ANÁLISE DA OCORRÊNCIA DE BOLORES EM EDIFICAÇÕES COM PAREDES DE CONCRETO[1]

AFONSO, T., Instituto de Pesquisas Tecnológicas-SP, email: eng.thiagoafonso@gmail.com; BRITO, A., Instituto de Pesquisas Tecnológicas-SP, email: adrianab@ipt.br; AKUTSU, M., Instituto de Pesquisas Tecnológicas-SP, email: akutsuma@ipt.br;

ABSTRACT

In the recent Brazilian construction scenario, the use of a construction system with solid concrete walls has been growing, especially in social housing programs. But some problems have been detected in this kind of buildings, particularly the mould fungus formation on the interior surface of the envelope walls. This paper purpose is to analyze this problem, studying a real housing development with mould problems, under the light of a proposed model in the literature, for prediction of mould growth in interior surfaces. Secondarily, this paper aims to determine possible parameters that determine the occurrence of the mould in the studied dwellings.

Keywords*: Mould. Fungus. Formation. Concrete walls.*

1 INTRODUÇÃO

Atualmente no Brasil, vem se destacando o uso de paredes de concreto, especialmente em empreendimentos habitacionais de interesse social. O crescente uso evidenciou a presença de patologias possivelmente associadas a este sistema, dentre elas, a ocorrência de bolores no interior das habitações.

Além dos prejuízos estéticos, a ocorrência de bolores pode ocasionar danos à saúde dos habitantes, como: asma, infecções respiratórias, rinites alérgicas, tosse, sibilância e dispneia (SEDLBAUER, 2001;WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2009).

O objetivo deste trabalho é identificar em quais condições os bolores se proliferam, para auxiliar usuários e construtores a evitá-los.

2 BOLORES EM EDIFICAÇÕES

Existem quatro principais fatores para o desenvolvimento dos bolores (SEDLBAUER, 2001), relacionados: à umidade, à temperatura, ao substrato e ao tempo em que todas as condições favoráveis ocorrem simultaneamente (Quadro 1). Observa-se que não é mandatória a ocorrência de condensação superficial para o desenvolvimento dos bolores.

[1] AFONSO, T., BRITO, A. C., AKUTSU, M., Análise da ocorrência de bolores em edificações com paredes de concreto. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2018.

Quadro 1 - Resumo das condições para desenvolvimento dos bolores

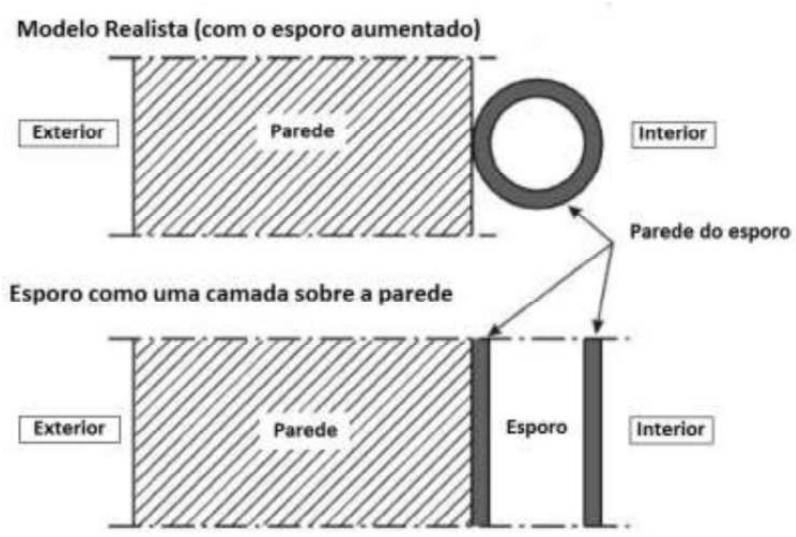
Fator	Parâmetro	Unidade	Mínimo	Máximo	Observações
Temperatura	Temperatura superficial do componente	°C	-8	60	Depende da espécie e do estágio de vida do fungo
Umidade	Umidade relativa na superfície do componente	%	70[1]	100	
Substrato	Nutrientes e sais	-	-	-	Nutrientes também podem provir de sujeiras e contaminação
Tempo	horas por dia	h/d	1	-	Dependendo da temperatura e umidade
Ambiente	Valor de pH da superfície	-	2	11	Pode ser influenciado pelo fungo
Atmosfera	Taxa de oxigênio	%	0,25		Sempre ocorre

