. Quantificação do crescimento de fungos no provete G2.

cenários com os esquemas de pintura com baixa proteção fúngica (17 e 19).

Discussão: UFC versus inspeção visual

Os resultados apresentados no capítulo anterior confirmam que a deteção visual do desenvolvimento fúngico só é possível a partir de um determinado número mínimo de colónias. Este facto mostra que a avaliação por contagem de UFC não pode ser substituída pela utilização das imagens, especialmente quando os valores são baixos. No entanto, a partir do limite de deteção visual, a utilização das imagens apresenta várias vantagens, como a facilidade de aplicação, sem necessidade de equipamento e conhecimento laboratorial específico, o custo mais reduzido e a rapidez na obtenção de resultados. Desta forma, procurou-se determinar o número mínimo de UFC que correspondiam a colónias visíveis (limite de deteção visual). Para tal, foram apenas consideradas as contagens de UFC referentes às faces inoculadas, uma vez que apenas estas foram alvo de inspeção visual.

Uma vez que as recolhas foram realizadas em zonas diferentes das do registo fotográfico e o desenvolvimento fúngico não foi igual nas três réplicas de cada esquema, optou-se, nesta análise, por considerar os valores médios das três réplicas. Assim, determinou-se a média dos dias em que se identificou visualmente, pela primeira vez, desenvolvimento de fungos em cada uma das réplicas e comparou-se com as respetivas UFC.

A Tabela 2 sintetiza os resultados obtidos para cada provete.

Os resultados evidenciam uma diferença muito significativa no comportamento dos provetes de tabique relativamente aos de gesso cartonado. De facto, o número mínimo de UFC necessário para que ocorra a deteção visual nos provetes de tabique (mínimo de 1606 UFC no provete T1) é de uma ordem grandeza superior ao obtido nos de gesso cartonado (mínimo de 5 UFC no provete G1). A rugosidade e a porosidade das superfícies, uma vez que os provetes de gesso cartonado apresentam superfícies consideravelmente mais lisas do que as paredes de tabique, contribuem certamente para justificar este fenómeno. No caso das paredes de tabique, as hifas dos fungos podem estar penetradas no substrato, dificultando desta forma a sua visualização.

No que se refere ao desempenho das argamassas de suporte nos provetes de tabique, as primeiras manifestações fúngicas visíveis ocorreram sensivelmente na mesma data (61 e 65 dias), embora correspondendo a um número inferior de UFC no provete T1 (argamassa de cal). Estes resultados indicam que o substrato de argamassa bastarda de cimento, cal e areia é menos resistente à proliferação de fungos comparativamente ao substrato só constituído por cal e areia. Segundo os ensaios de Wiktor et al. [24], os materiais de construção à base de cimento são, geralmente, superfícies mais porosas e irregulares, o que constitui uma mais valia para os fungos se fixarem ao substrato através das suas hifas. A existência de adjuvantes orgânicos que servem de alimento para os fungos, derivados da poeira ou de material orgânico que se acumula na suas superfícies, torna-os adequados para o crescimento dos mesmos [24-25].

Pode também concluir-se que no caso das paredes de tabique, os esquemas 1 e 9 foram, nas condições específicas deste ensaio, os menos eficazes na inibição da proliferação de fungos, apresentando valores de UFC consideravelmente superior aos dos restantes esquemas (Figuras 5 e 6). Estes dois esquemas foram os únicos onde também se detetaram visualmente fungos (Figuras 9 e 10). Os esquemas 1 e 9 eram constituídos por um primário à base de resinas acrílicas e um acabamento formulado com cal apagada, não tendo estas tintas sido utilizadas em mais nenhum esquema.

Tabela 2. Número de UFC versus deteção visual do desenvolvimento fúngico.

Provete	Esquema	Deteção visual do desenvolvimento fúngico (dias)	Nº de UFC
T1	1	61	1606
T2	9	65	2733
G1	17	56	5
	18	63	94
G2	19	49	20
	20	54	282

Dos restantes oito esquemas testados neste tipo de provete, que englobavam tintas de cal, tintas de silicatos e tintas de resinas orgânicas como acrílicas, vinílicas e estireno-acrílicas, são as tintas orgânicas aquelas que garantem maior quantidade de nutrientes nos substratos [8], pelo que constituem uma fonte de nutrientes para os fungos favorecendo o seu crescimento [26]. Por outro lado, são as tintas de cal aquelas que permitem valores de pH superiores a 12 no substrato, fator inibidor do desenvolvimento de fungos [8], apesar da baixa proteção fúngica que as caracteriza (Tabela 1). Ensaio de carbonatação efetuados no final do ensaio permitiram também concluir que a alcalinidade dos elementos não foi alterada devido à ação dos fungos, fenómeno referido por [24]. Pelos aspetos anteriormente apontados, não seria expectável que os esquemas 1 e 9 fossem os menos eficazes para inibir a proliferação da espécie de fungos inoculada. Estes resultados poderão ser explicados pelas condições ambiente muito particulares deste ensaio, nomeadamente, pelo valor da humidade relativa permanentemente muito elevada (90 %).

