XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável

Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Estudo comparativo de uma parede de bloco cerâmico atendendo a norma NBR 15575, ZB2, com uma parede de *Steel Frame* quanto ao desempenho higrotérmico

Comparative study of ceramic block wall according to standard NBR 15575, ZB2, with a Steel Frame wall as to hygrothermal performance

Luiza Coutinho Bernardes
Universidade Federal de Pelotas | Pelotas | Brasil | luizacber@gmail.com
Carolina de Mesquita Duarte
Universidade Federal de Pelotas | Pelotas | Brasil | carolinademesquitaduarte@hotmail.com
Maritza da Rocha Macarthy
Universidade Federal de Pelotas | Pelotas | Brasil | maritzadarochamacarthy@gmail.com
Luciane Andreola Beber
Universidade Federal de Pelotas | Pelotas | Brasil | luandreolabeber@gmail.com
Rodrigo Karini Leitzke
Universidade Federal de Pelotas | Pelotas | Brasil | rodrigokarinileitzke@gmail.com
Antônio Cesar Silveira Baptista da Silva
Universidade Federal de Pelotas | Pelotas | Brasil | antoniocesar.sbs@gmail.com
Eduardo Grala da Cunha
Universidade Federal de Pelotas | Pelotas | Brasil | eduardogralacunha@yahoo.com.br

Como citar:

BERNARDES, L. C.; DUARTE, C. de M.; MACARTHY, M. da R.; BEBER, L. A.; LEITZKE, R. K.; SILVA, A. C. S. B. da; CUNHA, E. G. da. Estudo comparativo de uma parede de bloco cerâmico atendendo a norma NBR 15575, ZB2, com uma parede de *steel frame* quanto ao desempenho higrotérmico, ENTAC2022. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. XXX-XXX.

Resumo

Este estudo tem o objetivo de abordar a importância das discussões do desempenho higrotérmico nas normas brasileiras, traçando um comparativo do desempenho higrotérmico de uma parede de bloco cerâmico da NBR 15575:2013 com uma parede de Steel Frame (SINAT, 2016), de uma edificação unifamiliar situada em Pelotas (ZB2), através de análise de simulação computacional realizada nos softwares EnergyPlus e WUFI. Analisados o risco de condensação de vapor e de formação de fungos filamentosos, a parede de alvenaria obteve resultados insatisfatórios, indicando que o limite utilizado pela NBR 15575:2013 apresenta riscos relacionados a umidade nos elementos construtivos.

Palavras-chave: Edificações. Umidade em paredes. Simulação computacional.

Abstract

This study aims to address the importance of discussions of hygrothermal performance in Brazilian standards, tracing a comparison of the hygrothermal performance of a ceramic block wall of NBR 15575:2013 with a steel frame wall (SINAT, 2016), of a single-family building located in Pelotas (ZB2), through computational simulation analysis performed in EnergyPlus and WUFI software. When analyzing the risk of vapor condensation and formation of filamentous fungi, the masonry wall obtained unsatisfactory results, indicating that the limit used by NBR 15575:2013 presents risks related to moisture in the building elements.

Keywords: Buildings. Moisture on walls. Computer simulation.

INTRODUÇÃO

O sistema construtivo em alvenaria convencional com bloco cerâmico é o mais utilizado no país e está presente na maioria das Zonas Bioclimáticas brasileiras [1]. No entanto, a busca por melhorar o desempenho termoenergético das edificações motivou diversos estudos da área a explorarem novas tecnologias que aprimorassem os sistemas construtivos [2]. Nesse contexto, o sistema de *Steel Frame* começa a ser empregado no Brasil e, de acordo com a Associação Brasileira de Construção metálica - ABCEM [3] sua principal aplicação atual é na construção de conjuntos habitacionais, creches, shoppings, escolas, galpões e residências.

A NBR 15270 [4] traz especificações técnicas quanto aos blocos cerâmicos, em relação ao desempenho das edificações. A norma técnica referente aos perfis estruturais de aço formados a frio é a NBR 6355 [5], e a diretriz que regulamenta o sistema *de Steel Frame* é a SINAT nº 003 [6], que especifica requisitos e critérios de desempenho dos sistemas de vedação vertical, piso e cobertura em sistemas leves. As normas brasileiras trazem especificações relativas a estanqueidade, durabilidade, desempenho térmico, entre outras, porém, não estabelecem valores e limites quanto ao desempenho higrotérmico dos sistemas construtivos.

Segundo Zanoni [7], a investigação e simulação higrotérmica em estudos no país são prejudicadas pela ausência de uma base de dados brasileira referente às propriedades higrotérmicas dos materiais e dos sistemas construtivos. Morishita [8] também destaca a falta de informações específicas nas normas e reafirma a importância de ampliar os estudos sobre o risco de umidade nos edifícios, proporcionando um melhor

entendimento sobre desempenho higrotérmico, a fim de estimular a evolução dos sistemas construtivos e a criação de critérios de avaliação nas normas técnicas.

Berger *et al.* [9] destacam que a umidade afeta a qualidade do ar interno dos ambientes, sendo responsável por diversas manifestações patológicas nas construções, e que em ambientes com condições propícias de temperatura e umidade podem levar ao crescimento de micro-organismos (fungos filamentosos) prejudiciais à saúde do usuário. As manifestações patológicas causadas pela umidade em construções podem ainda afetar a durabilidade e manutenção dos materiais que compõem os elementos da envoltória das edificações [10][11].