Fonte: Sedlbauer (2001)

2.1 Modelos de previsão

Existem diversos modelos propostos para prever a ocorrência de bolores em edificações (VEREECKEN, 2012). Neste trabalho foi utilizado o modelo "Biohigrotérmico", proposto por Sedlbauer (2001), que quantifica a umidade necessária no interior dos esporos para que a germinação ocorra. Para calcular o balanço de umidade no interior dos esporos, o autor assumiu que estes ficam distribuídos sobre as paredes, formando uma "camada biológica", conforme figura 1.

Figura 1 - Representação esquemática do esporo considerado pelo modelo



Fonte: Sedlbauer (2001)

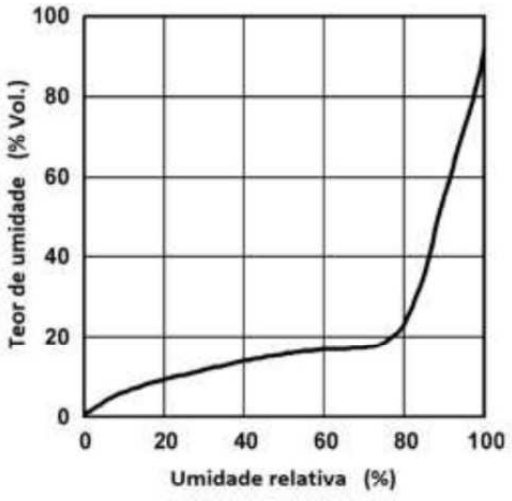
Sedlbauer (2001) considerou que os esporos dos fungos absorvem umidade do ambiente através de difusão, em razão das condições do microclima

sobre a superfície das paredes, ou seja, da temperatura superficial e da umidade relativa superficial.

A temperatura superficial da parede dependerá, principalmente, das condições climáticas locais e das propriedades térmicas das paredes, além de fatores como: ventilação dos ambientes, incidência solar e cores da fachada. A umidade relativa superficial é a umidade relativa do ar no interior dos poros do material, em posição adjacente à superfície da parede. É obtida por meio do teor de umidade do material (em posição superficial) e de sua função de armazenamento de umidade.

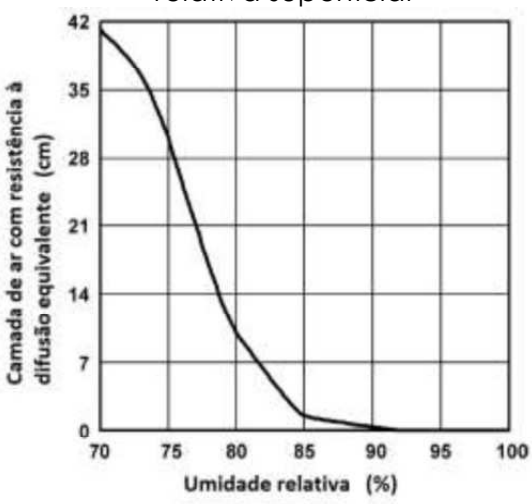
Baseado nestas condições superficiais, o teor de umidade no interior do esporo dos fungos é calculado através de duas propriedades: a função de armazenamento de umidade do esporo e a resistência à difusão do septo do esporo (Figuras 2 e 3).

Figura 2 - Função de armazenamento de umidade do esporo, em função da umidade relativa superficial



Fonte: Sedlbauer (2001)

Figura 3 - Resistência à difusão do septo do esporo ($\mathbf{S_d}$), em função da umidade relativa superficial



Fonte: Sedlbauer (2001)

A aplicação do modelo é efetuada comparando-se o teor de umidade calculado no interior do esporo ao teor de umidade crítico. Sempre que o teor de umidade no interior do esporo, em determinado intervalo, for superior ao teor de umidade crítico, considera-se que os fungos estão se desenvolvendo.

