ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Durabilidade de sistemas construtivos *light wood frame*: estudo de condensação intersticial

Durability of light wood frame constructive system: interstitial condensation study

Arthur Paulo Ozelame Bastos
Saint-Gobain do Brasil | Capivari | Brasil | arthur.oze@gmail.com
Luciana Alves de Oliveira
Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo | São Paulo | Brasil | luciana@ipt.br

Resumo

O sistema construtivo Light Wood Frame (LWF) vem sendo pesquisado e aplicado em edificações brasileiras com mais frequência em razão da recente publicação (meados de 2023) da norma brasileira intitulada "Edificações em Light Wood Frame", aliada ao seu potencial de industrialização e redução de impacto ambiental, pela possibilidade da captura de carbono biogênico da madeira serrada usada na estrutura principal. Entretanto, um dos desafios da implantação desse sistema nas edificações brasileiras é a avaliação quanto aos requisitos de durabilidade, especialmente quando se trata da possibilidade da ocorrência de elevados teores de umidade internos às paredes, ou entrepisos, ocasionada, por exemplo, pela condensação intersticial. Assim, este artigo objetiva apresentar um estudo sobre a análise da ocorrência de condensação intersticial em paredes de edificações construídas com o sistema LWF. Para tanto, foram feitas revisões bibliográficas, coleta das características dos componentes construtivos das paredes e simulações computacionais usando o software Energy Plus e o WUFI Pro 6.5. Para a configuração estudada não foram observadas condensações intersticiais no interior das paredes, o que sugere boa capacidade de drenagem natural do sistema construtivo na zona bioclimática avaliada.

Palavras-chave: Sistema construtivo. Light Wood Frame. Durabilidade. Umidade. Simulação computacional.

Abstract

The Light Wood Frame (LWF) constructive system has been researched and applied in Brazilian buildings more frequently due to the recent publication of the Brazilian standard "Light Wood Frame Buildings", combined with its potential for industrialization and reduction of environmental impact, due to the possibility of capturing biogenic carbon from the timber used in the frame. However, one of the challenges of this system in Brazilian buildings is related to the assessment of the durability requirements, especially when there is the possibility of high humidity levels occurring inside in the walls, or between floors, caused, for example, by interstitial condensation. Therefore, this article aims to present a study on the analysis of the occurrence of interstitial condensation in walls of buildings made by LWF system. Bibliographic

reviews were carried out, the characteristics of the wall construction components were collected and computer simulations were carried out using Energy Plus and WUFI Pro 6.5 softwares. For the configuration studied, no interstitial condensation was observed inside the walls, which suggests good natural drainage capacity of the construction system in the evaluated bioclimatic zone.

Keywords: Constructive system. Light Wood Frame. Durability. Umidity. Computer simulation.

INTRODUÇÃO

O sistema construtivo Light Wood Frame (LWF) vem sendo pesquisado e aplicado em edificações brasileiras desde meados de 2011. A primeira versão da Diretriz SiNAT 005 intitulada de Sistemas leves tipo Light Wood Framing data de setembro de 2011 e contemplava o uso do sistema somente em unidades habitacionais unifamiliares, térreas e assobradas, isoladas e geminadas. As pesquisas e aplicações evoluíram e, atualmente, a Diretriz SiNAT 005 contempla o uso do LWF para edifícios de até 05 pavimentos [1][2].

Entende-se que a aplicação do sistema LWF em unidades unifamiliares está mais consolidada, visto a recente publicação da norma brasileira [3], destinada para edificações de até dois pavimentos em Light Wood Frame, desde não sejam unidades autônomas sobrepostas.

Portanto, a adoção dos sistemas em LWF tem sido mais frequente, em razão desses documentos normativos que apoiam a elaboração de projetos e o controle da qualidade da execução, aliado ao potencial de industrialização e redução de impacto ambiental da construção pelo uso da madeira serrada do frame, conforme aborda [4].

Existe um número significativo de casas e prédios construídos com este sistema no Brasil, inclusive para habitação de interesse social. Um dos empreendimentos mais conhecido foi o de São Sebastião, onde foram instalados aproximadamente 500 apartamentos estruturados em LWF, para acomodar os desabrigados dos deslizamentos decorrentes de chuvas intensas de meados de fevereiro de 2023 [5].

