SBQP 2023
SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Sustentabilidade e Responsabilidade Social no Projeto. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PROGRAU) da Universidade Federal de Pelotas (UFPel). De 16 a 18 de Novembro, Pelotas, RS, Brasil.

ANÁLISE DE 12 HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL QUANTO A FORMAÇÃO DE FUNGOS FILAMENTOSO[1]

MACARTHY, Maritza da Rocha (1); DUARTE, Carolina de Mesquita (2); ROSA, Marcelo Epiphanio (3); BRANDELLI, Talita Marini (4); RODRIGUES, Thaisa Carvalho (5); LOPES, Júlia da Cruz (6); PARRA, Gabriela Wrege (7);

(1) Universidade Federal de Pelotas, maritzadarochamacarthy@gmail.com

(2) Universidade Federal de Pelotas, carolinademesquitaduarte@hotmail.com

(3) Universidade Federal de Pelotas, marceloerosa20@gmail.com

(4) Universidade Federal de Pelotas, talitabrandelli@hotmail.com

(5) Universidade Federal de Pelotas, thaisacarv23@gmail.com

(6) Universidade Federal de Pelotas, liajupes@gmail.com

(7) Universidade Federal de Pelotas, gabiwre@gmail.com

(

RESUMO

O crescimento de fungos filamentosos é altamente prejudicial à qualidade do ar interior, à saúde e ao conforto dos ocupantes da edificação. Percebe-se, assim, a importância de simular o desempenho da envoltória das edificações, considerando a presença de umidade como uma alternativa para suprir a lacuna da falta de normatização técnica no Brasil. Este estudo tem o objetivo de analisar o comprometimento da qualidade do ar interior, especificamente em habitações de interesse social (HIS), devido à formação de fungos filamentosos. O método divide-se em cinco etapas principais, como a definição do objeto de estudo, simulação no EnergyPlus, simulação no WUFI PRO, critérios de avaliação e a análise dos resultados obtidos, para paredes de tijolos cerâmicos e paredes de concreto moldadas in loco. Durante a simulação, observou-se que os sistemas com tijolo cerâmico apresentaram alta umidade relativa, próxima a 100%, com concentração de pontos escuros indicando grande probabilidade de formação de fungos filamentosos. Por outro lado, os sistemas construtivos de concreto demonstraram redução na umidade relativa, entre 70% e 80%, indicando baixo risco de crescimento de fungos filamentosos. Dessa forma, observa-se que a HIS com tijolo cerâmico apresenta maior comprometimento da qualidade do ar, comparada à HIS com paredes de concreto.

Palavras-chave: Umidade. Fungos filamentosos. Qualidade do ar. HIS.

---

[1] MACARTHY, M.R.; DUARTE, C.M.; ROSA, M.E.; BRANDELLI, T.M.; RODRIGUES, T.C.; LOPES, J.C.; PARRA, G.W. Análise de 12 habitações de interesse social quanto a formação de fungos filamentoso. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 2023, Pelotas. **Anais**... Pelotas: PROGRAU/UFPEL, 2023. p. 01-10. DOI https: //doi.org./ 10.46421/sbqp.v3i.4625

ABSTRACT

The growth of filamentous fungi is highly detrimental to indoor air quality and the health and comfort of building occupants. Thus, the importance of simulating the envelope of buildings is perceived, considering the presence of humidity, as an alternative to fill the gap of the lack of technical standardization in Brazil. This study aims to analyze the impairment of indoor air quality, specifically in social housing (HIS), due to the formation of filamentous fungi. The method is divided into five main stages, such as defining the object of study, simulation in EnergyPlus, simulation in WUFI PRO, evaluation criteria and analysis of the results obtained, for ceramic brick walls and cast-in-place concrete walls. During the simulation, it was observed that the ceramic brick systems presented high relative humidity, close to 100%, with a concentration of dark spots indicating a high probability of formation of filamentous fungi. On the other hand, concrete building systems showed a reduction in relative humidity, between 70% and 80%, indicating a low risk of growth of filamentous fungi. In this way, it is observed that the HIS with ceramic brick has a greater impairment of air quality, compared to the HIS with concrete walls.