No caso dos provetes de gesso cartonado observam-se diferentes desempenhos quer entre os dois provetes, quer entre os esquemas de pintura. Relativamente ao comportamento dos provetes, as primeiras manifestações fúngicas visíveis ocorreram no provete de gesso cartonado hidrófugo (G2), embora correspondendo a um número superior de UFC, quando comparado com o esquema correspondente em G1. Entre os esquemas de pintura, os esquemas 17 e 19 (com proteção fúngica baixa) apresentam valores de UFC mais baixas nos dois provetes e tiveram a primeira manifestação visível mais cedo. Este facto pode estar diretamente relacionado com o cartão aplicado na sua superfície, que confere um acabamento liso, mas constituindo para os fungos uma fonte rica em nutrientes. Para além dos provetes estarem sujeitos a uma temperatura e humidade relativa constante, no caso de G2, este tem um tratamento aplicado que lhe confere resistência à humidade, repelindo-a para a superfície do provete. Este facto, em determinadas circunstâncias, pode favorecer o desenvolvimento e proliferação dos fungos neste substrato, visto contribuir para aumentar o teor de humidade na superfície, condição essencial para o desenvolvimento dos microrganismos. Menetrez et al. [27] e Vacher et al. [28] já haviam apontado algumas limitações destes tratamentos em termos de eficácia.

Os resultados deste trabalho são concordantes com os obtidos por Viitanen et al. [29], que concluíram que os materiais de construção formulados a partir de material orgânico (como a madeira e o papel) são mais sensíveis ao desenvolvimento de fungos quanto maior o teor de humidade, o que vai de encontro às necessidades nutritivas dos mesmos.

No que diz respeito à eficácia dos esquemas de pintura utilizados, verifica-se que, no final do ensaio, quer os resultados das contagens das UFC (Figura 7), quer a observação visual (Figura 12) e a quantificação do número

de “pixéis negros” (Figuras 13 e 14) mostram claramente que o pior cenário ocorre para os esquemas de pintura com baixa proteção fúngica (17 e 19). No que diz respeito ao desempenho das duas placas de gesso (normal e hidrófuga), quando os esquemas de pintura com baixa proteção fúngica são aplicados, a observação visual e a contagem de “pixéis negros” não permitem evidenciar grandes diferenças entre os dois tipos de placas. No entanto, para os esquemas de pintura com alta proteção fúngica, o desempenho das duas placas de gesso é diferente, uma vez que a placa hidrófuga apresenta maior percentagem de “pixéis negros”, o que está de acordo com os resultados obtidos na contagem de UFC.

Globalmente, os resultados sugerem que a deteção visual das manifestações fúngicas requer mais UFC nos provetes de tabique do que nos de gesso cartonado e, dentro destes, o gesso cartonado normal é o que requer menos UFC.

Conclusões

Neste trabalho foi avaliado o desempenho de diferentes sistemas de pintura em termos de resistência ao desenvolvimento de fungos. O trabalho experimental incluiu provetes de tabique e de gesso cartonado. A partir dos resultados obtidos foi possível retirar as seguintes conclusões:

- o gesso cartonado revelou ser um substrato mais bioreceptivo ao desenvolvimento de fungos, quando comparado com as paredes de tabique;
- a rugosidade dos substratos condicionou a identificação visual dos fungos, visto que nas superfícies das paredes de tabique a quantidade mínima de fungos necessária para a sua identificação visual foi significativamente mais elevada;
- entre as placas de gesso cartonado, o gesso cartonado hidrófugo mostrou-se mais propício ao crescimento de fungos nas suas superfícies;
- a tinta à base de cal (esquemas 1 e 9) foi a que apresentou um desempenho menos satisfatório na inibição dos fungos, uma vez que foi o único sistema de pintura com colónias visualmente detetáveis nos provetes de tabique. Estes resultados poderão ser explicados pelas condições específicas em que decorreu o ensaio, nomeadamente, pelo valor da humidade relativa muito elevado;
- as zonas selecionadas para as colheitas podem ter condicionado os resultados, uma vez que a inspeção visual mostrou que o maior crescimento ocorreu nas extremidades dos elementos, provavelmente devido à menor proteção dessas áreas;
- nas condições em que foi realizado o ensaio, não foi possível concluir sobre a eficácia da utilização de tintas com média e elevada proteção fúngica, quando aplicadas às paredes de tabique.