As condições climáticas brasileiras favorecem o risco de umidade nos sistemas construtivos de edifícios em diversas regiões do país [12][8] e, em razão da baixa qualidade das construções, as questões de umidade requerem ainda mais atenção [1]. Trindade *et al.* [2] avaliaram paredes de concreto aerado autoclavado, a partir de simulações no programa *WUFI*, e concluíram que as propriedades higrotérmicas do revestimento externo influenciaram significativamente no desempenho higrotérmico geral da parede. Zanoni *et al.* [13] também utilizaram simulações no *WUFI*, além de medições em campo para analisarem o desempenho higrotérmico de uma parede de alvenaria, em que as variações higrotérmicas se mantiveram acima dos limites de umidade relativa estabelecidos pelas normas internacionais.

A avaliação higrotérmica depende de uma grande quantidade de variáveis específicas, por isso, Busser *et al.* [14] destacam a importância dos programas de simulação como ferramentas que auxiliam nos processos de análises do comportamento higrotérmico de diferentes sistemas construtivos expostos a diferentes condições climáticas. O *WUFI* (*Wärme und Feuchtetransport Instationär - Transient Heat and Moisture Transport*), é uma ferramenta de cálculo computacional que permite simulações em regime dinâmico e estudos de sensibilidade sobre composição, propriedades higrotérmicas dos materiais e condições climáticas [15].

Considerando, a crescente demanda desses sistemas construtivos, além da importância da umidade no desempenho higrotérmico das edificações e a falta de especificações e informações quanto a limites e valores das propriedades higrotérmicas dos materiais que compõe esses sistemas. Uma revisão e atualização das normas se faz necessária para melhorar a qualidade, manutenção, durabilidade e eficiência energética das edificações.

OBJETIVO

O objetivo do trabalho é comparar o desempenho higrotérmico de uma parede de bloco cerâmico que atende à NBR 15575 [16] com uma parede do sistema construtivo de *Steel Frame* [6], na Zona Bioclimática 2. Abordando assim, a importância das discussões do desempenho higrotérmico nas normas brasileiras.

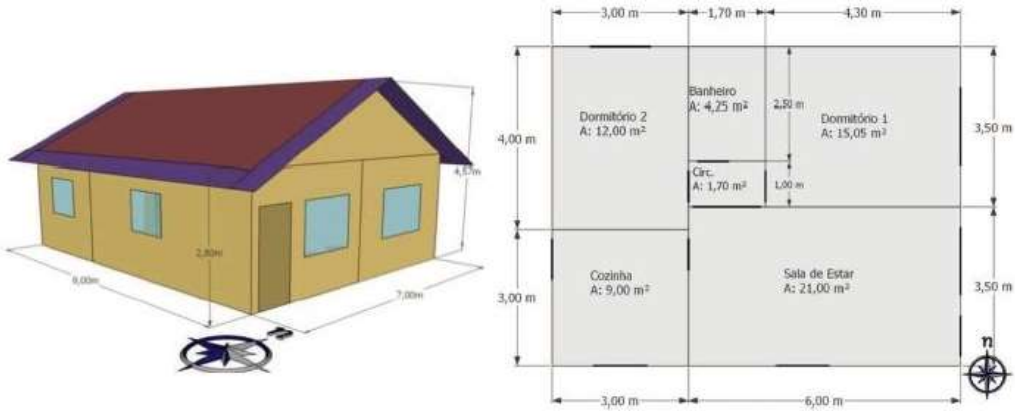
MÉTODO

O trabalho foi desenvolvido em três etapas principais. Na primeira etapa foi definida a tipologia e os sistemas construtivos utilizados para a análise. A segunda etapa consistiu nas simulações dos casos. A terceira etapa correspondeu à análise dos resultados obtidos.

DEFINIÇÃO DOS CASOS DE ANÁLISE

A tipologia construtiva adotada corresponde a uma edificação unifamiliar, baseada no modelo de Sorgato [17]. A edificação possui 63m² de área, é constituída por dois dormitórios, banheiro, sala e cozinha, com as maiores fachadas direcionadas para Norte e Sul, (Figura 1).

Figura 1: Modelo 3D e planta baixa.



Fonte: Autores, adaptado de Sorgato [17].

Na cidade em que o estudo foi realizado, Pelotas-RS, Zona Bioclimática 2, o clima é predominantemente úmido, com umidade relativa média de 82,7%, estações bem definidas, e médias de temperaturas máximas de 37,6°C e mínimas de 3,8°C [18].

Tabela 1: Dados Climáticos de Pelotas, RS.

Temperatura (ºC)			Umidade relativa (%)		
Média	Máxima	Mínima	Média	Máxima	Mínima
19,0	37,6	3,8	82,7	99	24,0
Radiação solar média anual (kWh/m²a)		Índice de nebulosidade médio (-)	Velocidade do vento média (m/s)		Precipitação anual média (mm/a)
3131,6		0,5	6,3		1401

Fonte: Autores, adaptado de Leitzke *et al.* [18].

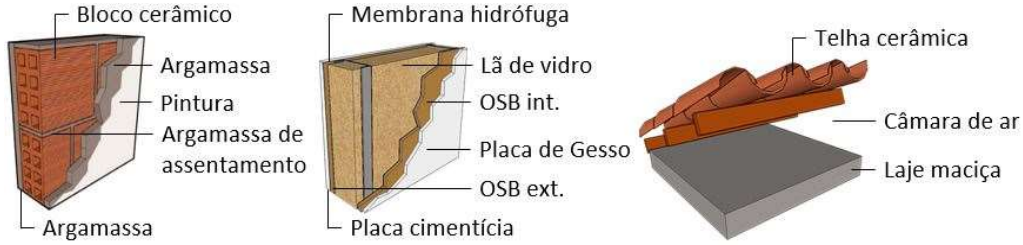
ENVOLTÓRIA

Foram definidos dois sistemas construtivos para a análise, o primeiro modelo em bloco cerâmico seguindo as diretrizes construtivas da NBR 15575 [16] e da NBR 15220 [19], e o segundo em *Steel Frame* de acordo com a Diretriz SINAT n°003 [6]. As duas condições são compostas por telha cerâmica e piso cerâmico, janelas com vidro simples e portas em madeira. As propriedades dos materiais foram configuradas

conforme a NBR 15220 [19]. A Tabela 2 apresenta a caracterização das propriedades térmicas dos componentes da envoltória.