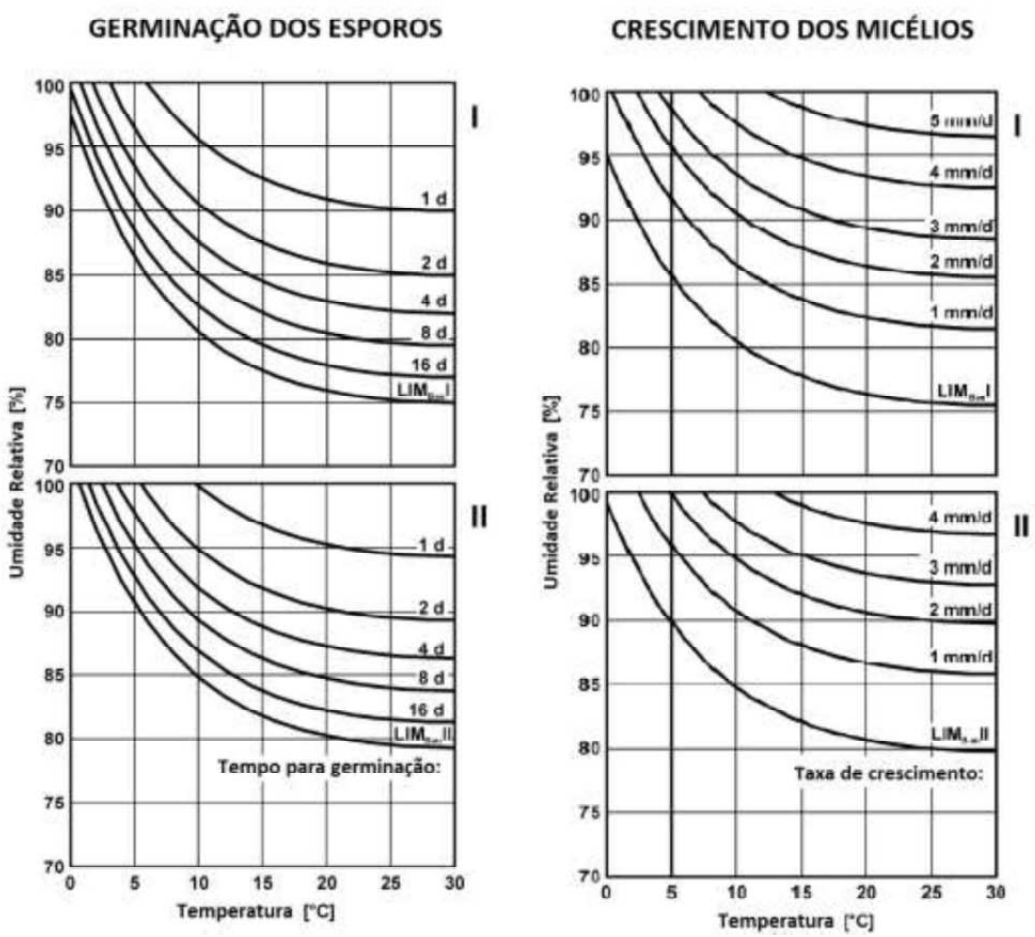
O teor de umidade crítico corresponde ao teor de umidade de um esporo, quando ocorre sua germinação. É obtido através de Isopletas para a germinação dos esporos da seguinte maneira: de acordo com a temperatura, a umidade relativa mínima para a germinação é lida na curva "LIM"; com este valor, e utilizando a função de armazenamento de umidade do esporo (Figura 2), o teor de umidade crítico é obtido. As isopletas são

divididas de acordo com o substrato (Figura 4), entre:

- CLASSE I – Substratos bioutilizáveis que possuem boa quantidade de matéria orgânica.

- CLASSE II – Substratos com estrutura porosa, porém com menor quantidade de componentes orgânicos.

Figura 4 - Isopletas: à esquerda, tempo necessário (em dias) para a germinação dos esporos; à direita, taxa de crescimento dos micélios (em mm/dia). Ambas sobre substrato classe I (acima) e classe II (abaixo).