Com este trabalho pretendeu-se aprofundar o conhecimento numa área muito sensível e que afeta a qualidade de

vida dos utilizadores dos edifícios. No entanto, dada a especificidade das condições em que foi realizado o ensaio, as conclusões obtidas poderão não ser suficientemente abrangentes e generalizáveis. Por isso motivo, no futuro, serão desenvolvidos novos ensaios, com condições distintas e mais aproximadas da realidade dos edifícios.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Robbialac, S.A. o apoio para a realização deste trabalho. Agradecem ainda ao projeto “VISEU PATRIMÓNIO”, lançado pela Câmara Municipal de Viseu, e à VISEU NOVO - SRU - Sociedade de Reabilitação Urbana de Viseu SA. Este trabalho foi financiado por: Unidade de Investigação UID/ECL/04708/2019- CONSTRUCT - Instituto de I&D em Estruturas e Construções - financiada por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC).

REFERÊNCIAS

- Hunter, C.A.; Grant, C.; Flannigan, B.; Bravery, A.F., ‘Mould in buildings: the air spora of domestic dwellings’, *International Biodeterioration* **24** (2) (1988) 81-101, [https://doi.org/10.1016/0265-3036\(88\)90052-8](https://doi.org/10.1016/0265-3036(88)90052-8).
- Platt, S.D.; Martin, C.J.; Hunt, S.M.; Lewis, C.W., ‘Damp housing, mould growth and symptomatic health state’, *British Medical Journal* **298** (1989) 1673-1678, <https://doi.org/10.1136/bmj.298.6689.1673>.
- Clarke, J.A.; Johnstone, C.M.; Kelly, N.J.; McLean, R.C.; Anderson, J.A.; Rowan, N.J.; Smith, J.E., ‘A technique for the prediction of the conditions leading to mould growth in buildings’, *Building and Environment* **34** (1999) 515-521, [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(98\)00023-7](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(98)00023-7).
- Moon, H.J., ‘Assessing Mold Risks in Buildings under Uncertainty’, PhD Thesis, Georgia Institute of Technology, USA (2005).
- Almeida, R.M.S.F.; Barreira, E., ‘Monte Carlo Simulation to Evaluate Mould Growth in Walls: The Effect of Insulation, Orientation, and Finishing Coating’, *Advances in Civil Engineering* **2018** (2018) 1-12, <https://doi.org/10.1155/2018/8532167>.
- Robbins, C.A.; Swenson, L.J.; Nealley, M.L.; Kelman, B.J.; Gots, R.E., ‘Health effects of mycotoxins in indoor air: a critical review’, *Applied Occupational and Environmental Hygiene* **15** (2000) 773-784, <https://doi.org/10.1080/10473220050129419>.
- Hardin, B.D.; Kelman, B.J.; Saxon, A., ‘Adverse human health effects associated with molds in the indoor environment’, *Journal of Occupational and Environmental Medicine* **45**(5) (2003) 470-478, <https://doi.org/10.1097/00043764-200305000-00006>.
- Adan, O., ‘On the fungal defacement of interior finishes’, PhD Thesis, Technische Universiteit Eindhoven (1994).
- Barreira, E.; Freitas, V.P., ‘The effect of nearby obstacles in surface condensations on external thermal insulation composite systems: Experimental and numerical study’, *Journal of Building Physics* **37**(3) (2014) 269-295, <https://doi.org/10.1177/1744259113480132>.
- APA, (Agência Portuguesa do Ambiente), Qualidade do ar em espaços interiores: um guia técnico (2009), https://www.apambiente.pt/_zdata/Divulgacao/Publicacoes/Guias%20e%20Manuais/manual%20QArInt_standard.pdf.
- Portaria n.º353-A/2013 de 4 de dezembro. Diário da República n.º235-1ª Série. Ministérios do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, da Saúde e da Solidariedade, Emprego e Segurança Social.
- Rao, C.Y.; Burge, H.A.; Chang, J.C.S., ‘Review of quantitative standards and guidelines for fungi in indoor air’, *Journal of the Air and Waste Management Association* **46** (1996) 899-908, <https://doi.org/10.1080/10473289.1996.10467526>.
- Polizzi, V.; Adams, A.; De Saeger, S.; Van Peteghem, C.; Moretti, A.; De Kimpe, N., ‘Influence of various growth parameters on fungal growth and volatile metabolite production by indoor molds’, *The Science of the Total Environment* **414** (2012) 277-286, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.10.035>.
- Ayerst, G., ‘The effects of moisture and temperature on growth and spore germination in some fungi’, *Journal of Stored Products Research* **5** (1969) 127-141, [https://doi.org/10.1016/0022-474X\(69\)90055-1](https://doi.org/10.1016/0022-474X(69)90055-1).
- Krus, M.; Sedlbauer, K.; Zillig, W.; Künzel, H.M., ‘A New Model for Mould Prediction and its Application on a Test Roof’, Fraunhofer Institute for Building Physics (2001).
- Cataldo, R.; De Donno, A.; De Nunzio, G.; Leucci, G.; Nuzzo, L.; Siviero, S., ‘Integrated methods for analysis of deterioration of cultural heritage: The Crypt of “Cattedrale di Otranto”’, *Journal of Cultural Heritage* **6**(1) (2005) 29-38, <https://doi.org/10.1016/j.culher.2004.05.004>.
- Krus, M.; Kilian, R.; Sedlbauer, K., ‘Mould growth prediction by computational simulation on historic buildings’, in *Museum Microclimates*, eds. T. Padfield & K. Borchersen, National Museum of Denmark, Denmark (2007).
- Mesquita, N.; Portugal, A.; Videira, S.; Rodríguez-Echeverría, S.; Bandeira, A.M.L.; Santos, M.J.A.; Freitas, H., ‘Fungal diversity in ancient documents. A case study on the Archive of the University of Coimbra’, *International Biodeterioration and Biodegradation* **63**(5) (2009) 626-629, <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2009.03.010>.
- Sterflinger, K., ‘Fungi: Their role in deterioration of cultural heritage’, *Fungal Biology Reviews* **24** (2010) 47-55, <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2010.03.003>.
- Almeida, R.M.S.F.; Barreira, E., ‘Condensation and mold risk evaluation in a gymnasium: in situ measurements and numerical simulation’, *Journal of Performance of Constructed Facilities* **31**(5) (2017) 1-8, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0001047](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001047).
- Guillitte, O., ‘Bioreceptivity: a new concept for building ecology studies’, *Science of The Total Environment* **167** (1-3) (1995) 215-220, [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(95\)04582-L](https://doi.org/10.1016/0048-9697(95)04582-L).
- Guillitte, O.; Dreesen, R., ‘Laboratory chamber studies and petrographical analysis as bioreceptivity assessment tools of building materials’, *Science of The Total Environment* **167** (1-3) (1995) 365-374, [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(95\)04596-S](https://doi.org/10.1016/0048-9697(95)04596-S).
- MIL-STD-810G. ‘Test Method Standard for Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests’, United States Department of Defense (2008).
- Wiktór, V.; De Leo, F.; Urzi, C.; Guyonnet, R.; Grosseau, P.; Garcia-Diaz, E., ‘Accelerated laboratory test to study fungal biodeterioration of cementitious matrix’, *International Biodeterioration & Biodegradation* **63**(8) (2009) 1061-1065, <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2009.09.004>.

