

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

Eduardo Grala da Cunha (1); Rodrigo Carlos Fritsch (2)

- (1) Doutor, Professor Adjunto, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – Curso de Arquitetura e Urbanismo – Universidade de Passo Fundo, Brasil – egcunha@upf.br – bolsista CNPq
(2) M.Sc., Professor Assistente, Curso de Arquitetura e Urbanismo, e-mail: refritsch@upf.br

RESUMO

A partir da publicação da NBR 15220 (2005) houve uma padronização inicial na definição das características construtivas necessárias no sentido de fomentar a melhoria do desempenho térmico das edificações brasileiras, já que foram definidos parâmetros para distintos contextos brasileiros caracterizados por diferentes zonas bioclimáticas. Embora as definições normativas objetivem manter a qualidade do ar interior das edificações existem ainda aspectos que devem ser aprofundados e revistos. A formação de mofo e bolor nas superfícies internas das paredes exteriores é um desses aspectos mencionados. Em paredes com elevado coeficiente global de transmissão térmica e, por conseguinte, com baixa resistência térmica, as temperaturas superficiais internas são muito baixas e observando-se também o aumento da umidade absoluta, considerando as diferentes fontes de umidade interior em decorrência do uso do espaço, verifica-se o problema de aparecimento de mofo e bolor, principalmente, atrás de cortinas e estantes em madeira. Este artigo apresenta uma análise das superfícies interiores de paredes exteriores, considerando as observações da norma NBR 15220 (2005) e da NBR 15575 (2008) para a zona bioclimática 3, mais especificamente, para a cidade de Porto Alegre, RS, no sentido das possibilidades de formação de mofo e bolor, considerando para tanto, as normas alemãs DIN 4108-03 (2001), DIN EN ISO 13788 (2002) como também o projeto de norma DIN 4108-08 (1999). Os resultados do trabalho mostraram que é necessária uma revisão do coeficiente global de transmissão térmica para a zona bioclimática 3 no sentido de evitar a possibilidade de formação de mofo e bolor nas superfícies das paredes.

Palavras-chave: formação de mofo e bolor, mofo e bolor nas construções, umidade nas paredes;

ABSTRACT

From the publication of the standard NBR 15220 (2005) there was a standardization in the definition of necessary constructive characteristics in order to develop the thermal performance of the Brazilian buildings, considering that already defined some different parameters for distinct Brazilian contexts identified by different bioclimatic zones. Although the normative definitions target to keep the quality of the internal air of the edifications there is yet aspects that must be better examine. The formation of mold in the internal plans of the external walls is one of de mentioned aspects. In walls with high overall heat transmission coefficient, and of course, with low thermal resistance, the internal surface temperatures are very low and observing the increase of the absolute humidity, considering the different sources of internal humidity, it is observed the problem of the appearance of mold, mainly behind of Curtains and shelves of wood. This article presents an analysis of the external walls, considering the observations in the norm NBR 15220 (2005), and the standard project NBR 15575 (2008) for the bioclimatic zone 3, more specifically for the city of Porto Alegre, RS, in order to analyses the possibility of the formation of mold, considering for that the Germany norms DIN 4108-3 (2001), DIN EN ISO 13788 (2002), as well as the standard norm project DIN 4108-08 (1999). The results of the work show that is necessary the review of the overall heat transmission coefficient for the bioclimatic zone 3 in order to avoid the formation of mold in the internal wand surfaces.

Key-words: Mold formation, Mold in the buildings, humidity in the walls.

1. INTRODUÇÃO

Em climas com invernos rigorosos a temperatura da superfície interior de paredes exteriores, conjuntamente com a umidade presente no espaço interior, são determinantes na formação de mofo e bolor nas superfícies interiores. Há alguns anos atrás se acreditava que a condensação era pressuposto básico para o surgimento de mofo e bolor, atualmente, vários estudos apontam que um intervalo de temperatura e umidade relativa do ar adequados possibilitam a formação de mofo e bolor. Os estudos de Sedlbauer (2001) mostram que elevadas taxas de umidade relativa do ar, acima de 80%, com temperaturas acima de 10°C são condições ideais para a formação das mais de 200 espécies existentes de mofo e bolor. Em alguns casos taxas de umidade relativa do ar acima dos 65%, por longos intervalos de tempo, com temperaturas mais elevadas proporcionam condições satisfatórias para a intensificação do problema, conjugados nesses casos especiais com a falta de ventilação. No que concerne aos nutrientes os estudos de Sedlbauer (2001) mostram que uma parede suja já é o suficiente para o crescimento de mofo e bolor, nesse sentido a falta de ventilação do espaço interior passa a ser, conjuntamente, com elevadas taxas de umidade do ar e temperaturas acima de 10°C condições ideais para a formação de mofo e bolor. O mercado responde a problemática do aparecimento do mofo com tintas especiais com microbiocidas, porém, a origem do problema relaciona-se, principalmente, às características da envolvente da edificação, e à falta de ventilação.