***Keywords**:* Moisture. Filamentous fungi. Air quality. Social housing.

1 INTRODUÇÃO

O transporte de umidade e a capacidade de absorção dos materiais constituintes de um edifício são os responsáveis pelo risco de condensação e pelo crescimento de fungos filamentosos (PIRES, 2020). A umidade presente nos materiais e nos componentes construtivos das edificações, em forma líquida ou de vapor, tem influência no desempenho higrotérmico das construções. A umidade ocasiona a deterioração e o desenvolvendo de patologias nos elementos construtivos, como os fungos filamentosos, os quais desempenham um papel prejudicial na qualidade do ar interior, na saúde e no conforto dos usuários da edificação (MACARTHY, 2022).

A existência de umidade nas faces internas dos componentes da envoltória de um edifício pode resultar na insalubridade do ambiente interno, em danos à saúde do usuário e na redução da durabilidade da edificação e do mobiliário (SANTOS et al., 2018). Patino e Siegel (2018) encontraram evidências que relacionam morar em precárias habitações sociais com a apresentação de efeitos negativos à saúde, mais comumente problemas respiratórios. A boa qualidade do ar em ambientes internos oferece vários benefícios relacionados à saúde dos ocupantes do ambiente, afeta a produtividade nas relações sociais e no conforto ambiental (MISSIA et al., 2016).

Cunha e Fritsch (2009) analisaram paredes com baixa resistência térmica, considerando fontes de umidade no interior da edificação; dessa forma, observaram que as temperaturas internas das superfícies das paredes são muito baixas e a umidade absoluta é alta, decorrendo no aparecimento de mofo e bolor. Zanoni et al. (2020) avaliaram uma edificação construída com paredes de tijolos cerâmicos e constataram que tal sistema permite a transferência do fluxo de umidade para o interior durante todo o dia, fato que esclarece a umidade e o bolor presente na edificação estudada.

É esperado que os materiais constituintes do sistema construtivo de uma parede sejam estanques à água no estado líquido, possuam reduzida permeabilidade e tenham a capacidade de reter baixos teores de umidade, visto que, se o sistema está saturado, o fluxo de umidade para o interior da edificação é inibido. A análise dos mecanismos de transporte de umidade em meios porosos apresenta notável complexidade, uma vez que as transferências de calor e umidade ocorrem de forma

simultânea e correlativa (ZANONI et al., 2020).

Conforme Santos et al. (2018), analisar o comportamento da envoltória de edificações, levando em conta a existência de umidade, a partir de sistemas avançados de modelagem computacional, é uma boa alternativa para o problema da falta de normatização técnica brasileira, a qual não supre a demanda de conhecimento quanto às patologias decorrentes da umidade em diferentes materiais construtivos. Portanto, o presente artigo pretende preencher essa lacuna, analisando dois sistemas construtivos: paredes de tijolos cerâmicos e paredes de concreto moldadas in loco.

2 OBJETIVO

O objetivo deste estudo é analisar o quanto as habitações de interesse social (HIS) têm a qualidade do ar interior comprometida quanto à formação de fungos filamentosos.

3 MÉTODO

O trabalho foi estruturado em cinco etapas principais: a definição do objeto de estudo, a simulação dos modelos no *EnergyPlus*, simulação no *WUFI PRO, os critérios de avaliação* e a análise dos resultados obtidos.

3.1 Definição do objeto de estudo

Este trabalho tem como objeto de estudo as habitações populares unifamiliares situadas em Pelotas, no estado do Rio Grande do Sul. Foram selecionadas 12 habitações representativas de uma parcela do conjunto habitacional disponível na cidade. Essas habitações estão localizadas em Áreas de Especial Interesse Social (AEIS), as quais passaram pelo processo de regularização fundiária conduzido pela Prefeitura Municipal de Pelotas ou estão enquadradas no âmbito do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), que oferece financiamento para habitações em grandes empreendimentos ou de forma individual.

As edificações escolhidas para esta pesquisa estão situadas no centro das quadras, com suas paredes erguidas nas divisas laterais dos terrenos. Essas residências exibem diversas orientações; ademais, são de um único pavimento e contam com entre um, dois, três ou quatro dormitórios, além de um banheiro, sendo a sala e a cozinha integradas. Conforme demonstrado na Tabela 1, as paredes são construídas em alvenaria ou concreto moldado *in loco*, as coberturas são com telhas de fibrocimento ou cerâmica e o piso varia entre cerâmico, laminado, contrapiso puro e vinílico.

