XVII Congresso Internacional sobre Patologia e
Reabilitação das Construções

XVII Congreso Internacional sobre Patología y
Rehabilitación de las Construcciones

XVII International Conference on Pathology and
Constructions Rehabilitation

FORTALEZA (Brasil), 3 a 5 de junho de 2021

<https://doi.org/10.4322/CINPAR.2021.095>

Desempenho Higrotérmico de paredes de bloco de concreto com camada de ar de 3 cm e diferentes tipos de revestimento

Hygrothermal performance of concrete block walls with a 3 cm air layer and different types of coatings

Kennedy Queiros PESSOA¹, Angela Borges MASUERO²

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, engkennedypessoa@gmail.com

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, angela.masuero@ufrgs.br

Resumo: Buscando avaliar os sistemas construtivos utilizados nas cidades de São Luiz Gonzaga e Torres, ambas pertencentes ao estado do Rio Grande do Sul, este trabalho se fundamenta na realização de simulações higrotérmicas de SVVE utilizados na região. Os sistemas analisados foram compostos de um único tipo de revestimento externo (argamassa com pintura), um único tipo de bloco (parede dupla de bloco de concreto com camada de ar de 3 cm) e 4 tipos de revestimentos internos (argamassa, argamassa com pintura, argamassa com papel de parede vinílico e argamassa com acabamento de madeira), sendo analisado também para a ausência de revestimento interno. Os SVVE foram analisados para as 4 orientações principais: norte, sul, leste e oeste. Este trabalho objetiva avaliar se fatores como orientação solar, tipos de sistemas construtivos e acabamentos superficiais influenciam no teor de umidade do SVVE, utilizando como instrumento de avaliação a simulação higrotérmica através do software WUFI® Pro 6.4. Além disso, esse trabalho objetiva analisar o índice de crescimento de fungos nas paredes internas através do plugin WUFI® Mould Index VTT 2.1. Ao todo, no estudo foram realizadas 40 simulações. A situação com revestimento interno em argamassa + madeira foi a que apresentou maior teor de umidade. A orientação sul para os elementos apresentou-se como a mais crítica. As isopletras de vários casos apontam a possibilidade de crescimento de fungos, todavia a análise através do plugin WUFI VTT indicou que para todos os casos simulados não há a ocorrência de crescimento de fungos, o que sugere a necessidade de estudos específicos quanto ao crescimento de fungos nos sistemas construtivos analisados.

Palavras-chave: Desempenho Higrotérmico. Simulações Higrotérmicas. Índice de Crescimento de Fungos.

Abstract: Seeking to evaluate the construction systems used in the cities of São Luiz Gonzaga and Torres, both belonging to the state of Rio Grande do Sul, this work is based on the realization of hygrothermal simulations of SVVE used in the region. The analyzed systems were composed of a single type of external coating (mortar with paint), a single type of block (double wall of concrete block with a 3 cm air layer) and 4 types of internal coatings (mortar, mortar with paint, mortar with vinyl wallpaper and mortar with wood finish), also being analyzed for the absence of internal lining. SVVE were analyzed for the 4 main orientations: north, south, east and west. This work aims to evaluate whether factors such as solar orientation, types of construction systems and surface finishes influence the SVVE moisture content, using hygrothermal simulation as an assessment tool using the WUFI® Pro 6.4 software. In addition, this work aims to analyze the growth rate of fungi on the inner walls through the WUFI® Mould Index VTT 2.1 plugin. Altogether, 40 simulations were carried out in the study. The situation with internal mortar + wood coating was the one with the highest moisture content. The southern orientation for the elements presented itself as the most critical. The isoplethes of several cases point to the possibility of fungal growth, however the analysis using

the WUFI VTT plugin indicated that for all simulated cases there is no occurrence of fungal growth, which suggests the need for specific studies on the growth of fungi in the construction systems analyzed.

Keywords: Hygrothermal Performance. Hygrothermal Simulations. Fungal growth Index.