A partir da publicação da NBR 15220 (2005), como também considerando a apresentação e discussão da norma NBR 15575 (2008), foram definidos os parâmetros a serem respeitados no que diz respeito à envolvente construída. Nesse sentido, inúmeros trabalhos voltados à qualidade do ar interior têm sido desenvolvidos no sentido de analisar o desempenho dos fechamentos propostos pelas normas brasileiras.

No caso da cidade de Porto Alegre, RS, localizada na zona bioclimática 3, os parâmetros definidos permitem a definição da envolvente exterior, paredes nesse caso, com o coeficiente global de transmissão térmica igual a 3,6 W/m²°C, acordando com a NBR 15220 (2005). De posse desses dados iniciais apresenta-se neste artigo a simulação da temperatura superficial interna e da umidade relativa do ar nas proximidades da superfície interna das paredes exteriores, objetivando verificar a possibilidade de formação de mofo e bolor, considerando para tanto, as prescrições das normas alemãs DIN 4108-3 (2001), DIN EN ISO 13788 (2002) e o projeto de norma DIN 4108 parte 8 (1999), as quais fixam parâmetros de umidade nas superfícies internas a serem respeitados no que concerne à formação de mofo e bolor.

Para a realização das simulações foi utilizada a base de dados gerada por Goulart et al (1998) para a cidade de Porto Alegre, mais especificamente, a temperatura de projeto, para o período frio, segundo a ASHRAE (1993) e sugerida pelos autores citados de 3°C. Na atualidade as discussões sobre os problemas de formação de mofo e bolor restringem-se apenas ao que concerne à ventilação natural das edificações, nesse sentido é apresentado neste artigo uma análise da problemática mencionada com uma atenção especial ao contexto climático do sul do país, mais especificamente Porto Alegre, RS, onde as baixas temperaturas exteriores somadas às paredes exteriores com menores resistências térmicas, proporcionam temperaturas superficiais interiores baixas e, conjuntamente com o aumento da umidade absoluta dos espaços em decorrência do uso, geram altas taxas de umidade relativa do ar nas regiões próximas das paredes por muito tempo, proporcionando áreas ideais para o surgimento e crescimento de mofo e bolor.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é apresentar uma análise sobre a formação de mofo e bolor nas superfícies internas das paredes exteriores das edificações brasileiras, considerando as observações da norma NBR 15220 (2005) e NBR 15575 (2008) para a zona bioclimática 3. A análise foi realizada, mais especificamente, para a cidade de Porto Alegre, RS, considerando para tanto, as normas alemãs DIN 4108-03 (2001), DIN EN ISO 13788 (2002) como também o projeto de norma DIN 4108-08 (1999).

3. METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida em seis etapas. A primeira, caracterizada pela revisão de literatura, na qual foram analisadas bibliografias sobre fungos, mais especificamente, sobre mofo e bolor. Foram observadas também as normas DIN 4108, parte 3 (2001), como também a DIN EN ISO 13788 (2002), que definem as prescrições a serem seguidas com o objetivo de evitar a formação de fungos no interior das edificações, danificando a pintura das superfícies interiores.

Na segunda etapa foram definidos os fechamentos verticais externos a serem analisados para o caso da cidade de Porto Alegre. Foram escolhidos dois tipos de paredes, conforme as figuras 1 e 2, parede de tijolo maciço com 10 cm de espessura, com coeficiente global de transmissão térmica de 3,7 W/m²°C, e parede de tijolos 6 furos, com coeficiente global de transmissão térmica de 2,5 W/m²°C. A parede de tijolo

maciço foi escolhida em decorrência de ser muito utilizada em habitações de interesse social, apresentando uma transmitância alta caracterizando um fechamento de baixa resistência térmica. Já a parede de tijolo furado caracteriza um fechamento comumente utilizado em habitações residenciais de maior padrão econômico, com a variante da presença da câmara de ar entre os tijolos furados.

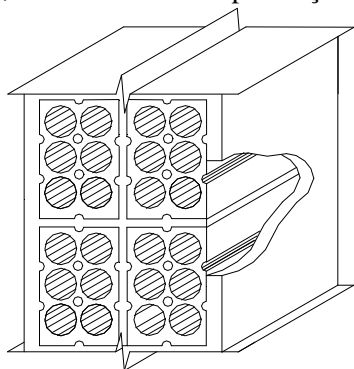


Figura 1 – Parede analisada
Fonte: NBR 15575 (2008)

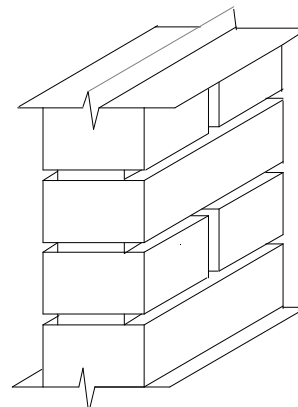


Figura 2 – Parede analisada
Fonte: NBR 15575 (2008)

A terceira etapa do trabalho foi caracterizada pelo cálculo da temperatura superficial interna das paredes exteriores, já apresentadas nas figuras 1 e 2. Para a realização das simulações descritas foram definidos três cenários para a temperatura interior, os mesmos estão em consonância com a NBR 15575 (2008) - 12°C, 15°C e 17°C. As simulações das temperaturas internas foram realizadas com base na utilização de planilhas eletrônicas. A temperatura externa simulada é oriunda do trabalho de Goulart (1998), temperatura de projeto para período frio de 3°C para a cidade de Porto Alegre, RS. A resistência superficial interna foi definida com base na leitura da norma DIN 4108-3 (2001). São observados dois tipos de ambientes – aquecidos e não aquecidos – e sugeridos para cada um deles as respectivas resistências térmicas superficiais internas 0,25 m²C/ W e 0,17 m²C/ W.