Tabela 1 – Principais características das habitações utilizadas no estudo.

Habitação	Cobertura	Parede	Piso	Cor das paredes
HAB001	Fibrocimento	Alvenaria	Cerâmica	Branca / Bege
HAB002	Fibrocimento	Alvenaria	Cerâmica	Cinza escuro
HAB003	Fibrocimento	Alvenaria	Laminado	Azul claro
HAB004	Fibrocimento	Alvenaria	Laminado	Verde / Bege
HAB005	Fibrocimento	Alvenaria	Cerâmica	Cinza
HAB006	Cerâmica	Concreto	Laminado	Branca / Bege
HAB007	Fibrocimento	Alvenaria	Contrapiso	Azul claro
HAB008	Fibrocimento	Alvenaria	Cerâmica	Azul escuro
HAB009	Fibrocimento	Alvenaria	Contrapiso	Amarelo
HAB010	Cerâmica	Alvenaria	Cerâmica	Bege / Palha
HAB011	Cerâmica	Concreto	Laminado	Branca / Bege
HAB012	Cerâmica	Concreto	Vinílico	Coral avermelhada

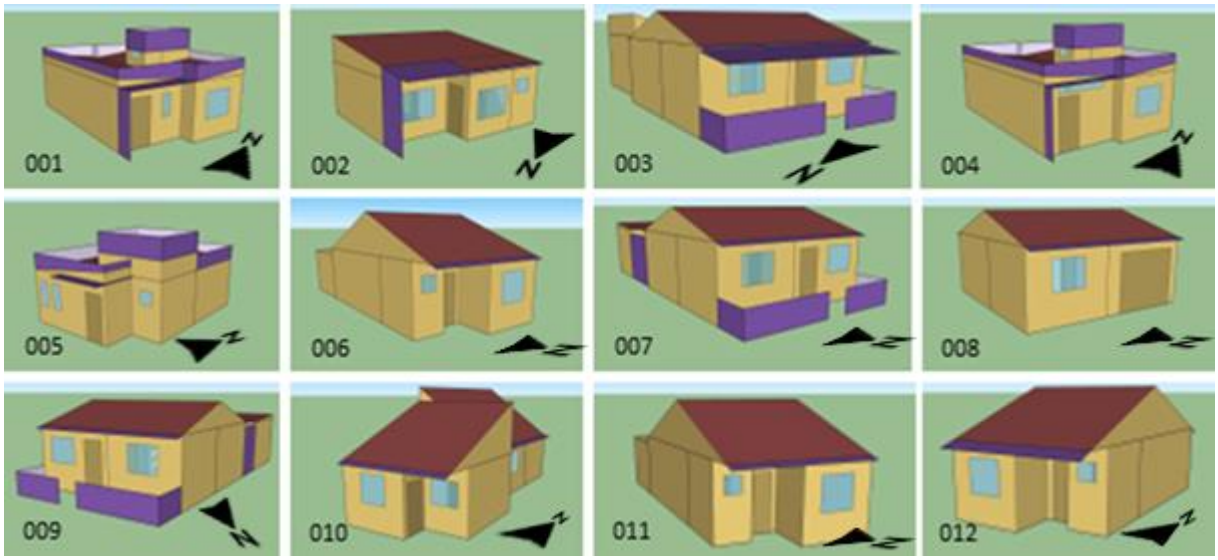
Fonte: os autores

3.2 *Simulação dos modelos no Energy Plus*

Esta etapa foi realizada para servir de base para as simulações higrotérmicas, obtendo, como dados de saída, a temperatura interna do ar e umidade relativa do ar que, posteriormente, foram inseridos no *WUFI PRO* 6.7.

Para a primeira etapa das simulações, realizadas no *software EnergyPlus* 9.0.1, a modelagem das habitações foi realizada no *software SketchUp* 2017, com o auxílio do *plugin Legacy Open Studio* 1.0.14 (conforme mostrado na Figura 1).

Figura 1 – Perspectivas externas dos modelos de simulação das 12 habitações.



