XV SBTA Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas
Porto Alegre/RS - 11 a 13 de junho de 2025

CONDENSAÇÃO EXTERNA E TRANSMISSÃO TÉRMICA EM FACHADA COM ARGAMASSA TÉRMICA EM PORTO ALEGRE E EM LISBOA

External condensation and thermal transmission of façade with thermal mortar in Porto Alegre and Lisbon

JÉSSICA BERSCH[1], ANGELA MASUERO[2], DENISE DAL MOLIN[3], INÊS FLORES-COLEN[4]
[1] MEng, CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa/NORIE, PPGCI, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, jessica.d.bersch@tecnico.ulisboa.pt
[2] Profª. Drª., PPGCI, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, angela.masuero@ufrgs.br
[3] Profª. Drª., PPGCI, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, dmolin@ufrgs.br
[4] Profª. Drª., CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, ines.flores.colen@tecnico.ulisboa.pt

RESUMO
Revestimentos de argamassas térmicas visam a menores condutibilidades térmicas em fachadas. Este estudo analisou a condensação externa e a transmissão térmica transiente de uma fachada com argamassa de cortiça em Porto Alegre e Lisboa, via simulações no WUFI Pro 6.8. A condensação externa foi nula nas fachadas Norte e Sul de Porto Alegre, mas identificou-se risco para as superfícies externas em Lisboa. À exceção de alguns meses de verão, de modo geral, os coeficientes de transmitância térmica mensais atenderam aos requisitos portugueses (mais restritivos), sendo inferiores a 0,5 W/(m².°C) nas duas cidades.

Palavras-chave: Condensação externa. Transmissão térmica. Argamassa térmica. Isolamento.

ABSTRACT
Thermal mortar coatings aim at lower thermal conductivity in façades. This study analysed the external condensation and transient thermal transmission of a façade with cork mortar in Porto Alegre and Lisbon via simulations in WUFI Pro 6.8. External condensation was not identified for the North and South façades in Porto Alegre, but there was condensation risk for the external surfaces in Lisbon. Except for some summer months, in general, monthly thermal transmittance coefficients in Lisbon and in Porto Alegre met Portuguese requirements (more restrictive), being less than 0.5 W/(m².°C).

Key-words: External condensation. Thermal transmission. Thermal mortar. Insulation.

Como citar:
BERSCH, J.; MASUERO, A.; DAL MOLIN, D.; FLORES-COLEN, I. Condensação externa e transmissão térmica em fachada com argamassa térmica em Porto Alegre e em Lisboa. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2025, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2025.

INTRODUÇÃO

O controle da transferência de calor através das componentes de edifícios é crucial para seu desempenho energético e térmico [1]. No entanto, apesar de os investimentos em eficiência energética no ambiente construído serem crescentes, eles provêm, em sua maioria, de um pequeno grupo de países europeus, impondo um desafio na busca por edificações sem emissões, eficientes e resilientes [2]. O estoque de edifícios existentes também ocupa um papel relevante na busca por sustentabilidade, requerendo reabilitações mitigadoras de suas emissões de gases de efeito estufa e pobreza energética [3].

Nesse contexto, uma das soluções para aprimorar o desempenho de fachadas são sistemas de isolamento multicamadas incorporando argamassas térmicas. Seu potencial de utilização em edificações novas e existentes decorre de sua adaptabilidade a fissuras e irregularidades, flexibilidade em termos de espessuras, facilidade de aplicação e ausência de necessidade de pontos de ancoragem [4,5]. Argamassas térmicas apresentam potencial de isolamento, com condutibilidades térmicas inferiores a 0,2 W/(m.°C) a 10 °C [6].

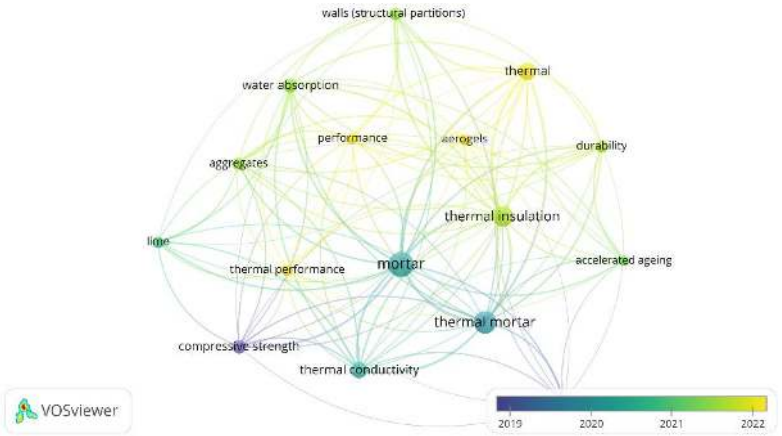
Apesar dos benefícios do isolamento térmico nas edificações, a aplicação de soluções com baixa inércia térmica pode conduzir ao aumento da presença de umidade superficial nas fachadas via condensação externa, gerando problemas como sujidade e crescimento biológico [7,8]. A inércia térmica também está relacionada com os fluxos de calor nos sistemas de vedação, sendo seu impacto na eficiência energética variável conforme os coeficientes de transmitância adotados [9]. Esses fluxos e coeficientes apresentam comportamento transiente, uma vez que são influenciados pelas condições climáticas de exposição [8].

