

Consequências do uso do isolamento térmico no comportamento higrotérmico de edificação unifamiliar nas Zonas Bioclimáticas 1 e 2

Consequences of the use of thermal insulation in the hygrothermal behavior of a single-family dwelling in Bioclimatic Zones 1 and 2

**Vinícius Cesar Cadena Linczuk, Mestre, Docente na Universidade Federal da
Fronteira Sul - UFFS e Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura
PROARQ-FAU, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ**

vinicius.linczuk@uffs.edu.br

**Leopoldo Eurico Gonçalves Bastos, Doutor, Docente no Programa de Pós-Graduação
em Arquitetura PROARQ-FAU, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, e
no Mestrado em Arquitetura e Cidade - Universidade Vila Velha - UVV**

leopoldobastos@gmail.com

Resumo

A busca por uma maior eficiência energética tem incentivado pesquisas a estudarem o uso do isolamento térmico em edificações em todo o mundo, incluso no Brasil. Alguns estudos internacionais, no entanto, apontam a ocorrência de superaquecimento da edificação em dias quentes e o registro de baixa qualidade do ar interior. Este artigo apresenta os resultados verificados para a região sul do Brasil, Zonas Bioclimáticas 1 e 2, por meio de simulação computacional, do uso do isolamento térmico em edificação residencial unifamiliar. Verificou-se ótimos resultados quanto ao condicionamento térmico, contudo, a umidade relativa superficial da parede analisada apresentou-se acima de 80% por mais de 6 horas em torno de 40% das horas do ano, o que possibilitaria a formação de fungos e interferência na qualidade do ar interior.

Palavras-chave: Conforto higrotérmico; Simulação Computacional; Isolamento térmico

Abstract

Researchers seeking building energy efficiency have conducted studies on the use of thermal insulation in buildings throughout the world, including Brazil. Some international studies, however, point to the occurrence of indoor overheating on hot days and low indoor air quality. This paper presents the results verified, by computer simulation of the use of thermal insulation in single-family dwelling for the southern region of Brazil, Bioclimatic Zones 1 and 2. It was verified excellent results regarding the thermal conditioning, however, the relative humidity on the analyzed wall was above 80% for more than 6 hours around 40% of the hours during the year, allowing the formation of fungi and reducing indoor air quality.

Keywords: *Hygrothermal comfort; Computational Simulation; Thermal insulation*

1. Introdução

No intuito de redução do consumo energético para o condicionamento dos ambientes, normativas europeias têm exigido índices cada vez mais altos de isolamento térmico da edificação. Autores, no entanto, apontam problemas decorrentes deste procedimento como o superaquecimento da edificação em dias quentes, mesmo em climas predominantemente frios, e o registro de baixa qualidade do ar interior (JELLE et al., 2010; HENS, 2012). Algumas fontes indicam ser necessária uma revisão do modelo de construção superisolado (PACHECO, 2014; WANG et al., 2017), enquanto outras têm se centrado em testes da aplicação do aumento de isolamento, mesmo em climas tropicais (CHVATAL; ROSSI, 2011; TUBELO et al., 2014; WASSOUF, 2014; DALBEM et al. 2016).

Autores como Harriman et al.(2007) e Gullbrekken et al. (2015) afirmam que a prática do aumento do isolamento térmico, constituindo edificações mais herméticas e dotadas de maior eficiência energética, apresentam também como resultado condições que propiciam um rápido crescimento de fungos.

Embora a saúde humana não seja afetada pela a alta umidade ambiental, os efeitos à saúde estão relacionados ao crescimento e propagação de agentes bióticos (BAUGHMAN; ARENS, 1996), como o surgimento de fungos na superfície das paredes. Problemas de umidade nas edificações concorrem para o risco de sintomas respiratórios (HÄGERHED-ENGMAN et al., 2009). A manifestação de fungos está associada não somente à condição de umidade, mas também de temperatura, disponibilidade de nutrientes e pH favorável (SEDLBAUER, 2001).

Entre as normativas internacionais, a ASHRAE (AMERICAN..., 1992) recomenda que a umidade relativa média mensal deva permanecer abaixo de 80%. Conforme a normativa alemã DIN 4108-2 (DEUTSCHES..., 2013), registros de umidade relativa superficial acima de 80%, por um período superior ao de seis horas, possibilitam a formação de fungos filamentosos (mofo). Segundo a normativa brasileira NBR 15575 (ABNT, 2013), “a umidade acelera os mecanismos de deterioração e acarreta a perda das condições de habitabilidade e de higiene do ambiente construído”.