Entretanto, um dos desafios da implantação do LWF nas edificações brasileiras é o atendimento aos requisitos de segurança e durabilidade, especialmente quando se trata da possibilidade da ocorrência de elevados teores de umidade internos às paredes, ou entrepisos, ocasionada, por exemplo, pela condensação intersticial.

Assim, este artigo objetiva apresentar um estudo sobre a análise da ocorrência de condensação intersticial em paredes de edificações construídas com o sistema LWF. Para tanto, foram feitas revisões bibliográficas, coleta de informações sobre as características dos componentes construtivos das paredes e simulações computacionais usando o software Energy Plus e o WUFI Pro 6.5.

MÉTODO

Com o intuito de avaliar o risco de condensação intersticial em camada interna de contraventamento em OSB de um de light wood frame (LWF), foi analisado, através de simulações higrotérmicas, os valores de fluxo de umidade, umidade relativa e de teor de umidade neste sistema. Após, avaliou-se a diferença da temperatura na camada monitorada ao longo do ano, com a respectiva temperatura de ponto de orvalho, com o objetivo de verificar o risco de condensação intersticial.

OBJETO DE ESTUDO E COMPOSIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO

Como objeto das simulações, foi analisada uma parede de fachada típica de um banheiro (área molhada), conforme geometria padrão de uma habitação de interesse social (HIS), com seus componentes construtivos conforme preconizado pela Diretriz Sinat 005. Uma vez que os códigos sanitários estaduais para HIS exigem apenas que parte da parede interna de banheiro seja coberta com revestimento cerâmico, a região de monitoramento analisada neste trabalho, entendida como o cenário mais crítico do ponto de vista de gestão de umidade, é a região da face interna da parede de fachada do banheiro sem revestimento cerâmico interno. A Figura 1 ilustra este cenário e indica a região crítica, objeto de monitoramento das simulações termoenergéticas e higrotérmicas.

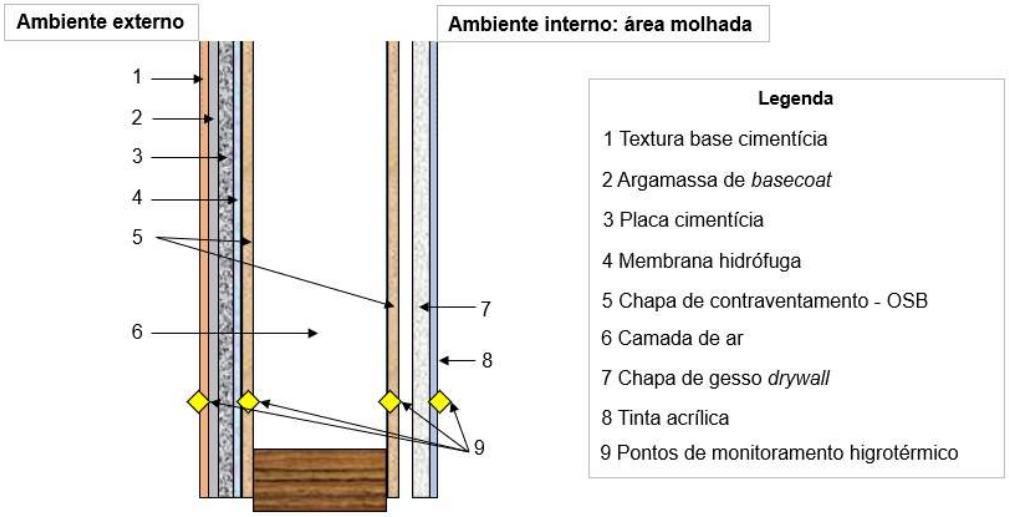
Figura 1: Exemplo banheiro de edificação térrea HIS com revestimento cerâmico parcial. As áreas destacadas indicam os pontos de monitoramento considerados nas simulações termo energéticas e higrotérmicas conduzidas neste trabalho



Fonte: Portal ITeleport [6].

A Figura 2 ilustra a composição construtiva do perfil de parede analisada, indicando os elementos construtivos típicos de uma parede de fachada de banheiro, conforme preconizado pela SINAT 005.

Figura 2: Composição construtiva do perfil de parede analisada indicando a posição das camadas e os pontos de monitoramento nas simulações higrotérmicas



Fonte: O autor.