A utilização de argamassas térmicas é considerada crescente [5] e uma busca avançada pelo termo “thermal mortar” em títulos, resumos e palavras-chave de artigos na base de dados Scopus resultou em 40 estudos, dos quais 27 foram publicados a partir de 2020. As palavras chave principais desses artigos e as conexões entre elas podem ser visualizadas na Figura 1, obtida com apoio da ferramenta VOSviewer v1.6.18, considerando no mínimo 5 co-ocorrências. Na Figura 1, observa-se uma preocupação inicial com a investigação das características mecânicas das argamassas térmicas, suas propriedades de desempenho térmico e composição, incluindo, mais recentemente, abordagens de envelhecimento. Considerando casos de estudo específicos, a busca pelo termo ““termal mortar” AND Brazil”, não retornou resultados. A busca por “thermal mortar” AND Portugal”, por sua vez, resultou em três estudos [4,5,10]. Considera-se, assim, que há lacunas que justificam a investigação do desempenho de argamassas térmicas, especialmente a longo prazo [5].

Com relação ao desempenho higrotérmico dessas argamassas, Posani et al. [11] ressaltou a relevância do estudo dos sistemas de revestimento com todas as suas camadas: amostras de argamassas térmicas estudadas isoladamente apresentaram coeficientes de absorção de água por capilaridade até 75% superiores à sua avaliação aplicada no sistema completo [11]. A longo prazo, variações também foram observadas; Pinchard et al. [12], por exemplo, identificaram aumento de 30% na condutibilidade térmica de argamassas térmicas com agregados de cortiça após envelhecimento artificial correspondente a 10 anos em ambiente natural. Para argamassas térmicas com aerogel, Pedroso et al. [13] identificaram boa

capacidade de controle da umidade, sendo seu desempenho significativamente influenciado pelas camadas finais de acabamento.

Figura 1 – Visualização da rede de palavras-chave para artigos com o termo “argamassa térmica” (“termal mortar”) .



Fonte: Os autores (2025).

Nesse contexto, este artigo analisou o potencial de condensação superficial externa e a transmissão térmica em uma fachada revestida externamente por um sistema de isolamento multicamada contendo argamassa térmica com agregados de cortiça. Esse tipo de agregado foi escolhido por suas propriedades térmicas e por configurar um subproduto da produção industrial de cortiça, enquadrando-se na busca por sustentabilidade. O sistema é internamente revestido com argamassa convencional. As cidades de Porto Alegre, no Brasil, e Lisboa, em Portugal, foram selecionadas como focos de estudo para simulação numérica, nas orientações Norte e Sul, a partir da determinação experimental de propriedades das argamassas constituintes do sistema de fachada. O objetivo da pesquisa foi compreender o seu funcionamento quando exposto a diferentes condições climáticas e contribuir para cenários futuros mais eficientes.

PROGRAMA EXPERIMENTAL

A Figura 2 resume a metodologia seguida no programa experimental, detalhada nas seções de Materiais e Métodos.

Figura 2 – Metodologia utilizada no programa experimental.

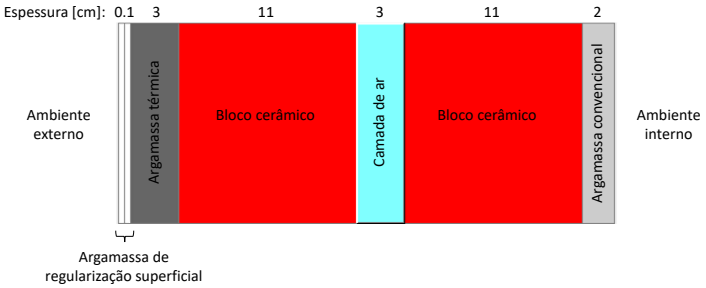


Fonte: Os autores (2025) e recursos Freepik obtidos de Flaticon.com.

MATERIAIS

O sistema de fachada avaliado está ilustrado na Figura 3, sendo constituído por uma parede dupla de blocos cerâmicos com caixa de ar, revestida interna e externamente por argamassas. As propriedades para avaliação do potencial de condensação superficial externa e transmissão térmica via simulação numérica foram experimentalmente determinadas para todas as argamassas: a térmica e a de regularização superficial, utilizadas como revestimento externo, e a convencional, revestimento interno. A rede em fibra de vidro, tradicionalmente aplicada entre duas camadas de regularização superficial, foi desconsiderada nas simulações.

Figura 3 – Sistema de fachada e suas camadas.



Fonte: Os autores (2025).

As argamassas, industrializadas com cal hidráulica natural e disponibilizadas pelo fabricante na forma seca, foram produzidas em laboratório conforme a NP EN 196-1:2006 [14]. A argamassa de regularização superficial é formulada com ligantes mistos e agregados de cortiça. A argamassa térmica é leve, contendo adições, agregados de cortiça e agregados calcários. Finalmente, a argamassa convencional apresenta agregados silicosos e calcários. Na produção, foram adicionados os teores máximos de água recomendados pelo fabricante, resultando em índices de consistência de 150 ± 10 mm (regularização superficial), 160 ± 10 mm (térmica) e 170 ± 10 mm (convencional), conforme a EN 1015-3:1999 [15]. A Figura 4 ilustra os procedimentos de produção e caracterização das argamassas.

