



XIENCAC
ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

VIIELACAC
ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Búzios - RJ - 2011

ANÁLISE DAS CONDIÇÕES FAVORÁVEIS À FORMAÇÃO DE MOFO OU BOLOR EM EDIFICAÇÃO HISTÓRICA DE PELOTAS

Fernanda Lamego Guerra (1); Eduardo da Cunha (2); Antônio César Baptista da Silva (3)

(1) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo,
flamg29@yahoo.com.br

(2) Dr. Professor do Departamento de Tecnologia da Construção, DTC, egcunha@terra.com.br

(3) Dr. Professor do Departamento de Tecnologia da Construção, DTC, acsbs@uol.com.br
Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-graduação em
Arquitetura e Urbanismo, Rua Benjamin Constant, n. 1359 Pelotas/ Rio Grande do Sul
Cep: 96010-020, Tel.: (53) 3721-5501

RESUMO

Este artigo apresenta uma análise da superfície interior de uma parede exterior de um compartimento selecionado no Casarão 02 da Praça Coronel Pedro Osório no município de Pelotas-RS. São consideradas as observações da norma NBR 15220 (ABNT, 2005), da NBR 15575 (ABNT, 2008) e a norma alemã DIN 4108-03 com o objetivo de compreender as possibilidades de formação de mofo ou bolor. Os resultados demonstraram que a presença de mofo no local, provavelmente, está relacionada à forma de utilização do espaço. A análise aplicada permitiu verificar que a diminuição da temperatura superficial interna da parede externa, bem como o aumento considerável da umidade relativa próximo à superfície, compondo um ambiente favorável à formação de mofo, deve-se, principalmente, a uma barreira resultante da colocação de painéis de madeira fixos para exposição de arte que terminam por prejudicar a circulação de ar no ambiente. A formação de mofo pode ser agravada, também, pela quantidade de pessoas circulantes neste ambiente em tais condições. Quanto maior o número de pessoas, maior a quantidade de vapor d'água por quilo de ar, resultando no aumento da umidade relativa do mesmo, favorecendo o dano.

Palavras-chave: mofo, edificações históricas, transmitância térmica.

ABSTRACT

This article presents an analysis of inner surface of an outer wall of an enclosure selected in a historical building in Pelotas, considering the comments from NBR 15220 (ABNT, 2005), the NBR 15575 (ABNT, 2008) and the German standard DIN 4108-03, in order to understand the possibilities of formation of mold or mildew. The results demonstrated that the presence of mold probably is related to the use of space. This analysis has shown that the decrease in surface temperature inside of the exterior wall, as well as the considerable increase in relative humidity near the surface, creating a favorable environment to formation of mold, is probably due to a barrier resulting from the placing of wood panels for art exhibition ending by impairing the movement of air into the environment. The formation of mold can also be aggravated by the amount of people circulating in this environment under such conditions. The more people, the greater the amount of water vapor per kilogram of air, resulting in increased relative humidity, favoring the damage.

Key-words: mold, historical buildings, thermal transmittance

1. INTRODUÇÃO

Em regiões onde o clima apresenta invernos rigorosos, como o caso da cidade de Pelotas, a temperatura da superfície interior de paredes exteriores, conjuntamente com a umidade presente no espaço interior, é determinante na formação de mofo. Segundo Sedlbauer (2001), apud Cunha e Fritsch (2009), elevadas taxas de umidade relativa do ar, acima de 80%, com temperaturas acima de 10°C são condições ideais para a formação de mais de 200 espécies existentes de mofo. Contudo, a umidade relativa a partir dos 65%, por longos intervalos de tempo, com temperaturas mais elevadas, associados à uma ventilação precária, proporcionam condições favoráveis para que o problema seja agravado. Verifica-se que a associação de condições ideais de temperatura e umidade à disponibilidade de nutrientes, como por exemplo acúmulo de sujeira em uma parede, tornam favoráveis a incidência de manifestações patológicas relacionadas aos fungos. Em relação a cidade de Pelotas /RS, localizada na zona bioclimática 2 (NBR 15220), onde a temperatura média anual é de 17,8°C e umidade relativa em torno de 80%, é notável a manifestação desta anomalia em diversas das suas edificações históricas.

O município possui um rico acervo patrimonial edificado, caracterizado por construções principalmente do século XIX, reconhecido por fazer parte de um contexto histórico que remete a um período bastante próspero e de rápido desenvolvimento do município. Estão catalogados na Secretaria Municipal de Cultura cerca de 1.189 prédios inventariados, 11 tombados em nível municipal, 1 em nível estadual e 4 tombamentos à nível federal, pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN). Muitas destas edificações recebem medidas constantes de intervenção visando o restabelecimento de sua integridade física. Contudo, o problema relacionado à presença de fungos (mofo ou bolor) demonstra-se intermitente, embora diversas medidas já tenham sido tomadas.

