

## **51 - 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 PNBR 02.136.01**

### ***Verification of the Formation of Mold and Mildew on Inner Surfaces of Outer Walls Located in the Bioclimatic Zone 3 in Accordance with the Standards Nbr 15220 and Pnbr 02.136.01***

**CUNHA, Eduardo Grala da (1); VAUPEL, Karin (2); LÜKING Rolf-Michael (3)**

(1) Doutor, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – Curso de Arquitetura e Urbanismo – Universidade de Passo Fundo, Brasil – egcunha@upf.br – bolsista CNPq

(2) Doutor, Architekturfakultät, Energie und Umwelt, Universität Kassel, Alemanha – karin@uni-kassel.de

(3) Doutor, Architekturfakultät, Energie und Umwelt, Universität Kassel, Alemanha – lueking@uni-kassel.de

#### **Resumo**

A partir da publicação da norma brasileira NBR 15220 houve uma padronização inicial na definição das características construtivas necessárias no sentido de fomentar a melhoria do desempenho térmico das edificações, já que foram definidos parâmetros para distintos contextos regionais, 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 conseqüência, 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 paredes exteriores, considerando as observações da norma NBR 15220 (2005) e o projeto de norma PNBR 02.136.01 (2002) para a zona bioclimática 3, mais especificamente, 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 (2003), DIN EN ISO 13788 como também o projeto de norma DIN 4108-08 (1999) . Os resultados do trabalho mostraram que é necessário uma revisão do coeficiente global de transmissão térmico 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**

*After the publication of the Brazilian standard NBR 15220 a standardization occurred in the definition of necessary constructive characteristics, in order to develop the thermal performance of buildings, considering that different parameters were defined for distinct regional contexts, characterized by different bioclimatic zones. Although the normative definitions aim to maintain the quality of the inner air of buildings, there are*

*still aspects that must be better examined. The formation of mold in the inner surfaces of the outer walls is one of such aspects. In walls with high overall heat transmission coefficient, and obviously with low thermal resistance, the inner surface temperatures are very low, and with the increase of absolute humidity, considering the different sources of internal humidity, the problem of the appearance of mold can be observed, mostly behind curtains and wood shelves. This paper presents an analysis of outer walls, considering the observations in the standard NBR 15220 (2005), and the standard project PNBR 02.136.01 (2002) for the bioclimatic zone 3, more specifically the city of Porto Alegre, RS, in order to analyze the possibility of the formation of mold, considering for that the Germany standards DIN 4108-3 (2003), DIN EN ISO 13788, as well as the normative project DIN 4108-08 (1999). The results of the study 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 on the inner walls' surfaces.*

**Keywords:** *Mold Formation; Mold in Buildings; Humidity in the walls.*

## **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 acreditava-se 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. 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. O mercado responde a problemática do aparecimento do mofo com tintas especiais com microbicidas, 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 em 2005, como também considerando a apresentação e discussão do projeto de norma PNBR 02:136.01 (2002), 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 pela norma e projeto de norma brasileiros.

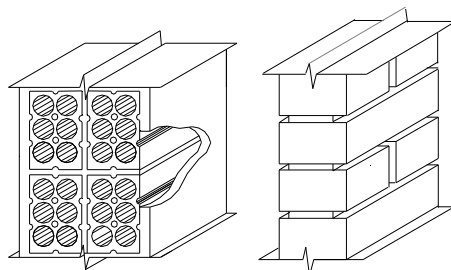
No caso da cidade de Porto Alegre, RS, localizada na zona bioclimática 3, os parâmetros definidos permitem a definição da envolvente exterior, paredes nesse caso, com o coeficiente global de transmissão térmica igual a 3,6 Wh/m<sup>2</sup>°C (NBR 15220) e 3,7 Wh/m<sup>2</sup>°C (PNBR 02:136.01). De posse 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 parte 3, DIN EN ISO 13788 e o projeto de norma DIN 4108 parte 8, as quais fixam parâmetros de umidade nas superfícies internas a serem respeitados.

Para a realização das simulações foi utilizado 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.

## 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, como também a DIN EN ISO 13788, 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 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  $3,7 \text{ Wh/m}^2\text{°C}$ , e parede dupla de tipolos 6 furos, com coeficiente global de transmissão térmica de  $2,5 \text{ Wh/m}^2\text{°C}$ .