A quarta etapa de realização da pesquisa foi caracterizada a partir da definição da umidade absoluta do ambiente interior. Com base na umidade absoluta do espaço interior, 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 e bolor. 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. Foram analisados dois usos para o ambiente interior, dormitório e cozinha, considerando diferentes emissões de umidade para o espaço interior.

Na quinta etapa da pesquisa foi observada a umidade relativa do ar interior nas proximidades das superfícies interiores de paredes exteriores, analisando com isso o perigo de formação de mofo e bolor. Na sexta e última etapa do trabalho foi definido o coeficiente global de transmissão térmica máximo para evitar a formação de mofo e bolor em superfícies internas de paredes exteriores de tipologias residenciais na cidade de Porto Alegre.

4. ASPECTOS RELEVANTES DA FORMAÇÃO DE MOFO E BOLOR

Segundo Kießl e Sedlbauer (2001) é muito comum na atualidade, junto a processos judiciais, as causas estarem vinculadas ao surgimento de mofo nas edificações. Nesses casos, está como questão de fundo se a responsabilidade é do construtor ou se é apenas um caso de uso inadequado. O fato é que o mofo só aparecerá se as condições para a sua formação forem satisfeitas. A umidade tem um papel muito importante neste contexto. São conhecidos os danos causados pela umidade e pelo mofo, e antes de tudo são formados pelas seguintes causas: nível de isolamento insuficiente e pontes de calor; elevada resistência superficial, por exemplo, através 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. Aos poucos o paradigma que a condensação é pressuposto básico para a formação de mofo e bolor vai sendo quebrado. Hoje é sabido e divulgulado que a umidade é a principal condição para a formação de fungos em superfícies de paredes. Obviamente, existem outros pressupostos como o substrato para o desenvolvimento dos fungos, como também temperatura adequada. Kießl e Sedlbauer (2001) 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 e bolor. Nas novas versões das normas DIN 4108, partes 2 (2003) e 3 (2001), e na DIN 13788 (2002), são apresentadas as umidades críticas das superfícies considerando a formação de mofo e bolor, como definidas as exigências a serem cumpridas. A norma DIN 68800 (1974) determina as exigências necessárias para a proteção da madeira contra possíveis danos causados por insetos, mofo e umidade. Kiebl e Sedlbauer (2001) colocam também que a norma DIN 4108-2 (2003), contrariando a edição de 1981, aumentou os valores mínimos das resistências de paredes e telhados e conteve pela primeira vez exigências com relação à formação de mofo e bolor. A nova norma definiu como condição de crescimento do mofo a umidade relativa do ar acima de 80%. Na norma podem ser observados ainda os coeficientes de resistência superficial interno para paredes sugeridas para espaços aquecidos e não aquecidos, sendo respectivamente 0,25 m²K/W e 0,17 m²K/W, sendo de 0,04 m²K/W a resistência térmica superficial externa. É importante destacar que essas variações no que diz respeito aos coeficientes de resistência superficial interno sugeridos pela DIN 4108-2 (2003) causam discrepâncias no que diz respeito às temperaturas superficiais dos fechamentos verticais. Para as temperaturas internas sugeridas, com base na utilização dos coeficientes de resistência superficial sugeridos pela DIN 4108-2 (2003) para paredes aquecidas e não aquecidas, as temperaturas superficiais para salas com mesma temperatura interna são distintas, conforme as figuras 3 e 4.

Observa-se também a possibilidade de origem de mofo e bolor quando da presença de móveis frente a paredes externas, como estantes, por exemplo. Para o cálculo da temperatura superficial interior de paredes externas, quando da presença de estantes ocupando toda a parede, são sugeridos os seguintes coeficientes de resistência superficial interno: 1,0 m²K/W para estante ocupando toda a parede; 0,5 m²K/W para estantes que não ocupam toda a parede e 0,25 m²K/W para cortinas.

Apesar das normas alemãs fixarem o problema da possibilidade de formação de mofo e bolor 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. Além da umidade relativa, conforme já caracterizado, são necessários ainda a presença de um substrato e temperatura adequados.

5. RESULTADOS

5.1 Definição das condições limite e dos coeficientes global de transmissão térmica

Conforme já caracterizado no item anterior foram utilizadas as condições de projeto segundo a ASHRAE (1993) para a realização da análise, definidas por Goulart (1998) e apresentadas na tabela 1.