Na prática, em edificações convencionais, busca-se resolver a problemática do aparecimento deste problema com a aplicação de fungicidas e algicidas ou tintas especiais com microbiocidas, contudo não elimina-se o problema em sua origem, vendo que esta relaciona-se, principalmente, às características da envoltória da edificação e à falta de ventilação. Destaca-se, no entanto que, em se tratando de edificações históricas, foco deste estudo, o problema torna-se mais grave pela impossibilidade de aplicação de produtos que sejam incompatíveis com o material original. Muitas vezes, as soluções adotadas demonstram-se pouco eficazes, reincidindo em curto espaço de tempo, o que enfatiza a importância da compreensão dos mecanismos que favorecem sua proliferação, buscando, com isso, medidas preventivas ao seu aparecimento.

2. OBJETIVO

O presente estudo pretende, por meio da determinação da temperatura da superfície interna de uma parede exterior, em um ambiente selecionado de uma edificação histórica, com base nos parâmetros da NBR 15220 (ABNT, 2005) e NBR 15575 (ABNT, 2008), bem como da umidade relativa do mesmo, de acordo com as diretrizes da norma alemã DIN 4108-03 (2001), identificar que fatores estão sendo determinantes na formação de mofo deste ambiente. Este estudo pode auxiliar na compreensão da origem dos problemas relacionados aos fungos nas edificações históricas. Reconhecidos os mecanismos que favorecem o surgimento e proliferação do mofo, torna-se possível apontar medidas gerais que controlem a proliferação dos mesmos.

3. MÉTODO

Foi realizado um estudo em uma edificação na cidade de Pelotas - RS, considerando as características construtivas do século XIX no município e a norma alemã, DIN 4108-03 (2001). Para a realização da análise foram realizadas quatro etapas.

A primeira, caracterizada pela revisão bibliográfica a respeito dos fungos, responsáveis pelo aparecimento do mofo. Foram observadas as normas brasileiras NBR 15220 (ABNT, 2005), NBR 15575 (ABNT, 2008) e DIN 4108, parte 3 (2001).

Na segunda etapa foi feita uma revisão bibliográfica sobre os materiais e técnicas aplicados em edificações históricas do século XIX em Pelotas para compreensão dos mecanismos que poderiam favorecer ou não a formação de mofo.

A terceira etapa do trabalho foi caracterizada pela seleção de um compartimento em uma edificação histórica que oferecesse as condições necessárias para o desenvolvimento do estudo e aplicação da análise da temperatura superficial interna de uma parede externa deste compartimento. Foi calculada, com base na NBR 15220 (ABNT, 2005), a transmitância térmica desta parede para posterior aplicação no cálculo da temperatura superficial interna. Tomou-se como base a definição da temperatura mínima para inverno, 12°C, em consonância com a NBR 15575 (ABNT, 2008) e a temperatura externa de 5°C (COSTA, 1982). Foi

definido o número de renovações do ar do espaço interior, em torno de uma renovação por hora, acordando com Toledo (1999) e Lamberts et al (1997) e 0,5 renovação por hora acordando com a DIN 4108, apud Cunha e Fritsch (2009). Foram adotadas diferentes resistências superficiais internas, com base na norma brasileira NBR 15220 (ABNT, 2005) e na norma alemão DIN 0418-03 (2001), para ambientes aquecidos, não aquecidos e com estantes ocupando toda extensão da parede.

Na quarta etapa foi definida a umidade absoluta do ambiente interior. Com base nesta informação, conjuntamente com a temperatura da superfície interior da parede exterior, e com o auxílio de carta psicrométrica, foi possível verificar a umidade relativa do ar nas proximidades da parede e observar a possibilidade de formação de mofo.

4. ASPECTOS RELEVANTES NA FORMAÇÃO DE MOFO

Segundo Nascimento (2003) os fungos são organismos aeróbios, que se reproduzem por meio de esporos e que necessitam de compostos orgânicos como fonte de alimento. Estes compostos podem ser encontrados em vários materiais utilizados na construção civil. Alguns sistemas de revestimento podem servir como fonte direta de nutrientes para os fungos; outros servem apenas como substrato, suportando seu desenvolvimento. Em determinadas condições, os fungos desenvolvem um tipo de colonização denominada bolor ou mofo. Esta colonização é resultante da produção de uma massa de esporos assexuados, conhecidos como conídios, cuja formação se dá em estruturas reprodutivas especializadas. Os conídios são dispersos pelo ar ou pela água e, ao se fixarem a um determinado substrato, podem germinar produzindo novas colônias. A umidade é um fator condicionante para o aparecimento, manutenção e aumento em extensão do bolor. A temperatura, o pH e a quantidade de oxigênio disponíveis também caracterizam-se como fatores decisivos no desenvolvimento dos fungos, além da umidade e nutrientes disponíveis.