MATERIAIS E COMPONENTES

Como parâmetros de entrada para os materiais analisados neste trabalho, foi utilizada a base de materiais disponibilizada pelo software WUFI Pro 6.5, que possui vasta validação experimental conduzida pelo Fraunhofer IBP (Instituto de Física das Construções da Universidade de Fraunhofer). O único material com fonte alternativa à base de dados do software WUFI Pro 6.5 foi a 'tinta látex acrílica econômica', utilizada, nas simulações computacionais, como revestimento interno sobre a chapa de gesso para drywall. Este material foi caracterizado conforme as medições experimentais conduzidas por [7].

A Tabela 1 apresenta os parâmetros característicos dos materiais e camadas considerados nas simulações computacionais.

Tabela 1: Parâmetros característicos dos materiais e camadas do sistema simulado

Material	Espessura da camada	Densidade aparente	Porosidade	Calor específico	Condutibilidade térmica
	d [m]	ρ [kg/m³]	-	c [J/kg.K]	λ [W/mK]
Textura base cimentícia	0,003	1482	0,440	850	0,954
Argamassa de basecoat	0,005	1395	0,460	850	0,540
Placa cimentícia	0,008	1380	0,479	840	0,245
Chapa de OSB	0,0095	630	0,6	1400	0,13
Camada de ar	0,090	1,3	0,999	1000	0,523
Chapa gesso drywall	0,0125	625	0,730	850	0,200
Tinta acrílica	0,0001	1150	0,410	1600	0,220

Fonte: o autor.

ZONA BIOCLIMÁTICA E ORIENTAÇÃO SOLAR CONSIDERADA

Como o risco de condensação intersticial em habitações aumenta em regiões de climas frios – devido à maior queda na temperatura de ponto de orvalho em épocas frias, como condição de contorno externa, o sistema objeto deste trabalho foi simulado para a zona bioclimática brasileira 1, conforme classificação da ABNT NBR 15220 (2005). O arquivo climático utilizado foi o Typical Meteorological Year (TMY) BRA_PR_Curitiba.869330_TMYx.2007-2021, representativo da cidade de Curitiba, extraído do repositório Climate OneBuilding (https://climate.onebuilding.org/default.html).

Além da definição do clima externo, foi definida a orientação solar mais crítica, sendo essa definição feita conforme recomendação da normativa ASHRAE 160 [8], a qual indica o uso da orientação solar que apresente a maior quantidade anual de chuva dirigida e com a menor incidência de radiação solar. Para o caso da zona bioclimática 1 avaliada, esta orientação solar foi definida como sudeste.