Na Figura 2 são apresentadas as paredes e cobertura. O modelo em alvenaria convencional foi escolhido quanto à transmitância térmica de 2,49W/(m²K), em bloco cerâmico 8 furos de 9cmx19cmx19cm, e reboco de argamassa com 2,5cm em ambas as faces. O modelo em *Steel Frame* é composto por perfis estruturais de aço zincado; fechamento da face externa com placa cimentícia, membrana hidrófuga e OSB; miolo com isolamento em lã de vidro entre as peças estruturais; fechamento da face interna em OSB e chapa de gesso; essa composição possui transmitância térmica de 0,38W/(m²K).

Figura 2: Representação das paredes de alvenaria e *steel frame* e da cobertura.



Fonte: Autores, adaptado de LabEEE [20].

Tabela 2: Especificações dos materiais da envoltória.

Elemento construtivo	Materiais	Espessura (m)	Condutividade Térmica (W/m.K)	Densidade (kg/m³)	Calor Específico (J/kg.K)
Parede Alvenaria	Bloco Cerâmico	0,09	0,9	1138	920
	Reboco	0,025	1,15	2000	1000
Parede Steel Frame	Placa Cimentícia	0,01	0,95	2200	840
	Membrana Hidrófuga	0,001	1	83	1800
	OSB Externo	0,011	0,12	550	2300
	Lã de Vidro	0,1	0,045	100	700
	OSB Interno	0,0095	0,12	550	2300
	Chapa de Gesso	0,15	0,35	100	840
Cobertura	Telha Cerâmica	0,1	0,9	1600	920
	Concreto Laje	0,10	1,75	2400	1000
Piso	Piso cerâmico	0,01	1,75	1300	1000
	Concreto Piso	0,05	1,75	2400	1000
Esquadrias	Madeira	0,003	0,15	450	2300
	Vidro Simples	0,003	0,9	-	-

Fonte: Autores, adaptado de NBR 15220 [19].

SIMULAÇÕES

As simulações das edificações foram realizadas nos programas *Energy Plus* 8.7 e *WUFI* Pro 6.5, na condição de ventiladas naturalmente e, apenas no *WUFI* Pro 6.5, na condição condicionada artificialmente.

SIMULAÇÃO NO ENERGY PLUS

A simulação no *EnergyPlus* 8.7 foi utilizada para obter os dados da temperatura e umidade relativa interna dos ambientes, necessários para a simulação higrotérmica no programa *WUFI* Pro 6.5. A modelagem da edificação foi realizada no programa *SketchUp Make* 2017 utilizando o *plugin Euclid* 9.3, onde foram consideradas 6 zonas térmicas (sala de estar, cozinha, dormitório 1 e 2, banheiro e telhado).

O arquivo climático utilizado foi o referente a cidade de Pelotas/RS (ZB2), desenvolvido por Leitzke *et al*. [18]. Para a configuração do modelo, considerou-se os ambientes como ventilados naturalmente, onde foram utilizadas as diretrizes do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais - RTQ-R [21] para as condições de uso e ocupação dos sistemas de iluminação e equipamentos.

As agendas de ocupação e iluminação foram configuradas para a sala e dormitório, já a de equipamentos, apenas para a zona da sala, considerando o sistema ligado 24 horas por dia e com densidade de potência de 1,5W/m². A configuração de equipamentos para geração de vapor no interior da edificação, considerou um chuveiro e quatro panelas, conforme a Diretriz SiNAT N°001 [22]. Na Tabela 3, são indicados os valores referentes à taxa metabólica, densidade de potência de iluminação e equipamentos.

Tabela 3: Taxa metabólica, iluminação e equipamentos

	Taxa metabólica		Equipamentos		Iluminação	Equipamento de água quente
Ambiente	Atividade realizada	Calor produzido para área de pele: 1,80 m² (W)	Período	Potência (W/m²)	DPI (W/m²)	Vapor de água (g/h)
Sala	Sentado ou assistindo TV	108	24h	1,5	5,0	-
Dormitórios	Dormindo ou descansando	81	-	-	6,0	-
Cozinha	-	-	-	-	-	450
Banheiro	-	-	-	-	-	450

Fonte: Adaptada de RTQ-R [21] e SiNAT [22].

A configuração de ventilação natural do modelo foi realizada através do objeto *AirflowNetwork*, identificando as características de geometria, condições e controle das aberturas e janelas da edificação. O *setpoint* de abertura das janelas foi definido em 25ºC, baseado em Martins [23]. Desse modo, quando a temperatura interna da zona atingir temperaturas maiores ou iguais a temperatura do *setpoint* e a

temperatura interna for maior que a temperatura externa, a abertura das janelas será permitida.

Os dados de saída de temperatura interna e umidade relativa do ar, obtidos através das simulações realizadas no *EnergyPlus*, foram utilizados para a criação de um arquivo com dados das condições internas para inserção na etapa de simulação com o *WUFI* no item relativo as condições de contorno do ambiente interior, para o caso das edificações ventiladas naturalmente.