Fonte: os autores

O estudo foi realizado para a Zona Bioclimática 2, no ano de 2020, sendo utilizado para as simulações o arquivo climático referente à cidade de Pelotas – RS, desenvolvido por Leitzke *et al*. (2018). Os modelos foram simulados considerando a ventilação natural, com temperatura de *setpoint* de 19°C, baseada na NBR 15575-1 (ABNT, 2020).

3.2.1. Caracterização do modelo computacional

As características térmicas dos 12 diferentes tipos de habitações de interesse social, construídas com tijolos de cerâmicos de 6 furos, 9 furos e 10 furos, em comparação com as de concreto armado moldado in loco, foram avaliadas com base no método descrito na NBR 15220-2 (ABNT, 2005). Para a configuração das absorbâncias das paredes e coberturas dos modelos, foram consideradas as cores reais das habitações, as quais apresentam três configurações diferentes de materiais aplicados às esquadrias, a saber, o alumínio, madeira ou uma combinação de ambos; já os vidros, possuem 3mm de espessura e são temperados.

A configuração das agendas do padrão de uso, ocupação e iluminação foram realizadas de acordo com a NBR 15575-1 (ABNT, 2020), que estima o padrão mínimo de duas pessoas para o dormitório e a sala, sendo a sala utilizada pela soma de todos os usuários dos dormitórios. Nesse sentido, define a mesma agenda para os dias da semana e para os finais de semana, considerando a porcentagem de ocupantes no horário. Ademais, há a taxa metabólica, que considerou os valores recomendados pela NBR 15575-1 (ABNT, 2020), dependendo da atividade desempenhada em cada ambiente.

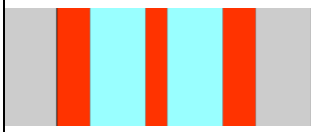
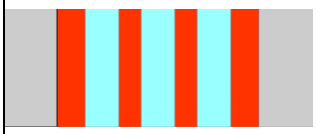
3.3 Simulação higrotérmica no *WUFI PRO 6.7*

O *software WUFI Pro 6.7* (2022) foi desenvolvido pelo Instituto Fraunhofer - Física da Construção (IPB) e é um dos programas comerciais mais utilizados como ferramenta de cálculo computacional unidimensional para análise do comportamento higrotérmico dos componentes da envoltória da edificação. Por meio dessas simulações higrotérmicas, é possível verificar, no sistema construtivo, os fenômenos quanto à transferência e permanência de umidade e riscos de formação mofo para ventilação natural, segundo a norma EN 15026 (2007), para as paredes de tijolo cerâmico e de concreto.

3.3.1 Sistema Construtivo

Para as simulações, foram definidos os elementos construtivos e posições de monitoramento para os seguintes sistemas, de acordo com a tabela 2 abaixo:

Tabela 2 – Sistemas construtivos

Material	Sistema Construtivo	Camadas	Transmitância e Resistência
Tijolo Cerâmico 6 Furos		Reboco + Tijolo cerâmico + Ar + Tijolo cerâmico + Ar + Tijolo cerâmico + Reboco Espessura total do tijolo: 14 cm Espessura do revestimento: 3 cm em cada face	U= 3,927 W/(m²K) R= 0,07(m²K)) /W)
Tijolo Cerâmico 9 Furos		Reboco + Tijolo cerâmico + Ar + Tijolo cerâmico + Ar + Tijolo cerâmico + Ar + Tijolo cerâmico + Reboco Espessura total do tijolo: 19 cm Espessura do revestimento: 2,5 cm em cada face	U= 3,768 W/(m²K) R= 0,08 (m²K)) /W)
Tijolo Cerâmico 10 Furos		Reboco + Tijolo cerâmico + Ar + Tijolo cerâmico + Ar + Tijolo cerâmico + Reboco Espessura total do tijolo: 19 cm Espessura do revestimento: 3,0 cm em cada face	U= 3,927 W/(m²K) R= 0,07(m²K)) /W)
Concreto		Concreto Espessura: 10 cm	U= 1,583 W/(m²K) R= 045 (m²K)) /W)

Fonte: Os autores

O software WUFI PRO 6.7 possui banco de dados de materiais definido pelo usuário com suas propriedades dos materiais, de onde foram extraídas (Tabela 3), e os valores calculados pelo modelo de cálculo da transferência de calor e de umidade, que usa as equações diferenciais de Künzel.