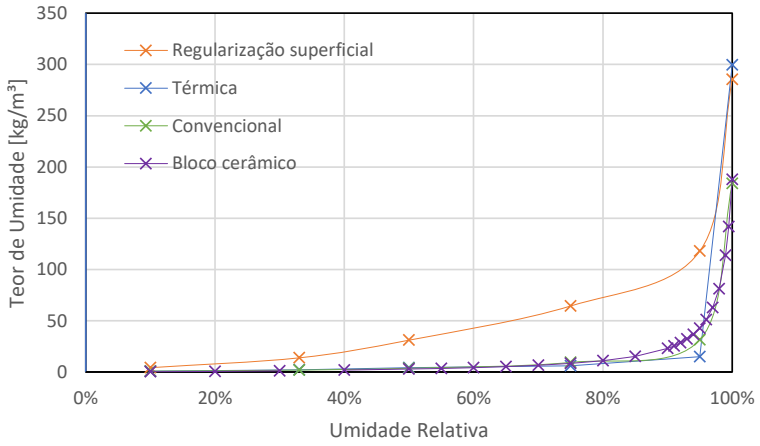
Figura 4 – Produção e caracterização das argamassas.



Fonte: Os autores (2025).

As curvas higroscópicas foram obtidas para as argamassas seguindo a ISO 12571:2013 [16] e a Figura 5 apresenta os resultados para adsorção. As demais propriedades e normas ou métodos de determinação estão apresentados na Tabela 1. O calor específico não foi determinado experimentalmente, mas adotado de material similar da base de dados do *software* WUFI Pro 6.8 [1]. Não foram consideradas dependências entre valores de permeabilidade ao vapor e condutibilidade térmica quanto a variações de temperatura e umidade relativa. Para o bloco cerâmico, utilizaram-se os valores da base de dados [1], referentes a blocos cerâmicos novos.

Figura 5 – Curvas higroscópicas de adsorção.



Fonte: Os autores (2025) e base de dados do *software* WUFI Pro 6.8 [1] (para o bloco cerâmico).

Tabela 1 – Propriedades dos materiais utilizadas nas simulações numéricas. As propriedades indicadas com* foram adotadas conforme base de dados do *software* WUFI Pro 6.8 [1] e as demais, obtidas experimentalmente.

Propriedade	Argamassas				Bloco cerâmico
	Regularização superficial	Térmica	Convencional	Normas e métodos	
Densidade Aparente [kg/m³]	1116	666	1579	EN 1015-10:1999 [17]	600*
Porosidade [m³/m³]	0,3761	0,5854	0,2582	NP EN 1936 :2008 [18]	0,77*
Calor Específico [J/(kg.°C)]	850*	850*	850*	-	850*
Condutibilidade Térmica [W/(m.°C)]	0,19	0,08	0,43	ASTM D7984 :2021 [19]	0,12*
Fator de Resistência à Difusão de Vapor de Água [-]	14,19	9,06	14,02	ISO 12572 :2016 [20] – dessecante sílica gel	16*
Teor de Umidade de Referência [kg/m³]	77,89	8,38	14,99	ISO 12571 :2013 [16]	11*
Teor de Umidade de Saturação [kg/m³]	285,42	299,53	183,87	EN 1015-18:2002 [21]	188*

Propriedade	Argamassas				Bloco cerâmico
	Regularização superficial	Térmica	Convencional	Normas e métodos	
Coeficiente de Absorção de Água [kg/(m².√s]	0,018	0,022	0,016	EN 1015-18:2002 [21]	Umidade - Coef. transporte sucção/redistrib.: 11kg/m³ - 2,5E^{-10} m²/s; 188kg/m³ - 1,22E^{-6} m²/s e 1,3E^{-6} m²/s*

Fonte: Os autores (2025) e base de dados do *software* WUFI Pro 6.8 [1].

MÉTODOS

Na Tabela 2, são apresentados os parâmetros referentes ao elemento construtivo adotados nas simulações numéricas com duração de 3 anos desenvolvidas no *software* WUFI Pro 6.8. Os valores recomendados como padrão pelo *software* para resistências térmicas, refletividade do solo e fator de redução da chuva incidente não foram modificados, pois são adequados às configurações de parede e inclinações adotadas nas simulações [1].

O balanço radiativo explícito e a emissividade referente à radiação de onda longa foram considerados nas simulações, buscando computar potenciais resfriamentos excessivos da superfície e o arrefecimento radiativo devido à emissão de onda longa. A emissividade e refletividade do solo (onda longa) foram modelados com os valores padrão de 0,9 e 0,1, respectivamente, uma vez que não foram experimentalmente determinados. Os índices de nebulosidade foram adotados como 0,64 e 0,66 para Porto Alegre e Lisboa, respectivamente, em consonância com a disponibilidade dos dados nos arquivos climáticos utilizados.

Tabela 2 – Parâmetros para o elemento construtivo utilizados nas simulações numéricas.

Parâmetro	Valor
Orientação	Norte e Sul
Inclinação	90°
Altura do Edifício	Edifício alto, parte média de 10-20 m
Resistência Térmica Exterior	0,0588 (m².°C)/W
Valor de sd Exterior	0,01 m (Tinta de Silicatos)
Absorção (Radiação de Onda Curta)	0,2 (Reboco, branco, novo)
Refletividade do Solo (Onda Curta)	0,2
Fator de Redução da Chuva Incidente	0,7
Resistência Térmica Interior	0,125
Valor de sd Interior	0,01 m (Tinta de Silicatos)
Condições Iniciais	Umidade Relativa: 80%; Temperatura: 20°C

Fonte: Os autores (2025) e valores padrão do *software* WUFI Pro 6.8 [1].