Fonte: Sedlbauer (2001)

3 MÉTODO

Foi visitado um empreendimento construído com paredes de concreto, localizado em cidade próxima a Campinas – SP, no qual se notou a presença de bolor em paredes de algumas unidades. Buscou-se identificar parâmetros que possam causar tal situação, como a orientação da fachada, a taxa de ventilação do recinto e a taxa de ocupação da unidade.

Figura 5 - Fotos de unidades visitadas

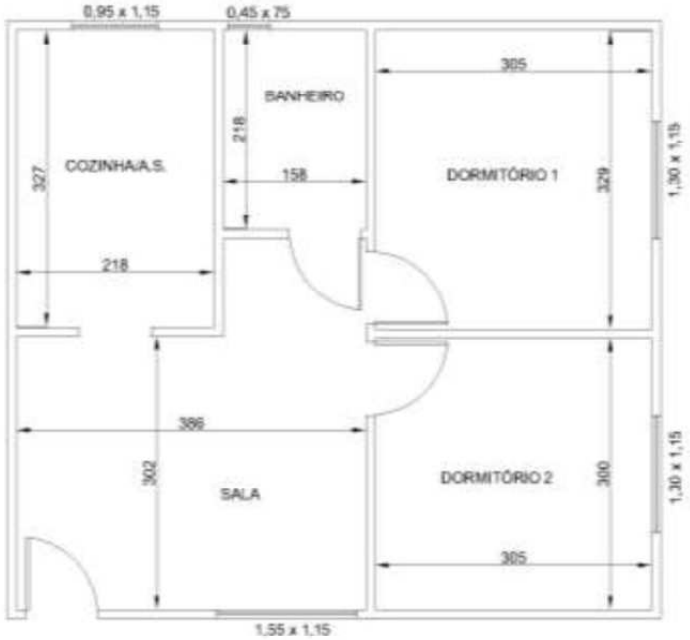


Fonte: Autores

Foram realizadas simulações computacionais de um apartamento visitado (Figura 6), para obtenção das condições higrotérmicas sobre as superfícies das paredes (temperatura e umidade relativa superficiais). Foi utilizado o software WUFI-Plus®, desenvolvido pelo *Fraunhofer Institute for Building Physics,* que se baseia no modelo matemático de trocas de calor e transporte de umidade proposto por Künzel (1995), sendo capaz de indicar tanto o comportamento higrotérmico de componentes construtivos, quanto o de ambientes. Ressalta-se que esse software foi validado de acordo com a norma ASHRAE Standard 140 (2007) (ANTRETTER et al, 2011), conforme também preconiza a NBR 15.575 (ABNT, 2013), referente a simulações de desempenho térmico de habitações.

Para prever a ocorrência de bolores nas edificações foi utilizado o software WUFI-BIO®, baseado no modelo Biohigrotérmico desenvolvido por Sedlbauer (2001), descrito no item 2.1. Os resultados são apresentados em um "Índice de crescimento dos micélios", acumulado ao longo de um ano (Quadro 2). Os resultados apresentados neste trabalho referem-se à parede externa do dormitório 2.