Tabela 1 – Temperatura de projeto para o inverno

Nível de frequência (%)	Temperatura do ar (°C)	Direção dominante do vento	Segunda direção dominante do vento	Velocidade do vento (m/s)
99	3,0	N	W/NW	0,4

Fonte: Goulart (1998)

Tabela 2 – Coeficiente global de transmissão térmica para a zona bioclimática 3

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)	$U \leq 2,5$	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$

(1) Coeficiente global de transmissão térmica 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 (2008)

Os coeficientes globais de transmissão térmica foram obtidos com base na NBR 15220 (2005), Zona Bioclimática 3, conforme tabela 2.

5.2 Cálculo da temperatura superficial das paredes exteriores

Com base na definição das três temperaturas desejadas para o espaço interior, em consonância com a NBR 15575 (2008), foi calculada a temperatura superficial interior das paredes exteriores para as configurações 1 e 2 (2,5 W/m²°C e 3,7 W/m²°C). As figuras 3 e 4 apresentam os resultados da análise das temperaturas superficiais internas dos fechamentos exteriores.

5.3 Cálculo da umidade absoluta dos espaços interiores

Para a determinação da umidade absoluta dos espaços interiores foram trabalhados duas possibilidades de uso, dormitório e cozinha. Para o dormitório foi considerada a emissão de 1,66 gramas de vapor d'água por hora por pessoa. Para a cozinha, considerando o cozimento de alimentos, foram considerados 24,44 gramas de vapor d'água por hora. Com os dados de projeto para o inverno de Goulart (1998), foi possível definir a umidade absoluta do contexto exterior, 5,33 g vapor d'água/kg ar seco. Conforme já caracterizado foram trabalhadas duas taxas de renovação do ar do ambiente interior, 0,5 e 1. Para a taxa de renovação de 0,5 a umidade absoluta do dormitório e da cozinha respectivamente apresentaram os seguintes valores: 4,7 g vapor d'água/kg ar seco e 14,7 g vapor d'água/kg ar seco. Para a taxa de uma renovação por hora a umidade absoluta dos espaços mencionados é de 4,1 g vapor d'água/kg ar seco.