1. Introdução

As vedações verticais externas, conforme Bauer (1987), estão sujeitas às solicitações oriundas da utilização do meio interno pelo ser humano, como umidade, temperatura e ventilação.

Determinar extremos de umidade e temperatura em um SVVE não é uma tarefa simples. Uma das ferramentas disponíveis é a simulação higrotérmica que, por meio de processamento computacional da envoltória climática e dos parâmetros da edificação, permite obter variáveis de resposta capazes de orientar projetistas, fabricantes de materiais e usuários quanto a situações críticas ou extremas de umidade e temperatura (KLEBER, 2018).

Os problemas relativos à umidade, além de frequente, representa um dos maiores problemas de uma edificação ao decorrer de sua vida útil. A frequência de ocorrência das manifestações patológicas decorrentes da umidade está associada à idade da construção, ao clima, aos materiais e técnicas construtivas empregadas e ao nível de controle de qualidade realizado nas construções (JONOV *et. al.*, 2013).

As principais manifestações causadas pela presença de umidade nas edificações são: a) deformações e fissuras; b) eflorescências e criptoflorescências; c) descolamentos; d) deterioração dos materiais; e e) aparecimento de mofo e bolores. As principais fontes de umidade são as oriundas da infiltração, da construção, de acidentes, da condensação e da ascensão capilar (SUPLICY, 2012; SILVA, 2014).

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar se fatores como orientação solar, tipos de sistemas construtivos e acabamentos superficiais influenciam no teor de umidade do SVVE, utilizando como instrumento de avaliação a simulação higrotérmica através do software WUFI® Pro 6.4. O objetivo específico do trabalho é analisar o índice de crescimento de fungos nas paredes internas através do plugin WUFI® Mould Index VTT 2.1.

2. Materiais e Métodos

Neste trabalho foram simulados 5 SVVE, utilizando uma mesma composição de parede e revestimento externo, variando apenas o revestimento interno, a orientação solar e os parâmetros climáticos (variam conforme a cidade), a altura da edificação foi considerada entre 10 e 20 metros. Essas configurações dos SVVE avaliados podem ser observadas na figura 1.

Figura 1 – Configurações dos SVVE avaliados

Fonte: O autor.

A metodologia utilizada neste trabalho baseia-se nas etapas apresentadas por Nascimento (2016) em sua dissertação, sendo elas: entrada, processamento (simulação), saída e pós-processamento. As descrições das etapas podem ser observadas nos itens 2.1 e 2.2.

2.1 Etapa 1: Entradas e saídas da simulação higrótérmica

2.1.1 Dados de entrada

Os dados de entrada são os parâmetros imprescindíveis para realização da simulação higrótérmica, e são estabelecidos conforme o local de estudo, levando em consideração as boas práticas construtivas.. Os dados de entrada que são inseridos no programa são os seguintes:

Componente: nesta entrada são inseridas as informações dos componentes pertencentes ao elemento parede e as condições de contorno do elemento. Esta entrada é organizada em 4 sub-entradas: posições de montagem e monitoramento, orientação, coeficientes de transferência superficiais e condições iniciais. A características e parâmetros dos materiais simulados podem ser observadas nos quadros 1 e 2.