SIMULAÇÃO HIGROTÉRMICA

O objetivo das simulações higrotérmicas realizadas no programa *WUFI* Pro 6.5, foi obter dados referentes ao risco de condensação de vapor e formação de fungos filamentosos nas paredes analisadas.

Os parâmetros considerados na configuração da edificação foram, a orientação solar (norte e sul), edifício pequeno com altura de até 10 m, pintura do tipo látex 1 para as paredes externas e internas, absortância do solo (onda curta) de 0,8 (escuro) e refletividade do solo (onda curta) 0,2 para valor padrão. As condições de umidade e temperatura, através do elemento construtivo, foram consideras constantes. O cálculo de transferência de calor e de umidade realizado no programa utiliza as equações diferenciais de Künzel.

A chuva incidente foi calculada utilizando os valores de, 0,7 (fachada protegida pelo entorno) de fator de exposição à chuva (FE) e 0,5 (fachada não protegida por beiral) de fator de deposição da chuva (FD), baseados na ASHRAE 160 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**. Para a análise climática do *WUFI*, foi utilizado o arquivo climático (TRY), referente a cidade de Pelotas/RS, desenvolvido por Leitzke *et al.* [18].

As simulações higrotérmicas foram realizadas considerando duas situações, o ambiente ventilado naturalmente e condicionado artificialmente. Na simulação do modelo naturalmente ventilado, foi utilizado o arquivo da simulação realizada no *Energy Plus,* onde foi gerado um arquivo com dados da temperatura e umidade relativa interna horária. Já na simulação para o modelo condicionado artificialmente, foi utilizado apenas o *WUFI*, definindo as condições internas de acordo com a ASHRAE 160 [24], com temperatura interna flutuante de 4,0°C, *setpoint* de arrefecimento 21,5°C e de aquecimento 25,5 °C. As simulações no *WUFI* foram rodadas para o período de três anos, e os resultados analisados nesse estudo foram apresentados apenas do último ano de análise, que se refere ao período em que a parede atinge o estado em que o teor de umidade não muda de ano para ano [25].

A Tabela 4 apresenta os dois sistemas construtivos adotados para as simulações no *WUFI*, as propriedades higrotérmicas dos materiais foram retiradas da biblioteca do programa*,* exceto o fator de resistência à difusão de vapor de água do bloco cerâmico que foi baseado em Guerra [26]. As demais propriedades foram citadas na Tabela 1 e mantiveram-se os mesmos valores para a simulação no *WUFI*. A parede PA corresponde ao sistema em alvenaria convencional de bloco cerâmico descrito na NBR 15575 [16]. E a parede SF refere-se ao sistema em *Steel Frame* descrito na Diretriz SINAT [6].

Tabela 4: Propriedades dos materiais construtivos utilizados

	Camadas	Espessura (m)	Porosidade (m^3/m^3)	Fator de resistência à difusão de vapor de água	Transmitância térmica W/(m^2K)	Resistência térmica (m^2K)/W
PA	Reboco	0,025	0,25	45,89	2,49	0,22
	Bloco Cerâmico	0,09	0,60	38,86		
	Reboco	0,025	0,25	45,89		
SF	Placa Cimentícia	0,01	0,177	69	0,38	2,45
	Membrana Hidrófuga	0,001	0,12	4000		
	OSB Ext.	0,011	0,95	1015,1		
	Lã de Vidro	0,1	0,95	1,3		
	OSB Int.	0,0095	0,95	1015,1		
	Chapa de Gesso	0,015	0,71	8,33		

Fonte: Autores, adaptado de WUFI® Pro 6.5 [25].

CRITÉRIOS DE ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os critérios de avaliação definidos para a análise dos resultados foram o risco de condensação de vapor (%) e a formação de fungos filamentosos (%).

RISCO DE CONDENSAÇÃO DE VAPOR

Para identificar as camadas dos sistemas de vedação com períodos extensos de umidade relativa elevada, utiliza-se a avaliação do risco de condensação de vapor, a partir dos índices de umidade relativa dessas camadas. Em materiais não higroscópicos e câmaras de ar, a condensação do vapor acontece quando a umidade relativa atinge o valor de 100%, e em materiais higroscópicos pode apresentar risco de ocorrência acima de 80% [27]. França [28], destaca a importância da análise do fator de condensação, considerando que ele indica se existe a possibilidade de ocorrência de água no estado líquido em algum local do sistema, propiciando o risco de degradação e crescimento de fungos filamentosos.