As normativas brasileiras não apresentam restrições, nem recomendações quanto aos valores de transmitância térmica de fechamentos, quando relacionadas com a condensação em ambientes naturalmente ventilados, de modo evitar a formação de fungos nas superfícies das paredes. No entanto, são encontradas pesquisas nacionais sobre a possibilidade de ocorrência da condensação superficial em paredes internas de ambientes de edificações (RORIZ, 2017); e também a proposição de um valor máximo para a transmitância a fim de evitar a formação de fungos em superfícies interiores de paredes na Zona Bioclimática 3 (DA CUNHA et al., 2008). Freitas et al. (2017) verificou a partir de simulação computacional, para uma edificação residencial bem isolada, na Zona Bioclimática 2, a possibilidade de formação de fungos filamentosos para uma edificação bem isolada, e constatou a maior ocorrência de umidade no período de inverno e nas proximidades de pontes térmicas.

A aplicação do isolamento térmico em paredes tem demonstrado eficiência na redução dos picos de temperatura interna. Linczuk (2015) demonstrou, a partir de simulação

computacional, que o isolamento térmico aplicado na face externa de paredes de uma edificação residencial unifamiliar em três cidades localizadas na região sul do Brasil, apresentou bons resultados para o conforto térmico da edificação.

A região Sul diferencia-se do restante do país por apresentar clima temperado subtropical úmido, onde há necessidade da definição de estratégias para o conforto térmico da edificação tanto para resfriamento quanto para aquecimento. De acordo com o norma NBR 15220-3 (ABNT, 2005), o Brasil apresenta-se dividido em 8 Zonas Bioclimáticas, sendo as Zonas Bioclimáticas 1 e 2 as mais frias, localizadas principalmente na região Sul e em poucas localidades de grande altitude no Sudeste.

Diante destes fatos e de poucas pesquisas na área, este trabalho tem como objetivo analisar, por meio de simulação computacional, questões relacionadas com o uso do isolamento térmico em paredes no comportamento higrotérmico de edificação unifamiliar nas Zonas Bioclimáticas 1 e 2. Procura-se pesquisar sobre o comportamento da temperatura interna da edificação, verificando as ocorrências de superaquecimento, e o aumento da umidade relativa superficial da parede e a decorrente possibilidade de formação de fungos.

2. Procedimentos Metodológicos

O trabalho consistiu na realização de análise de dados gerados a partir de simulação computacional com o software EnergyPlus versão 8.8. O processo envolveu 4 etapas: modelagem, simulação, tratamento dos dados e análise dos resultados.

A edificação em estudo é uma típica residência unifamiliar com dois dormitórios, com área total de 57,75m², conforme Figura 01. A edificação foi modelada através do software Sketchup PRO com o auxílio do plugin Open Studio.

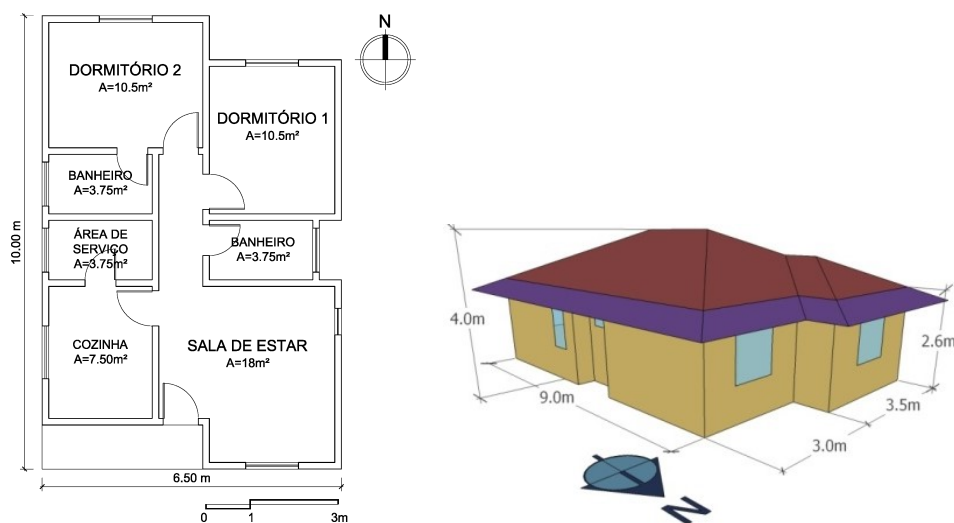


Figura 01: Planta baixa e Perspectiva. Fonte: Elaborado pelos autores.

