

PONTES TÉRMICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: ANÁLISE DAS CONDIÇÕES PARA FORMAÇÃO DE FUNGOS FILAMENTOSOS PARA ZONA BIOCLIMÁTICA BRASILEIRA 2

Julye Ramalho de Freitas (1); Eduardo Grala da Cunha (2); Antonio Cesar Silveira Baptista da Silva (3); Rodrigo Karini Leitzke (4)

(1) arquiteta, mestranda PROGRAU, juramalhof@hotmail.com, Universidade Federal de Pelotas, Benjamin Constant 1359, (53) 3284-5508

(2) arquiteto, professor UFPel- Laboratório Conforto e Eficiência Energética, eduardogralacunha@gmail.com, Universidade Federal de Pelotas, Benjamin Constant 1359, (53) 3284-5508

(3) arquiteto, professor UFPel- Laboratório Conforto e Eficiência Energética, antoniocesar.sbs@gmail.com, Universidade Federal de Pelotas, Benjamin Constant 1359, (53) 3284-5508

(4) graduando, ciência da computação, rodrigokarinileitzke@gmail.com, Universidade Federal de Pelotas, Benjamin Constant 1359, (53) 3284-5508

RESUMO

A importância do cálculo de pontes térmicas e a sua consideração nos cálculos de transmitância térmica é um assunto que vem sendo discutido em regiões de clima frio no Brasil, visto que a presença de pontos vulneráveis no envelope de uma edificação pode influenciar no desempenho termoenergético, além de consequências na envoltória da edificação, como o favorecimento de condições para formação de fungos filamentosos. Vários países já possuem regulamentos e normativas que tratam sobre o assunto. No Brasil, nenhuma das normativas e regulamentos trata desse tema. Este trabalho tem como objetivo avaliar a probabilidade de formação de fungos filamentosos em edificações com maior e menor isolamento térmico. O método utiliza dados baseados em simulação computacional. A análise considerou as condições termo-higrométricas junto à estrutura de concreto armado de uma edificação residencial, onde ocorre a ponte térmica, e na superfície do fechamento vertical em alvenaria, para todas as fachadas da edificação. Os resultados mostram que há uma maior possibilidade de surgimento de fungos filamentosos na ponte térmica quando o edifício é mais isolado, ou seja, apresenta uma transmitância térmica baixa no envelope.

Palavras-chave: pontes térmicas, fungos filamentosos, simulação computacional.

ABSTRACT

The importance of thermal bridges and its consideration in thermal transmittance calculations is a subject that has been discussed in cold climate regions of the country, as the the presence of vulnerable points in a building can have consequences in the thermo energy performance, besides consequences in the enveloping of the building, such as the favoring of conditions for the formation of filamentous fungi. Several standards and regulations deal with this topic. This study aims to evaluate, the probability of formation of filamentous fungi in buildings with major and minor thermal insulation. The method use data based in computational simulation. The analysis considered the thermo-hygrometric conditions near to the concrete structure of a model building where the thermal bridge occurs, and the vertical closure surface, a masonry wall, for all facades of the building. The results show that there is a greater possibility of filamentous fungi arising in the thermal bridge when the building is more insulated, that is, it presents a low thermal transmittance in the envelope.

Keywords: thermal bridges, filamentous fungi, computational simulation.

1. INTRODUÇÃO

Nenhuma das normas brasileiras existentes até o momento aborda o tema pontes térmicas e nem as considera nos cálculos de transmitância térmica do envelope. A existência de pontes térmicas em uma edificação pode promover o aumento das trocas de calor na envoltória e trazer consequências na envoltória da edificação. Entre essas consequências podemos citar o aumento de chances de formação de fungos filamentosos, e ainda, as pontes térmicas podem interferir diretamente no conforto térmico e no consumo energético de uma edificação.

No contexto mundial, vários países já consideram as consequências das pontes térmicas em edificações e possuem normativas que abordam o tema. As normas suíças EN ISO 14.683 (2007) e a EN ISO 10.211 (1995) determinam métodos detalhados de cálculos de pontes térmicas. A Regulamentação Térmica Portuguesa (RCCTE) apresenta métodos simplificados de cálculo de pontes térmicas. A DIN 4103 (2013) é uma normativa alemã que aborda a proteção contra a umidade e a possibilidade de formação de bolor e ainda apresenta métodos de cálculo e orientações para construção. As normas argentinas IRAM 11.630 (2000) e IRAM 11.605 (1996) determinam respectivamente procedimentos para avaliação do risco de condensação superficial e valores máximos de transmitância térmica em fechamentos opacos.

Martin, et. al. (2011) ressaltam a importância do cálculo das pontes térmicas no estudo da transferência de calor nos edifícios, mas que, no entanto, as informações sobre o tema ainda são poucas e confusas. A maioria dos países da União Europeia utiliza métodos simplificados para cálculo de pontes térmicas, os quais apresentam cálculos apenas no regime estacionário, o que seria insuficiente devido à importância da inércia do edifício na demanda energética.