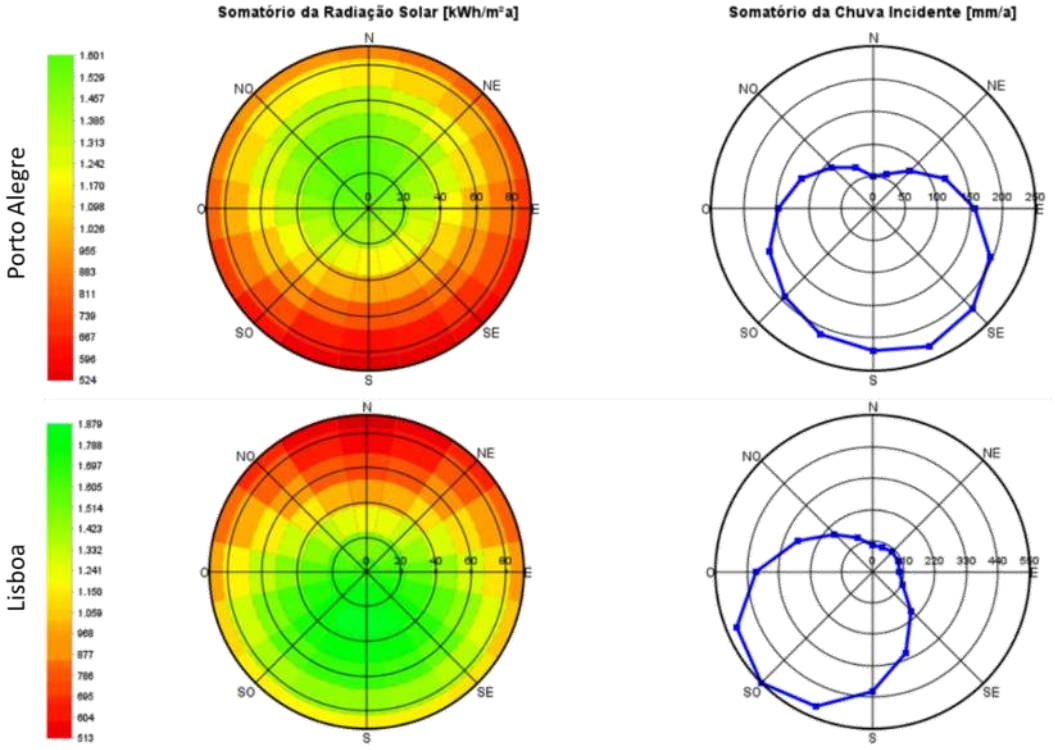
A Tabela 3 e a Figura 6 apresentam os principais parâmetros climáticos para as cidades de Porto Alegre e Lisboa. Para a cidade de Porto Alegre, utilizou-se o arquivo climático do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) [22] do Brasil e para Lisboa, as condições climáticas já disponíveis no *software* [1]. O clima interior foi simulado conforme a EN 15026 / DIN 4108 / WTA 6-2, que configura temperaturas nos ambientes internos de 20°C para temperaturas de ar externo inferiores a 10°C e de 25°C para temperaturas externas superiores a 20°C; a produção de umidade foi adotada como média.

Tabela 3 – Condições climáticas utilizadas nas simulações numéricas.

Parâmetro	Porto Alegre	Lisboa
Temperatura Média [°C]	20	15,6
Temperatura Máxima [°C]	37,4	37
Temperatura Mínima [°C]	2,8	1,2
Umidade Relativa Média [%]	74	74,6
Umidade Relativa Máxima [%]	96	100
Umidade Relativa Mínima [%]	23	25
Velocidade do Vento Média [m/s]	1,5	3,9
Somatório da Precipitação Normal [mm/a]	1168	674,9

Fonte: INMET [22] e base de dados do *software* WUFI Pro 6.8 [1].

Figura 6 – Somatório da Radiação Solar e da Chuva Incidente em Porto Alegre e Lisboa.



Fonte: INMET [22] e base de dados do *software* WUFI Pro 6.8 [1]

Após a obtenção dos resultados das simulações, procedeu-se à análise do risco de condensação externa. Para isso, quantificou-se o número de horas em que a fachada permaneceu exposta a umidades relativas de 100% [13,23].

Para o estudo da transmissão térmica do sistema de fachada, foi utilizada a ferramenta de pós-processamento *Thermal Transmission 2.3.1*, desenvolvida para a avaliação de perdas de calor. A ferramenta obtém valores mensais de transmitância térmica transiente, a partir dos resultados das simulações para os teores de umidade com o *software* WUFI Pro 6.8. O pós-processador considera propriedades dos materiais que variam conforme o teor de umidade, fontes adicionais de calor (como radiação solar) e condições ambientais (como os coeficientes de transmissão à superfície dependentes do vento) [8].

Os valores de transmitância térmica representativos para cada mês (U_M) foram determinados conforme a equação (1):

$$U_M = \frac{-Q_{1,M}}{(\vartheta_i - \vartheta_a)_M} \quad (1)$$

Em que $Q_{1,M}$ representa o valor mensal médio da densidade de fluxo de calor através da superfície interior (W/m²) e $(\vartheta_i-\vartheta_a)_M$, o valor mensal médio da diferença de temperatura entre o ar interior e exterior (K). Os resultados para U_M foram comparados com os requisitos de transmitância térmica superficiais máximos para zonas correntes verticais da envolvente externa ($U_{máx}$) em Porto Alegre, 3,7 W/(m².°C) [24], e em Lisboa, 0,50 W/(m².°C) [25].