O estudo se concentrou na análise dos ambientes dos dormitórios, que apresentam orientação solar favorável (Norte), ambos com área de piso 10,5m², área de janela de 14% da área de piso e proteção parcial por beirais de 80cm. Apresenta paredes em bloco cerâmico rebocado, laje em concreto (piso e cobertura), telhado com estrutura de madeira (inclinação 30%), manta isolante e telha cerâmica. Abaixo seguem os dados de transmitância, capacidade térmica e refletância dos componentes construtivos do Caso Base (Tabela 01):

Caso Base	Construção	Transmitância Térmica U [W/(m ² K)]	Capacidade Térmica CT [kJ/(m ² K)]	Refletância
	Parede	2,38	154	0,50
Piso	4,04	360	0,50	
Telhado	1,78	378	0,70	
		Fator Solar		
Vidro	5,89	0,86		

Tabela 01 - Dados de transmitância térmica, refletância e fator solar dos componentes construtivos do Caso Base. Fonte: Elaborado pelos autores.

O padrão construtivo atende às especificações do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) (INMETRO, 2012), assim como os padrões de ocupação e uso da iluminação artificial para simulação de ambientes de longa permanência. Para iluminação considerou-se uma densidade de potência instalada de 5W/m² para os dormitórios e 6W/m² para a sala. Para as cargas internas considerou-se a potência de 1,5W/m² pelo período de 24 horas. Foram também consideradas as taxas metabólicas de acordo com a atividade desempenhada em cada ambiente, 81W para o ambiente dos dormitórios e 108W para o ambiente da Sala de Estar (Tabela 02).

Ambiente	Atividade realizada	Calor produzido (W/m ²)	Calor produzido para área de pele = 1,80 m ² (W)
Dormitórios	Dormindo ou descansando	45	81
Sala	Sentado ou assistindo TV	60	108

Tabela 02 - Taxas metabólicas para cada atividade. Fonte: Tabela 3.40 do RTQ-R (INMETRO, 2012)

O padrão de ventilação adotado é o seletivo, que permite abrir as janelas quando a temperatura do ar interno for superior a uma determinada temperatura. Adotou-se a temperatura limite de 20°C e quando a temperatura interna for superior à temperatura externa ($T_{int} \geq T_{ext}$).

Por recomendação do RTQ-R, utilizou-se o software Slab, vinculado ao software EnergyPlus para o cálculo da temperatura média do solo para cada mês do ano com base nos valores médios de temperaturas internas e externas da edificação (INMETRO, 2012).

Foram realizadas simulações da edificação nas cidades de Curitiba localizada no estado do Paraná (Zona Bioclimática 1) e Santa Maria, no estado do Rio Grande do Sul (Zona Bioclimática 2). Estas Zonas Bioclimáticas estão principalmente presentes na região sul do Brasil, com característica que as diferem do restante do país, a existência de estações bem definidas e a predominância, ao longo do ano, de desconforto térmico por frio.

Embora a cidade de Santa Maria/RS esteja localizada mais ao sul da cidade de Curitiba/PR, esta última apresenta altitude de 924m em relação ao nível do mar, apresentando registros de temperaturas mais baixos (Figura 02).



Figura 02 – Localização das cidades escolhidas para estudo na Região Sul e no Brasil. Fonte: Elaborado pelos autores.

A Tabela 03 apresenta os dados da localização geográfica, temperaturas e a quantidade anual de graus-hora para aquecimento com base na temperatura 18°C e resfriamento (ou arrefecimento) com base na temperatura 23°C. Os arquivos climáticos utilizados são do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) no período de 2001 a 2010, tratados por RORIZ (2012).

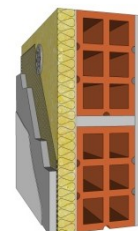
Cidade / Estado	Latitude / Longitude e Altitude	Temp. Mín. Anual (°C)	Temp. Méd. Anual (°C)	Temp. Máx. Anual (°C)	GHA18*	GHR23*
CURITIBA/PR	25,43S/ 49,27W/ 924m	-0,1	17,3	31,7	19294	2531
SANTA MARIA/RS	29,68S/ 53,81W/ 95m	-0,2	18,9	38,3	18164	4357

*GHA: indicador de graus-hora para aquecimento/ GHR: indicador de graus-hora para resfriamento

Tabela 03 - Dados de localização geográfica e de temperatura das cidades escolhidas para estudo. Fonte: Adaptado pelos autores a partir dos dados do arquivo EPW (RORIZ, 2012).