Uma das principais consequências das pontes térmicas no envelope da edificação, acordando com Evans e Schiller (2010) é o favorecimento da condensação superficial. A condensação tem como consequência direta a formação de bolor e, nesses casos, as pontes térmicas proporcionam a condensação da umidade nas superfícies dos fechamentos em decorrência da temperatura da superfície estar menor do que a temperatura do ponto de orvalho.

Em relação influência das pontes térmicas na formação de fungos filamentosos, Santos e Mendes (2014) afirmam que os cantos internos das edificações possuem menor circulação de ar e maior umidade relativa, e devido à alta capacidade higrotérmica do concreto das vigas e pilares há maior possibilidade de formação de bolor e danos estruturais nessas áreas, que são onde estão as pontes térmicas.

De acordo com a norma EN ISO 10.211-1 (1995), as pontes térmicas constituem uma parte da envolvente dos edifícios onde a resistência térmica é modificada por: uma penetração total ou parcial da envolvente do edifício por materiais de condutividade diferente, uma mudança na espessura da estrutura ou uma diferença entre as estruturas externas e internas, como ocorrem nas ligações parede/piso/teto. Em todos os casos citados acima o calor procura o caminho no qual a resistência térmica seja menor. Sendo essa em função da distância entre pontos e da condutividade térmica do material.

Na figura 1, podemos observar três diferentes tipos de pontes térmicas que podem ocorrer nas edificações.

- a) corte vertical de uma ponte térmica devido à ligação da fachada com a laje;
- b) e c) corte horizontal de uma ponte térmica devido à ligação entre duas paredes verticais com transmitâncias diferentes.

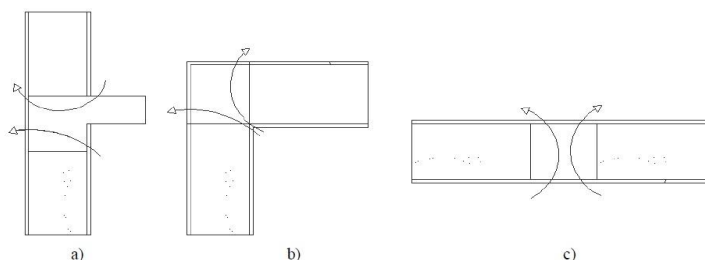


Figura 1 – Tipos de Pontes Térmicas (PESSOA, 2011).

O impacto das pontes térmicas com relação ao consumo energético foi analisado no estudo de Cunha et. al. (2014), que observou o impacto de pontes térmicas em estruturas de concreto armado no desempenho energético de um edifício hoteleiro para quatro zonas bioclimáticas brasileiras. O estudo concluiu que em edificações com PAFT (percentual de abertura na fachada total) de 30% a 45% a existência de pontes térmicas implica em uma diminuição na estimativa de consumo, que conforme a zona bioclimática pode chegar até 10%. Já no caso de edificações com PAFT de 60%, a não consideração das pontes térmicas na

simulação termodinâmica pode representar um aumento de até 4% na estimativa de consumo, dependendo da zona bioclimática analisada.

2. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo analisar, por meio da simulação computacional, a possibilidade de formação de fungos filamentosos em uma superfície interna de uma parede externa, tanto no fechamento vertical de alvenaria, como na estrutura da edificação onde se encontram as pontes térmicas, considerando um envelope mais e outro menos isolado.

3. MÉTODO

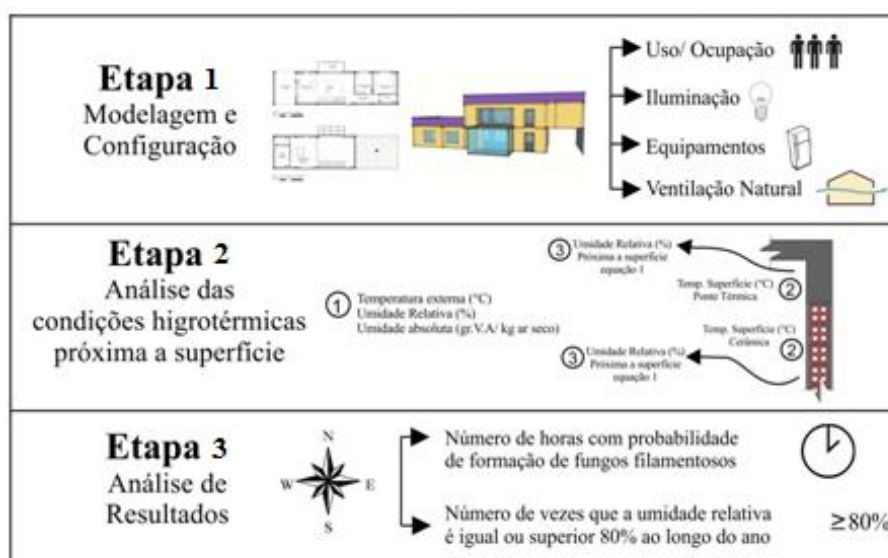


Figura 2: Etapas do método

A pesquisa tem um enfoque quantitativo e utiliza a simulação computacional como ferramenta para o desenvolvimento. O método foi dividido em três etapas.