Quadro 1 – Características dos materiais simulados

Material	Base de dados de Materiais/Referência	Densidade aparente/ Bulk density [kg/m ³]	Porosidade/ Porosity [m ³ /m ³]	Calor Específico/ Spec. Heat Capacity [J/kgK]	Condutibilidade Térmica/Thermal Conductivity [W/mK]	Fator de Resistência à Difusão de Vapor de Água/ Water Vapour Diffusion Resistance Factor [-]	Espessura da Camada/ Thickness [m]
Bloco concreto	Base de dados da América do Norte – Concretes - Tijolo de betão / North America Database – Concrete Brick.	2315	0,1296	800	0,733	182,5	0,14
	Camada de ar 3 cm: Base de dados Materiais Genéricos – Camadas de ar - Camada de ar 30mm; without additional moisture capacity* / Generic Materials – Air Layers – Air layer 30mm; without additional moisture capacity.	1,3	0,999	1000	0,18	0,46	0,03
Argamassa de revestimento (com ou sem pintura)	NASCIMENTO (2016) [1].	1755	0,210	850	0,800	28	0,03 (externa) 0,02 (interna)
	COM PINTURA: Utilizar um valor α de 0,5 m para pintura acrílica. Conforme: KLEBER, Davi Henrique. <i>Análise do desempenho de sistemas de vedação vertical externo com diferentes tipos de argamassa, através de simulação higrótérmica para a cidade de Porto Alegre</i> . 2018. 30 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018. [Salasakine, Juliana; Monstvilas, Edmunda; Stankevicius, Vytautas. The impact of exterior finish vapour resistance on the moisture state of building walls. <i>Technological and Economic Development of Economy</i> , v. 14(1), p. 73-82, 2007. Absorância para o lado externo: Considerar pintura amarela, valor de α conforme NBR 15220-2 (ABNT, 2005).						
Papel de parede vinílico	Argamassa: NASCIMENTO (2016) [1]. (Igual à usada para o revestimento)	1755	0,210	850	0,800	28	0,02
	Base de dados da América do Norte – Membranes – Papel de parede em vinil / North America Database – Membranes – Vinyl Wallpaper.	170	0,001	2300	2,3	2450	0,001
Madeira	Argamassa: NASCIMENTO (2016) [1]. (Igual à usada para o revestimento)	1755	0,210	850	0,800	28	0,02
	Base de dados Instituto Fraunhofer para a Física das Construções (IBP) – Materiais de madeira; Tábuas – Madeiras duras / Fraunhofer-IBP – Wooden Materials; Boards – Hardwood.	650	0,47	1400	0,13	200	0,015

[1] NASCIMENTO, Matheus Leoni Martins. Aplicação da simulação higrótérmica na investigação da degradação de fachadas de edifícios. 2016. 173 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

Quadro 2 – Parâmetros higrótérmicos dos materiais simulados

Material	Base de dados de Materiais/Referência	Curva Higroscópica/Moisture Storage Function	Teor de Umidade de Referência/ Referenc. Water Content [kg/m ³]	Teor de umidade de saturação/ Free water saturation [kg/m ³]	Coefficiente de Absorção de Água/ Water Absorption Coefficient [kg/m ³ h]	Cond. Térmica Complementar dependente da Umidade/Moisture dep. Thermal Cond. Supplement [W/mK-%]	Cond. Térmica Complementar dependente da Temperatura/Temp-dep. Thermal Cond. Supplement [W/mK°]
Bloco concreto	Base de dados da América do Norte – Concretes - Tijolo de betão / North America Database – Concrete Brick.	RH [-]: Teor de Umidade [kg/m ³]/RH [-]: Water content [kg/m ³]: 0- 0/0,5-36,577/0,695-47,69/0,915-55,56/1-64,82	(automático)	(automático)	(automático)	(automático)	0,0002
	Camada de ar 3 cm: Base de dados Materiais Genéricos – Camadas de ar - Camada de ar 30mm; without additional moisture capacity* / Generic Materials – Air Layers – Air layer 30mm; without additional moisture capacity.	RH [-]: Teor de Umidade [kg/m ³]/RH [-]: Water content [kg/m ³]: 0- 0/1-0,017	(automático)	(automático)	(automático)	(automático)	(automático)
Argamassa de revestimento (com ou sem pintura)	NASCIMENTO (2016) [1].	RH [-]: Teor de Umidade [kg/m ³]/RH [-]: Water content [kg/m ³]: 0- 0/0,20-6,49/0,287-11,41/0,590-15,71/0,741- 24,36/0,800-26,00/0,810-26,68/0,869- 37,78/0,918-81,69/0,937-132,36/1,000- 210,00	26	210	0,039 (atenção especial com este coeficiente na face externa em contato com a pintura)	8	0,0002
Papel de parede vinílico	Argamassa: NASCIMENTO (2016) [1]. (Igual à usada para o revestimento)	RH [-]: Water content [kg/m ³]: 0-0/0,20-6,49/0,287-11,41/0,590- 15,71/0,741- 24,36/0,800-26,00/0,810-26,68/0,869- 37,78/0,918-81,69/0,937-132,36/1,000- 210,00	26	210	0,039	8	0,0002
	Base de dados da América do Norte – Membranes – Papel de parede em vinil / North America Database – Membranes – Vinyl Wallpaper.	RH [-]: Water content [kg/m ³]: 0-0/0,5-0,000485/0,6- 0,000724/0,7-0,00112/0,8- 0,00188/0,85-0,00262/0,9-0,00403/0,91- 0,00448/0,92-0,00509/0,93-0,00572/0,94- 0,00606/0,95-0,00777/0,96-0,00842/0,97- 0,0119/0,98-0,0158/0,99-0,0239/0,995- 0,0318/1-0,0471	(automático)	(automático)	(automático)	(automático)	0,0002
Madeira	Argamassa: NASCIMENTO (2016) [1]. (Igual à usada para o revestimento)	RH [-]: Water content [kg/m ³]: 0-0/0,20-6,49/0,287-11,41/0,590- 15,71/0,741- 24,36/0,800-26,00/0,810-26,68/0,869- 37,78/0,918-81,69/0,937-132,36/1,000- 210,00	26	210	0,039	8	0,0002
	Base de dados Instituto Fraunhofer para a Física das Construções (IBP) – Materiais de madeira; Tábuas – Madeiras duras / Fraunhofer-IBP – Wooden Materials; Boards – Hardwood.	RH [-]: Water content [kg/m ³]: 0-0/0,5-52/0,8-96/0,9-143/0,97- 190/1-370	(automático)	(automático)	(automático)	1,3	0,0002