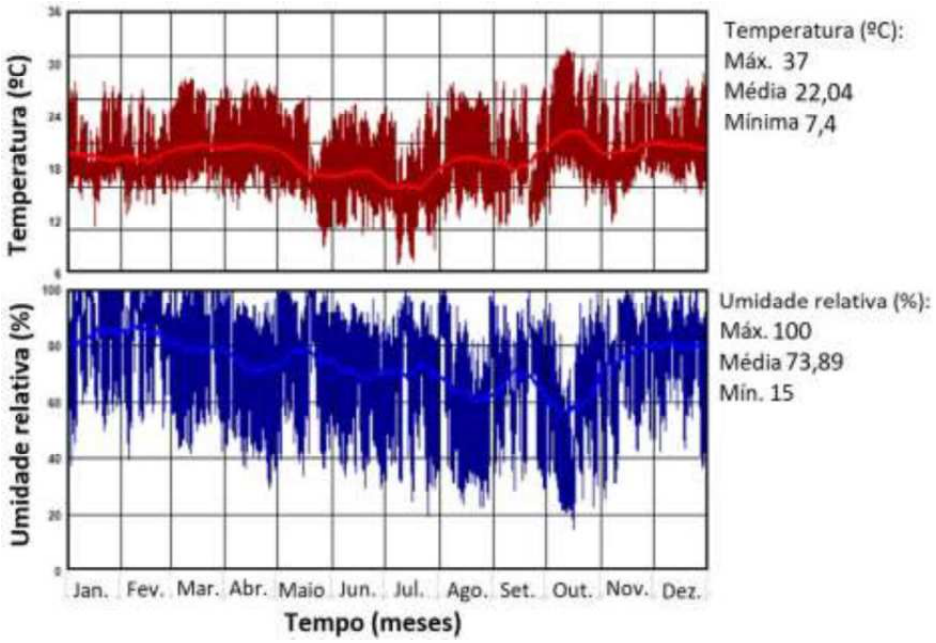
Figura 6 - Planta das unidades analisadas (sem escala)



Fonte: Projeto de autor desconhecido, desenho efetuado pelos autores

Foram considerados os dados climáticos da cidade de Campinas/SP[2], criados a partir de relatórios do INMET e atualizados em 2016. A figura 7 apresenta os perfis de umidade relativa e temperatura do ar para a cidade considerada (Campinas/SP).

Figura 7 - Perfil de temperatura e umidade relativa do ar, ao longo do ano, para a cidade de Campinas/SP.



Fonte: USDOE (2017)

[2] Obtidos no acervo do Software EnergyPlus- https://energyplus.net/weather (acessado em 29/01/2018)

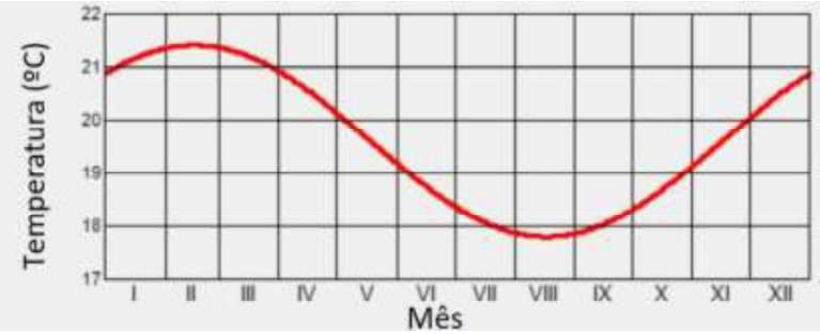
Foram analisadas as seguintes situações:

- Orientação: 4 orientações geográficas da fachada (norte, sul, leste e oeste), com 3 ocupantes e 3 renovações do volume de ar do ambiente por hora (Ren/h), paredes de concreto;
- Ventilação: fachada voltada para a direção sul (com potencial de ter condições mais propensas ao crescimento de bolor), com 3 ocupantes, variando a taxa de ventilação de 0,5 Ren/h a 5 Ren/h; e "ventilação sazonal" com taxa de ventilação de 0,5 Ren/h durante os meses de inverno e 3 Ren/h no restante do ano, paredes de concreto;
- Ocupação: fachada voltada para a direção sul, variando de 2 a 4 ocupantes, e taxas de ventilação de 1 Ren/h e 5 Ren/h, paredes de concreto;
- Sistema construtivo: fachada voltada para a direção sul, 4 ocupantes, taxa de ventilação de 3 Ren/h, parede de concreto e parede com tijolos cerâmicos maciços.

A liberação de umidade considerada no dormitório foi de 45g/h/ocupante das 22h às 8h. Foram simulados apartamentos térreos, em contato com o solo, com temperaturas indicadas na Figura 8.