Foram realizadas simulações para o Caso Base e outros 3 casos com um progressivo isolamento térmico (25mm, 50mm e 100mm) da parede (Tabela 04), totalizando 8 simulações.

Modelo	Tipo de Parede	Transmitância Térmica da Parede [W/(m ² K)]
Caso Base	Tijolo Cerâmico	2,38
Caso 1	Tijolo Cerâmico + isolamento térmico* espessura = 25mm	1,02
Caso 2	Tijolo Cerâmico + isolamento térmico* espessura = 50mm	0,65
Caso 3	Tijolo Cerâmico + isolamento térmico* espessura = 100mm	0,38



* Aplicação na face exterior

Tabela 04 – Valores da transmitância térmica das paredes. Fonte: Elaborado pelos autores.

Conforme comentado anteriormente, neste estudo, foram analisados os dados relativos aos dormitórios. Diante da semelhança de orientação solar das aberturas, área dos ambientes e de resultados de temperatura interna, são apresentados apenas os dados relativos ao Dormitório 2.

A partir da simulação foram adquiridos os registros horários ao longo de um ano da Temperatura de bulbo seco interna; Temperatura operativa; Temperatura superficial interna de parede externa com orientação Norte; Umidade relativa do ar; Umidade absoluta do ar; e Temperatura de ponto de orvalho, para os quatro casos analisados.

Após a simulação computacional, os dados foram tabulados em planilha. A partir dos dados de Temperatura superficial interna (°C) e Umidade absoluta (kg de vapor/kg de ar seco) foi possível a determinação (ASHRAE, 2009) da Umidade relativa do ar próxima da superfície da parede (%). Assim foi possível a verificação da quantidade de horas em que esta umidade permaneceu superior 80% por mais de 6 horas, período este adequado à formação de fungos (DEUTSCHES..., 2013). Quantificou-se ainda o total de horas em que a umidade relativa do ar próxima da superfície da parede permaneceu superior 80% por mais de 12 horas e 24 horas, com o intuito de se evidenciar a maior probabilidade de ocorrência de fungos.

Além desta quantidade de horas contabilizou-se o número de registros de ocorrências. Como registro de ocorrências considerou-se que: embora a umidade possa ter permanecido por mais de 6 horas, contabiliza-se apenas o registro até que a umidade relativa superficial se apresente inferior a 80%, iniciando outro registro quando a umidade relativa superficial permanecer por mais de 6 horas superior a 80%.

A partir do dado de Temperatura operativa, verificou-se a quantidade de horas em que as temperaturas das edificações, que receberam diferentes espessuras de isolamento térmico, apresentem valores superiores ao Caso Base, indicando, desta forma, um superaquecimento da edificação.

3. Análise dos resultados

A seguir são apresentados os resultados da simulação computacional, iniciando-se pelas variações na umidade relativa superficial da parede e após sobre a temperatura interna da edificação.

Nas Tabelas 05 e 06 são apresentados os resultados de quantidade de horas e número de registros em que umidade relativa superficial interna da parede Norte do dormitório 2 apresentou-se superior a 80% por mais de 6 horas, 12 horas e 24 horas para as cidade de Curitiba/PR e Santa Maria/RS.

CURITIBA/PR	Umidade relativa superficial da parede acima de 80%					
	Além de 6 horas		Além de 12 horas		Além de 24 horas	
	Quantidade de horas	Número de registros	Quantidade de horas	Número de registros	Quantidade de horas	Número de registros
Caso Base	4211	213	3072	159	1993	39
Caso 1	4787	144	4013	113	3099	41
Caso 2	4937	128	4235	104	3387	41
Caso 3	4989	116	4355	88	3600	38

Tabela 05 - Umidade relativa superficial em Curitiba/PR. Fonte: Elaborado pelos autores.