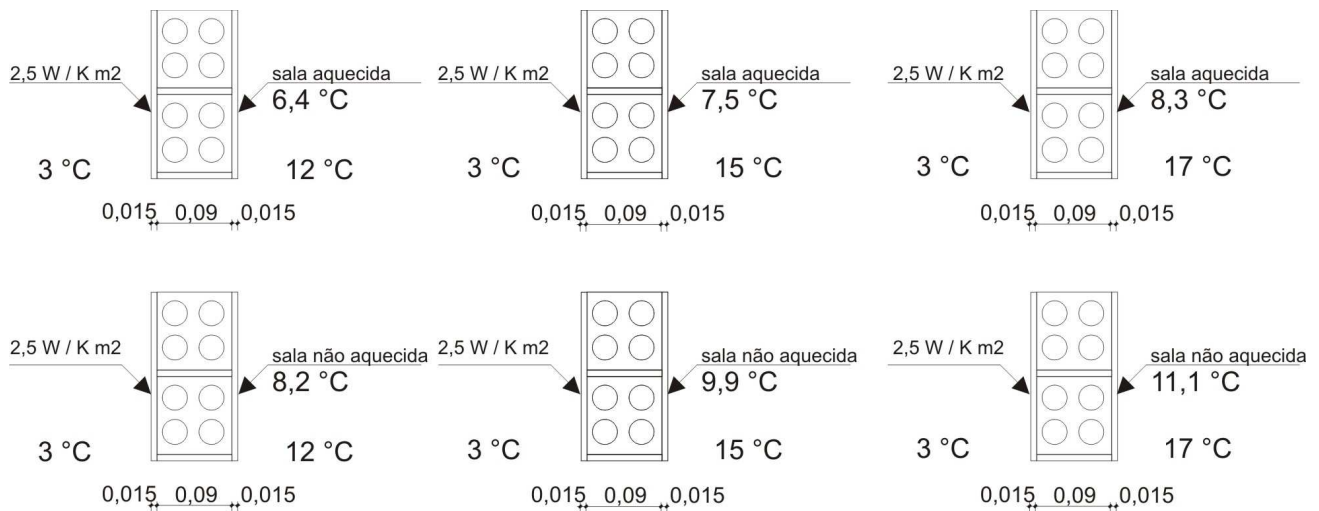


Figura 3 – Temperaturas superficiais – parede $U = 2,5 \text{ W/m}^2\text{°C}$

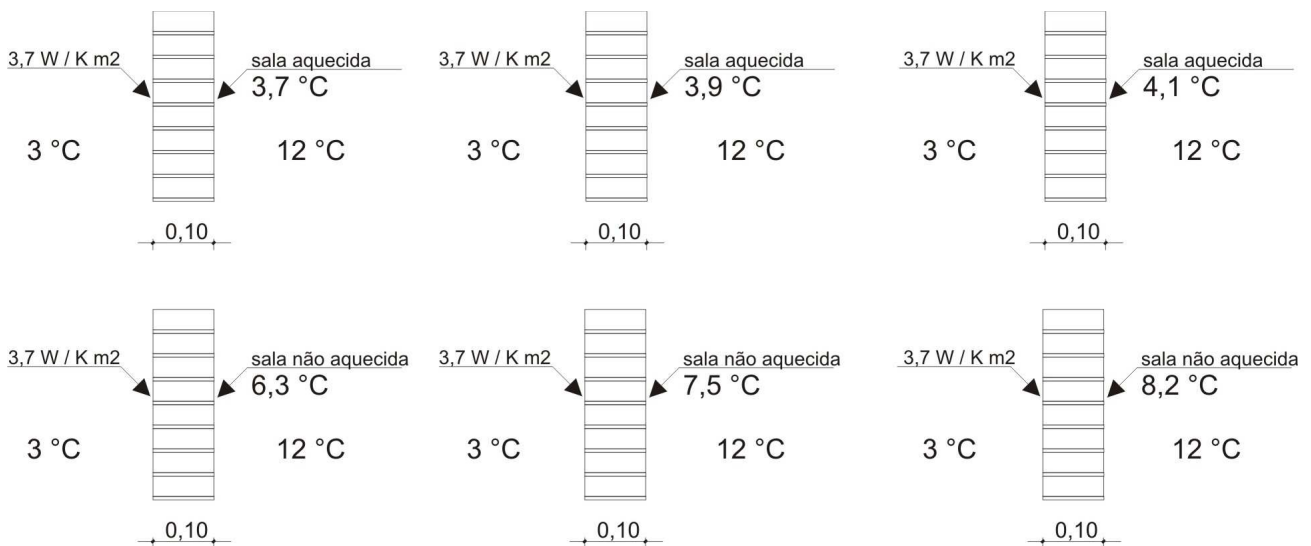


Figura 4 – Temperaturas superficiais – parede $U = 3,7 \text{ W/m}^2\text{°C}$

5.4 Verificação da umidade relativa do ar nas proximidades da superfície interior das paredes exteriores

Com base na temperatura superficial das paredes, como também da umidade absoluta dos ambientes, foi possível determinar a taxa de umidade relativa do ar nas proximidades das superfícies interiores das paredes exteriores. As tabelas 3, 4, 5 e 6 apresentam os resultados da determinação da umidade relativa do ar nas regiões já mencionadas.

No caso do dormitório com parede exterior com um coeficiente global de transmissão térmica igual a $2,5 \text{ W/m}^2\text{°C}$, observa-se que com uma renovação do ar interior por hora não há nenhum perigo de formação de mofo e bolor na superfície interior de paredes exteriores, conforme tabela 3. No caso de uma taxa de 0,5

renovação do ar interior por hora, para espaços aquecidos, a umidade relativa do ar nas proximidades da superfície interior de paredes exteriores, para 15°C e 17°C, fica por volta de 73% e 79%. Conforme já observado, não há uma grande probabilidade de formação de mofo e bolor, porém, o fato não pode ser descartado, já que os valores estão acima de 70%.

Já para as paredes exteriores com uma coeficiente global de transmissão térmica de 3,7 W/m²°C observou-se o problema constante da possibilidade de ocorrência de mofo e bolor, tanto para espaços aquecidos, como também para não aquecidos. Tanto para a taxa de renovação igual a 1 como também para a igual 0,5, observou-se que a umidade relativa do ar nas proximidades das superfícies interiores de paredes exteriores esteve acima dos 80%. Para a taxa de renovação de 0,5, considerando as temperaturas internas de 12°C, 15°C e 17°C, as taxas de umidade relativa do ar calculadas são de 93%, 94% e 95%, para espaços aquecidos. Para os espaços não aquecidos as taxas de umidade relativa do ar estão abaixo dos 80%, porém, acima dos 70%, configurando alguma possibilidade da presença de mofo e bolor. Para a taxa de uma renovação por hora observam-se os valores de umidade relativa do ar de 83%, 81% e 80%, conforme tabela 4.

Tabela 3 – Umidade relativa do ar próximo da superfície interior de parede exterior - dormitório

Dormitório – U = 2,5 W/m²°C – 0,5 taxa de renovação do ar interior											
Temp. 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 (%)	
	Interno (%)	externo (%)	Interno	Externo	Interno (°C)	Externo (°C)		Espaço aquecido	Espaço não aquec.	Espaço aquecido	Espaço não aquec.
12°C	54	86	4,7	4,1	12	3	3,1	6,4	8,2	79	70
15°C	44	86	4,7	4,1	15	3	3,1	7,5	9,9	73	62
17°C	38	86	4,7	4,1	17	3	3,1	8,3	11,1	69	57

Dormitório – U = 3,7 W/m²°C – 0,5 taxa de renovação do ar interior											
Temp. Interior	Umidade relativa do ar		Umidade absoluta do ar (g VA/kg AS)		Temperatura do ar		Ponto de orvalho Espaço aquecido	Temperatura da superfície (°C)		Umidade relativa nas proximidades da parede (%)	
	externo (%)	Interno (%)	Externo	Interno (°C)	Espaço aquecido	Espaço não aquec.		Espaço aquecido	Espaço não aquec.	Espaço aquecido	Espaço não aquec.
12°C	54	86	4,7	4,1	12	3	3,1	3,7	6,3	95	78
15°C	44	86	4,7	4,1	15	3	3,1	3,9	7,5	94	73
17°C	38	86	4,7	4,1	17	3	3,1	4,1	8,2	93	70