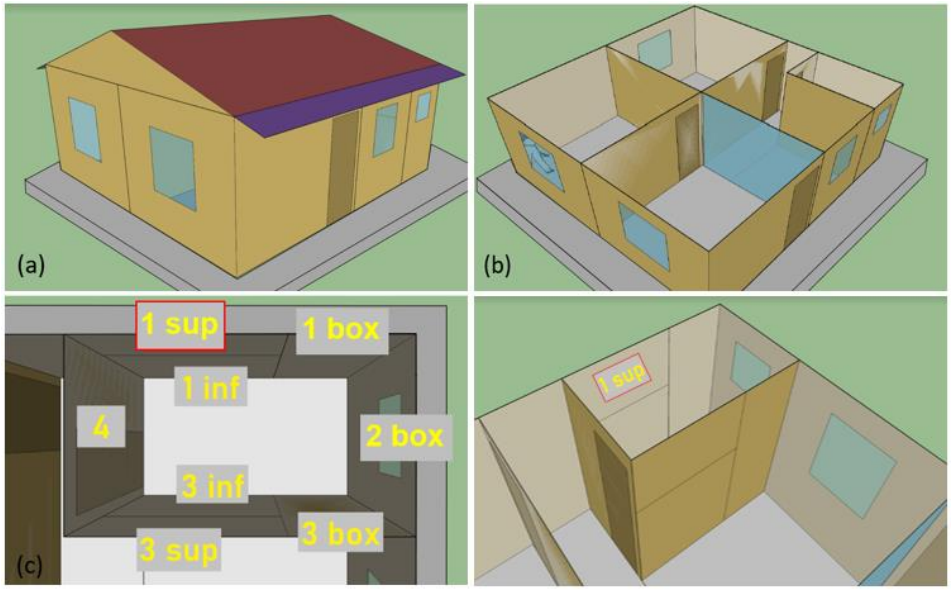
SOFTWARES UTILIZADOS

Os programas computacionais utilizados no desenvolvimento deste trabalho foram o WUFI® Pro 6.5, para as simulações higrotérmicas, o EnergyPlus 9.4, para a obtenção das condições ambientais internas através de simulações termoenergéticas e o SketchUp Make com o plug-in OpenStudio 2.7.1 para a modelagem e inserção das condições iniciais de geometria e uso da edificação do projeto de edificação padrão de HIS, utilizado como referência para obtenção das condições climáticas internas.

DADOS CLIMÁTICOS INTERNOS E SIMULAÇÕES TERMO ENERGÉTICAS

Para a obtenção das condições internas para condução das simulações higrotérmicas (temperatura superficial e umidade relativa da zona térmica analisada) fez-se necessário, previamente, a condução de simulações termoenergéticas através do software EnergyPlus 9.4, gerando, assim, os perfis de temperatura superficial no ponto monitorado e umidade relativa referente à zona térmica analisada, utilizadas como dados de entrada internos para as simulações higrotérmicas. Esses dados foram, então, inseridos em uma planilha padrão de entrada de dados climáticos internos fornecida pelo software WUFI Pro 6.5, de forma a ser possível inserir no software de simulação higrotérmica como caracterização das condições internas de uso do sistema avaliado. A Figura 3 ilustra o modelo adotado conforme Anexo A da Diretriz SINAT 001 [9], assim como o ponto de referência considerado para as simulações. As fontes de calor e umidade, assim como o regime de ocupação diário, foram seguidas conforme [9].

Figura 3: Projeto padrão de HIS modelado no software SketchUp Make (a) vista da edificação modelada (b) vista dos ambientes internos (c) nomenclaturas adotadas para as paredes internas do banheiro (d) ponto de monitoramento de referência para extração dos resultados das simulações termoenergéticas



Fonte: o autor.

SIMULAÇÕES HIGROTÉRMICAS

Para condução das simulações higrotérmicas, o software WUFI® Pro 6.5 necessita, além dados básicos de entrada, os arquivos climáticos do local avaliado, a definição dos materiais componentes de cada camada do sistema, orientação solar, coeficientes térmicos do elemento simulado e período de simulação. A Tabela 2 ilustra as condições iniciais adotadas para as simulações.

Tabela 2: Condições iniciais adotadas para as simulações higrotérmicas

Condições iniciais para as simulações higrotérmicas	
Variável	**Condição adotada**
Orientação da fachada	Sudeste
Inclinação da superfície	90° (parede)
Altura da edificação	< 10 metros
Resistência térmica externa R_{SE}	0.04 (m².K)/W
Absorção (radiação de onde curta)	0.5
Emissividade (radiação de onda longa)	0.9
Refletividade do solo (onda curta)	0.2
Fator de redução da chuva incidente	0.7
Cálculo da chuva dirigida	Modelo da norma ASHRAE 160, para edifício com altura menor que 10 m
Resistência térmica interna R_{SI}	0.13 (m².K)/W
Umidade relativa inicial	80%
Temperatura interna inicial	20 °C
Arquivo climático externo	BRA_PR_Curitiba.869330_TMYx.2007-2021
Condições ambientais no interior da edificação	Obtidas por simulação termoenergética através do software EnergyPlus

Tempo da simulação	3 anos (26.280 h)
Período da simulação	Janeiro de 2018 a dezembro de 2020
Edificação padrão	Anexo A da Diretriz SINAT 001 (2022)

Fonte: o autor.