De acordo com Kießl e Sedlbauer (2001), apud Cunha e Fritsch (2009), em princípio, acreditava-se que a condensação fosse pressuposto básico para a formação do mofo, contudo, estudos atuais demonstram que a degradação provocada pelo mofo é devida as seguintes causas: nível de isolamento insuficiente e pontes de calor; elevada resistência superficial, como o que ocorre quando há presença de estantes ocupando toda a parede; elevada produção interna de umidade; pouca ventilação em decorrência do comportamento dos moradores; como também umidade nas partes da construção.

Os mesmos autores afirmam que quando a superfície da parede apresentar uma umidade superior ou igual a 80% por mais de 6 horas por dia, poderá surgir mofo. A umidade relativa do ar ótima para o desenvolvimento do mofo fica entre 90% e 98%, ainda assim, observa-se que algumas espécies como o fungo xerophile pode desenvolver-se com uma umidade relativa do ar na faixa de até 65%. No que diz respeito às exigências com relação aos nutrientes, os estudos desenvolvidos no Instituto de Física da Construção de Fraunhofer, em Munique, apontam que uma parede suja já é suficiente para o crescimento de mofo.

Apesar das normas alemãs fixarem o problema da possibilidade de formação de mofo numa taxa de umidade relativa do ar de 80%, observa-se que já a partir de 70% existe o real problema da formação de fungos em superfícies internas de paredes exteriores (KIEBL e SEDLBAUER, 2001, apud CUNHA e FRITSCH, 2009). Além da umidade relativa, conforme já caracterizado, são necessários ainda a presença de um substrato e temperatura adequados.

Observa-se, também, a possibilidade de surgimento do problema quando da presença de móveis frente a paredes externas, como estantes, por exemplo.

A Tabela 1 descreve sinteticamente os fatores decisivos para a germinação e crescimento dos fungos, com a indicação dos valores mínimos e máximo para cada item (SEDLBAUER, 2001).

Tabela 1 – Fatores decisivos que influenciam o surgimento e proliferação dos fungos

Fator de influência	Parâmetros	Unid.	Intervalo para o crescimento		Comentários
			Mínimo	Máximo	
Temperatura	Temperatura superficial da parede	°C	-8	60	Depende da espécie de fungo e da fase de desenvolvimento (germinação de esporos ou crescimento de micélios)
Umidade	Umidade relativa próxima à superfície	%	70 ¹⁾	100	
Substrato	Nutrientes e teor de sal	-	-	-	Os nutrientes podem ser encontrados em acúmulos de sujeira
Ambiente	pH na superfície	-	2	11	²⁾
Tempo	Quantidade de horas por dia	h/d	1	-	Depende da temperatura e umidade
Atmosfera	Quantidade de oxigênio	%	0,25	-	Sempre presente

1) Há um tipo de fungo conhecido (xeromyces) que o crescimento pode ocorrer a partir de uma umidade relativa de 45%.

2) O pH também depende da umidade relativa e da temperatura e é influenciado pelos fungos.

Fonte: modificado de Sedlbauer (2001)

5. ABORDAGEM GERAL A RESPEITO DOS MATERIAIS E TÉCNICAS EM EDIFICAÇÕES HISTÓRICAS DE PELOTAS (SÉC.XIX)

Grande parte das edificações construídas no século XIX em Pelotas foram projetadas e executadas por construtores italianos que neste município atuaram, principalmente no final do século XIX, início do XX. Com base em manuais de construção da época, descritos por Peres (2008), a técnica construtiva aplicada na maioria das edificações era basicamente como a descrita na Tabela 2.

De acordo com as descrições desta tabela, estas edificações foram projetadas com paredes portantes de grande espessura, o que provavelmente reduz a transmitância térmica nas mesmas, aumentando sua resistência térmica.

Os tijolos que compõem a alvenaria são de baixa densidade, se comparados com os que existem atualmente no mercado, conforme dados obtidos em ensaio realizado em laboratório descrito no item 5.1 deste trabalho.

As argamassas de revestimento e assentamento eram basicamente compostas com cal e areia, o que resulta em maior porosidade, permitindo, inclusive, a eliminação de grande parte da umidade por evaporação, já que o revestimento de tinta que cobria as paredes externa e internamente também era a base de cal.