Na primeira etapa foi modelada e configurada a edificação a ser simulada no programa SketchUp 2015 com o *plugin Legacy Open Studio* e o IDF Editor do *software EnergyPlus* versão 8.3, respectivamente. Foram configuradas agendas de uso e ocupação, iluminação e equipamentos, materiais e ainda ventilação natural. Foram testadas duas condições para o envelope: um envelope isolado e um envelope pouco isolado.

Com os resultados das simulações, deu-se início a segunda etapa da pesquisa, a análise das condições termohigrométricas na superfície interna de uma parede externa e a definição do período sujeito á formação de fungos filamentosos. Na terceira etapa foram analisados e discutidos os resultados.

3.1. Edificação Simulada

Foi escolhido como objeto de estudo o projeto arquitetônico de uma edificação desenvolvido na pesquisa ‘‘ CASA BIOCLIMÁTICA NZEB E QUALIDADE DO LUGAR: Entrelaçando experiências entre Portugal e Rio Grande do Sul/ Brasil’’. O projeto, Figura 3, trata de uma edificação residencial desenvolvida por DALBEM (2015), projetada para atender aos critérios de uma *Passive House*, embora nessa pesquisa as transmitâncias térmicas de paredes tenham sido alteradas.

O projeto utiliza algumas estratégias passivas, como a implantação no eixo leste-oeste para maximizar os ganhos solares no inverno. Está distribuído em 126,45m² de área total, dividido em dois pavimentos. No térreo ficam localizados a cozinha e sala de estar integrados, solário, dois dormitórios e banheiro. No pavimento superior ficam a área de trabalho, área técnica e lavabo.

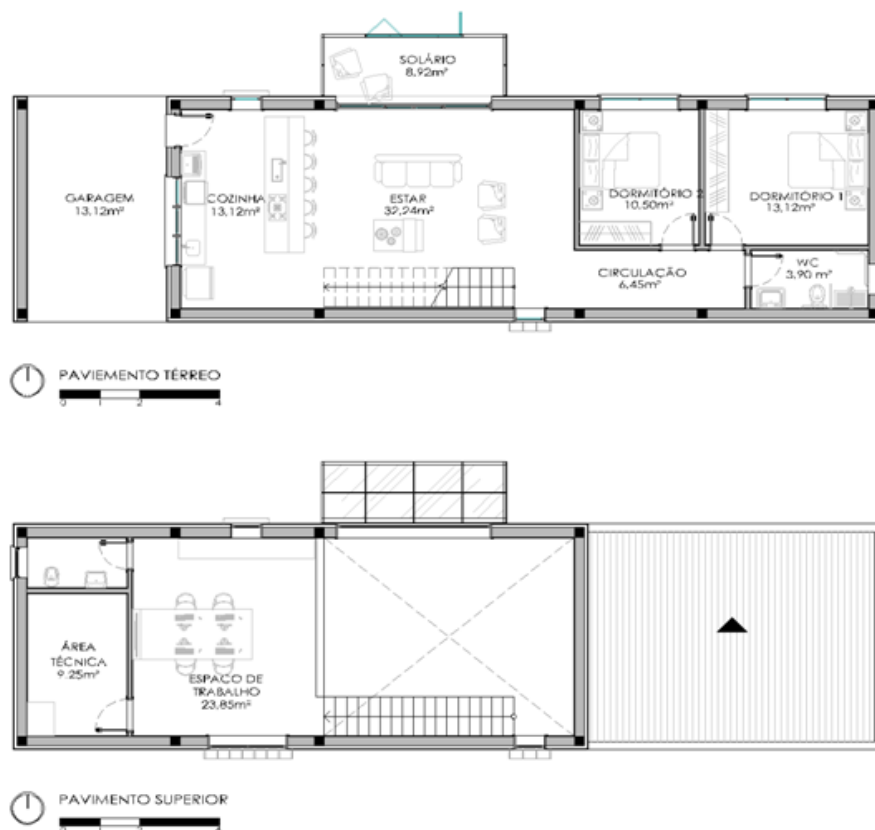


Figura 3 – Planta Baixa Pavimento Térreo e Superior (DALBEM, 2015).

3.2. Modelagem da Edificação

A edificação foi modelada na interface gráfica do programa *SketchUp 2015*, com o *plugin Legacy Open Studio 1.0.13*. A fim de que se pudesse configurar materiais e composições diferentes para as pontes térmicas e as paredes externas, a estrutura da edificação foi marcada (Figura 4) e através do comando “*New Construction Stub*” pode ser classificada como ponte térmica. Nesse sentido ficou apta a receber a configuração diferente do resto dos fechamentos da edificação.