Figuras 1 e 2 – Paredes analisadas / Fonte: PNBR 01:136.01

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 o PNBR 02:136.01 -  $12^{\circ}\text{C}$ ,  $15^{\circ}\text{C}$  e  $17^{\circ}\text{C}$ . A temperatura externa simulada é oriundo do trabalho de Goulart (1998), temperatura de projeto para período frio de  $3^{\circ}\text{C}$  para a cidade de Porto Alegre, RS. A resistência superficial interna foi definida com base na leitura da norma DIN 4108-3. São observados dois tipos de ambientes – aquecidos e não aquecidos – e sugeridos para cada um deles as respectivas resistências térmicas superficiais internas  $0,25 \text{ m}^2\text{°C/ Wh}$  e  $0,17 \text{ m}^2\text{°C/ Wh}$ .

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, 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 (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.

### **Aspectos relevantes da formação de mofo e bolor**

Segundo KIEBL 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 divulgado que a umidade é a principal condição para a formação de fungos em superfícies de paredes. Obviamente, que existem outros pressupostos como o substrato para o desenvolvimento dos fungos, como também temperatura adequada. KIEBL 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, que uma parede suja já é suficiente para o crescimento. Nas novas versões das normas DIN 4108, partes 2 e 3, e na DIN 13788, 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 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, 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 pode ser observado ainda os coeficientes de resistência superficial interno sugeridos para espaços aquecidos e não aquecidos, sendo respectivamente 0,25 m<sup>2</sup>K/Wh e 0,17 m<sup>2</sup>K/Wh, sendo de 0,04 m<sup>2</sup>K/Wh a resistência térmica superficial externa. 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 m<sup>2</sup>K/Wh para estante ocupando toda a parede; 0,5 m<sup>2</sup>K/Wh para estantes que não ocupam toda a parede e 0,25 m<sup>2</sup>K/Wh 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.

## Apresentação da Análise Realizada

### 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 <sup>2</sup> °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  $R_{Si} = 0,13 \text{ m}^2\text{°C /Wh}$  e  $R_{Se} = 0,04 \text{ m}^2\text{°C /Wh}$ ; (2) Coeficiente de absorção;

Fonte: adaptado do PNBR 02:136.01

Os coeficientes globais de transmissão térmica foram obtidos a partir do projeto de norma de desempenho térmico das edificações (PNBR), conforme tabela 2.

### Cálculo da temperatura superficial das paredes exteriores

Com base na definição das três temperaturas desejadas para o espaço interior, em consonância com o PNBR 02:136.01, foi calculada a temperatura superficial interior das paredes exteriores para as configurações 1 e 2 (2,5 Wh/m<sup>2</sup>°C e 3,7 Wh/m<sup>2</sup>°C). As figuras 3 e 4 apresentam os resultados da análise das temperaturas superficiais.

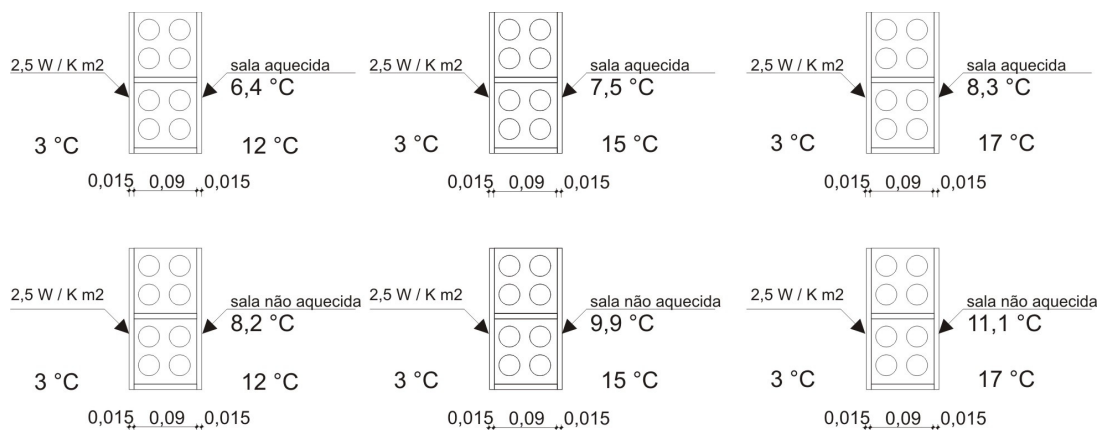


Figura 3 – Temperaturas superficiais – parede U = 2,5 Wh/m<sup>2</sup>°C

### 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 considerado a emissão de 1,66 gramas de vapor d'água por hora. 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 gr 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 gr vapor d'água/Kg ar seco e 14,7 gr vapor d'água/Kg ar seco. Para a taxa de uma renovação por hora a umidade absoluta dos espaços mencionados é de 4,1 gr vapor d'água/Kg ar seco.