As paredes de concreto têm 10 cm de concreto comum, seção maciça, revestidas com textura acrílica em ambas as faces, com espessura de 2,5 mm, com coeficiente global de transmissão térmica U = 4,0 W/m².K e capacidade térmica 203 kJ/m².K. As paredes de tijolos cerâmicos maciços têm 23 cm, sendo 19cm do tijolo (assentado na maior dimensão), revestidas em ambas as faces por 2 cm de argamassa, com coeficiente global de transmissão térmica U = 2,5 W/m².K e capacidade térmica 384 kJ/m².K.

Figura 8 - Curva da temperatura do solo ao longo do ano.



Fonte: USDOE (2017)

Quadro 2 - Escala do Índice de crescimento dos micélios

Índice	Descrição
0	Sem crescimento
1	Algum crescimento visível sob microscópio
2	Crescimento moderado visível sob microscópio, cobertura superior a 10%
3	Algum crescimento visível a olho nu
4	Cobertura visível acima de 10%
5	Cobertura maior que 50% visível
6	Cobertura 100% visível

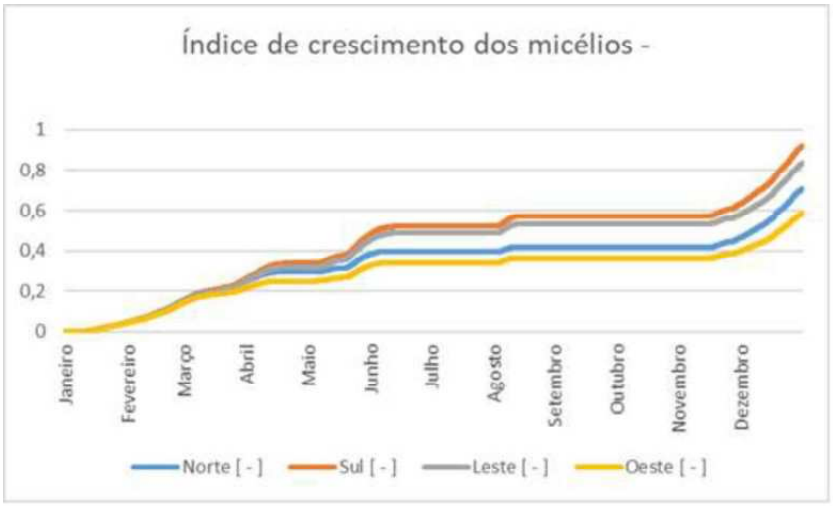
Fonte: SEDLBAUER, KRUS, SEIDLER (2010)

5 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

São apresentados a seguir os resultados para cada situação analisada, acompanhados da respectiva análise.

5.1 Orientação

Figura 9 - Índice de crescimento dos micélios de acordo com a orientação

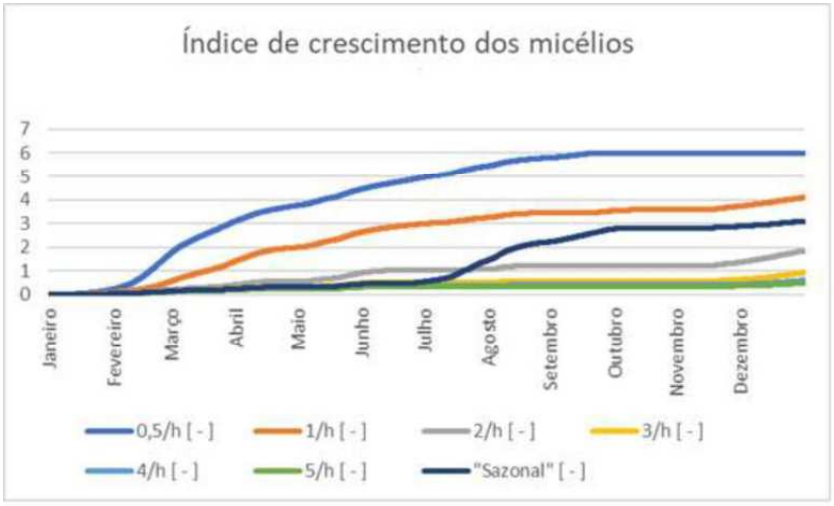


Fonte: Autores

Conforme Figura 9, a orientação sul mostrou-se com maior potencial para a proliferação dos bolores, seguida pela orientação leste. Isto é esperado, pois estas orientações proporcionam menor incidência de radiação solar sobre as paredes, o que resulta em temperaturas superficiais menores e consequente umidade relativa superficial mais alta.