Tabela 4 – Umidade relativa do ar próximo da superfície interior de parede exterior - dormitório

Dormitório – U = 2,5 W/m²°C – 1,0 taxa de renovação do ar interior											
Temp. 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 nas proximidades da parede (%)	
	Interno (%)	externo (%)	Interno	Externo	Interno (°C)	Externo (°C)		Espaço aquecido	Espaço não aquecido	Espaço aquecido	Espaço não aquecido
12°C	47	86	4,1	4,1	12	3	1,2	6,4	8,2	69	60
15°C	38	86	4,1	4,1	15	3	1,2	7,5	9,9	64	55
17°C	34	86	4,1	4,1	17	3	1,2	8,3	11,1	59	51

Dormitório – U = 3,7 W/m²°C – 1,0 taxa de renovação do do ar interior											
Temp. 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 nas proximidades da parede (%)	
	Interno (%)	externo (%)	Interno	Externo	Interno (°C)	Externo (°C)		Espaço aquecido	Espaço não aquec.	Espaço aquecido	Espaço não aquec.
12°C	47	86	4,1	4,1	12	3	1,2	3,7	6,3	83	70
15°C	38	86	4,1	4,1	15	3	1,2	3,9	7,5	81	64
17°C	34	86	4,1	4,1	17	3	1,2	4,1	8,2	80	61

No caso da cozinha, em decorrência dos altos valores de umidade liberado pelo cozimento de alimentos, verifica-se que para a taxa de renovação do ar de 0,5, considerando as três temperaturas simuladas, tanto para as paredes exteriores com U igual a 2,5 W/m²°C, como também para as com U igual a 3,7 W/m²°C, a umidade relativa do ar nas proximidades da superfície interior das paredes exteriores é de 100%, ou seja, com condensação da umidade do ar, conforme as tabelas 5 e 6.

Tabela 5 – Umidade relativa do ar próximo da superfície interior de parede exterior - cozinha

Cozinha – U = 2,5 W/m²°C – 0,5 taxa de renovação do ar interior											
Temp. 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 nas proximidades da parede (%)	
	Interno (%)	externo (%)	Interno	Externo	Interno (°C)	Externo (°C)		Espaço aquecido	Espaço não aquec.	Espaço aquecido	Espaço não aquec.
12°C	100	86	14,4	4,1	12	3	19,5	6,4	8,2	100	100
15°C	100	86	14,4	4,1	15	3	19,5	7,5	9,9	100	100
17°C	100	86	14,4	4,1	17	3	19,5	8,3	11,1	100	100
Cozinha – U = 3,7 W/m²°C – 0,5 taxa de renovação do ar interior											
Temp. 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 nas proximidades da parede (%)	
	Interno (%)	externo (%)	Interno	Externo	Interno (°C)	Externo (°C)		Espaço aquecido	Espaço não aquec.	Espaço aquecido	Espaço não aquec.
12°C	100	86	14,4	4,1	12	3	19,5	3,7	6,3	100	100
15°C	100	86	14,4	4,1	15	3	19,5	3,9	7,5	100	100
17°C	100	86	14,4	4,1	17	3	19,5	4,1	8,2	100	100

Tabela 6 – Umidade relativa do ar próximo da superfície interior de parede exterior - cozinha

Cozinha – U = 2,5 W/m²°C – 1,0 taxa de renovação do ar interior											
Temp. 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 nas proximidades da parede (%)	
	Interno (%)	externo (%)	Interno	Externo	Interno (°C)	Externo (°C)		Espaço aquecido	Espaço não aquec.	Espaço aquecido	Espaço não aquec.
12°C	47	86	4,1	4,1	12	3	1,2	6,4	8,2	69	60
15°C	38	86	4,1	4,1	15	3	1,2	7,5	9,9	64	55
17°C	34	86	4,1	4,1	17	3	1,2	8,3	11,1	59	51
Cozinha – U = 3,7 W/m²°C – 1,0 taxa de renovação do ar interior											
Temp. 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 nas proximidades da parede (%)	
	Interno (%)	externo (%)	Interno	Externo	Interno (°C)	Externo (°C)		Espaço aquecido	Espaço não aquec.	Espaço aquecido	Espaço não aquec.
12°C	47	86	4,1	4,1	12	3	1,2	3,7	6,3	83	70
15°C	38	86	4,1	4,1	15	3	1,2	3,9	7,5	81	64
17°C	34	86	4,1	4,1	17	3	1,2	4,1	8,2	80	61

Considerando a taxa de renovação do ar igual a 1,0, para as paredes com U igual a 3,7 W/m²°C, tabela 6, para espaços interiores aquecidos, as taxas de umidade relativa do ar nas superfícies interiores das paredes exteriores estão acima dos 80%, apresentando, portanto, perigo de formação de mofo e bolor. Para espaços não aquecidos, não se verifica o perigo de formação de mofo e bolor. Já para as paredes com coeficiente global de transmissão térmica igual a 2,5 W/m²°C a umidade relativa do ar nas proximidades da superfície interior das paredes exteriores, considerando as temperaturas internas analisadas, está abaixo dos 70%, não apresentando, portanto, perigo quanto à formação de mofo e bolor.