Tabela 3 – Propriedades dos materiais

Propriedades	Densidade aparente [kg/m³]	Porosidade [m³/m³]	Calor específico [J/(kg.K)]	Condutibilidade térmica [W/ (m.K)]	Fator de resistência à difusão de vapor de água
Reboco de argamassa	2000	0,24	1000	1,15	19
Tijolo Cerâmico	705,37	0,6	920	0,9	3,66*
Câmara de ar	1,3	0,9999	1000	0,63	0,23
Concreto	2400	0,6	1000	1,75	15

Fonte: Adaptado do WUFI Pro 6.7 [*Valor definido em pesquisa que está em andamento]

Os seguintes parâmetros foram definidos, como no Quadro 1, a seguir:

Quadro 1 – Parâmetros utilizados

Orientação / Inclinação e Altura	
Orientação	Sul, Norte e Leste
Inclinação	90°
Altura do Edifício	Menor que 10 m
Fator de exposição à chuva	1,0
Fator de deposição da chuva	0,5 parede debaixo do telhado 1 parede sujeita ao escoamento de água
Coeficientes de transferência à superfície	
Valor de sd(m)	0,2 Tinta Látex
Absorção (radiação de onda curta)	0,2 / 0,3 / 0,8 de acordo com as cores
Valor de refletividade do solo (onda curta)	0,2

Fonte: os autores

Baseada na norma ASHRAE 160 (2016), utilizou-se o módulo de chuva incidente padrão do programa, com um período de três anos de análise da simulação; assim, apresenta intervalos de tempo de 1 hora. Para o clima exterior, utilizaram-se os dados do arquivo climático desenvolvido por Leitzke et al. (2018), com a base de dados da EMBRAPA (2021), arquivo no formato TRY.

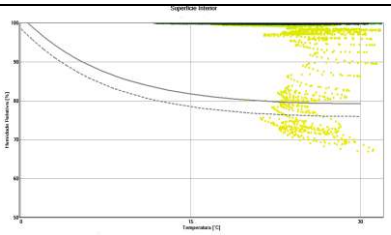
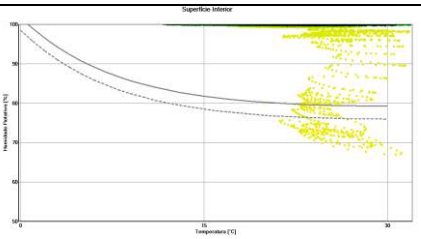
O clima interior para ambientes de sala e dormitório na condição de ventilação natural, de acordo com a EN 15026 (2007), utilizou os arquivos gerados pelo *Climate* do *software* WUFI PRO 6.7. Os resultados foram obtidos para os riscos de formação de fungos filamentosos no sistema construtivo de residências de HIS.