SANTA MARIA/RS	Umidade relativa superficial da parede acima de 80%					
	Além de 6 horas		Além de 12 horas		Além de 24 horas	
	Quantidade de horas	Número de registros	Quantidade de horas	Número de registros	Quantidade de horas	Número de registros
Caso Base	3417	173	2501	124	1649	33
Caso 1	3525	156	2715	113	1902	32
Caso 2	4108	115	3464	92	2736	33
Caso 3	4173	119	3533	91	2790	35

Tabela 06 - Umidade relativa superficial em Santa Maria/RS. Fonte: Elaborado pelos autores.

Analisando a quantidade de horas em que a umidade relativa superficial da parede apresentou-se acima de 80% por mais de 6 horas, observa-se que as quantidades de horas 4211 e 3417, registradas para o Caso Base nas cidades de Curitiba/PR e Santa Maria/RS, respectivamente, representam em torno de 48% e 39% do total de horas simuladas (8760). Evidencia-se, portanto a grande possibilidade de ocorrência de fungos, mesmo no Caso Base. Verifica-se ainda que embora o número de registros de ocorrências diminua com a análise dos Casos 1, 2 e 3 a quantidade de horas aumenta chegando a ser 18% e 22% superior para Curitiba/PR e Santa Maria/RS, respectivamente. Comparando o Caso 3 (caso de maior isolamento na parede) com o Caso Base, observou-se que número de registros diminui em razão do aumento do número de horas, e dessa forma, aglutinar ocorrências.

As tabelas ainda trazem uma elevada quantidade de horas em que a umidade relativa superficial da parede apresentou-se acima de 80% por mais de 12 horas. As quantidades de horas 3072 e 2501, registradas para o Caso Base nas cidades de Curitiba/PR e Santa Maria/RS, respectivamente, representam em torno de 35% e 28% do total de horas simuladas (8760).

Quando avaliada a ocorrência além de 24 horas, as quantidade de horas 1993 e 1649, registradas para o Caso Base nas cidade de Curitiba/PR e Santa Maria/RS, respectivamente, representam em torno de 22% e 18% do total de horas simuladas (8760). As quantidades de 3600 horas e 2790 horas, registradas para o Caso 3 nas cidades de Curitiba/PR e Santa Maria/RS, respectivamente, representam, em torno de 150 e 116 dias de ocorrências no ano.

As constatações são alarmantes e refletem as condições climáticas das duas cidades analisadas. Quando avaliado a umidade externa a cidade de Curitiba/PR apresentou 5354 horas e Santa Maria/RS 4574, representando 61% e 52% do total de horas no ano.

Verifica-se, portanto, que o comportamento interno da edificação quanto à umidade relativa segue a condição climática exterior. A Figura 03 apresenta os registros de temperatura externa (°C) e umidade relativa do ar (%) ao longo do ano para as cidades de Curitiba/PR e Santa Maria/RS.

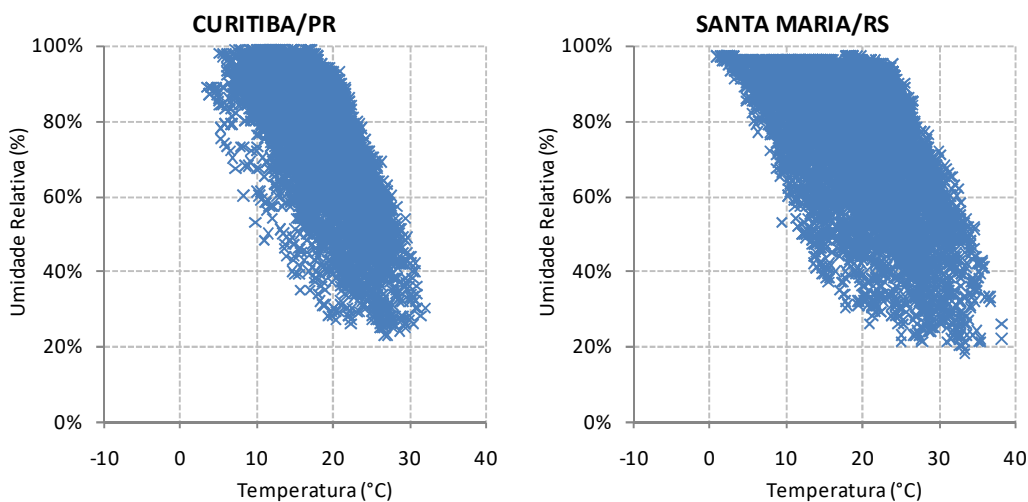


Figura 03 – Registros de temperatura e umidade externa para as cidades de Curitiba/PR e Santa Maria/RS Fonte: Elaborado pelos autores.