5.5 Cálculo do coeficiente global de transmissão térmica máximo para evitar a formação de mofo e bolor nas superfícies interiores das paredes exteriores

Para que seja possível determinar o coeficiente global de transmissão térmica máximo, considerando as condições limite climáticas, como também as três temperaturas internas analisadas (12°C, 15°C e 17°C), observam-se as umidades absolutas dos espaços analisados, como também o limite máximo de umidade relativa do ar nas proximidades da superfície interior de paredes exteriores (80%).

As tabelas 7, 8 e 9 caracterizam a definição do coeficiente global de transmissão térmica máximo para evitar a formação de mofo e bolor nas superfícies analisadas.

Tabela 7 – Coeficiente global de transmissão térmica máximo de paredes exteriores para evitar a formação de mofo e bolor no sul do país – Zona Bioclimática 3

Temperatura interior igual - $\theta_i = 12^\circ\text{C}$					
	Espaços aquecidos		Espaços não aquecidos		
Dormitório			Cozinha		
3°C e 12°C			3°C e 12°C		
1 troca de ar			1 troca de ar		
4,1 g/kg ar seco			4,1 g/kg de ar seco		
$\theta_{\min} (^\circ\text{C}) = 4,1$			$\theta_{\min} (^\circ\text{C}) = 4,1$		
$\phi/A = \text{W/m}^2$ fluxo calor	31,60	46,47	$\phi/A = \text{W/m}^2$ fluxo calor	31,60	46,47
$U_{\maxi} = \text{W/m}^2\text{°C}$	3,51	5,16	$U_{\maxi} = \text{W/m}^2\text{°C}$	3,51	5,16
3°C e 12°C					
0,5 troca de ar					
$\theta_{\min} (^\circ\text{C}) = 6$	4,7 g/kg ar seco				
$\phi/A = \text{W/m}^2$ fluxo calor	24,00	35,29			
$U_{\maxi} = \text{W/m}^2\text{°C}$	2,67	3,92	* O valor limite da umidade relativa do ar é de 80%;		

Tanto para o dormitório como também para a cozinha observa-se que a temperatura mínima da superfície interior de paredes exteriores, considerando uma renovação de ar por hora, e uma umidade absoluta do ambiente de 4,1 g de vapor d'água/kg de ar seco, é de 4,1 °C. Para uma taxa de renovação do ar de 0,5, para um dormitório, com uma taxa de umidade absoluta de 4,7 g de vapor d'água / kg de ar seco, a temperatura mínima da superfície interior de paredes exteriores é de 6 °C. Já para a cozinha, a taxa de umidade relativa do ar é de 14,4 g de vapor d'água / kg de ar seco, e a temperatura mínima é de 23 °C, bem acima da condição interior.

As temperaturas mínimas foram observadas também considerando o perigo de formação de mofo e bolor, ou seja, com taxas de umidade relativa do ar acima de 70%. Para a taxa de umidade absoluta do ar de 4,7 e 4,1 g de vapor d'água / kg de ar seco as temperaturas superficiais mínimas são respectivamente 8°C e 6,2°C. A análise demonstra que para evitar a formação de mofo e bolor nas superfícies internas de paredes exteriores, considerando as temperaturas internas desejadas, como também as condições climáticas limite local, é necessário uma parede com um coeficiente global de condutibilidade térmica de no máximo 2,7 W/m²°C.

Tabela 8 – Coeficiente Global de Transmissão Térmica máximo de paredes exteriores para evitar a formação de mofo e bolor no sul do país – Zona Bioclimática 3

Temperatura interior igual - $\theta_i = 15^\circ\text{C}$					
	Espaços aquecidos		Espaços não aquecidos		
Dormitório			Cozinha		
3°C e 15°C			3°C e 15°C		
1 troca de ar			1 troca de ar		
4,1 g/kg ar seco			4,1 g/kg de ar seco		
$\theta_{\min} (^\circ\text{C}) = 4,1$			$\theta_{\min} (^\circ\text{C}) = 4,1$		
$\phi/A = \text{W/m}^2$ fluxo calor	43,60	64,12	$\phi/A = \text{W/m}^2$ fluxo calor	43,60	64,12
$U_{\maxi} = \text{W/m}^2\text{°C}$	3,63	5,34	$U_{\maxi} = \text{W/m}^2\text{°C}$	3,63	5,34
3°C e 15°C					
4,7 g/kg ar seco					
$\theta_{\min} (^\circ\text{C}) = 6$					
$\phi/A = \text{W/m}^2$ fluxo calor	36,00	52,94			
$U_{\maxi} = \text{W/m}^2\text{°C}$	3,00	4,41	* O valor limite da umidade relativa do ar é de 80%;		

Tabela 9 – Coeficiente Global de Transmissão Térmica máximo de paredes exteriores para evitar a formação de mofo e bolor no sul do país – Zona Bioclimática 3