5.2 Ventilação

Figura 10 - Índice de crescimento dos micélios de acordo com a taxa de ventilação



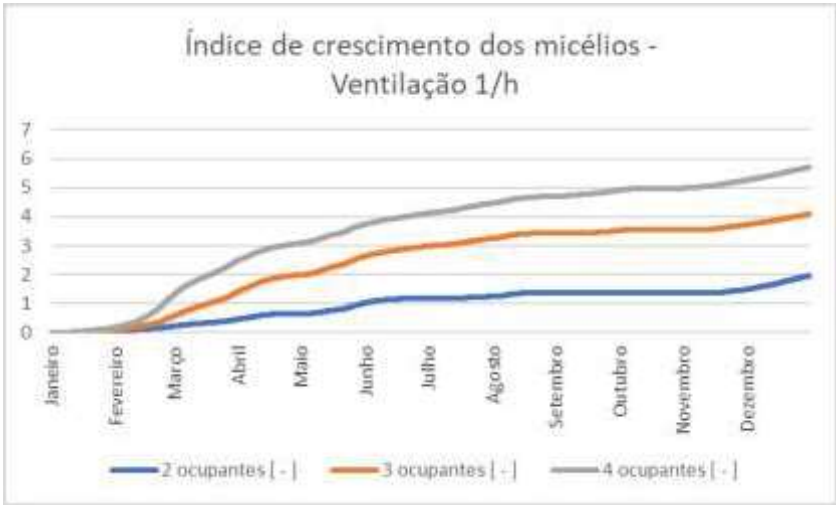
Fonte: Autores

Nota-se, na Figura 10, que a taxa de ventilação pode ser determinante para a ocorrência dos bolores. Por exemplo, para taxas de 0,5 Ren/h e 1 Ren/h, resulta-se um alto índice de crescimento dos micélios: 6 e 4, respectivamente. Já para 5 Ren/hora o índice esperado é inferior a 0,5. Isso ocorre devido à ventilação ser responsável pela renovação do ar interno, retirando o excesso de umidade liberada no interior da edificação.

5.3 Ocupação

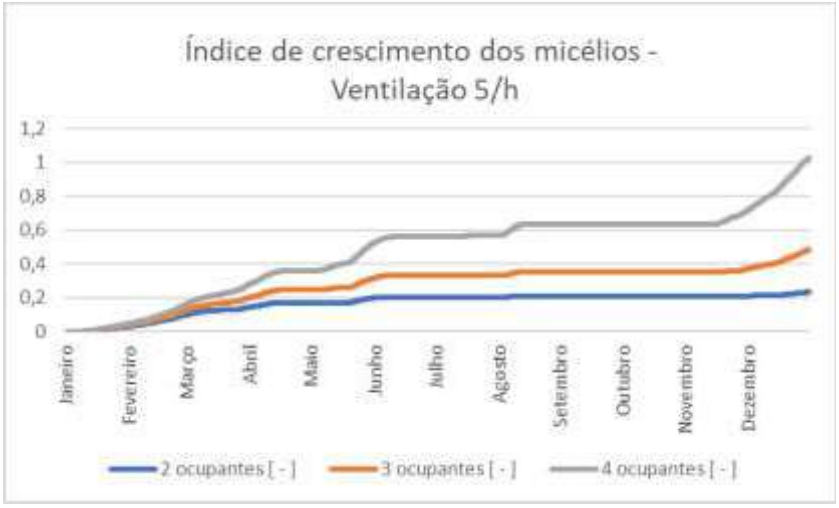
Foram simuladas situações com taxas de ventilação de 1 Ren/h (Figura 11) e 5 Ren/h (Figura 12), alterando-se a quantidade de ocupantes.