A cidade de Curitiba/PR apresentou as maiores quantidades de horas ao longo do ano de umidade relativa superficial da parede com valor superior a 80% e evidencia-se que o isolamento térmico pode intensificar as ocorrências. Verificou-se um acréscimo em torno de 5% em Curitiba/PR e 10% em Santa Maria/RS quando comparado o Caso 3 com o Caso Base. As Figuras 04 e 05 apresentam os registros de temperatura externa (°C) e umidade relativa do ar (%) ao longo do ano para o Caso Base e Caso 3 nas cidades estudadas.

Nota-se que o isolamento térmico quando aplicado na parede externa reduz a dissipação da umidade relativa superficial, mantendo por mais tempo a condição de umidade relativa alta, superior a 80%, com condições favoráveis à formação de fungos.

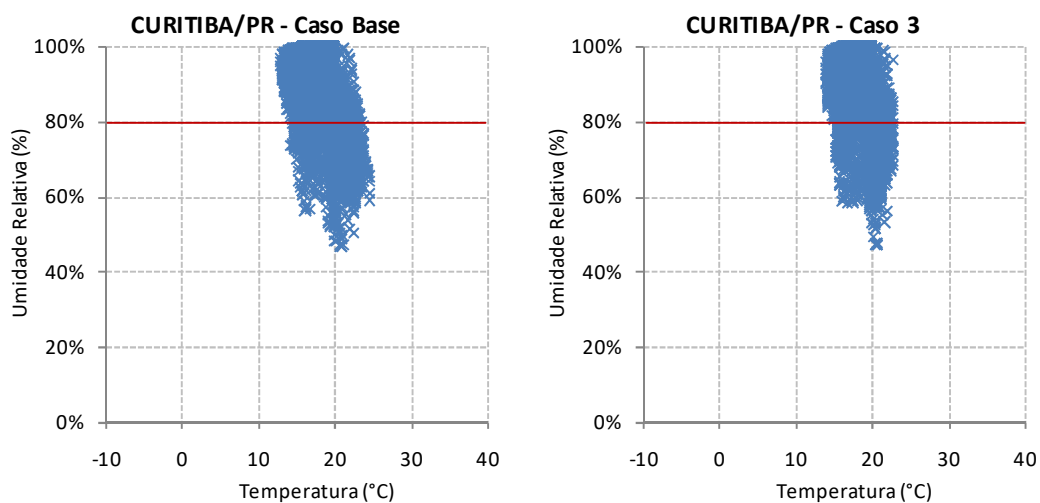


Figura 04 – Registros de temperatura e umidade superficial interna para o Caso Base e Caso 3 na cidade de Curitiba/PR. Fonte: Elaborado pelos autores.

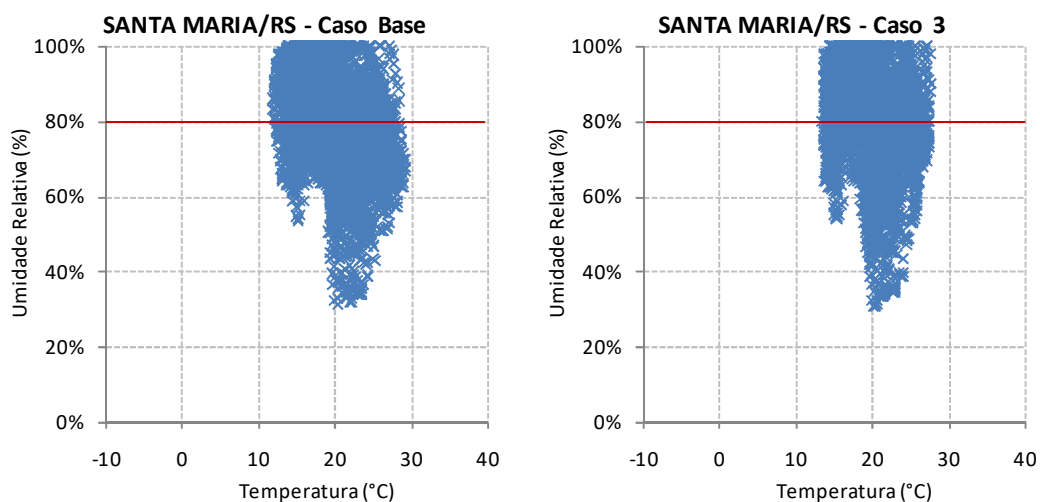


Figura 05 – Registros de temperatura e umidade superficial interna para o Caso Base e Caso 3 na cidade de Santa Maria/RS. Fonte: Elaborado pelos autores.