Temperatura interior igual - $\theta_i = 17^\circ\text{C}$					
	Espaços aquecidos		Espaços não aquecidos		
Dormitório			Cozinha		
3°C e 17°C			3°C e 17°C		
1 troca de ar			1 troca de ar		
4,1 g/kg ar seco			4,1 g/kg de ar seco		
$\theta_{\min} (\text{°C}) = 4,1$			$\theta_{\min} (\text{°C}) = 4,1$		
$\phi/A = \text{W/m}^2$ fluxo calor	51,60	75,88	$\phi/A = \text{W/m}^2$ fluxo calor	51,60	75,88
$U_{\maxi} = \text{W/m}^2\text{°C}$	3,69	5,42	$U_{\maxi} = \text{W/m}^2\text{°C}$	3,69	5,42
3°C e 17°C					
4,7 g/kg ar seco					
$\theta_{\min} (\text{°C}) = 6$					
$\phi/A = \text{W/m}^2$ fluxo calor	44,00	64,71			
$U_{\maxi} = \text{W/m}^2\text{°C}$	3,14	4,62	* O valor limite da umidade relativa do ar é de 80%;		

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise apresentada caracterizou claramente o perigo da formação de mofo e bolor junto à superfície interior de paredes exteriores considerando, em boa parte dos resultados, a umidade relativa do ar na zona próxima à superfície acima dos 80%, valor limite definido pela DIN 4108-3 (2001), tanto para a temperatura interna de 12°C, como também para as de 15°C e 17°C. Os maiores problemas de excessiva umidade e por conseguinte perigo de formação de mofo encontram-se junto a espaços aquecidos. A análise demonstrou também que as paredes exteriores com um coeficiente global de transmissão térmica igual a 3,7 W/m²°C não são adequadas no que diz respeito à proteção contra a formação de mofo e bolor, por não apresentarem um isolamento condizente com a necessidade. O coeficiente global de transmissão térmica máximo no que diz respeito à formação de mofo e bolor nas superfícies interiores de paredes exteriores é de 2,7 W/m²°C.

Novos estudos em relação à formação de fungos nas superfícies internas de paredes exteriores devem ser conduzidos, principalmente no que tange a lugares problemáticos, como atrás de cortinas e estantes, considerando às prescrições das normas DIN ISO 10211-1 (1995) e o projeto de norma DIN 4108-8 (1999), que fixam as condições de análise das superfícies mencionadas.

É necessário também que a NBR 15575 (2008) considere o problema da formação de mofo e bolor nas superfícies internas, principalmente, de paredes exteriores, considerando a adversidade climática no período de inverno no sul do país.

Um último importante aspecto a ser destacado na conclusão relaciona-se com a periodicidade dos dados climáticos. Na análise apresentada trabalhou-se com os valores de projeto para a caracterização do dia típico de inverno para a cidade de Porto Alegre, de acordo com a metodologia da ASHRAE (1993), necessitando-se, portanto, uma análise futura da formação de mofo e bolor considerando intervalos contínuos de dias e semanas com o objetivo de verificar a periodicidade da manutenção das temperaturas e taxas de umidade relativa dentro dos padrões considerados ideais para o surgimento e desenvolvimento de mofo e bolor nas superfícies de análises.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHRAE, **Weather Data and Design Conditions**. In: **ASHRAE Handbook - Fundamentals**, New York, cap. 24. 1993.
- 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.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 4108-2 - Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz**. Berlin, 2003.
- 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.

- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG: E-DIN 4108 – **Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden**. Teil x: **Vermeidung von Schimmelpilzen**. Beuth-Verlag, Berlin, 1999.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 68800-1 Holzschutz im Hochbau: Allgemeines**. Berlin: Beuth, 1974.
- GOULART, Solange V. G. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras – 2**. Ed. / Solange V. G. Goulart, Roberto Lamberts, Samanta Firmino. – Florianópolis: **Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC**, 345 Seiten, 1998.
- INTERNATIONAL ORGANISATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 13788. Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren – Berechnungsverfahren**. Österreich, 2002.
- INTERNATIONAL ORGANISATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 10211-1. Thermal bridges in building construction. Heat flows and surface temperatures. Part 1: General calculation methods**. Berlin: Beuth, 1995.
- LAMBERTS, Roberto; Dutra, Luciano; Pereira, Fernando O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: Procel., 1997.
- KIEßL, Kurt, SEDLBAUER, Klaus. **Neue Erkenntnisse zur Beurteilung von Schimmelpilzen e Stand der Normenbearbeitung**. Weimar. 19 Seiten, 2001.
- SEDLBAUER, Klaus. **Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf e in Bauteilen**. Dissertation. Stuttgart. 105 Seiten, 2001.
- TOLEDO, Eustáquio. **Ventilação natural das habitações**. Maceió: EDUFAL, 1999.

8. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao CNPq, que apoiou a realização da pesquisa com uma bolsa de estágio Pós-doutoral no departamento de Energia e Meio Ambiente, da Universidade de Kassel, Alemanha, entre setembro de 2007 e abril de 2008.