Figura 11 - Índice de crescimento dos micélios de acordo com a ocupação, para ventilação 1 Ren/h



Fonte: Autores

Figura 12 - Índice de crescimento dos micélios de acordo com a ocupação, para ventilação 5 Ren/h



Fonte: Autores

Nota-se que a taxa de ocupação dos ambientes repercute em diferenças significativas nos resultados. Por exemplo, para a taxa de ventilação 1 Ren/h, os índices resultantes variam entre 2, 4 e 5,7, respectivamente para 2, 3 e 4 ocupantes. Isto ocorre devido à quantidade de vapor d'água liberada no ambiente estar intimamente relacionada com a quantidade de ocupantes. No caso dos dormitórios isto é agravado, pois há uma longa permanência das pessoas nestes cômodos, especialmente no período noturno, mesmo período em que as temperaturas superficiais das paredes são menores.

5.4 Sistemas

Figura 13 - Comparativo do índice de crescimento dos micélios para os dois sistemas analisados



Fonte: Autores

De acordo com os resultados obtidos (Figura 13), fica evidente que o sistema construtivo com paredes de concreto apresenta maior potencial para a

ocorrência de bolores, sob as condições analisadas. Isso ocorre, pois, as propriedades higrotérmicas das paredes de concreto, como menor capacidade térmica, maior transmitância térmica (resultando em menores temperaturas superficiais, em dias frios) e maior resistência à difusão do vapor d'água, proporcionam maiores umidades relativas superficiais, favorecendo a ocorrência de bolores.

6 CONCLUSÕES

A ocorrência de bolores em edificações se dá através de uma causalidade complexa, influenciada por diversos fatores, havendo dificuldades em se apontar uma única causa para a proliferação de bolores nas edificações.

Os resultados obtidos nas simulações foram condizentes com as situações reais, encontradas no empreendimento estudado. Durante as visitas foram observadas unidades sem nenhum problema de desenvolvimento de bolores, assim como, unidades em situação crítica, com paredes totalmente cobertas pelos fungos.

As paredes com orientação Sul apresentaram maior potencial de ocorrência de bolores, porém os problemas não se limitam a estas. A taxa de ocupação dos ambientes é determinante pois reflete diretamente na quantidade de vapor d'água liberado nos espaços internos. Já a taxa de ventilação é decisiva pois ela é responsável pela renovação do ar interior, retirando seu excesso de umidade.

Por fim, para as condições analisadas, o sistema construtivo com paredes de concreto apresentou maior potencial para desenvolvimento de bolores, em comparação às paredes de tijolos cerâmicos maciços.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575:** Edificações habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

ANTRETTER, Florian et al. **Validation Of A Hygrothermal Whole Building Simulation Software.** In: 12th Conference Of International Building Performance Simulation Association, Sydney. Proceedings of Building Simulation, 2011. p. 1694 - 1701.

KüNZEL,H. M. **Simultaneous heat and moisture transport in building components:** one- and two-dimensional calculation using simple parameters. Suttgard: Frauhofer Institute of Building Physics, 1995, 64p.

SANTOS, Altair. **Paredes de concreto já dominam Minha Casa Minha Vida.** 2016. Disponível em: <http://www.cimentoitambe.com.br/paredes-de-concreto-minha-casa-minha-vida/>. Acesso em: 20 dez. 2017.

SEDLBAUER, K**. Prediction of Mould Fungus Formation on the Surface of and Inside Building Components.** Holzkirchen: Fraunhofer Institute for Building Physics, 2001.

SEDLBAUER, Klaus; KRUS, Martin; SEIDLER, Michael. **Comparative Evaluation of the Predictions of Two Established Mold Growth Models**. Ashrae Transactions, v. 116, part. 2, 2010.

UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY - USDOE. **Energy Plus Simulation Software**, 2017.

VEREECKEN, Evy; ROELS, Staf. **Review of mould prediction models and their influence on mould risk evaluation.** Elsevier**.** Leuven, p. 296-310. maio 2012. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132311003830?via=ihub>. Acesso em: 15 jul. 2017.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **WHO guidelines for indoor air quality : dampness and mould.** Copenhagen: Who Regional Office For Europe, 2009. 228 p. Disponível em: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0017/43325/E92645.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2017.