Cada compartimento da edificação foi modelado como uma zona térmica. As dimensões das zonas térmicas foram caracterizadas pelas dimensões externas das paredes externas até o eixo das paredes internas.



Figura 4 – Modelagem Projeto Arquitetônico para Simulação (DALBEM, 2015).

3.3. Configurações do Modelo

As configurações do modelo (Tabela 1) foram realizadas no *IDF editor* do *software EnergyPlus* versão 8.3. As agendas de uso e ocupação foram configuradas de acordo com o RTQ-R (Regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética para edifícios residenciais) (INMETRO, 2010), para uma edificação residencial de 2 pavimentos.

Tabela 1 – Tipologia e Uso (RTQ-R, 2010).

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

As configurações de ocupação seguem os parâmetros preconizados pelo RTQ-R para dias de semana e fins de semana, assim como as configurações de iluminação. A densidade de potência de iluminação configurada foi de 6 W/m² na sala de estar e 5 W/m² nos dormitórios.

Com o propósito de analisar a probabilidade de formação de fungos filamentosos em paredes mais e menos isoladas, a edificação foi simulada em dois casos diferentes, com duas configurações de materiais e composição diferentes. No caso 1 a edificação foi simulada com paredes externas com transmitância térmica (U) de 2,49 W/(m²K), próximo do valor limite para atender a NBR 15.575 em zonas mais frias (2,50 W/(m²K)). No caso 2 a edificação foi simulada com paredes externas com transmitância térmica (U) de 0,39 W/(m²K), com o intuito de fazer a análise em prédios mais isolados. Em ambos os casos, foi considerada a estrutura de concreto armado, apenas com espessuras diferentes, em função das espessuras das paredes, a especificação das paredes de cada transmitância está detalhada na Tabela 2 abaixo.

Tabela 2 – Composição Paredes Caso 1 e Caso 2 (RTQ-R, 2010).

CASO 1				
PAREDE EXTERNA				
Camadas	e (m)	λ (W/(mK))	CT (kJ/m ² K)	U (W/(m ² K))
Reboco externo	0,025	1,15	186,00	2,49
Tijolo cerâmico 4 furos	0,095	0,90		
Reboco interno	0,025	1,15		
ESTRUTURA				
Camadas	e (m)	λ (W/(mK))	CT (kJ/m ² K)	U (W/(m ² K))
Reboco externo	0,025	1,15	376,00	3,06
Concreto armado	0,13	1,15		
Reboco interno	0,025	1,15		
CASO 2				
PAREDE EXTERNA				
Camadas	e (m)	λ (W/(mK))	CT (kJ/m ² K)	U (W/(m ² K))
Reboco externo	0,02	1,15	122,75	0,39
EPS	0,03	0,035		
Tijolo cerâmico 6 furos	0,10	0,90		
Câmara de Ar	0,05	-		
Tijolo cerâmico 6 furos	0,10	0,90		
Reboco interno	0,02	1,15		
ESTRUTURA				
Camadas	e (m)	λ (W/(mK))	CT (kJ/m ² K)	U (W/(m ² K))
Reboco externo	0,02	1,15	574,00	2,52
Concreto armado	0,22	1,15		
Reboco interno	0,02	1,15		

Para esta análise, o edifício foi configurado como condicionado naturalmente, pelo objeto *AirFlowNetwork do EnergyPlus*, onde foi criada uma agenda de ventilação para as 24 horas do dia, com o *setpoint* de abertura de janelas em uma temperatura de 25°C, conforme sugerido por Martins (2011). Ou seja, quando a temperatura interna da zona for 25°C e a temperatura externa estiver menor que a interna em até 5°C, as janelas abrem.

Para a determinação da temperatura do solo, a ferramenta utilizada foi o *Slab*, programa vinculado ao *EnergyPlus*. Primeiro realizou-se uma simulação inicial para que fossem verificadas as temperaturas mensais médias para o ar interno da edificação, com o solo sendo considerado em uma condição adiabática. Logo depois, com o pré-processador *Slab*, foi determinada a temperatura do solo.

No objeto *output: diagnostics* do *EnergyPlus* foram solicitados resultados de temperatura externa, temperatura e umidade relativa das zonas térmicas, e as temperaturas na superfície interna da parede externa da estrutura de concreto armado (ponte térmica) e da parede de alvenaria para todas as horas do ano.

As simulações computacionais foram realizadas no *EP Launch*- ferramenta gráfica de suporte do *software EnergyPlus*. Foram feitas simulações para as orientações Norte, Sul, Leste e Oeste dos dois casos (envelope isolado e não isolado). O arquivo climático utilizado para a simulação computacional foi o da cidade de Camaquã/ RS, pertencente à zona bioclimática 2. O arquivo é disponibilizado pelo site do Laboratório de eficiência energética em Edificações (LABEE), elaborado por Mauricio Roriz (ANTAC- GT Conforto e Energia) mediante dados registrados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) no período de 2001 a 2010.