[1] NASCIMENTO, Matheus Leoni Martins. Aplicação da simulação higrótérmica na investigação da degradação de fachadas de edifícios. 2016. 173 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

Vale ressaltar que alguns dados – como espessura e curva higroscópica – foram alterados em relação a base de dados para melhor se adequar as cidades do estudo. Os coeficientes de transferência superficiais utilizados nas simulações podem ser observados na figura 2.

Exterior Surface (Left Side)

Heat Resistance [(m² K)/W] 0.04 User-Defined

includes long-wave radiation parts [(W)/(m² K)] 4.5

wind-dependent ☐

sd-Value [m] 0.5 User-Defined

Note: This setting does not affect rain absorption

Short-Wave Radiation Absorptivity [-] 0.30 User-Defined

Long-Wave Radiation Emissivity [-] ----

Reduction factors caused by shading:

for absorptivity [-] ---- No shading

for emissivity [-] ----

Explicit Radiation Balance ☐ Note: This option takes radiative cooling due to long-wave emission into account. Sensitive cases may require sufficiently accurate counterirradiation data in the weather file.

Ground Short-Wave Reflectivity [-] 0.2 Standard value

Adhering Fraction of Rain [-] 0.7 Depending on inclination of component

Interior Surface (Right Side)

Heat Resistance [(m² K)/W] 0.13 (User-Defined)

sd-Value [m] ---- No coating

Figura 2 – Coeficientes de transferência superficiais.
Fonte: O autor.

Controle: esta entrada é dividida em duas sub-entradas: período de cálculo/perfis (figura 2.6) e numéricos, todavia opera-se apenas a primeira sub-entrada, sendo que é nela que define-se o período total de simulação inserindo-se a data e horário de início e fim da simulação. Para este trabalho foi normalizado em 8 anos, que foi o período de cálculo que propiciou a observação do comportamento estabilizado para todas as simulações rodadas no programa para as configurações de SVVE propostas.

Clima: esta entrada apresenta os parâmetros climáticos do ambiente em que se encontra o sistema analisado, sendo necessário a inserção de arquivos climáticos respectivos à cada cidade, sendo esses arquivos obtidos a partir do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Esta entrada é dividida em duas sub-entradas, que são externos e internos.