FORMAÇÃO DE FUNGOS FILAMENTOSOS

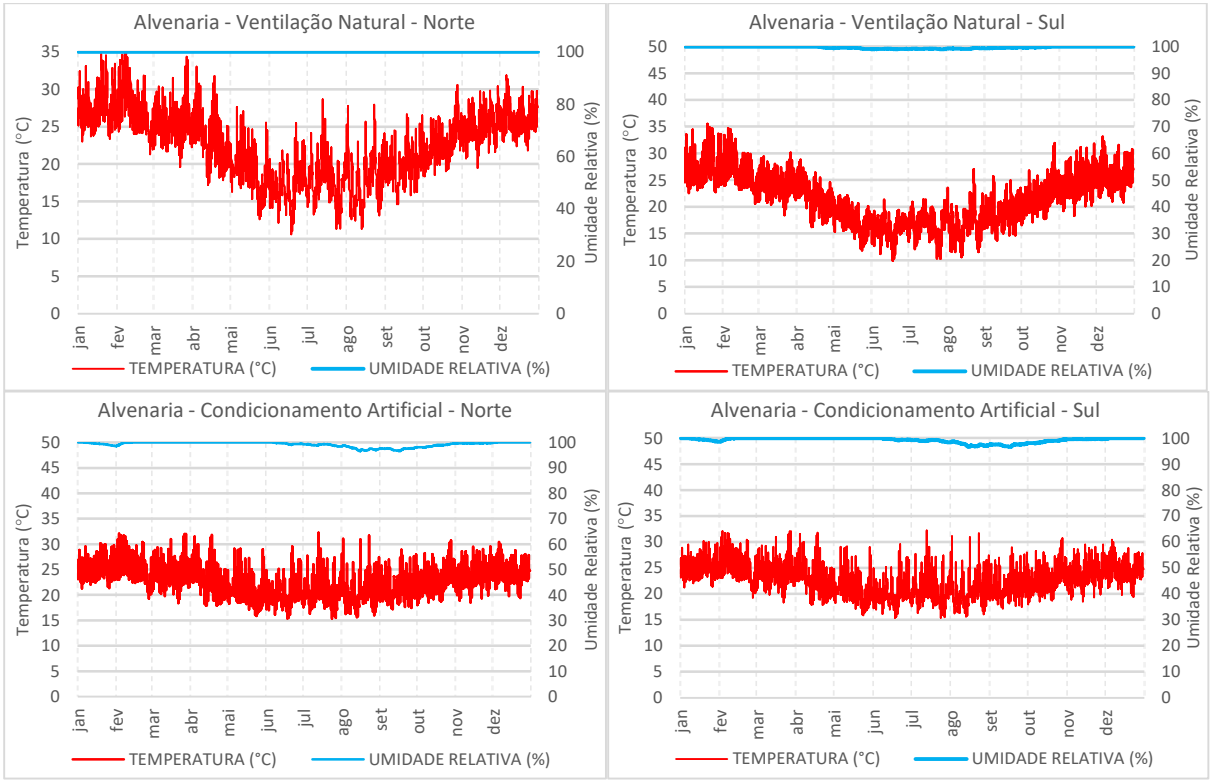
As curvas LIM (*Lowest Isopleth for Mold*) representam o limite para o risco de crescimento de mofo, onde, pontos acima da curva apresentam condições de temperatura e umidade relativa favoráveis ao crescimento de fungos filamentosos nas superfícies internas. A curva LIM B I representa materiais biodegradáveis e a curva LIM B II representa materiais porosos, considerando a curva LIM B II, com umidade relativa superior a 80% e temperatura interna de 20°C, as paredes apresentam risco de formação de fungos filamentosos [29]. A norma DIN 4108-2 [30] apresenta limite de umidade relativa de 80% durante um período de 6 horas por dia.

RESULTADOS

RISCO DE CONDENSAÇÃO DE VAPOR

Nas Figuras 3 e 4, são apresentados os gráficos de temperatura e umidade relativa da superfície interior das paredes, apresentando as diferentes orientações solares, e considerando ventilado naturalmente e condicionado artificialmente, no decorrer do último ano de análise.

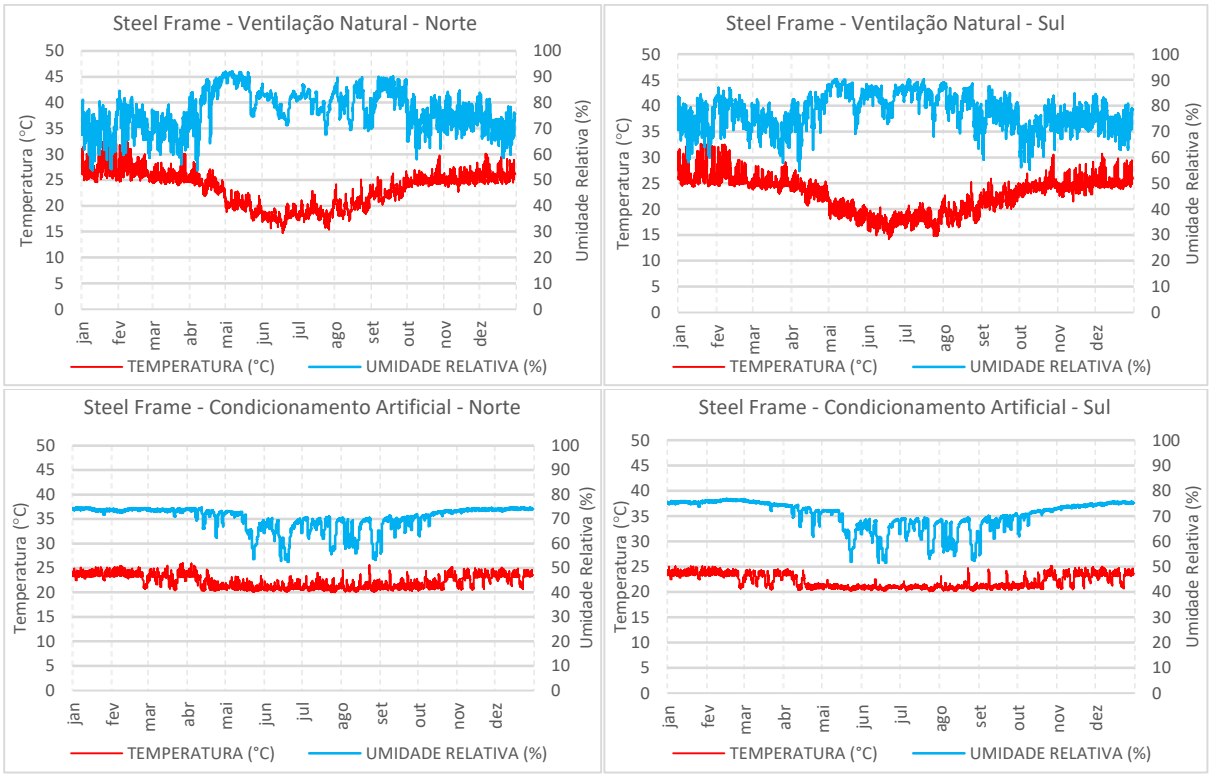
Figura 3: Temperatura e umidade relativa da superfície interior - Alvenaria



Fonte: Autores.