3.4. Método de análise dos resultados

Para avaliar cada orientação foram simuladas duas zonas térmicas em extremidades diferentes da edificação, a fim que se pudesse obter os resultados de cada fachada em suas extremidades opostas, que apresentam comportamentos diferentes.

Os resultados de temperatura do ar externa, temperatura do ar das zonas, umidade relativa do ar das zonas, e temperatura próxima a superfície interna das paredes de tijolo cerâmico e das pontes térmicas foram utilizadas para fazer a avaliação de resultados e para a análise das condições termohigrométricas das superfícies internas das paredes externas.

As temperaturas do ar e umidade relativa do ar foram avaliados considerando um dia típico de inverno e um de verão, os quais apresentam as temperaturas mais severas de acordo com o arquivo climático que está sendo utilizado, com uma frequência de ocorrência de 99,6% e 0,4%. Para o arquivo climático da cidade de Camaquã/RS o dia típico de verão é o dia 10 de janeiro e o dia típico de inverno é o dia 17 de junho.

3.5. Método para determinação da formação de fungos filamentosos

A partir dos resultados obtidos com as simulações computacionais e a partir de equações da normativa ASHRAE Psychrometric, foi possível fazer a análise das condições higrométricas da superfície interna da parede externa dos ambientes, conforme equação 1.

Com os dados de temperatura do ar externa, pressão atmosférica e umidade relativa do ar do ambiente foi possível determinar a umidade absoluta do ambiente. De posse da temperatura da superfície interna da parede externa e da umidade absoluta do ambiente interior foi possível determinar o valor da umidade relativa do ar próxima da superfície da parede. A variação do valor da umidade relativa do ar próximo à superfície interna das paredes externas ao longo dos dias determina a probabilidade de formação de fungos filamentosos. Quando foram encontrados períodos de 6 horas ou mais com umidade relativa do ar igual ou superior a 80% foram computados períodos adequados à formação de fungos filamentosos. (Sedlbauer, 2001).

$$URel = 0,62198 \times \text{umidade absoluta} \times 1000 \times [(0,00001255001965 \times (\text{temperatura do ar próxima a superfície} + 273,152 + -0,01923595289 \times \text{temperatura do ar próximo a superfície} + 273,15 + 27,05101899 + -6344,011577 \times (\text{temperatura do ar próximo a superfície} + 273,15)^{-1})] \quad \text{Equação 01}$$

Onde:

Urel: umidade relativa próxima a superfície

UA: umidade absoluta

TAS: temperatura do ar próxima a superfície

4. RESULTADOS

A figura 5 apresenta os resultados com relação ao número de horas propensas a formação de fungos filamentosos durante ano, ou seja, o número de horas por ano que a parede apresenta um percentual de umidade igual ou maior a 80%, durante 6 horas seguidas ou mais, podemos constatar que a parede de tijolo cerâmico, independente se mais ou menos isolada, apresenta um número maior de horas com possibilidade de formação de fungos filamentosos do que a estrutura de concreto armado onde ocorre a ponte térmica. Isso

se explica porque o período crítico de probabilidade de formação de fungos filamentosos na ponte térmica é o inverno, quando a temperatura próxima a superfície da ponte térmica se apresenta mais baixa do que a temperatura próxima da superfície da cerâmica. Com a temperatura mais baixa a retenção do vapor d'água se torna mais difícil, aumentando a umidade relativa do ar e a probabilidade de formação de fungos filamentosos, além disso, fatores como a ventilação natural, influenciam no comportamento da umidade do ar.

Parede Simples	Oeste/Sul		Oeste/Norte		Leste/Sul		Leste/Norte	
	Ponte Térmica	Tijolo Cerâmico	Ponte Térmica	Tijolo Cerâmico	Ponte Térmica	Tijolo Cerâmico	Ponte Térmica	Tijolo Cerâmico
Horas do ano com umidade acima de 80%	2.271h	2.917h	4.082h	4.702h	2.438h	3.557h	3.680h	4.548h
Umidade ≥ 80% no período ≥ 6h	181 vezes	222 vezes	234 vezes	258 vezes	123 vezes	233 vezes	215 vezes	294 vezes
Parede Isolada	Oeste/Sul		Oeste/Norte		Leste/Sul		Leste/Norte	
	Ponte Térmica	Tijolo Cerâmico	Ponte Térmica	Tijolo Cerâmico	Ponte Térmica	Tijolo Cerâmico	Ponte Térmica	Tijolo Cerâmico
Horas do ano com umidade acima de 80%	2.423h	2.860h	3.890h	4.272h	2.166h	2.694h	3.618h	3.876h
Umidade ≥ 80% no período ≥ 6h	205 vezes	222 vezes	237 vezes	249 vezes	137 vezes	191 vezes	268 vezes	288 vezes
Norte/Oeste		Norte/Leste		Sul/Oeste		Sul/Leste		
Ponte Térmica	Tijolo Cerâmico	Ponte Térmica	Tijolo Cerâmico	Ponte Térmica	Tijolo Cerâmico	Ponte Térmica	Tijolo Cerâmico	
Horas do ano com umidade acima de 80%	2.856h	3.535h	2.595h	2.999h	2.566h	2.872h	2.939h	2.971h
Umidade ≥ 80% no período ≥ 6h	170 vezes	228 vezes	154 vezes	204 vezes	208 vezes	222 vezes	200 vezes	198 vezes