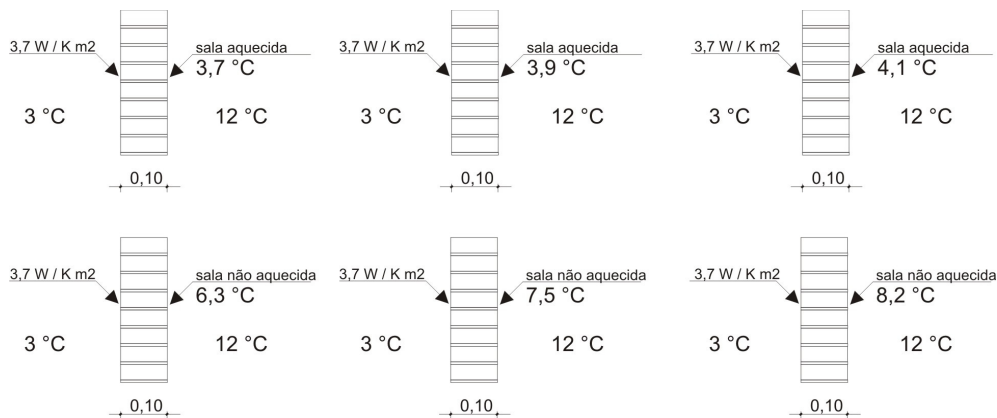


Figura 4 – Temperaturas superficiais– parede  $U = 3,7 \text{ Wh/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$

### 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 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.

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

<b>Dormitório – U = 2,5 W/m<sup>2</sup>°C – 0,5 taxa de renovação do ar interior</b>													
Temp. Interior	Umidade relativa do ar		Umidade absoluta do ar (gr VA/Kg AS)		Temperatura do ar		Ponto de orvalho	Temperatura da superfície (°C)		Umidade relativa nas proximidades da parede (%)		Fator temperatura	
	Interno (%)	externo (%)	Interno	Externo	Interno (°C)	Externo (°C)		Espaço aquecido	Espaço não aquec.	Espaço aquecido	Espaço não aquec.	Espaço aquecido	Espaço não aquec.
<b>12°C</b>	54	86	4,7	4,1	12	3	3,1	6,4	8,2	<b>79</b>	<b>70</b>	0,38	0,58
<b>15°C</b>	44	86	4,7	4,1	15	3	3,1	7,5	9,9	<b>73</b>	62	0,38	0,58
<b>17°C</b>	38	86	4,7	4,1	17	3	3,1	8,3	11,1	69	57	0,38	0,58
<b>Dormitório – U = 3,7 W/m<sup>2</sup>°C – 0,5 taxa de renovação do ar interior</b>													
Temp. Interior	Umidade relativa do ar		Umidade absoluta do ar (gr VA/Kg AS)		Temperatura do ar		Ponto de orvalho	Temperatura da superfície (°C)		Umidade relativa nas proximidades da parede (%)		Fator temperatura	
	externo (%)	Interno (%)	Externo	Interno (°C)	Espaço aquecido	Espaço não aquec.		Espaço aquecido	Espaço não aquec.	Espaço aquecido	Espaço não aquec.	Espaço aquecido	Espaço não aquec.
<b>12°C</b>	54	86	4,7	4,1	12	3	3,1	3,7	6,3	<b>95</b>	<b>78</b>	0,08	0,38
<b>15°C</b>	44	86	4,7	4,1	15	3	3,1	3,9	7,5	<b>94</b>	<b>73</b>	0,08	0,38
<b>17°C</b>	38	86	4,7	4,1	17	3	3,1	4,1	8,2	<b>93</b>	<b>70</b>	0,06	0,36

No caso do dormitório com parede exterior com um coeficiente global de transmissão térmica igual a 2,5 Wh/m<sup>2</sup>°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%.