O sistema de alvenaria (Figura 3) apresentou umidade relativa perto de 100% em grande parte do período simulado, indicando um alto risco de condensação no sistema construtivo em todas as condições. Mesmo apresentando uma leve diminuição no período de primavera com a adição do condicionamento artificial, ainda há risco de condensação no sistema construtivo por estar acima de 80% e muito próximo de 100% de umidade relativa.

Figura 4: Temperatura e umidade relativa da superfície interior – *Steel Frame*



Fonte: Autores.

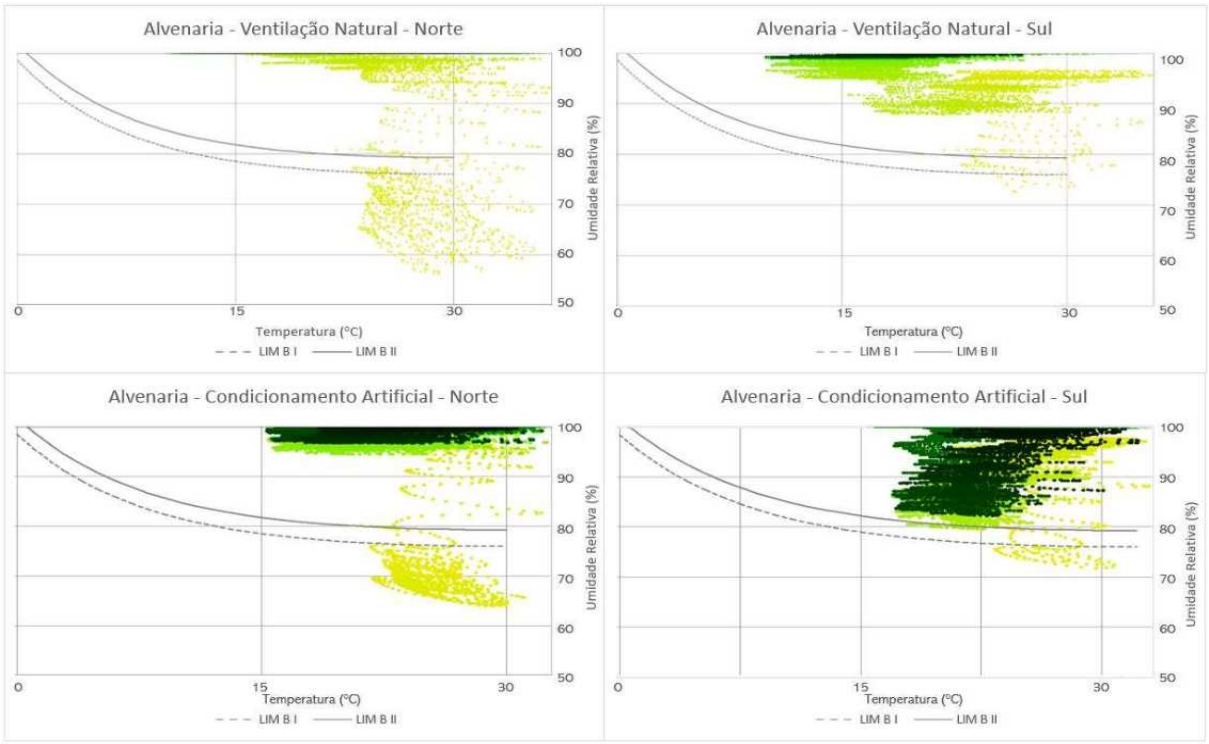
Nas paredes de *Steel Frame* (Figura 4) a umidade relativa não chegou aos níveis de 100% em nenhuma condição, diferentemente da alvenaria, mas apresentou valores entre 80% a 90% na condição ventilada naturalmente no período de inverno. Níveis que já sugerem risco de formação de fungos filamentosos. Ao adicionar o ar condicionado, tendo a temperatura controlada, os níveis de umidade relativa ficaram em torno de 75% no período de verão e em 65% no período de inverno. No sistema de condicionamento artificial, pode-se verificar o efeito do isolamento nas paredes de *Steel Frame* que mantém as temperaturas superficiais superiores comparadas as paredes de alvenaria e com umidade mais baixa.

Dessa forma, nas duas paredes verifica-se a vantagem do uso de um sistema de climatização artificial para diminuir o risco de condensação superficial.

FORMAÇÃO DE FUNGOS FILAMENTOSOS

As Figuras 5 e 6 referem-se ao risco de formação de fungos filamentosos na superfície interior. São divididos em orientação norte e sul, e ventilado naturalmente e condicionado artificialmente. Os pontos na cor amarela indicam condições do início da simulação, seguidos pelos tons de verde e, por último, os pontos na cor preta que representam o final do tempo de simulação.