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A Figura 7 compila os resultados de umidades relativas e temperaturas na superfície externa das fachadas. Conforme o esperado, os maiores picos de temperatura ocorrem próximo de janeiro em Porto Alegre e de julho em Lisboa, ou seja, nos períodos de verão. Em Porto Alegre, há maiores oscilações e amplitudes nos resultados anuais que em Lisboa, embora os valores extremos de temperatura sejam similares. Em Lisboa, a tendência de variabilidade dentro das estações do ano é menor.

A análise dos resultados numéricos ilustrados pela Figura 7 não apontou risco de condensação para as fachadas Norte e Sul em Porto Alegre, que não atingiram valores de umidade relativa de 100% em sua superfície externa. Por outro lado, foram contabilizadas 311 horas com umidade relativa superficial de 100% no exterior da fachada Norte em Lisboa e 239 horas na fachada Sul, o que corresponde a 0.9% e 0.7% do período total de simulação, respectivamente. O método de avaliação sugere maior risco de condensação em Lisboa no período de inverno.

Parracha et al. [5] também observaram condensação externa em amostras de argamassas térmicas expostas ao envelhecimento natural na cidade de Lisboa, especialmente quando voltadas ao Norte. Nesse caso, as argamassas avaliadas continham agregados de poliestireno expandido (EPS) e aerogel, com condutibilidades térmicas de 0,042 a 0,050 W/(m.°C) e 0,029 W/(m.°C) e densidades de 150 a 200 kg/m³ e 165 kg/m³, respectivamente [5]. Para Sistemas

de Isolamento Térmico pelo Exterior (ETICS) de placa, Parracha et al. [10] também identificaram condensação externa seguindo as mesmas condições de exposição.

Pedroso et al. [13] também identificaram potencial de condensação para argamassas térmicas com aerogel (densidades em torno de 160 kg/m³) na cidade de Lisboa, estudando condutibilidades térmicas inferiores à de isolantes clássicos, como o EPS; o número de horas com umidades relativas atingindo 100% na superfície externa, em construção nova, foi de, no mínimo, 1,8%, ou seja, duas ou mais vezes superior ao identificado neste trabalho. Frequentemente, a condensação externa deriva de soluções térmicas altamente isolantes e com baixas capacidades térmicas, cuja inércia térmica é relativamente baixa [7,26]. Nesse contexto, ressalta-se que a densidade da argamassa térmica com agregados de cortiça em estudo, pelo menos quatro vezes superior às argamassas com EPS, pode influenciar os resultados de condensação observados.

No hemisfério Sul, as situações de condensação são mais frequentes na fachada Sul, que recebe menor incidência de radiação solar, com consequente menor taxa de evaporação da água condensada, favorecendo, inclusive, o desenvolvimento de microrganismos [27]. Foi o que se verificou na edificação histórica *Château*, em Porto Alegre, com revestimento de argamassa à base de cal [28].

A ausência de condensação externa em Porto Alegre segundo as simulações numéricas pode ter sido facilitada pela permeabilidade ao vapor de água da camada de argamassa de regularização superficial, relativamente próxima à das camadas subjacentes; seu valor de 14,19 demonstra que é muito mais permeável que a camada final utilizada em sistemas de argamassas térmicas e ETICS de placa por Parracha et al. [29] em suas simulações, com valores superiores a 82. A verificação experimental dessa conclusão é fundamental, especialmente considerando-se a suscetibilidade de argamassas térmicas com agregados de cortiça à biocolonização [12].