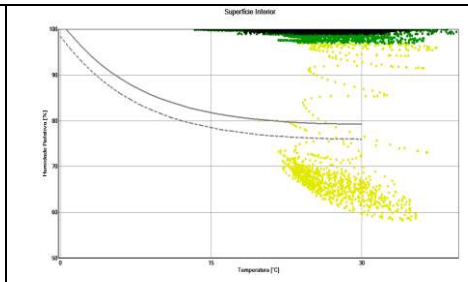
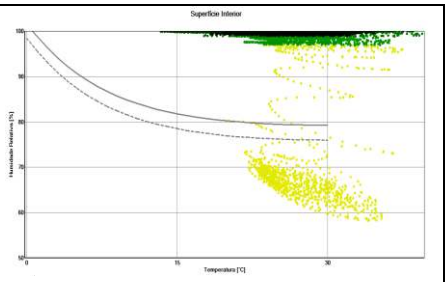
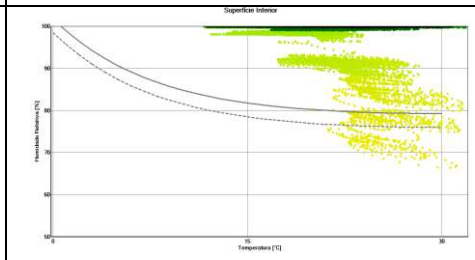
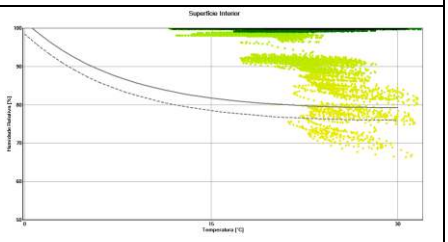
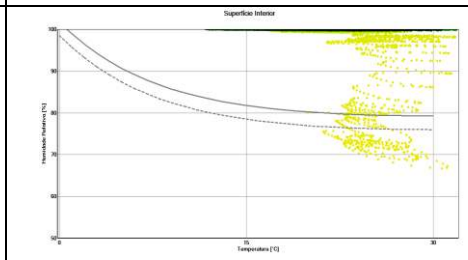
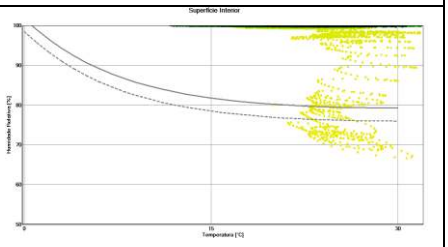
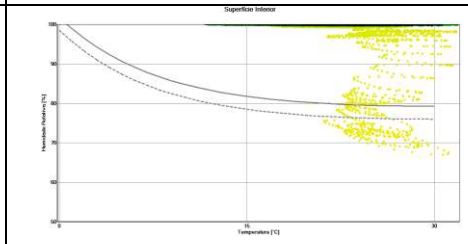
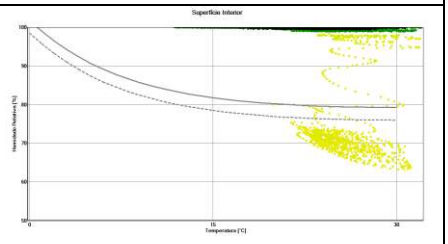
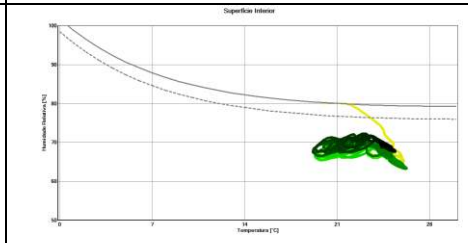
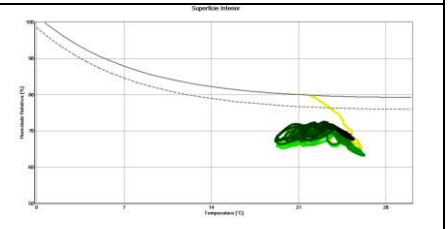
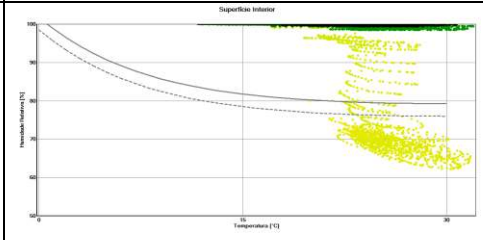
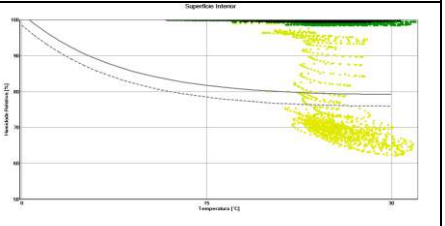
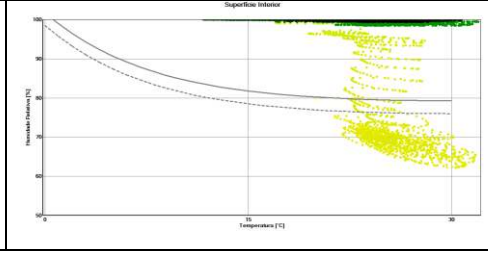
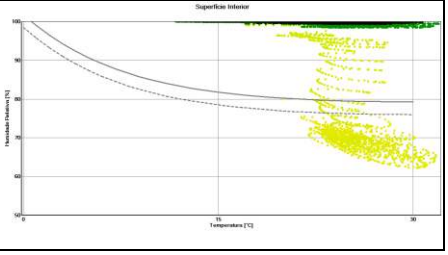
3.3.2 Critérios de Avaliação