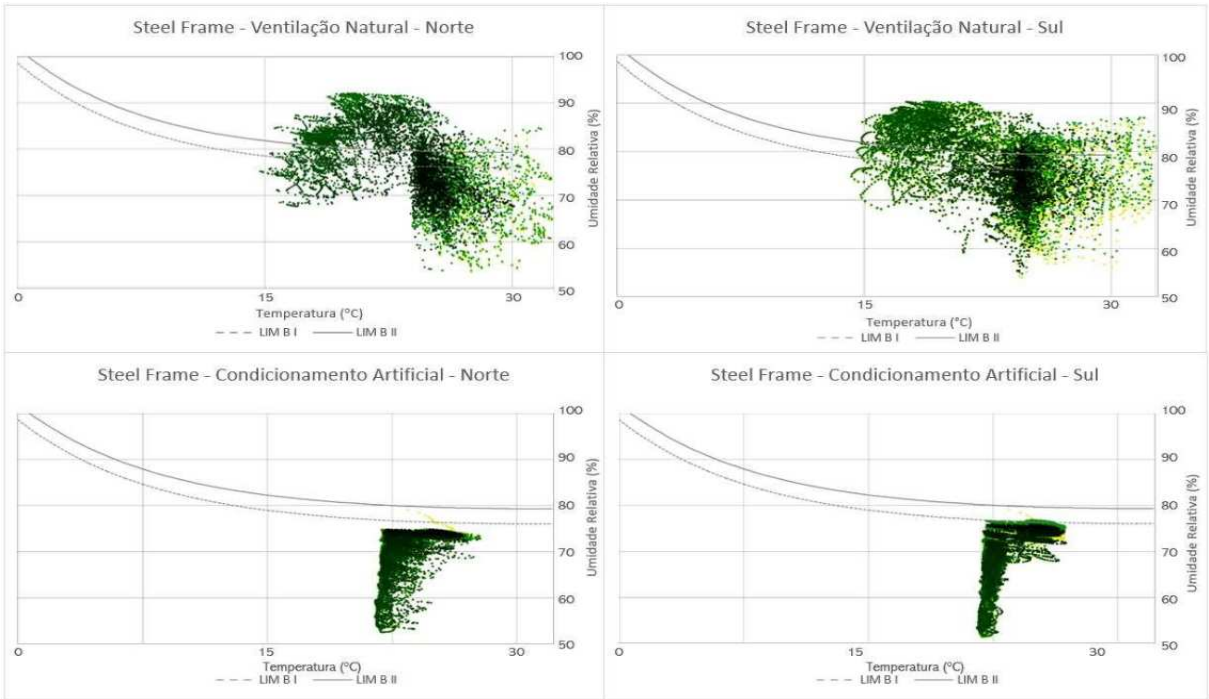
Figura 5: Formação de fungos filamentosos – Alvenaria



Fonte: Autores.

Na parede de alvenaria (Figura 5) é possível observar os pontos na cor verde e preto acima das linhas LIM, representando que houve risco de formação de mofo em todas as condições analisadas, até mesmo com condicionamento artificial, mostrando que esse sistema construtivo não garante a minimização nem evita a formação de fungos filamentosos.

Figura 6: Formação de fungos filamentosos – *Steel Frame*



Fonte: Autores.

O sistema com parede de *Steel Frame* (Figura 6), na condição de ventilada naturalmente com a nuvem de pontos nas cores verde e preto, apresenta risco de crescimento de mofo com umidade relativa acima de 80%. Mas quando adicionado o sistema de climatização artificial a tendência para formação de mofo é improvável, como mostra a nuvem de pontos abaixo das linhas LIM de referência. Destacando a vantagem do acionamento do sistema de climatização artificial.

CONCLUSÕES

Este trabalho analisou o comportamento higrotérmico de uma parede de alvenaria de bloco cerâmico e uma parede de *Steel Frame, c*om o objetivo de discutir a importância de análises higrotérmicas para o melhoramento dos sistemas construtivos brasileiros. As análises consideraram condições de diferentes orientações solares e também condições de ambiente ventilado naturalmente e condicionado artificialmente. As simulações computacionais foram feitas nos programas *WUFI Pro* 6.5 e *EnergyPlus* 8.7, com análises referentes ao risco de condensação de vapor e risco de formação de fungos filamentosos.

Nas análises realizadas, o sistema de alvenaria de bloco cerâmico obteve resultados insatisfatórios em todos os quesitos avaliados, apresentando uma melhora apenas nas condições de condicionado artificialmente, mas ainda assim, possuindo riscos de formação de fungos filamentosos. Na parede em *Steel Frame* com a adição de ar condicionado também apresenta uma melhora nos resultados, que são explicados pelo clima analisado que possui máximas de umidade perto de 100%.

A comparação dos dois sistemas construtivos mostra o baixo desempenho da parede de bloco cerâmico e o desempenho satisfatório da parede de *Steel Frame*, que conta com membrana hidrófuga, assim, contribuindo para menores níveis de umidade na superfície interior. Entretanto, no clima analisado, a utilização de um sistema de condicionamento artificial possui grande vantagem e probabilidade alta para garantir que não ocorram problemas relacionados a umidade e ao surgimento de fungos filamentosos.

É importante destacar a necessidade de estudos precisos sobre os demais sistemas construtivos da norma brasileira NBR 15575 [16], para o entendimento sobre o desempenho higrotérmico e a criação de métodos de avaliação. A simulação computacional traz um importante entendimento sobre os fenômenos de transporte de calor e umidade, contribui para o estudo de soluções de projeto, de manutenção, vida útil e sobre a eficiência energética dos sistemas.

A partir das análises se conclui a importância da consideração do desempenho higrotérmico nas normas brasileiras. O sistema construtivo de alvenaria de bloco cerâmico analisado possui os requisitos mínimos impostos pela norma NBR 15575 [16], entretanto obteve resultados insatisfatórios, com alto risco de umidade na superfície interior e risco de formação de fungos filamentosos, que podem afetar significativamente o desempenho de toda a edificação, além de trazerem riscos à saúde dos moradores da edificação.