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

<b>Dormitório – U = 2,5 W/m<sup>2</sup>°C – 1,0 taxa de renovação do ar interior</b>													
Temp. Interior	Umidade relativa do ar		Umidade absoluta do ar (gr VA/Kg AS)		Temperatura do ar		Ponto de orvalho	Temperatura da superfície (°C)		Umidade relativa nas proximidades da parede (%)		Fator temperatura	
	Interno (%)	externo (%)	Interno	Externo	Interno (°C)	Externo (°C)		Espaço aquecido	Espaço não aquecido	Espaço aquecido	Espaço não aquecido	Espaço aquecido	Espaço não aquecido
<b>12°C</b>	47	86	4,1	4,1	12	3	1,2	6,4	8,2	69	60	0,38	0,58
<b>15°C</b>	38	86	4,1	4,1	15	3	1,2	7,5	9,9	64	55	0,38	0,58
<b>17°C</b>	34	86	4,1	4,1	17	3	1,2	8,3	11,1	59	51	0,38	0,58
<b>Dormitório – U = 3,7 W/m<sup>2</sup>°C – 1,0 taxa de renovação do ar interior</b>													
Temp. Interior	Umidade relativa do ar		Umidade absoluta do ar (gr VA/Kg AS)		Temperatura do ar		Ponto de orvalho	Temperatura da superfície (°C)		Umidade relativa nas proximidades da parede (%)		Fator temperatura	
	Interno (%)	externo (%)	Interno	Externo	Interno (°C)	Externo (°C)		Espaço aquecido	Espaço não aquec.	Espaço aquecido	Espaço não aquec.	Espaço aquecido	Espaço não aquec.
<b>12°C</b>	47	86	4,1	4,1	12	3	1,2	3,7	6,3	<b>83</b>	<b>70</b>	0,08	0,38
<b>15°C</b>	38	86	4,1	4,1	15	3	1,2	3,9	7,5	<b>81</b>	64	0,08	0,38
<b>17°C</b>	34	86	4,1	4,1	17	3	1,2	4,1	8,2	<b>80</b>	61	0,06	0,36



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

<b>Cozinha – U = 2,5 W/m<sup>2</sup>°C – 0,5 taxa de renovação do ar interior</b>													
Temp. Interior	Umidade relativa do ar		Umidade absoluta do ar (gr VA/Kg AS)		Temperatura do ar		Ponto de orvalho	Temperatura da superfície (°C)		Umidade relativa nas proximidades da parede (%)		Fator temperatura	
	Interno (%)	externo (%)	Interno	Externo	Interno (°C)	Externo (°C)		Espaço aquecido	Espaço não aquec.	Espaço aquecido	Espaço não aquec.	Espaço aquecido	Espaço não aquec.
<b>12°C</b>	100	86	14,4	4,1	12	3	19,5	6,4	8,2	<b>100</b>	<b>100</b>	0,38	0,58
<b>15°C</b>	100	86	14,4	4,1	15	3	19,5	7,5	9,9	<b>100</b>	<b>100</b>	0,38	0,58
<b>17°C</b>	100	86	14,4	4,1	17	3	19,5	8,3	11,1	<b>100</b>	<b>100</b>	0,38	0,58
<b>Cozinha – U = 3,7 W/m<sup>2</sup>°C – 0,5 taxa de renovação do ar interior</b>													
Temp. Interior	Umidade relativa do ar		Umidade absoluta do ar (gr VA/Kg AS)		Temperatura do ar		Ponto de orvalho	Temperatura da superfície (°C)		Umidade relativa nas proximidades da parede (%)		Fator temperatura	
	Interno (%)	externo (%)	Interno	Externo	Interno (°C)	Externo (°C)		Espaço aquecido	Espaço não aquec.	Espaço aquecido	Espaço não aquec.	Espaço aquecido	Espaço não aquec.
<b>12°C</b>	100	86	14,4	4,1	12	3	19,5	3,7	6,3	<b>100</b>	<b>100</b>	0,08	0,38
<b>15°C</b>	100	86	14,4	4,1	15	3	19,5	3,9	7,5	<b>100</b>	<b>100</b>	0,08	0,38
<b>17°C</b>	100	86	14,4	4,1	17	3	19,5	4,1	8,2	<b>100</b>	<b>100</b>	0,06	0,36