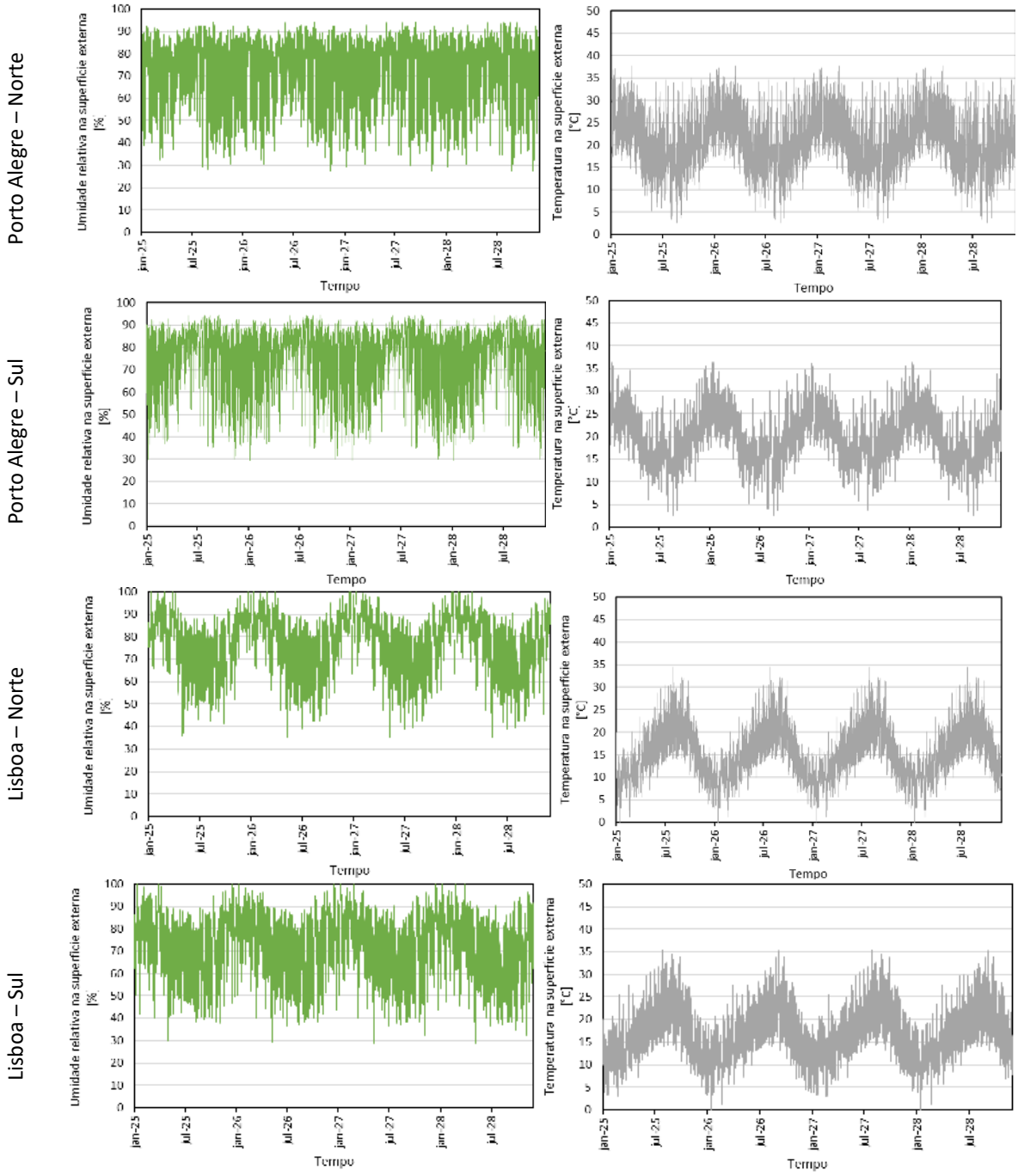
A Figura 8 apresenta os valores de transmitância térmica mensais médios para o sistema de fachada. Para a cidade de Lisboa, verifica-se um perfil uniforme ao longo do ano, com maiores valores em torno de setembro, o que decorre de temperaturas das superfícies internas superiores às externas. Em ambas as cidades, as orientações com maior somatório de radiação total anual (Figura 6) apresentaram valores de transmitância térmica ligeiramente inferiores à orientação oposta.

Como limitação das simulações higrotérmicas, não foram inseridos dados de dependência entre a condutibilidade térmica das argamassas e a umidade relativa, o que poderia ter tornado a transmissão de calor ainda mais intensa. Posani et al. [11], por exemplo, identificaram condutibilidades térmicas de 0,098 W/(m.°C) e 0,325 W/(m.°C) para argamassa térmica com agregados de cortiça nos estados seco e saturado, respectivamente.

Conforme avaliação realizada pelo pós-processador, as transmitâncias térmicas na cidade de Lisboa para fachadas voltadas a Sul atendem, durante todo o período de simulação, a ambos os requisitos exigidos em Lisboa e em Porto Alegre, ou seja, os valores de U_M são inferiores a 0,50 W/(m².°C) (Portaria No 138-I/2021 [25]) e a 3,7 W/(m².°C) (ABNT NBR 15575-4:2021 [24]), respectivamente. Já na orientação Norte, o valor de 0,50 W/(m².°C) é ultrapassado nos meses

de agosto e setembro. Em Porto Alegre, os resultados atendem ao valor máximo exigido para a cidade, 3,7 W/(m².°C) [24], nas duas orientações, mas o sistema de fachada não permite valores de transmitância térmica inferiores ou iguais a 0,50 W/(m².°C) entre janeiro e março na fachada Sul.

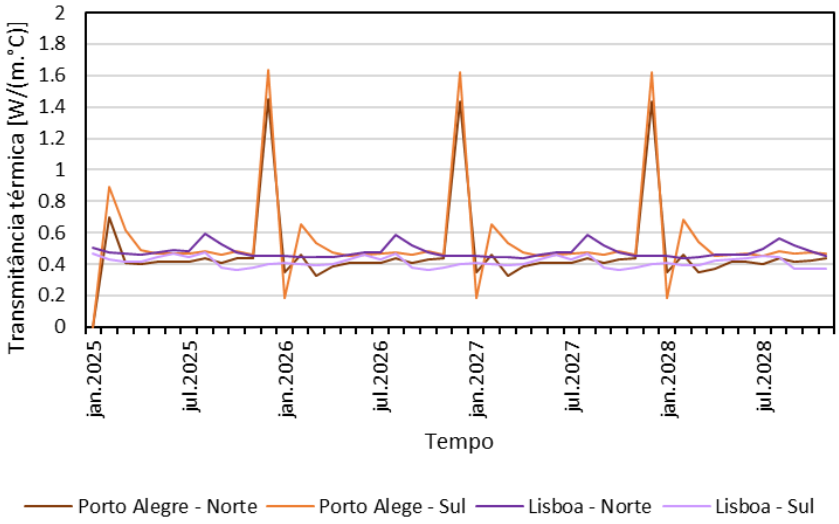
Figura 7 – Umidades relativas e temperaturas na superfície externa ao longo do tempo.