Tabela 2 - Técnicas construtivas de edificações do século XIX em Pelotas

SÍNTESES DAS TÉCNICAS CONSTRUTIVAS NAS EDIFICAÇÕES HISTÓRICAS	
Componentes	Características
FUNDAÇÕES	Diretas, em pedra granítica, rejunte em argamassa.
PAREDES	Portantes, em alvenaria de tijolo cerâmico, argamassa de cal e areia. Externas (60 – 80 cm) Internas: (50 – 60 cm) Internas (estruque: +ou- 15 cm)
REVESTIMENTOS	Argamassas externas e internas a base de cal, sendo, muitas vezes, executados no interior, escaiolas ou pinturas murárias a base de gesso.
ESQUADRIAS	Madeira
PISOS	Barrotes de madeira na estrutura e revestimento (assoalho de madeira, ladrilho hidráulico)
COBERTURA	Estrutura em madeira e telhas cerâmicas.

5.1. Ensaio para determinação da densidade dos tijolos e argamassa de revestimento que compõem a alvenaria

O ensaio foi realizado no Instituto Federal Sul-Rio-Grandense (IFSul-Pelotas), sob supervisão da Dra. Professora Rosilena Peres.

A) Determinação da densidade de massa aparente (ρ) do tijolo:

Foi selecionada uma amostra, recolhida em local próximo à edificação, vizinha ao prédio em estudo. A amostra foi aceita por obter características semelhantes a do objeto de estudo, caracterizando-se também como uma edificação histórica.

Devido à irregularidade física da amostra foi necessário envolvê-la em um plástico filme para que fosse possível submergi-la em um recipiente com água, e através do cálculo do volume deslocado, determinar o volume da mesma.

Conhecido o volume e a massa específica em balança de precisão de 0,1 de aproximação, calculou-se a massa aparente ($\rho = 1.219 \text{ Kg/m}^3$).

Em consulta à norma NBR 15220 (ABNT, 2005) foram reconhecidos os demais valores:

$\rho = 1.219 \text{ kg/m}^3$ (densidade de massa aparente)

$\lambda = 0,70 \text{ W/(m.K)}$ (condutividade térmica)

$c = 0,92 \text{ kJ/(kg.K)}$ (calor específico do material)



TIJOLO

B) Determinação da densidade de massa aparente (ρ) da argamassa:

Amostra recolhida nas mesmas condições da amostra de tijolo.

Determinou-se o volume através da medição do volume de água deslocado em tubo de ensaio graduado de 10ml em 10ml (capacidade = 1000ml).

$\rho = 1.543 \text{ Kg/m}^3$ (densidade de massa aparente)

$\lambda = 0,70 \text{ W/(m.K)}$ (condutividade térmica)

$c = 0,84 \text{ KJ/(Kg.K)}$ (calor específico do material)



ARGAMASSA

Com base nestes valores, através da aplicação dos cálculos apresentados em norma (NBR 15220) foi possível determinar a transmitância térmica de um módulo da parede selecionada no prédio em estudo descrito no item 6 deste trabalho.

6. SELEÇÃO DE COMPARTIMENTO EM UMA EDIFICAÇÃO HISTÓRICA (GALERIA DE ARTE DO CASARÃO 02)

A residência do charqueador Vianna, também conhecida como Casarão 02 (Figuras 1 e 2), é tombada em nível federal pelo IPHAN (Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional) e apresenta uma área construída de 1.186,73 m². Atualmente no prédio funcionam o Centro Cultural Adail Bento Costa e a Secretaria de Cultura do município. O prédio foi construído em 1830 e reformado em 1880. Mais recentemente, em 2005, passou por processo de restauração.



Figura 1: Casarão 02 – Fachada oeste
Fonte: acervo pessoal



Figura 2: Casarão 02 – Fachada sul
Fonte: acervo pessoal

O compartimento selecionado localiza-se no térreo e possui duas de suas faces voltadas para as fachadas

oeste e sul, conforme Figura 3. Este ambiente foi escolhido por apresentar características pertinentes à investigação proposta, tais como: faz parte de uma edificação histórica; apresenta manifestação de mofo, principalmente nas faces internas das paredes externas (Figuras 4, 5 e 6, mapeadas na Figura 7); desempenha uma função que envolve a movimentação constante de pessoas, como uma galeria de arte e possui os elementos necessário ao desenvolvimento da pesquisa, como amostras de material, documentação disponíveis, além do acesso fácil ao ambiente. Destaca-se que em toda extensão das paredes exteriores, onde estão as esquadrias, foram posicionados painéis de madeira, fixos, onde são colocados o material de exposição da galeria.