Figura 5: Horas com possibilidade de formação de fungos filamentosos

Com a grande variação da transmitância térmica nos fechamentos verticais da edificação podemos verificar que a probabilidade de formação de fungos filamentosos nas pontes térmicas é maior em prédios mais isolados do que em prédios menos isolados. Isso ocorre porque existe uma grande diferença de transmitância térmica entre o concreto armado da estrutura e o fechamento com tijolo cerâmico mais o isolamento, proporcionando uma diferença maior entre as temperaturas próximas a essas superfícies. Já em prédios com menos isolamento, apesar das diferenças entre as transmitâncias térmicas dos materiais, as temperaturas próximo às superfícies permanecem mais próximas e consequentemente a umidade relativa também.

Levando em consideração que o impacto das pontes térmicas se apresenta maior no inverno, as figuras 6 e 7 mostram as diferenças de temperatura na superfície interna da parede externa e as curvas de umidade relativa do ar próxima às superfícies, usando como exemplo a fachada sul-leste, em um dia de inverno, com a transmitâncias térmica de 2,49 W/(m²K). Apesar da umidade relativa do ar não ser o único fator ligado à formação de fungos filamentosos nas paredes das edificações, ela representa uma grande parcela nesta probabilidade. A temperatura próxima à ponte térmica se apresenta mais elevada, porém, no período das 15h às 17h a temperatura próxima ao tijolo cerâmico aparece mais elevada, o que ocasiona uma

curva de umidade relativa do ar (Figura 5) muito parecida entre as duas superfícies, com alguns momentos o ar próximo da ponte térmica apresentando maior umidade relativa do ar.

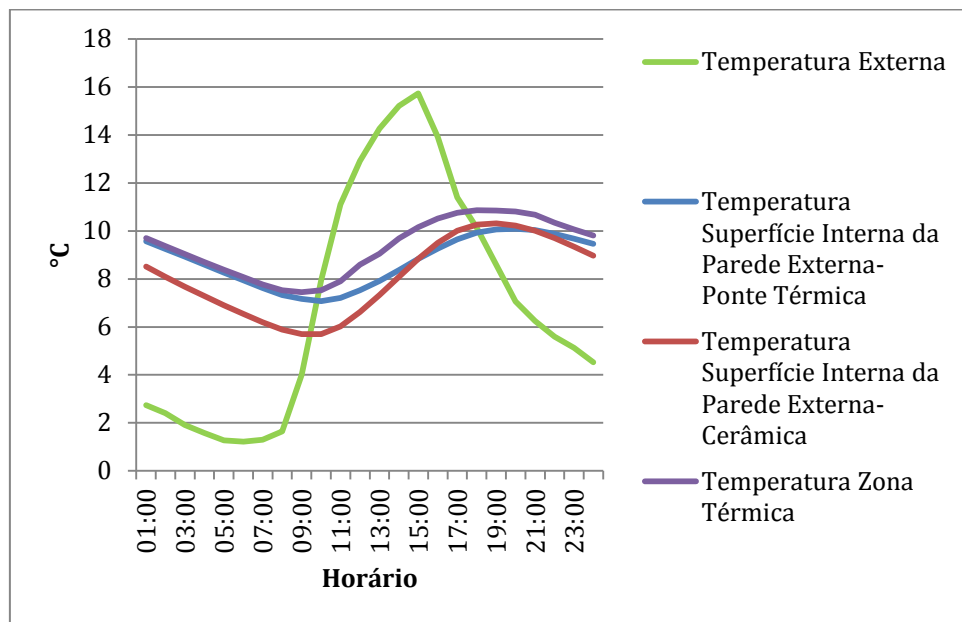


Figura 6: Fachada sul-leste: temperaturas dia de inverno $U=2,49 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