Fonte: Os autores (2025).

Mesmo assim, considerando-se que o sistema de fachada em estudo representa uma tecnologia similar à utilizada na segunda metade dos anos 1990 em Portugal [30], observa-se que os resultados de transmitância térmica transiente são adequados ao que se espera em intervenções de reabilitação de edifícios portugueses existentes destinados ao uso habitacional, 1,70 W/(m².°C) como $U_{máx}$ (Portaria Nº 297/2019 [31]). Ou seja, o revestimento externo contendo argamassa térmica com cortiça atende aos requisitos de desempenho esperados em Lisboa. No caso de Porto Alegre, este requisito para intervenções de reabilitação também é atendido.

Figura 8 – Transmitâncias térmicas mensais médias.



Fonte: Os autores (2025).

CONCLUSÕES

Este trabalho avaliou o desempenho higrotérmico de um sistema de fachada em alvenaria com parede dupla e caixa de ar, com enfoque no potencial de condensação externa e transmissão térmica. Foram utilizados dados obtidos experimentalmente para três tipos de argamassa com base em cal hidráulica natural, sendo uma delas leve e aprimorada termicamente com agregados de cortiça para revestimento externo.

Por meio de simulação higrotérmica, não foram identificados problemas com condensação superficial externa para o sistema nas orientações Norte e Sul na cidade de Porto Alegre, o que evidenciou a importância das propriedades do acabamento superficial no desempenho dos sistemas multicamadas contendo argamassas térmicas. Em Lisboa, houve risco de condensação principalmente nos meses de inverno.

Quanto à transmissão de calor, os coeficientes de transmitância térmica da fachada Sul na cidade de Lisboa atenderam ao valor máximo recomendado, de 0,5 W/(m².°C), durante todo o ano, considerando estado transiente; a fachada Norte não cumpriu este requisito nos meses de agosto e setembro, no verão. Em Porto Alegre, o mesmo sistema atendeu ao valor recomendado para a zona bioclimática em que se insere, de 3,7 W/(m².°C), tendo sido

também inferior a 0,50 W/(m².°C) na fachada Norte durante todo o ano e, na fachada Sul, com exceção do período entre janeiro e março, também no verão.

É evidente a variação entre os requisitos de transmitância térmica superficiais máximos para zonas correntes verticais da envolvente em Porto Alegre e em Lisboa. Mesmo assim, observou-se que a utilização de argamassas térmicas com agregados a base de cortiça, um subproduto da indústria, acarreta bom desempenho, principalmente do ponto de vista da transmitância térmica. Como trabalhos futuros, sugere-se a avaliação da durabilidade no estado natural de sistemas de revestimento completos contendo argamassas térmicas com cortiça para validação dos resultados, além do enriquecimento da caracterização térmica das argamassas por meio da determinação de efusividade e difusividade térmica e das condutibilidades em regime variável de umidade. A investigação e implementação prática deste tipo de solução pode servir como estratégia na busca pela construção mais sustentável.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Fundação para a Ciência e Tecnologia através do financiamento UIDB/04625/2020 da unidade de investigação CERIS (DOI: 10.54499/UIDB/04625/2020) e da bolsa 2023.05316.BD (DOI: 10.54499/2023.05316.BD), ao IST, ao PPGCI, à UFRGS, à CAPES e ao CNPq. Os autores agradecem à Secil pelo fornecimento de materiais e ao IBP – Fraunhofer Institute for Building Physics pela licença estudantil para o *software* WUFI Pro 6.8.

REFERÊNCIAS

[1] FRAUNHOFER INSTITUTE FOR BUILDING PHYSICS (IBP). **WUFI® Pro 6 Manual**. 2019. Disponível em: https://wufi.de/en/wp-content/uploads/sites/11/WUFIPro_6_manual.pdf. Acesso em: 08 fevereiro 2025.

[2] UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **2021 Global status report for buildings and construction: Towards a zero emission, efficient and resilient buildings and construction sector**. Nairobi: UNEP, 2021.

[3] EUROPEAN COMMISSION. **A renovation wave for Europe - Greening our buildings, creating jobs, improving lives**. Brussels: EC, 2020.

[4] POSANI, M.; VEIGA, R.; DE FREITAS, V. P. Thermal renders for traditional and historic masonry walls: Comparative study and recommendations for hygric compatibility. **Building and Environment**, v.228, 109737, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109737.

[5] PARRACHA, J. L.; VEIGA, R.; NUNES, L.; FLORES-COLEN, I. Effects of hygrothermal and natural aging on the durability of multilayer insulation systems incorporating thermal mortars with EPS and aerogel. **Cement and Concrete Composites**, v. 148, 105843, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2024.105483.

[6] INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE (IPQ). **NP EN 998-1:2017**: Especificação de argamassas para alvenarias - Parte 1: Argamassas para rebocos interiores e exteriores. Caparica: IPQ, 2017.

[7] KÜNZEL, H. M. Factors determining surface moisture on external walls. In: BUILDINGS X CONFERENCE, 2007, Atlanta. **Proceedings** […] Atlanta: American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers, 2007.