Externos: deve-se inserir o arquivo climático da cidade em que o sistema será simulado, após essa inserção pode-se observar os parâmetros de umidade e temperatura relativas e as análises climáticas para cada cidade. As informações do clima externo para ambas as cidades estudadas podem ser observadas na figura 3.

Figura 3 – Análises climáticas para a cidade de São Luiz Gonzaga (a) e Torres (b), ambas no Rio Grande do Sul, conforme dados INMET 2016.

Fonte: O autor.

Internos: nesta entrada optou-se por usar a simulação do clima interno conforme a norma ANSI ASHRAE 160:2009, pois a mesma possui maior flexibilidade quanto as amplitudes térmicas e de umidade das

edificações, o que permite uma maior adequação a situação real das edificações brasileiras, pois, de modo geral, a maioria das edificações no Brasil não apresentam sistemas de condicionamento de temperatura interna, e muito menos de controle de umidade. (Obs.: Para esses parâmetros utilizou o valor sugerido pela ABNT NBR 15575-1:2013 para a taxa horária de renovação do ar (valor sugerido = 1))

2.1.2 Dados de saída

Os dados de saída do software são: a) Teor de umidade; b) Umidade relativa; c) Temperatura; e d) Isopletras. Pode-se usar ainda os perfis de umidade para uma melhor visualização do desempenho higrotérmico nas camadas dos elementos dos sistemas avaliados, podendo-se observar a temperatura, o ponto de orvalho, o teor de umidade e a umidade relativa.

Para este estudo utilizou-se apenas os gráficos de teor de umidade total e as isopletras como dados de saída para a análise das simulações. Esses gráficos foram gerados na interface do WUFI® Graph para melhor visualização e síntese. Nos dados de saída optou-se também pelo uso dos perfis de umidade devido a sua relevância quanto a observação e entendimento do comportamento em uso dos componentes durante o período de cálculo.

2.2 Etapa 2: Pós-processamento

A etapa de pós-processamento analisa os dados de saída gerados. Nesta etapa ocorre o estudo quanto ao desenvolvimento de fungos nas faces internas frente as solicitações do clima natural. Para esta análise utilizou-se o plugin WUFI® Mould Index VTT 2.1.

3. Resultados e Discussões

Ao todo, no estudo foram realizadas 40 simulações: 5 sistemas construtivos x 4 orientações da fachada x 2 cidades avaliadas ($5 \times 4 \times 2 = 40$). Neste item será apresentado a síntese dos resultados e suas inferências

3.1 Teor de umidade total

O teor de umidade total foi separado por orientação e por cidade, sendo que em cada gráfico foi comparado o desempenho dos 5 sistemas avaliados. Os gráficos podem ser observados nas figuras 4 e 5, e eles apresentam o teor de umidade para as duas orientações solares que apresentam maior intensidade de chuva dirigida e menor intensidade de radiação solar, sendo elas a sul e leste.

Figura 4 – Teor de umidade total para a cidade de São Luiz Gonzaga (RS).

Fonte: O autor.

Figura 5 – Teor de umidade total para a cidade de Torres (RS).

Fonte: O autor.

Para as 4 orientações em ambas as cidades o sistema construtivo com revestimento interno em argamassa + madeira apresentou, com diferença notável, maior teor de umidade total, o que evidencia que esse sistema construtivo é o pior caso dentre os simulados neste trabalho.

3.2 Isopletras

As isopletras aqui apresentadas remetem a pior situação observada nos gráficos de teor de umidade total: o sistema construtivo que utiliza revestimento interno composto por argamassa e madeira apresentou maior teor de umidade total, independente da orientação da fachada e da cidade em que se encontra. As isopletras são apresentadas nas figuras 6 e 7.

Figura 6 – Isopletras para a cidade de São Luiz Gonzaga (RS) com o sistema de argamassa + madeira como revestimento interno

Fonte: O autor.