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

<b>Cozinha – U = 2,5 W/m<sup>2</sup>°C – 1,0 taxa de renovação do ar interior</b>													
Temp. Interior	Umidade relativa do ar		Umidade absoluta do ar (gr VA/Kg AS)		Temperatura do ar		Ponto de orvalho	Temperatura da superfície (°C)		Umidade relativa nas proximidades da parede (%)		Fator temperatura	
	Interno (%)	externo (%)	Interno	Externo	Interno (°C)	Externo (°C)		Espaço aquecido	Espaço não aquec.	Espaço aquecido	Espaço não aquec.	Espaço aquecido	Espaço não aquec.
<b>12°C</b>	47	86	4,1	4,1	12	3	1,2	6,4	8,2	69	60	0,38	0,58
<b>15°C</b>	38	86	4,1	4,1	15	3	1,2	7,5	9,9	64	55	0,38	0,58
<b>17°C</b>	34	86	4,1	4,1	17	3	1,2	8,3	11,1	59	51	0,38	0,58
<b>Cozinha – U = 3,7 W/m<sup>2</sup>°C – 1,0 taxa de renovação do ar interior</b>													
Temp. Interior	Umidade relativa do ar		Umidade absoluta do ar (gr VA/Kg AS)		Temperatura do ar		Ponto de orvalho	Temperatura da superfície (°C)		Umidade relativa nas proximidades da parede (%)		Fator temperatura	
	Interno (%)	externo (%)	Interno	Externo	Interno (°C)	Externo (°C)		Espaço aquecido	Espaço não aquec.	Espaço aquecido	Espaço não aquec.	Espaço aquecido	Espaço não aquec.
<b>12°C</b>	47	86	4,1	4,1	12	3	1,2	3,7	6,3	<b>83</b>	<b>70</b>	0,08	0,38
<b>15°C</b>	38	86	4,1	4,1	15	3	1,2	3,9	7,5	<b>81</b>	64	0,08	0,38
<b>17°C</b>	34	86	4,1	4,1	17	3	1,2	4,1	8,2	<b>80</b>	61	0,06	0,36

Já para as paredes exteriores com uma coeficiente global de transmissão térmica de 3,7 Wh/m<sup>2</sup>°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 1 como também para 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, a umidades relativas 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 observa-se os valores de umidade relativa do ar de 83%, 81% e 80%. 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 Wh/m<sup>2</sup>°C, como também para as com U igual a 3,7 Wh/m<sup>2</sup>°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. Considerando a taxa de renovação do ar igual a 1,0, para as paredes com U igual a 3,7 Wh/m<sup>2</sup>°C, 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 verifica-se o perigo de formação de mofo e bolor. Já para as paredes com coeficiente global de transmissão térmica igual a 2,5 Wh/m<sup>2</sup>°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.

### **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 de condutibilidade térmica máximo de paredes exteriores para evitar a formação de mofo e bolor no sul do país**

<b>Temperatura interior igual - <math>t_i = 12^\circ\text{C}</math></b>					
	<b>Espaços aquecidos</b>	<b>Espaços não aquecidos</b>		<b>Espaços aquecidos</b>	<b>Espaços não aquecidos</b>
<b>Dormitório</b>			<b>Cozinha</b>		
3°C e 12°C			3°C e 12°C		
1 troca de ar			1 troca de ar		
<b>4,1 gr/Kg ar seco</b>			<b>4,1 gr/Kg de ar seco</b>		
$t_{\min} (^\circ\text{C}) = 4,1$			$t_{\min} (^\circ\text{C}) = 4,1$		
$\alpha/A = \text{W/m}^2$	31,60	46,47	$\alpha/A = \text{W/m}^2$	31,60	46,47
<b><math>U_{\maxi} = \text{W/m}^2\text{K}</math></b>	<b>3,51</b>	<b>5,16</b>	<b><math>U_{\maxi} = \text{W/m}^2\text{K}</math></b>	<b>3,51</b>	<b>5,16</b>
3°C e 12°C					
0,5 troca de ar					
$t_{\min} (^\circ\text{C}) = 6$	<b>4,7 gr/Kg ar seco</b>				
$\alpha/A = \text{W/m}^2$	24,00	35,29			
<b><math>U_{\maxi} = \text{W/m}^2\text{K}</math></b>	<b>2,67</b>	<b>3,92</b>	<b>* O valor limite da umidade relativa do ar é de 80%;</b>		

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 gr 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 gr 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 gr 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 gr 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 Wh/m<sup>2</sup>°C.