[8] FLOOD, C.; SCOTT, L.; GLEESON, W. Application of transient hygrothermal modelling to assess thermal transmittance: A case study in Dublin, Ireland. In: CIB WORLD BUILDING CONGRESS, 2016, Tampere. **Proceedings** […] Tampere: CIB, 2016.

[9] RODRIGUES, E.; FERNANDES, M. S.; GASPAR, A. R.; GOMES, Á.; COSTA, J. J. Thermal transmittance effect on energy consumption of Mediterranean buildings with different thermal mass. **Applied Energy**, v. 252, 113437, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113437.

[10] PARRACHA, J. L.; VEIGA, R.; GOMES, M. G.; FLORES-COLEN, I.; NUNES, L. Hygrothermal behaviour of External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) to withstand biological colonisation. **Journal of Building Engineering**, v. 86, 108932, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.108932.

[11] POSANI, M.; VEIGA, R.; DE FREITAS, V. P. Thermal mortar-based insulation solutions for historic walls: An extensive hygrothermal characterization of materials and systems. **Construction and Building Materials**, v. 315, 125640, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125640.

[12] PINCHARD, L.; PARRACHA, J. L.; VEIGA, R.; MATIAS, L.; SANTOS SILVA, A.; DUARTE, S.; NUNES, L. Weather ageing effects on the long-term thermal conductivity and biological colonisation of thermal insulating mortars with EPS, cork and aerogel. **Energy and Buildings**, v. 317, 114403, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114403.

[13] PEDROSO, M.; GOMES, M. DA G.; SILVESTRE, J. D.; HAWREEN, A.; FLORES-COLEN, I. Thermophysical parameters and hygrothermal simulation of aerogel-based fibre-enhanced thermal insulating renders applied on exterior walls. **Energies**, v. 16, 3048, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/en16073048.

[14] INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE (IPQ). **NP EN 196-1:2006**: Métodos de ensaio de cimentos. Parte 1 — Determinação das resistências mecânicas. Caparica: IPQ, 2006.

[15] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). **EN 1015-3:1999**: Methods of test for mortar for masonry - Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by Flow Table). CEN, 1999.

[16] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 12571:2013**: Hygrothermal performance of building materials and products — Determination of hygroscopic sorption properties. Genebra: ISO, 2013.

[17] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). **EN 1015-10:1999**: Methods of test for mortar for masonry - Part 10: Determination of dry bulk density of hardened mortar. CEN, 1999.

[18] INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE (IPQ). **NP EN 1936:2008**: Métodos de ensaio para pedra natural - Determinação das massas volúmicas real e aparente e das porosidades total e aberta. Caparica: IPQ, 2008.

[19] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **ASTM D7984:21**: Standard test method for measurement of thermal effusivity of fabrics using a Modified Transient Plane Source (MTPS) instrument. West Conshohocken: ASTM, 2021.

[20] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). **EN ISO 12572**: Building materials: Determination of water vapor transmission properties. CEN, 2001.

[21] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). **EN 1015-18**: Methods of test for mortar for masonry - Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar. CEN, 2004.

[22] INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Arquivos Climáticos INMET 2018**. 2018. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/pt-br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2018. Acesso em: 16 julho 2020

[23] RAMOS, N.M.M.; BARREIRA, E.; SIMÕES, M.L.; DELGADO, J.M.P.Q. Probabilistic risk assessment methodology of exterior surfaces defacement caused by algae growth. **Journal of Construction Engineering and Management**, v.140, p. 050140121-05014017, 2014. DOI: https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000909.

[24] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 15575-4:2021**: Edificações habitacionais — Desempenho Parte 4: Requisitos para os Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas — SVVIE. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

[25] REPÚBLICA PORTUGUESA. Ambiente e Ação Climática e Infraestruturas e Habitação - Portaria No 138-I/2021 de 1º de Julho. **Diário da República**, 1ª série, 128(12), 2021.

[26] KÜNZEL, H. M.; SEDLBAUER, K. Biological growth on stucco. In: BUILDINGS VIII CONFERENCE, 2001, Clearwater Beach. **Proceedings** […] Clearwater Beach: 2001.

[27] SATO, N. M. N.; SHIRAKAWA, M. A.; LOH, K.; JOHN, V. M. Influence of Thermal Properties of Materials in Condensation and Microorganism Growth on Building Facades. In 11TH DBMC INTERNATIONAL CONFERENCE ON DURABILITY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS, 2008, Instambul. **Proceedings** […] Instambul: CIB, 2008.

[28] VERDUM, G.; BERSCH, J. D.; GUERRA, F. L.; SOCOLOSKI, R. F.; GIORDANI, C.; ZUCCHETTI, L.; MASUERO, A. B. Mortar Coating Degradation in Historical Buildings Facades from Rio Grande Do Sul – Brazil. **Construction and Building Materials**, v. 310, 125221, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125221.

[29] PARRACHA, J. L. C. R. **Durability for Sustainability of Multilayer External Wall Thermal Insulation Systems**. 2024. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2024.

[30] SOUSA, H. Portuguese masonry building enclosures. Practices and problems. In: 37TH COMMISSION MEETING - CIB W023 (WALL STRUCTURES), 2000, Penn State. **Proceedings** […] Penn State: CIB, 2000.

[31] REPÚBLICA PORTUGUESA. Ambiente e Transição Energética - Portaria Nº 297/2019 de 9 de Setembro. **Diário da República**, 198, 2019.