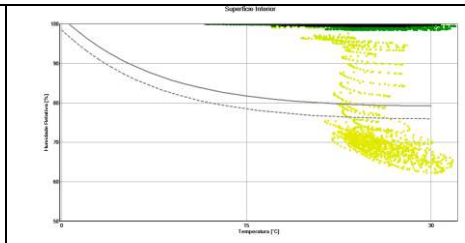
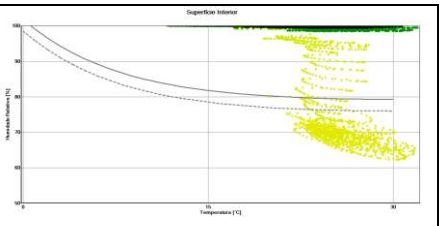
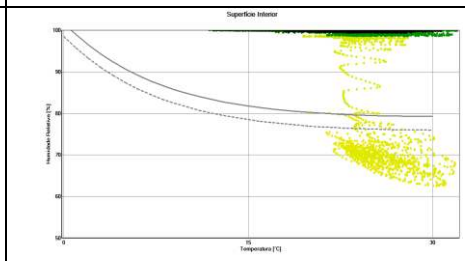
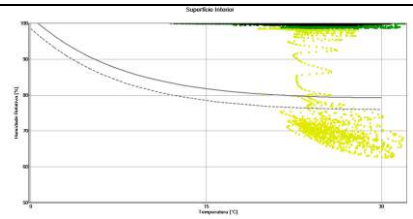
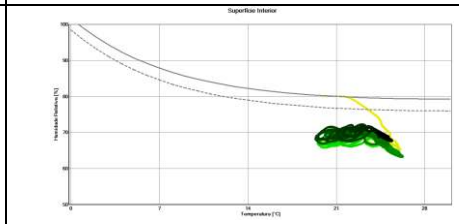
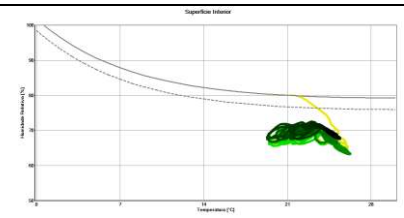
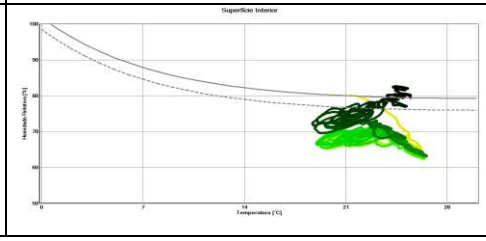
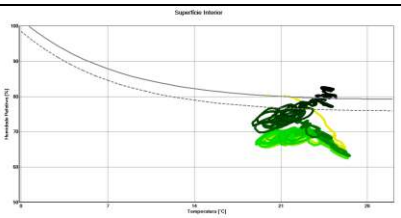
Para as análises, utilizou-se a saída das isopletas com as curvas LIM (Lowest Isopleth for Mold) e o plugin WUFI Bio. As curvas LIM representam o limite para o risco de crescimento de mofo. Se a umidade relativa superior chegar a 80% DIN 4108-2 (2003) e a temperatura interna for 20º C, há risco de formação de fungos filamentosos. De acordo com SEDLBAUER (2001), a classificação da curva LIM I é para os substratos nos materiais, como papel de parede, placa de gesso etc., e LIM II para os substratos com estrutura porosa: rebocos, materiais de construção minerais.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

Quadro 2 – Curvas LIM I e II na superfície interior de uma edificação HIS

Sistema Construtivo	**Gráfico**	
	Sala	**Dormitório**
Tijolo Cerâmico 6 Furos Sul		

Tijolo Cerâmico 9 Furos Norte		
Tijolo Cerâmico 6 Furos Sul		
Tijolo Cerâmico 6 Furos Sul		
Tijolo Cerâmico 6 Furos SUL /Norte		
Concreto Norte		
Tijolo Cerâmico 6 Furos Norte		
Tijolo Cerâmico 6 Furos Norte		

Tijolo Cerâmico 6 Furos Norte		
Tijolo Cerâmico 10 Furos Norte		
Concreto Norte		
Concreto Leste		

Fonte: Os atores

Foi possível observar que, nos sistemas com tijolo cerâmico com 6, 9 e 10 furos, nas orientações Sul e Norte e ambientes ventilados naturalmente, tanto na sala quanto no dormitório, para cada temperatura, há uma umidade relativa (%) alta, aproximadamente perto de 100% e com grande concentração de nuvens de pontos escuros do final da simulação acima das curvas LIMs. Logo, não foram aprovados na avaliação, pois há alta probabilidade de formação de fungos filamentosos para a superfície interna em contato com o ar interno.