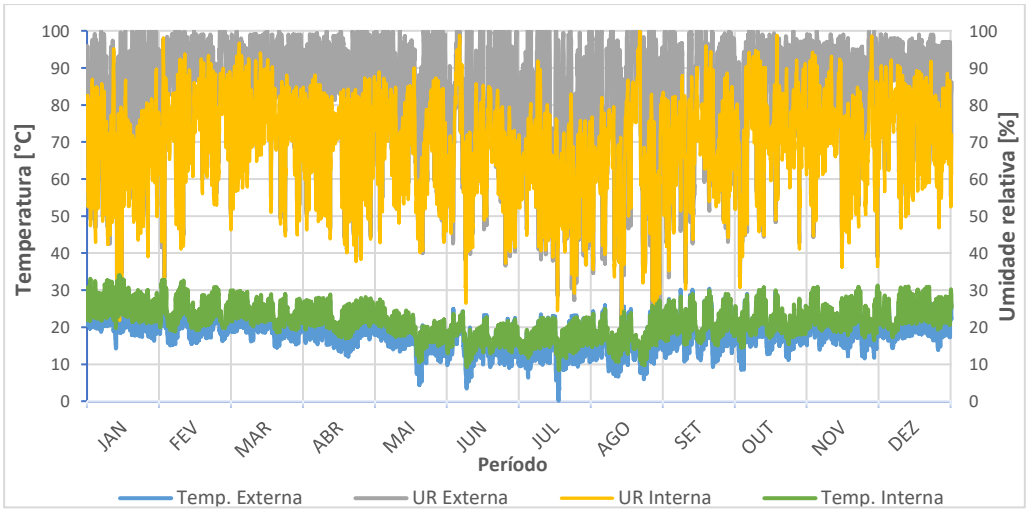
Por fim, como condições internas de uso, conforme descrito na seção anterior, foram inseridos os resultados horários de temperatura e umidade relativa oriundos das simulações termo energéticas, estando cobertos, portanto, todos os parâmetros para a condução das simulações higrotérmicas.

RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados das simulações higrotérmicas, representados pelo fluxo de umidade na superfície interna da parede, da umidade relativa e do teor de umidade na camada de contraventamento interna monitorada e do risco de condensação intersticial na camada de contraventamento interna.

A Figura 4 apresenta o perfil médio anual de temperatura no ponto monitorado e umidade relativa interna ao ambiente, gerados pelas simulações termoenergéticas, comparada aos resultados de temperatura e umidade relativa externa fornecidas pelo arquivo climático. Observa-se que os valores de temperatura interna se mantêm superiores aos valores de temperatura externa ao longo de todo o ano, estando, em média, 3,3 °C acima dos valores externos. Em relação aos valores de umidade relativa internos, estes mantêm-se inferiores aos valores de umidade relativa externa, estando, em média, 11,9 % abaixo dos valores externos.

Figura 4: Valores da média anual de umidade relativa (interna e externa), temperatura externa e temperatura superficial interna na parede avaliada



Fonte: o autor.

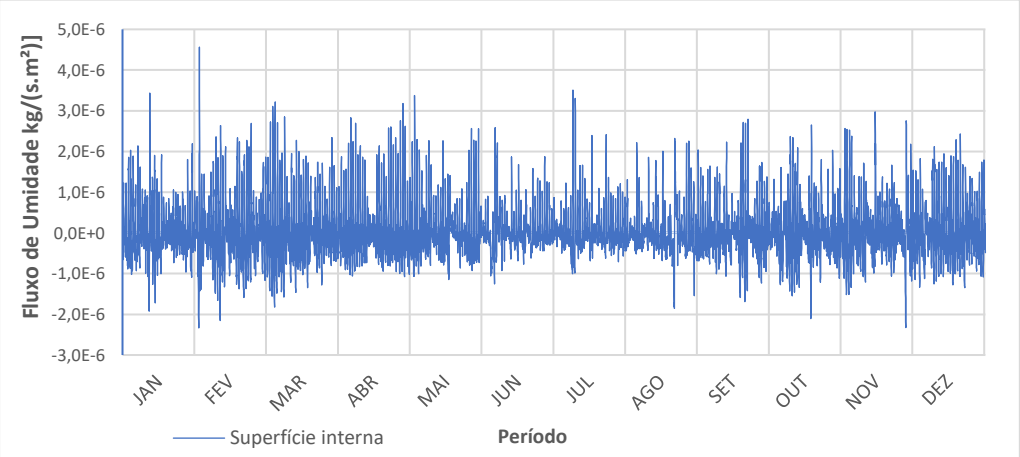
FLUXO DE UMIDADE

Avaliou-se o fluxo interno de umidade, monitorado na camada superficial interna do ambiente de banheiro. Através da análise dos resultados de fluxo de umidade, busca-se compreender, ao longo do ano, qual o sentido predominante de transferência de umidade e sua intensidade. O fluxo total é caracterizado pela soma do fluxo de umidade capilar e o fluxo de umidade difusivo. Valores positivos deste parâmetro, significam liberação de vapor para o ambiente (no caso, para o ambiente interno),

enquanto valores negativos significam absorção de vapor pelo sistema (sentido externo da fachada).