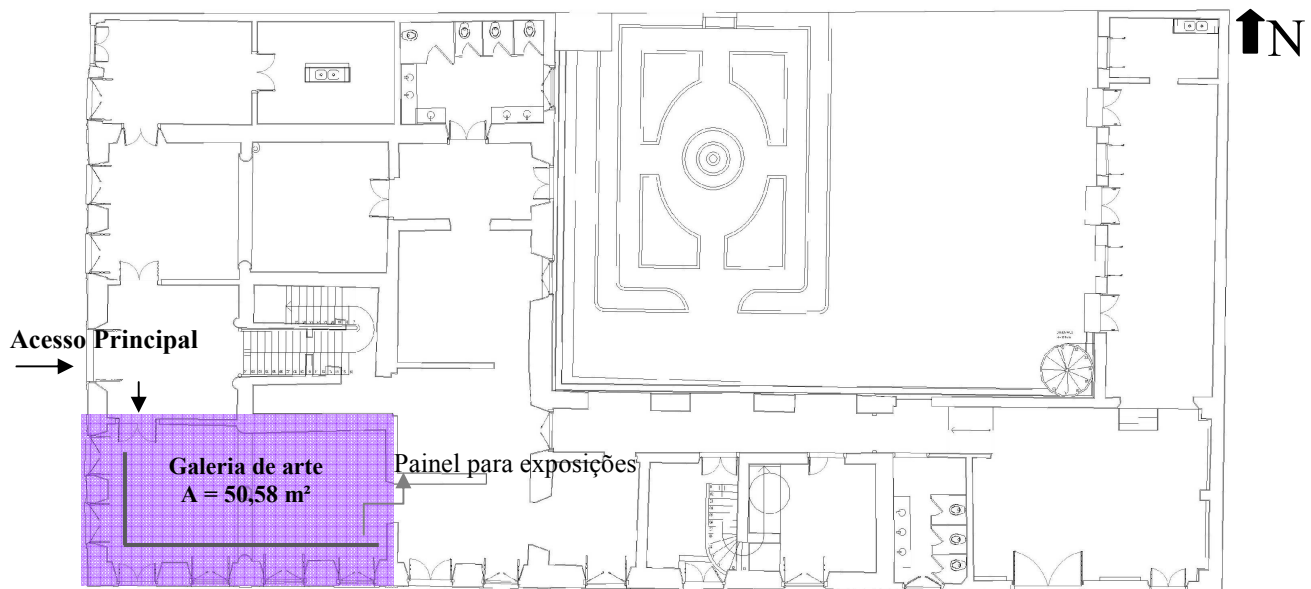


Figura 3: Planta baixa do pavimento térreo do casarão 02. Em destaque o ambiente selecionado para análise – Galeria de arte.
Fonte: Secretaria Municipal de Cultura (SECULT)



Figura 4 – Canto superior da parede



Figura 5 – canto inferior da parede

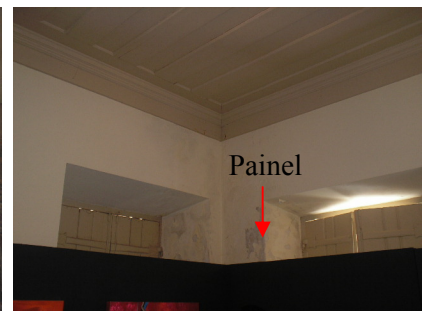


Figura 6 – canto superior da parede

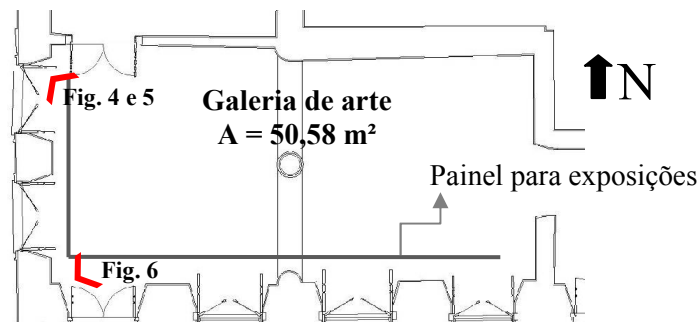


Figura 7: Planta baixa da Galeria de arte - Mapa das Figuras 4, 5 e 6

Para este compartimento foi definido um módulo da parede oeste, com espessura de 0,76 m, rebocada em ambos os lados (Figura 8). O módulo é composto por uma fiada de 2 tijolos à tijão e 1 tijolo lateral (meia parede), alternado com uma fiada de tijolos laterais, como mostra a Figura 9. Esta disposição pôde ser

determinada com base em imagens obtidas de trechos de parede com a alvenaria, exposta durante o processo de intervenção de restauro na edificação, sendo reforçada com base em Breymann (2003).