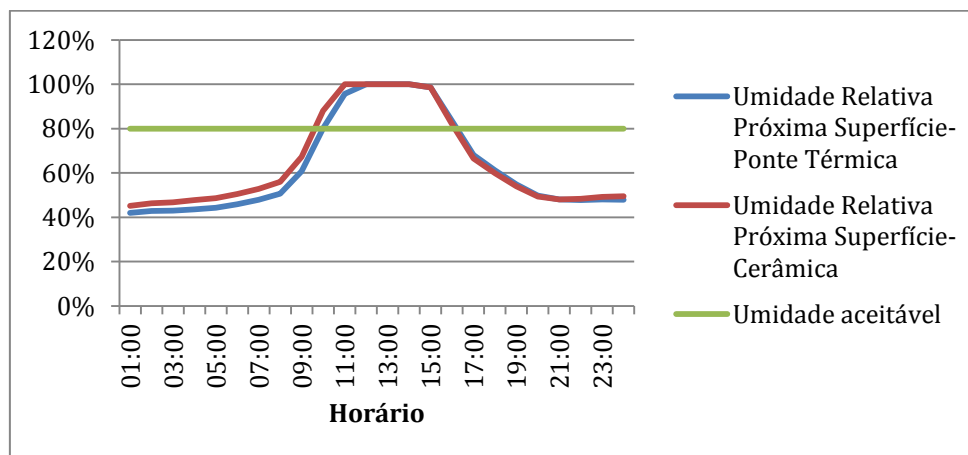


Figura 7: Fachada sul-leste: umidade relativa próxima as superfícies inverno $U=2,49 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Analisando a edificação mais isolada, com transmitância térmica de $0,39 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, usando como exemplo a fachada sul em suas duas extremidades, no inverno, a temperatura próxima à superfície de tijolo cerâmico é mais alta (Figura 8) do que a temperatura próxima à superfície da ponte térmica, o que ocasiona uma umidade relativa próxima à estrutura (Figura 9) mais alta. Embora a capacidade térmica do concreto seja maior nesse caso, a maior resistência da parede é o suficiente para manter a temperatura da superfície interna de cerâmica superior a da estrutura de concreto. O mesmo pode ser observado na análise de outras orientações solares.

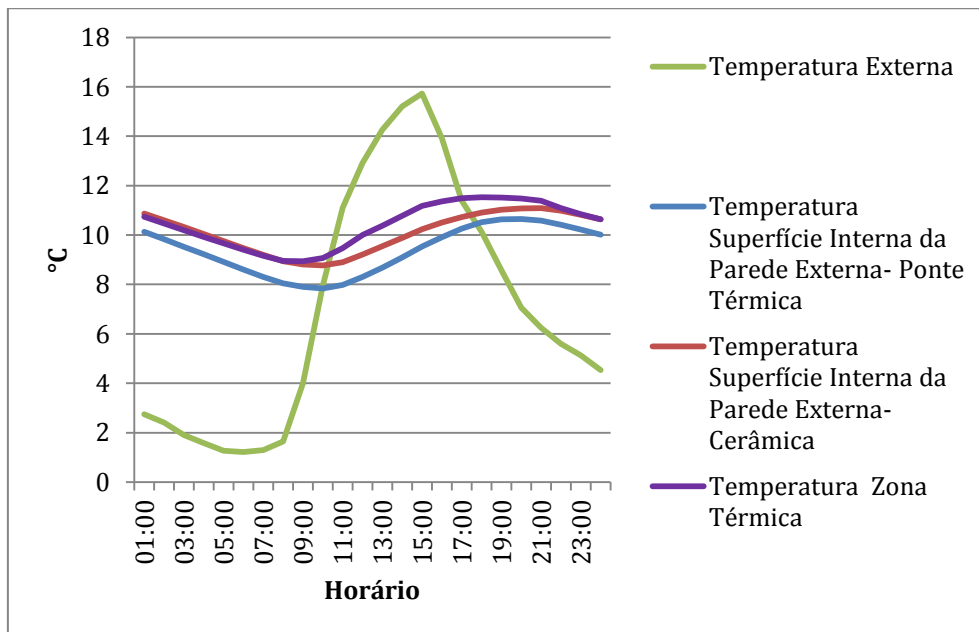


Figura 8: Fachada sul-leste: temperaturas dia de inverno $U=0,39 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

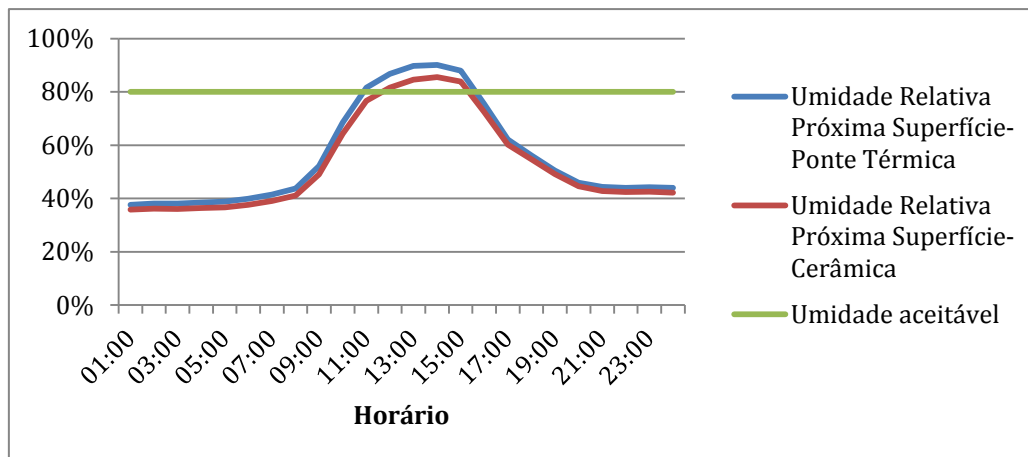


Figura 9: Fachada sul-leste: Umidade Relativa Próxima as superfícies inverno $U=0,39 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