A Figura 5 apresenta o perfil do fluxo de umidade total na superfície interna do sistema. É possível observar sentido predominante positivo, indicando maior liberação de vapor para o interior do ambiente ao longo do ano. Esta predominância de sentido ocorre devido ao fluxo de umidade difusivo ser o mecanismo governante de transporte neste cenário, uma vez que a umidade relativa externa média é superior à interna, ao longo de todo o ano. Observa-se, também períodos em que o fluxo é negativo, ou seja, em que a carga de umidade interna é superior à externa, criando fluxo de vapor no sentido externo à envoltória. Esta condição ocorre devido à geração interna de umidade, ocasionada por exemplo, pela evaporação decorrente do número de banhos diários, assim como demais fontes internas, como cocção, por exemplo.

Figura 5: Fluxo de umidade superficial interno



Fonte: o autor.

TEOR DE UMIDADE E UMIDADE RELATIVA

As Figuras 6 e 7 apresentam os perfis de umidade relativa e teor de umidade monitorados na camada de contravento interna, ao longo do período simulado.

Figura 6: Variação anual da umidade relativa na camada interna de contraventamento



Fonte: o autor.

Figura 7: Variação anual do teor de umidade na camada interna de contraventamento



Fonte: o autor.

Conforme Figura 6, observa-se que os valore máximo atingido de umidade relativa ao longo do ano foi de 80 %, no mês de março, e mínima de 66 %, em agosto, o que sugere não haver condensação intersticial aparente na camada.

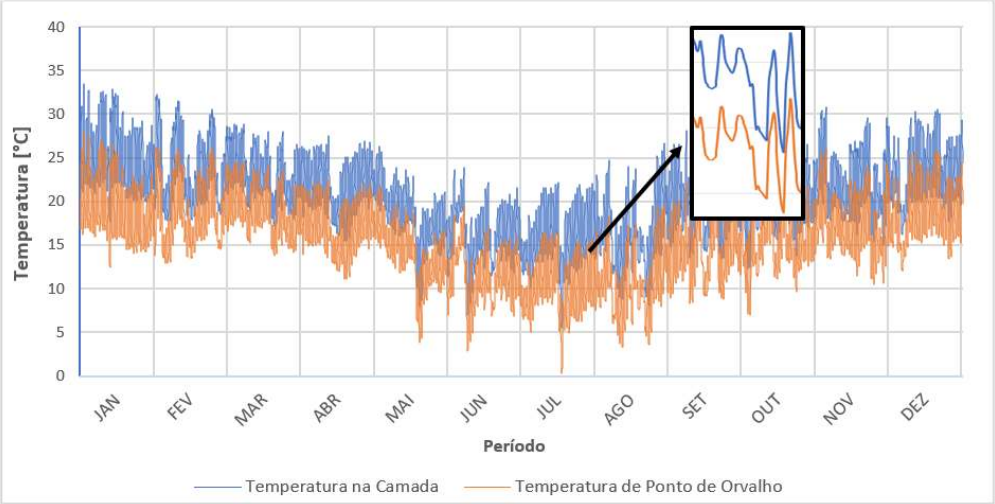
Na Figura 7 é possível observar, também, que a variação no teor de umidade presente na camada de contraventamento, a qual segue a tendência com o perfil de umidade relativa, atingindo seu valor máximo e mínimo, respectivamente, de 94 km/m³ e de 77 kg/m³, também nos meses de março e agosto. Este intervalo de variação mantém-se dentro dos limites aceitáveis de teor de umidade do material, considerando as referências na base de dados so software WUFI Pro 6.5, às quais indicam teor de umidade inicial na construção para este material em faixas entre 90 e 95 kg/m³.