25. Arumala, J., 'Mold and the Construction Industry', *International Journal of Construction Education and Research* **2**(2) (2006) 75-89, <https://doi.org/10.1080/15578770600775868>.
26. Guerra, F.; Da Cunha, E.; Da Silva, A.; Knop, S., 'Análise das condições favoráveis à formação de bolor em edificação histórica de Pelotas', RS, Brasil, *Ambiente Construído* **12**(4) (2012) 7-23, <https://doi.org/10.1590/S1678-86212012000400002>.
27. Menetrez, M.Y.; Foarde, K.K.; Webber, T.D.; Dean T.R.; Betancourt D.A., 'Testing antimicrobial paint efficacy on gypsum wallboard contaminated with *Stachybotrys chartarum*', *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* **5**(2) (2008) 63-66, <https://doi.org/10.1080/15459620701778762>.
28. Vacher, S.; Hernandez, C.; Bärtschi, C.; Poussereau, N., 'Impact of paint and wall-paper on mould growth on plasterboards and aluminum', *Building and Environment* **45**(4) (2010) 916-921, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.09.011>.
29. Viitanen, Hannu; Vinha, J.; Salminen, K.; Ojanen, T.; Peuhkuri, R.; Paajanen, L.; Lähdesmäki, K., 'Moisture and Bio-deterioration Risk of Building Materials and Structures', *Journal of Building Physics* **33**(3) (2010) 201-224, <https://doi.org/10.1177/1744259109343511>.

RECEBIDO: 2019.2.13

REVISTO: 2019.12.6

ACEITE: 2020.1.24

ONLINE: 2020.5.28



Licenciado sob uma Licença Creative Commons

Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 Internacional.

Para ver uma cópia desta licença, visite

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.pt>.