5. CONCLUSÕES

O estudo apresentou as condições higrotérmicas e a probabilidade de formação de fungos filamentosos de uma parede através de dados obtidos via simulação computacional. A umidade relativa do ar próxima à superfície da parede, apesar de não ser o único fator que possibilita a formação de fungos filamentosos nos fechamentos, tem grande parcela nessa probabilidade e deve ser considerada, principalmente quando ar for igual ou superior a 80% durante seis horas seguidas ou mais.

Aspectos ligados aos usuários, como possibilitar a ventilação natural, podem interferir no nível de umidade no ambiente, e conseqüentemente influenciar no favorecimento para formação de fungos filamentosos. Aspectos ligados a materiais e técnicas construtivas também podem influenciar no favorecimento ou não da formação de fungos filamentosos.

Os resultados comprovaram que em alguns períodos no inverno há uma possibilidade de formação de fungos filamentosos maior onde ocorre a ponte térmica, quando o prédio é mais isolado. Porém, se tratando do ano inteiro, os fungos ocorrem mais vezes na cerâmica, pois esta apresenta uma temperatura mais baixa do que a superfície de concreto, tendo uma umidade relativa próxima a superfície maior. A maior capacidade térmica da estrutura de concreto armado mantém a massa térmica aquecida, ocasionando maiores temperaturas superficiais nas pontes térmicas.

O estudo evidenciou também, que além da transmitância térmica, a capacidade térmica pode ser um fator relevante a se verificar na possibilidade de formação de fungos filamentosos em fechamentos verticais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAE, ASHRAE Handbook - **Psychometrics**, American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220-3: desempenho térmico de edificações - Parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro, 2005.

___ **NBR 15.575: Desempenho: Edifícios Habitacionais de até 5 pavimentos**. parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

CUNHA, E.; GIOIELLI, B. Analysis of Thermal Bridge Impact in a Hotel Building for the Eight Brazilian Bioclimatic Zones. **Journal of Civil Engineering and Architecture**, v. 9, p. 393-400, 2015.

CUNHA, E.; 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. 7º Seminário Internacional Espaço Sustentável "Inovações em Edifícios e Cidades". **Anais...** São Paulo, 2008.

DALBEM, R.; KNOP, S.; CUNHA, E.; OLIVEIRA, R. F. P.; RODRIGUES, M. F.; VICENTE, R.; Verification of the Passive House Concept to the South of Brazil Climate. **Journal of Civil Engineering and Architecture**, v. 10, p. 937-945, 2016.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NÖRMUNG. **DIN 4108 – Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden. Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung**. Alemanha, 2001.

EVANS, M.; SCHILLER, S. Verificación de puentes térmicos normas para definir soluciones admisibles. 2010. **Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente**, v.14 p. 51-58.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14.683 - Thermal bridges in building construction — Linear thermal transmittance — simplified methods and default values**. Suíça: ISO, 2007.

___ **ISO 10.211 - Thermal bridges in building construction — Heat flows and surface temperatures — Detailed calculations**. Suíça: ISO, 2007.

INMETRO - Instituto Nacional de Meteorologia, Normalização e Qualidade Industrial. **RTQ-R**. Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais. Eletrobrás, 2010.

INSTITUTO ARGENTINO DE NORMALIZACIÓN. **IRAM 11.549. Aislamiento térmico de edificios. Argentina: IRAM. 2002**. ___ **IRAM 11.605– Condicionamento Térmico de Edifícios – Condições de Habitabilidade nos Edifícios – Valores máximos de transmitância térmica em fechamentos opacos**. Argentina, 1996.

Laboratório de eficiência energética em Edificações. **Arquivos climáticos**. Disponível em <www.labeee.ufsc.br>. Acesso em maio de 2017.

MARTINS, D.; RAU, S.; RECKZIEGEL, S.; FERRUGEM, A.; SILVA, A. C.; Ensaio sobre a utilização da automação de aberturas na simulação do desempenho térmico de edificações; Natal, 2009, **Anais...** Natal, ENCAC 2009.

PESSOA, J.; **Análise da influência das pontes térmicas nos edifícios residenciais**. Dissertação de Mestrado. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, 2011.

SANTOS, G.; MENDES, N. Hygrothermal bridge effects on the performance of buildings. **International Communications in Heat and Mass Transfer**, Chicago, Elsevier, v. 53, p. 133-138, 2014.

SEDLBAUER, K. **Prediction of mould fungus formation on the surface of and inside building components**. 2001. 247 f. Tese (Pós-Doutorado) – Fraunhofer Institute for Building Physics, 2001.