RISCO DE CONDENSAÇÃO INTERSTICIAL

Para avaliação do risco de condensação intersticial, foram extraídos dos resultados de simulações higrotérmicas os valores de temperatura do material e da sua respectiva temperatura de ponto de orvalho na camada de contraventamento interna monitorada. De posse desses dados, e com auxílio de planilha eletrônica, foi calculada para cada sistema a diferença simples entre a temperatura da chapa de contraventamento e a temperatura de ponto de orvalho no respectivo ponto, para as 8.760 ocorrências horárias representativas do último ano simulado, e verificada a possibilidade de condensação (isto é, eventos em que a temperatura na camada de contraventamento interna fosse inferior à temperatura de ponto de orvalho).

A Figura 8 ilustra o perfil da variação anual da temperatura do material na camada de contraventamento interno e a temperatura de ponto de orvalho para o respectivo ponto. Observa-se que os valores de temperatura do material na camada mantêm-se, ao longo do ano, acima da temperatura de ponto de orvalho.

Figura 8: Temperatura na camada de contraventamento e temperatura de ponto de orvalho



Fonte: o autor.

Após o processamento de dados para as 8.760 ocorrências horárias representativas do último ano simulado, as temperaturas da camada monitorada mantiveram-se superiores à temperatura de ponto de orvalho ao longo de todo o período observado, isto é, não sendo observadas condensações no ponto monitorado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para a configuração estudada não foram observadas condensações intersticiais no interior das paredes, o que sugere boa capacidade de drenagem natural do sistema construtivo na zona bioclimática avaliada. Entretanto, o resultado apresentado neste artigo é válido somente para o contexto estudado. Portanto, para que se possa afirmar que a condensação intersticial não é um problema para as edificações habitacionais brasileiras construídas em LWF outras análises ainda precisam ser feitas considerando outras configurações de parede e entrepiso, outras zonas bioclimáticas, além de um levantamento dos problemas reais das edificações em uso, visando validar o observado na prática com os resultados das simulações computacionais, até mesmo para validar o software utilizado. Importante observar que mesmo não existindo problemas de condensação no interior das paredes, as peças de madeira que estruturam as paredes e entrepisos precisam ser tratadas contra xilófagos, principalmente, termitas, para que tenham adequada durabilidade, frente a Vida Útil de Projeto (VUP) estabelecida para a edificação.

REFERÊNCIAS

[1] SINAT 005 – Rev03 - BRASIL. Ministério das Cidades, Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade no Habitat – PBQP-H. Sistema Nacional de Avaliações Técnicas – SiNAT. **Sistema estruturado em peças leves de madeira maciça serrada –tipo light wood framing**, Diretriz Sinat 005 – Rev03. Brasília, 2020.

[2] OZELAME BASTOS, A. P. **Análise de sensibilidde do uso de barreiras de vapor em sistemas de light wood frame com base na avaliação da umidade e do risco de consensação intersticial**. São Paulo, 2023. 177p. Dissertação. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Unidade de Negócios de Ensino Tecnológico, 2023.

[3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16936**: Edificações em Light Wood Frame. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

[4] SOTSEK, N.C.; SANTOS, A. P. L. Panorama do sistema construtivo light wood frame no Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 3, p. 309-326, jul./set. 2018. https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000300283.

[5] FOLHA DE SÃO PAULO. **Reportagem do Jornal Folha de São Paulo**. Disponível em: https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2023/08/como-sao-os-predios-que-governo-tarcisio-vai-entregar-para-atingidos-no-litoral-de-sp.shtml>, acesso em 15/05/24). Acesso em: 15 maio 2024.

[6] ITeleport, Portal. Tour Virtual Alea Santa Bárbara. 2022. Disponível em: https://portal.iteleport.com.br/tour3d/tour-virtual-alea-santa-barbara/fullscreen/. Acesso em: 10 abr. 2024.

[7] SANTOS, Alexandre Cordeiro dos. **Avaliação do desempenho potencial de duas soluções de revestimentos argamassados em função do risco de formação de fungos emboloradores no interior de edificações na cidade de São Paulo**. 2019. 193 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Habitação, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2019.

[8] AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE 160**: Criteria For Moisture-Control Design Analysis In Buildings. Peachtree Corners: Ashrae, 2016.

[9] SINAT 001 – Rev04 - BRASIL. Ministério das Cidades, Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade no Habitat – PBQP-H. Sistema Nacional de Avaliações Técnicas – SiNAT. **Diretriz para Avaliação Técnica de paredes estruturais de concreto moldadas no local:** Concreto Leve ou Concreto Reforçado com Fibra de Vidro. Brasília, 2022.