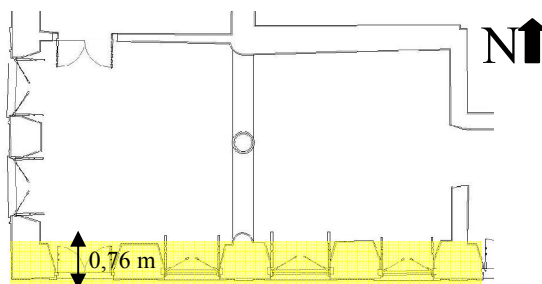
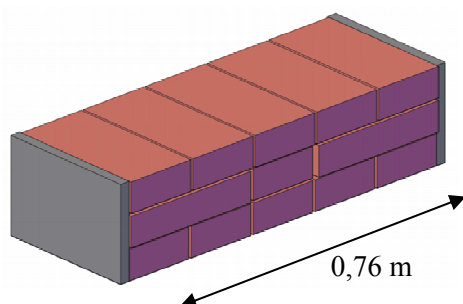


Figura 8: Planta baixa da Galeria de arte – Trecho de parede selecionado



Espessura do reboco = 0,02 m
Espessura da argamassa de assentamento = 0,01m
Dimensões do tijolo = 28m x 14m x 6m

Figura 9: Módulo de parede oeste para aplicação do estudo

7. ANÁLISE DE RESULTADOS

7.1) Definição das condições limite e da transmitância térmica na parede externa da edificação

A norma brasileira NBR 15575 indica o coeficiente global máximo permitido para a zona bioclimática 2 (Tabela 3).

Tabela 3 – transmitância térmica para a zona bioclimática 2

Nível de desempenho	U (W/m ² °C)		
	Zona 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
		$\alpha^{(2)} < 0,6$	$\alpha^{(2)} \geq 0,6$
M (mínimo)	$U \leq 2,5$	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$

transmitânciatérmica com $R_{Si} = 0,13 \text{ m}^2\text{°C/W}$ e $R_{Se} = 0,04 \text{ m}^2\text{°C/W}$; (2) Coeficiente de absorção;

Fonte: adaptado da NBR 15575 (ABNT, 2008) e da NBR 15220 (ABNT, 2005)

Conforme mencionado anteriormente, para a presente análise, foram aplicados os cálculos previstos em norma para determinação do coeficiente na edificação em estudo. Com base na definição da temperatura mínima para inverno, 12°C, em consonância com a NBR 15575, temperatura externa de 5°C (COSTA, 1982) e considerando um regime constante de troca de calor, foi calculada a transmitância térmica da parede externa, resultando em $U = 0,6314 \text{ W/m}^2\text{°C}$. Em seguida foram definidas as temperaturas superficiais internas da parede externa e do painel em madeira que compõem o ambiente (Figura 10).

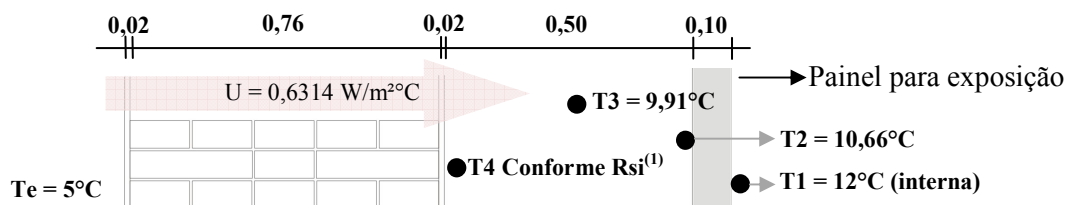


Figura 10: Parede em corte - Pontos de temperaturas superficiais calculadas - $U = 0,6314 \text{ W/m}^2\text{°C}$

(1) Para o cálculo da temperatura superficial da face interior da parede exterior foram propostas 4 diferentes

condições para a resistência superficial interna (Tabela 4). Estas resistências foram definidas com base na norma brasileira NBR 15220 e na norma alemão DIN 0418-03 (2001), descritas a seguir.

Rsi = 0,13 m² K/W (NBR 15575) – a norma brasileira não possui valores específicos para diferentes situações

Rsi = 0,25 m² K/W (DIN 0418-03 (2001) – para ambientes aquecidos

Rsi = 0,17 m² K/W (DIN 0418-03 (2001) – para ambientes não aquecidos

Rsi = 1,0 m² K/W (DIN 0418-03 (2001) – para estante ocupando toda a parede

Tabela 4 - Temperatura superficial da face interior da parede exterior para as diferentes resistências superficiais internas

Temperatura da face interior da superfície exterior	Rsi = 0,13m²K/W (NBR 15 220)	Rsi = 0,25m²K/W (DIN 4108-03) Ambientes aquecidos	Rsi = 0,17m²K/W (DIN 4108-03) Ambientes não aquecidos	Rsi = 1,0 m²K/W (DIN 4108-03) Estante em toda extensão da parede
T4	9,33°C	8,80°C	9,16°C	5,49°C