Na Tabela 07 são apresentados os resultados da variação de temperatura operativa do dormitório 2 quando comparado o Caso 3 (caso de maior isolamento na parede) com o Caso Base, com o intuito de verificar um possível superaquecimento devido a aplicação de isolamento térmico na parede.

Cidade / Estado	Temperatura (°C) - Caso Base			Temperatura (°C) - Caso 3		
	Mínima	Média	Máxima	Mínima	Média	Máxima
CURITIBA/PR	12,67	18,19	24,44	13,58	18,17	23,18
SANTA MARIA/RS	11,79	19,79	28,99	13,11	19,73	27,56

Tabela 07 – Temperatura operativa (mínima, média e máxima) para o Caso Base e Caso 3. Fonte: Elaborado pelos autores.

Verifica-se que o isolamento térmico proporciona a redução da amplitude entre as temperaturas mínimas e máximas.

A Tabela 08 apresenta a quantidade de registros para o Caso 3 em que foi constatado uma temperatura interna superior a 26°C, valor superior ao registrado no Caso Base, diferença de temperatura superior a 0,5°C, além da diferença de temperatura máxima registrada entre o Caso 3 e o Caso Base. O RTQ-R (INMETRO, 2012) considera a temperatura de 26°C base para a análise do consumo para resfriamento da edificação.

Cidade / Estado	Quantidade de registros			Diferença de temperatura Máxima registrada (°C)
	Temperatura superior a 26°C	Temperatura superior ao Caso Base	Diferença de temperatura foi superior a 0,5°C	
CURITIBA/PR	0	4344	1132	1,32
SANTA MARIA/RS	274	4234	1314	1,90

**Tabela 08 – Quantidade de registros em que umidade relativa externa apresentou-se superior a 80% .
Fonte: Elaborado pelos autores.**

Verifica-se que o ambiente do dormitório 2, no caso 3, para a cidade de Curitiba/PR não apresentou registros de temperaturas interna superiores a 26°C e para Santa Maria/RS, verificados 274 registros das 8760 horas simuladas, representando apenas 3% das horas ao longo do ano.

Embora as temperaturas não se apresentem elevadas, verifica-se que o isolamento externo das paredes ocasiona um aumento da temperatura interna em 4344 e 4234 horas registradas em Curitiba/PR e Santa Maria/RS, respectivamente, ou seja, próximo de 50% das horas ao longo do ano. Quando analisado se a diferença encontra-se superior a 0,5°C, os registros diminuem para 1132 e 1314 para Curitiba/PR e Santa Maria/RS, respectivamente, representando 12% e 15% das horas ao longo do ano. A diferença de temperatura interna máxima constatada entre o Caso 3 e o Caso Base é de 1,32°C para Curitiba/PR e 1,90°C para Santa Maria/RS.

Nota-se que o isolamento térmico quando aplicado na parede externa aumenta a temperatura interna da edificação, contudo para as duas cidades analisadas o impacto é relativamente baixo, quando analisado a temperatura de 26°C, base para a necessidade de resfriamento da edificação. Se fosse considerada a temperatura de 23°C como base, Curitiba apresentaria apenas 2 registros, enquanto Santa Maria/RS, 1929 registros, representando 22% das horas do ano.

4. Considerações Finais

Embora a edificação tanto no Caso Base quanto nos demais casos analisados, com a aplicação do isolamento térmico na parede, apresentem ótimos resultados quanto ao condicionamento térmico, verifica-se que o ambiente estudado para o Caso Base apresenta em torno de 40% das horas do ano com umidade superficial da parede superior a 80% por

mais de 6 horas, o que possibilita a formação de fungos e uma insatisfação quanto à qualidade do ar interior e possíveis implicações na saúde de seus moradores. Verificou-se ainda no caso 3 que o isolamento térmico concorre para que seja de 20% a quantidade de horas com umidade relativa superficial da parede acima de 80%. O presente estudo indica a necessidade de mais pesquisas na área e avanços em normatizações.