Figura 7 – Isopletas para a cidade de Torres (RS) com o sistema de argamassa + madeira como revestimento interno

Fonte: O autor.

As isopletas informam a possibilidade de crescimento de fungos nas faces internas do elemento, sendo essa possibilidade evidenciada pela presença de pontos acima do limite superior da isopleta. Conforme esse conceito, as cidade de São Luiz Gonzaga apresenta possibilidade de crescimento de fungos para as orientações sul e leste, já a cidade de Torres apresenta possibilidade de crescimento de fungos em todas as orientações.

3.3 Perfis de umidade

Os perfis de umidade para as duas cidades em relação ao sistema construtivo que usa argamassa + madeira como revestimento interno, e para a orientação sul, mostrou-se sendo a mais crítica, conforme os resultados das isopletas e das informações contidas nas análises climáticas. Os perfis de umidade indicam que não ocorre a formação de ponto de orvalho no elemento. O transporte de umidade em ambos os casos se mostra estável, sendo que as maiores variações ocorrem nos revestimentos externos e internos.

3.4 Índice de crescimento de fungos

O índice de crescimento de fungos para os mesmos casos do item anterior pode ser observado nas figuras 8 e 9.

Figura 8 – Índice de crescimento de fungos para a cidade de São Luiz Gonzaga (RS) com o sistema de argamassa + madeira como revestimento interno e para a orientação sul.

Fonte: O autor.

Fonte: O autor.

Os resultados obtidos no plugin WUFI® Mould Index VTT 2.1 indicam que não há o crescimento de fungos, isso pode ser observado pelo sinal de luz verde e pelo índice de crescimento de fungos igual a 0,00, conforme observado nas figuras 2.21 e 2.22. Esses resultados contrastam com os obtidos nas isopletras, o que sugere a necessidade de estudos específicos quanto ao crescimento de fungos nos sistemas construtivos analisados.

4. Considerações Finais

Em todas as orientações e em ambas as cidades, a configuração da parede com revestimento interno em argamassa + madeira foi a que apresentou maior teor de umidade. A orientação sul para os elementos apresentou-se como a mais crítica, com base nos resultados e nos parâmetros climáticos para as cidades. As isopletas de vários casos apontam a possibilidade de crescimento de fungos, todavia a análise através do plugin WUFI VTT indicou que para todos os casos simulados não há a ocorrência de crescimento de fungos, o que sugere a necessidade de estudos específicos quanto ao crescimento de fungos nos sistemas construtivos analisados.

Referências Bibliográficas

- BAUER, E. Resistência a Penetração da Chuva em Fachadas de Alvenaria de Materiais Cerâmicos – Uma Análise de Desempenho. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1987, 168f.
- JONOV, Cristiane M. P.; NASCIMENTO, Nilo de O.; SILVA, Adriano de P. e. Avaliação de danos às edificações causados por inundações e obtenção dos custos de recuperação. Revista online Ambiente Construído, Porto Alegre, v.13, n.3, p. 75-94, 2013. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/ac/v13n1/v13n1a06.pdf>>.
- KLEBER, Davi Henrique. Análise do desempenho de sistemas de vedação vertical externo com diferentes tipos de argamassa, através de simulação higrotérmica para a cidade de Porto Alegre. 2018. 30 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.
- NASCIMENTO, Matheus Leoni Martins. Aplicação da simulação higrotérmica na investigação da degradação de fachadas de edifícios. 2016. 173 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.
- SILVA, M. N. B. Avaliação quantitativa da degradação e vida útil de revestimentos de fachada – aplicação ao caso de Brasília/DF. Tese (Doutorado) Universidade de Brasília, 2014, 217f.
- SUPLICY, George F. da S. Patologias ocasionadas pela umidade nas edificações. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização), Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2012, 70f.
- WUFI® Pro 6.4 – Manual do software. IBP – Fraunhofer Institute for Building Physics. Holzkirchen, Germany, 2018.