**Tabela 8 – Coeficiente de condutibilidade térmica máximo de paredes exteriores para evitar a formação de mofo e bolor no sul do país**

<b>Temperatura interior igual - <math>t_i = 15^\circ\text{C}</math></b>					
	<b>Espaços aquecidos</b>	<b>Espaços não aquecidos</b>		<b>Espaços aquecidos</b>	<b>Espaços não aquecidos</b>
<b>Dormitório</b>			<b>Cozinha</b>		
3°C und 15°C			3°C e 15°C		
1 troca de ar			1 troca de ar		
<b>4,1 gr/Kg ar seco</b>			<b>4,1 gr/Kg de ar seco</b>		
$t_{\min} (\text{°C}) = 4,1$			$t_{\min} (\text{°C}) = 4,1$		
$\square/A = \text{W/m}^2$	43,60	64,12	$\square/A = \text{W/m}^2$	43,60	64,12
<b><math>U_{\maxi} = \text{W/m}^2\text{K}</math></b>	<b>3,63</b>	<b>5,34</b>	<b><math>U_{\maxi} = \text{W/m}^2\text{K}</math></b>	<b>3,63</b>	<b>5,34</b>
3°C e 15°C					
<b>4,7 gr/Kg ar seco</b>					
$t_{\min} (\text{°C}) = 6$					
$\square/A = \text{W/m}^2$	36,00	52,94			
<b><math>U_{\maxi} = \text{W/m}^2\text{K}</math></b>	<b>3,00</b>	<b>4,41</b>	<b>* O valor limite da umidade relativa do ar é de 80%;</b>		

**Tabela 9 – Coeficiente de condutibilidade térmica máximo de paredes exteriores para evitar a formação de mofo e bolor no sul do país**

Temperatura interior igual - $t_i = 17^\circ\text{C}$					
	Espaços aquecidos	Espaços não aquecidos		Espaços aquecidos	Espaços não aquecidos
<b>Dormitório</b>			<b>Cozinha</b>		
3°C und 17°C			3°C e 17°C		
1 troca de ar			1 troca de ar		
<b>4,1 gr/Kg ar seco</b>			<b>4,1 gr/Kg de ar seco</b>		
$t_{\text{min}} (\text{°C}) = 4,1$			$t_{\text{min}} (\text{°C}) = 4,1$		
$\kappa/A = \text{W/m}^2$	51,60	75,88	$\kappa/A = \text{W/m}^2$	51,60	75,88
<b><math>U_{\text{maxi}} = \text{W/m}^2\text{K}</math></b>	<b>3,69</b>	<b>5,42</b>	<b><math>U_{\text{maxi}} = \text{W/m}^2\text{K}</math></b>	<b>3,69</b>	<b>5,42</b>
3°C e 17°C					
<b>4,7 gr/Kg ar seco</b>					
$t_{\text{min}} (\text{°C}) = 6$					
$\kappa/A = \text{W/m}^2$	44,00	64,71			
<b><math>U_{\text{maxi}} = \text{W/m}^2\text{K}</math></b>	<b>3,14</b>	<b>4,62</b>	<b>* O valor limite da umidade relativa do ar é de 80%;</b>		

### Considerações Preliminares

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, 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 à espaços aquecidos. A análise demonstrou também que as paredes exteriores com um coeficiente global de transmissão térmica igual a 3,7 Wh/m<sup>2</sup>°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 Wh/m<sup>2</sup>°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 e o projeto de norma DIN 4108-8, que fixam as condições de análise das superfícies mencionadas.

É necessário também que o projeto de norma PNBR 02:136.01 considere o problema da formação de mofo e bolor nas superfícies internas, principalmente, de paredes exteriores, na versão definitiva, considerando a adversidade climática no período de inverno no sul do país.

## **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. PNBR 02:136.01-001 - Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos. Rio de Janeiro. (2004)

DIN 4108 – Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden. Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung. (2001 - 07)

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)

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 und Stand der Normenbearbeitung. Weimar. 19 Seiten. (2001)

SEDLBAUER, Klaus. Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen. Dissertation. Stuttgart. 105 Seiten. (2001)

TOLEDO, Eustáquio. Ventilação natural das habitações. Maceió: EDUFAL. (1999)

## **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.