Referências

- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. ANSI/ASHRAE Standard 55 1992. Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, 1992.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. ASHRAE Handbook – Psychrometrics, Atlanta, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15220 - 3: Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Rio de Janeiro, 2005
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15575-1: Edificações Habitacionais - Parte 1 : Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.
- BAUGHMAN, A.V.; ARENS, E.A. Indoor humidity and human health - Part 1: Literature review of health effects of humidity-influenced indoor pollutants. ASHRAE Transactions 1996; Vol. 102 (1), p. 193-211. 1996.
- CHVATAL, K.M.S.; ROSSI, M.M. The Effect of Distinct Ventilation Strategies on Thermal Performance of Buildings With High Thermal Resistance in Brazil. In: Roomvent 2011.
- DA CUNHA, E.G.; VAUPEL, K.; LÜKING, R.. 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. In: NUTAU, 7., 2008, São Paulo. Anais... São Paulo: USP, 2008. p. 1-14.
- DALBEM, R.; KNOP, S.; DA CUNHA, E.G.; OLIVEIRA, R.F.; RODRIGUES, M.F.. Verification of the Passive House Concept to the South of Brazil Climate. Journal of Civil Engineering and Architecture. Vol. 10, p. 937-945, 2016.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN 4108-2:2013-02. Thermal protection and energy economy in buildings - Part 2: Minimum requirements to thermal insulation. 2013.
- FREITAS, J. ; DA CUNHA, E.G.; DA SILVA, A.; LEITZKE, R.. Pontes térmicas em estruturas de concreto armado: análise das condições para formação de fungos filamentosos para Zona Bioclimática 2. In XIV ENCAC/ X ELACAC, 2017. Anais... Balneário Camboriú, 2017. p. 1104-1113.
- GULLBREKKEN, L.; GEVING, S.; TIME, B.; ANDRESEN, I. Moisture Conditions in Passive House Wall Constructions. Energy Procedia, Vol. 78, p. 219-224. 2015.

HÄGERHED-ENGMAN, L.; BORNEHAG, C.; SUNDELL, J. Building characteristics associated with moisture related problems in 8918 Swedish dwellings. *International Journal of Environmental Health Research* Vol. 19 (4), p. 251-265, 2009.

HARRIMAN, L.G.; LESLIE, N.P. Mold Risk Reduction Strategies for Builders. *ASHRAE Transactions* 2007, Vol. 113, p. 321-333, Dallas 2007.

HENS, H. Passive Houses: What may happen when energy efficiency becomes the only paradigm?. *ASHRAE Transactions* 2012, Vol. 118, p. 1077-1085, 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (INMETRO). Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Portaria nº 18, Eletrobrás. Rio de Janeiro, 2012.

JELLE, B.P.; GUSTAVSEN, A.; BAETENS, R. The path to the high performance thermal building insulation materials and solutions of tomorrow. *Journal of Building Physics*, Vol. 34, n. 7465, p. 99–123, 2010.

LINCZUK, V.C.C. Estratégias para melhorar o comportamento térmico de edificações residenciais em regiões de clima temperado no sul do Brasil. Dissertação de Mestrado. 146p. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

PACHECO, M.T.G. Ventilação natural e climatização artificial: crítica ao modelo superisolado para residências de energia zero em Belém e Curitiba. Tese de Doutorado. 320 p. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

RORIZ, M. Base de dados climáticos de 411 municípios brasileiros. Arquivos em formato de EPW (Energyplus Weather Data). ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações, 2012.

RORIZ, V.F. Simulação de ocorrências de condensação e sua compatibilização à avaliação de conforto térmico. In XIV ENCAC/ X ELACAC, 2017. Anais... Balneário Camboriú, 2017. p. 1046-1055.

SCHNIEDERS, J.; FEIST, W.; SCHULZ, I.; KRICK, B. . Passive House for different climate zones. *Passivhaus Institute & University of Innsbruck*, p. 536, 2012.

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

TUBELO, R.C.S.; RODRIGUES, L.T.; GILLOT, M. A Comparative Study of the Brazilian Energy Labelling System and the Passivhaus Standard for Housing. *Buildings* 2014, 4, p. 207–221, 2014.

WANG, Y.; KUCKELKORN, J.; ZHAO, F.; SPLIETHOFF, H.; LANG, W.. A state of art of review on interactions between energy performance and indoor environment quality in Passive House buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 72, p. 1303–1319, 2017.

WASSOUF, M.. De la Casa Pasiva al Estándar Passivhaus - La Arquitectura Pasiva en Climas Cálidos. Ed. Gustavo Gili, SL, Barcelona, 2014.