7.2) Verificação da umidade relativa do ar nas proximidades da superfície interior da parede exterior

Segundo EMBRAPA (2010), sobre as normais climatológicas para a cidade de Pelotas, a umidade relativa média no inverno é de 83,6°C. Com base na carta psicrométrica, para a temperatura de 5°C, a Umidade Absoluta é de 4,2 g de vapor d'água/Kg ar seco. As diferentes temperaturas da superfície interna da parede, de acordo com as resistências superficiais internas resultaram em diferentes umidades relativas. As Tabelas 5 e 6 apresenta os valores encontrados, considerando 1 troca de ar por hora e 0,5 troca de ar por hora

Para efeitos de cálculo foi considerado que uma pessoa libera 60 g de vapor d'água por hora (DIN 4108-3). Foi determinada uma média de 15 pessoas/m³ (NBR 9077 – para galerias de arte).

Tabela 5 – Umidade relativa do ar próximo da superfície interior da parede exterior – 1,0 taxa de renovação do ar

Galeria de arte - Casarão 02 - U = 0,6314 W/m²°C - 1,0 taxa de renovação do ar interior															
Temperatura interior	Umidade Relativa do ar		Umidade Absoluta do ar (g VA/Kg AS)		Temperatura do ar		Ponto de orvalho	Temperatura da superfície (°C)				Umidade relativa do ar nas proximidades da parede (%)			
	Int. (%)	Ext. (%)	Int.	Ext.	Int. (°C)	Ext. (°C)		Rsi = 0,13 m²°C/W	Rsi = 0,25 m²°C/W	Rsi = 0,17 m²°C/W	Rsi = 1,0 m²°C/W	Rsi = 0,13 m²°C/W	Rsi = 0,25 m²°C/W	Rsi = 0,17 m²°C/W	Rsi = 1,0 m²°C/W
12°C	84	84	4,2	4,2	12	5	1,5	9,33	8,8	9,16	5,49	58	60	58	75

Tabela 6 – Umidade relativa do ar próximo da superfície interior da parede exterior – 0,5 taxa de renovação do ar

Galeria de arte - Casarão 02 - U = 0,6314 W/m²C – 0,5 taxa de renovação do ar interior															
Temperatura Interior	Umidade Relativa do ar		Umidade Absoluta do ar (g VA/Kg AS)		Temperatura do ar		Ponto de orvalho	Temperatura da superfície (°C)				Umidade relativa do ar nas proximidades da parede (%)			
	Int. (%)	Ext. (%)	Int.	Ext.	Int. (°C)	Ext. (°C)		Rsi = 0,13 m²°C/W	Rsi = 0,25 m²°C/W	Rsi = 0,17 m²°C/W	Rsi = 1,0 m²°C/W	Rsi = 0,13 m²°C/W	Rsi = 0,25 m²°C/W	Rsi = 0,17 m²°C/W	Rsi = 1,0 m²°C/W
12°C	91	84	5,0	4,2	12	5	3,9	9,33	8,8	9,16	5,49	69	71	67	90

Considerando a taxa de renovação do ar igual a 1,0, para a transmitância calculada de 0,6314 W/m²°C (Tabela 5), considerando a parede com estante (painel neste caso) em toda sua extensão (Rsi = 1,0 m²°C/W), a taxa de umidade relativa do ar na superfície interior da parede exterior está acima de 70%, confirmando, portanto, que para esta situação, pode ser justificada a presença de algumas espécies de fungos, podendo estar relacionado ao mofo detectado no local.

Quando a taxa de renovação do ar é reduzida à metade (0,5 troca), conforme Tabela 6, é confirmada então a possibilidade de surgimento de mofo, considerando que a UR próxima a parede atinge 90%, para o Rsi de 1,0 m²C/W. Nota-se, também, que para o Rsi = 0,25 m²C/W, ambiente aquecidos, já existe, igualmente, a possibilidade do surgimento de mofo.

A análise apresentada demonstrou que a edificação em estudo atingiu um valor de transmitância térmica baixo, $U = 0,6314 \text{ W/m}^2\text{C}$, conforme o cálculo aplicado com base na NBR 15220, estando, por tanto adequado ao padrão estabelecido pela norma brasileira para a Zona bioclimática 2, de $U \leq 2,5 \text{ W/m}^2\text{C}$, o que já seria esperado em se tratando de uma edificação histórica com paredes portantes de grande espessura. A baixa transmitância térmica é, portanto, um fator que dificulta a composição de um ambiente favorável ao surgimento de mofo ou bolor. No entanto, o cálculo da temperatura da superfície interna da parede e da umidade relativa próxima à superfície da edificação, demonstrou que para as diferentes situações propostas, em alguns casos, há possibilidade de formação de mofo, o que corrobora com o que pode ser observado no local.