REFERÊNCIAS

[1] MORISHITA, C.; BERGER, J.; CARNEIRO, A.; MENDES, N. Issues about moisture in residential buildings of Brazil. **In: CIB World Building Congress**. Tampere University of Technology, Tampere, Finland, pp. 865–884, 2016.

[2] TRINDADE, A. D.; COELHO, G. B. A.; HENRIQUES, F. M. A. Influence of the climatic conditions on the hygrothermal performance of autoclaved aerated concrete masonry walls. **Journal of Building Engineering**, v. 33, Artigo 101578, 2021.

[3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONSTRUÇÃO METÁLICA. O futuro do Light Steel Framing no Brasil. **Blog ABCEM**. São Paulo, 10 mar. 2021. Disponível em: https://www.abcem.org.br/site/blog/o-futuro-do-light-steel-framing-no-brasil. Acesso em: 29 jun. 2021.

[4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270:** Componentes Cerâmicos. Rio de Janeiro, 2017.

[5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6355:** Perfis estruturais de aço formados a frio – Padronização. 2 ed. Rio de Janeiro, 2012.

[6] SISTEMA NACIONAL DE AVALIAÇÕES TÉCNICAS - SINAT. Diretrizes para Avaliação Técnica de Produtos. **Diretriz SINAT nº 003**, revisão 2. Brasília, 2016.

[7] ZANONI, V. A. G. **Influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrotérmico de fachadas em Brasília**. [s.l.] Universidade de Brasília, 2015.

[8] MORISHITA, C. **On the assessment of potential moisture risks in residential buildings across Brazil.** Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2020.

[9] BERGER, J.; GUERNOUTI, S.; WOLOSZYN, M.; BUHE, C. Factors governing the development of moisture disorders for integration into building performance simulation. **Journal of Building Engineering**, v. 3, p. 1-15, 2015.

[10] GUERRA, F. L.; CUNHA, E. G.; SILVA, A. C. B.; KNOP, S. Análise das condições favoráveis à formação de bolor em edificação histórica de Pelotas, RS, Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 4, p. 7–23, 2012.

[11] NASCIMENTO, M.; PEREIRA, J. G.; ALVES, G. L.; SANTOS, V. F.; DANTAS, A. A. N. Hygrothermal simulation: Use for service life prediction and maintenance of façades. **WIT Transactions on the Built Environment**, v. 183, p. 139–149, 2019.

[12] PINHEIRO, J. L. C. A. **Importância Do Clima Exterior E Interior Na Quantificação Do Desempenho Higrotérmico Dos Edifícios**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2013.

[13] ZANONI, V. A. G.; DANTAS, A. L. DE F.; NUNES, L. S.; RIOS, R. B. Estudo higrotérmico na autoconstrução: simulação computacional e medições em campo. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, p. 109–120, 2020.

[14] BUSSER, T.; PAILHA, M.; PIOT, A.; WOLOSZYN, M. Simultaneous hygrothermal performance assessment of an air volume and surrounding highly hygroscopic walls. **Building and Environment**, v. 148, p. 677-688, 2019.

[15] SANTOS, A. **Comportamento Higrotérmico de paredes em gesso - Avaliação da adequabilidade a zonas climáticas do Brasil.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2017.

[16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edificações Habitacionais — Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.

[17] SORGATO, M. J. **A influência do comportamento do usuário no desempenho térmico e energético de edificações residenciais**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) –

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

[18] LEITZKE, R. K. et al. Optimization of the Traditional Method for Creating a Weather Simulation File: The Pelotas.epw Case. **Journal of Civil Engineering and Architecture**, v. 12, p. 741-756, 2018.

[19] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho Térmico de Edificações**. Rio de Janeiro, 2005.

[20] LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES – LABEEE. **PROJETEEE**. Florianópolis. Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: < http://projeteee.mma.gov.br/componentes-construtivos/ >. Acesso em: 02 de jul. 2021.

[21] INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, RTQ-R**, 2012.

[22] SISTEMA NACIONAL DE AVALIAÇÕES TÉCNICAS - SINAT. Diretrizes para Avaliação Técnica de Produtos. **Diretriz SINAT nº 001**, revisão 3. Brasília, 2017.

[23] MARTINS D. J.; RAU S. L.; RECKZIEGEL S.; PRIEBE, A.; SILVA, A. C. B. Ensaio sobre a utilização da automação de aberturas na simulação do desempenho térmico de edificações. In: Encontro Nacional e VI Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, 10. e 6., 2009, Natal, RN. **Anais** […]. Natal: ENTAC, 2009. 1 CD-ROM.

[24] ASHRAE 160. **ASHRAE Standard 160**: Criteria for Moisture - Control Design Analysis in Buildings. New Jersey, USA, 2016.

[25] FRAUNHOFER INSTITUTE FOR BUILDING PHYSICS. WUFI® **Pro 6.5 manual**. Holzkirchen, 2018.

[26] GUERRA, M. Caracterização de tijolos cerâmicos para simulação computacional do desempenho higrotérmico de sistemas de vedação vertical externos. **Feira de inovação tecnológica da UFRGS – FINOVA** – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

[27] JORNE, F. J. F. **Análise do comportamento higrotérmico de soluções construtivas de paredes em regime variável**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2010.

[28] FRANÇA, C. M. C. **Avaliação dos Programas para Quantificar Condensações em Engenharia Civil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013.

[29] AKSAMIJA, A. **Sustainable Facades**: Design Methods for High-Performance Building Envelopes. Nova Jersey, Estados Unidos: John Wiley & Sons, 2013.

[30] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 4108-2**: Wärmeschutz und Energie - Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen na den Wärmeschutz. Berlin: 2003.