Para o sistema construtivo de concreto, nas orientações Norte e Leste nas mesmas condições de ventilação natural, apresentaram uma redução na umidade relativa entre 70% a 80% no final da simulação; a nuvem de pontos concentrou-se abaixo das curvas LIMs para orientação Norte. Assim, sobre as curvas LIMs, para Leste, indicam baixo risco de germinação e crescimento de fungos filamentosos. De acordo com saída do Plugin WUFI BIO, indicam que não há condições favoráveis para formação de fungos filamentosos.

5 CONCLUSÕES

Verificou-se que, nas HIS, para os sistemas construtivos de tijolo cerâmico, há um alto risco de formação de fungos filamentosos, independentemente da orientação, devido a altos índices de umidade relativa; isso compromete a qualidade do ar interior dos ambientes onde o usuário está em contato com a superfície interna. No entanto, para os sistemas construtivos de concreto, os resultados foram favoráveis devido à redução na umidade relativa, não havendo riscos de formação de fungos

filamentosos, o que oferece uma qualidade de ar interior e menor risco à saúde.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASHRAE 160. **ASHRAE Standard 160**: Criteria for Moisture - Control Design Analysis in Buildings. Atlanta, USA, 2016.

CUNHA, E. G.; FRITSCH, R. C. **Verificação da Formação de Mofo e Bolor em Superfícies Interiores de Paredes Exteriores Situadas na Zona Bioclimática 3 de Acordo com a NBR 15220 e NBR 15575.** X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Natal, 2009.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **EN 15026:** Hygrothermal performance of building components and building elements: assessment of moisture transfer by numerical simulation. Berlin, 2007.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 4108-2:** Wärmeschutz und Energie - Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen na den Wärmeschutz. Berlin, 2003.

FRAUNHOFER INSTITUTE FOR BUILDING PHYSICS. **WUFI® Pro 6.7 manual**. Holzkirchen, 2022.

LEITZKE, R. K.; BELTRAME, C. M.; FREITAS, J. R. de; SEIXAS, J. N.; MACIEL, T. S.; CUNHA, E. G. da; RHEINGANTZ, P. A. **Optimization of the Traditional Method for Creating a Weather Simulation File: The Pelotas.epw Case**. Journal of Civil Engineering and Architecture, v. 12, p. 741-756, 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, EMBRAPA. Normas climatológicas: estacional. Disponível em: <http://www.cpact.embrapa.br/agromet/estacao/estacional.html>.

SEDLBAUER, K. **Prediction of mould fungus formation on the surface of an inside building components.** Fraunhofer Institute for Building Physics, 2001.

MACARTHY, M. da R. **Análise dos impactos da transferência de umidade no comportamento higrotérmico das superfícies internas de paredes externas de edificação histórica do séc. XIX**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2022.

PIRES, J.R. **Estimativa da Condensação em Edificações Unifamiliares em Território Brasileiro: Simulação Higrotérmica Computacional**. Tese (Doutorado). Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2020.

ZANONI, V. A. G.; DANTAS, A. L. de F.; NUNES, L. S.; RIOS, R. B. **Estudo higrotérmico na autoconstrução: simulação computacional e medições em campo.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p. 109-120, jul./set. 2020. ISSN 1678-8621.

PATINO; SIEGEL. **Indoor environmental quality in social housing: A literature review**, Building and Environment. 2018. Disponível em: 10.1016/j.buildenv.2018.01.013.

SANTOS, A. C., OLIVEIRA, L. A., BECERE, O. H., SOUZA, J. C. S. **Análise do desempenho higrotérmico de paredes de fachada por meio de simulação computacional de estudos de caso.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17, 2018, Foz do Iguaçu. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

MISSIA, D. et al. **Indoor Air Quality Model evaluation in a modern office**. Indoor Air 2016, Bruxelas, jul. 2016.