Levando em consideração a norma brasileira, para o índice de resistência superficial interna ($R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$), não haveria possibilidade de formação de mofo, observando que tanto para a taxa de renovação do ar de 1,0 troca por hora ou de 0,5 troca por hora, a umidade relativa próxima a superfície manteve-se abaixo de 70%.

8. CONCLUSÕES

Para as condições propostas pela norma alemã, onde foram apresentados índices de resistência superficial interna para diferentes situações, notou-se a possibilidade de surgimento do problema para a resistência superficial interna de paredes com estantes em toda sua extensão ($R_{si} = 1,0 \text{ m}^2\text{K/W}$), mesmo havendo 1,0 taxa de renovação do ar por hora, bem como para a situação em que a taxa de renovação do ar é reduzida à metade. No caso em que é prevista a estante na extensão da parede, a umidade relativa atingiu o maior valor, 90%, e para ambientes aquecidos, 71%, ocorrendo, portanto, possibilidade de formação de mofo.

Com base, nestas análises, é possível concluir que a possibilidade de formação de mofo em edificações históricas, semelhantes ao caso analisado, comumente encontradas em Pelotas, deve-se principalmente às condições de uso impostas ao local, estando menos relacionadas às características construtivas empregadas nestas construções.

Destaca-se que para a resistência superficial interna sugerida pela norma brasileira NBR 15575 (ABNT – 2008), não há a indicação de possibilidade de formação de mofo no presente estudo. Considerando que o local apresenta a anomalia, e que esta pode estar associada aos parâmetros aqui identificados, talvez, fosse importante, assim como na norma alemã, que a norma brasileira considerasse diferentes resistências superficiais internas para as diversas situações.

Fica evidente, portanto, a necessidade de que sejam desenvolvidos estudos capazes de compreender os fatores que estão contribuindo para o surgimento e desenvolvimento de mofo nas edificações históricas. Desta forma, pode-se contribuir de maneira efetiva durante processos de intervenção que visem recuperar tais construções, propiciando condições adequadas para sua conservação bem como de salubridade aos seus usuários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3: desempenho térmico de edificações** - Parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575 - Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos**. Rio de Janeiro, 2004.
- BREYMAN, G.A. *Trattato di costruzioni civili*. Archi – Volte – Cupole [1885]. 5 ed. Tradução Carlo Valentini. Roma: Editrice Librerie Dedalo, 2003. 182 p.
- COSTA, Enio Cruz da. **Arquitetura Ecológica: Condicionamento térmico natural**. São Paulo: Edgard Blucher, 1982.
- CUNHA, Eduardo Grala da; FRITSCH, Rodrigo Carlos. Verificação de mofo e bolor em superfícies interiores de paredes exteriores situadas na Zona bioclimática 3 de acordo com a NBR 15220 e NBR 15575 In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, Natal, 2009, *Anais...* Natal, ENCAC-ELAC 2009. CD-ROM.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 4108-3 – Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden. Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung**, 2001.
- Empresa brasileira de pesquisa agropecuária – EMBRAPA. <<http://www.cpaact.embrapa.br/agromet/estacao/estacional.html>>. Acesso em: janeiro de 2011.
- Manual do usuário de imóveis inventariados/Prefeitura Municipal de Pelotas, Secretaria Municipal de Cultura. Pelotas: Nova Prova, 2008. 104p.

- NASCIMENTO, Cláudia Bastos do. **Influência do ataque fúngico de ripas de juçara em argamassa de estuque.** Estudo de caso/C.B. do nascimento, M.A. Cincotto. São Paulo: EPUSP, 2003. Disponível em: <http://publicacoes.pcc.usp.br/PDF/BTs_Petreche/BT348-%20Nascimento.PDF> . Acesso em: janeiro de 2011.
- PREGIZER, Dieter. Shimmelpilz – **Bildungen in Gebäuden.Bautechnische Massnahmen zur Vorblugung und Instandsetzung.** 2 ed. Heidelberg: C.F. Müller Verlag, 2008.
- PERES, Rosilena. **Legado da tecnologia construtiva de construtores italianos ao patrimônio arquitetônico de Pelotas.** Tese de Doutorado, Programa de pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 2008.
- SEDLBAUER, Klaus. **Prediction of mould fungus formation on the surface of and inside building components.** Fraunhofer Institute for Building Physics, Holzkirchen, 2001. Disponível em: http://www.hoki.ibp.fhg.de/ibp/publikationen/dissertationen/ks_dissertation_e.pdf