

DESEMPENHO HIGROTÉRMICO DE SISTEMAS DE REBOCO TÉRMICO COM BASE EM GESSO PARA A REABILITAÇÃO DE PAREDES

1.º J. Maia¹

joanamaia@fe.up.pt

2.º N. M. M. Ramos²

nunoramos@fe.up.pt

3.º R. Veiga³

rveiga@lneec.pt

ÁREA: PATOLOGIA ENVOLVENTE - HIGROTÉRMICA

Resumo

Os sistemas de reboco térmico têm vindo a surgir no mercado, nos últimos anos, apresentando-se como uma mais-valia do ponto de vista da sustentabilidade, visto contribuírem para a eficiência energética dos edifícios e incorporarem, frequentemente, materiais reciclados. Sendo usualmente aplicados em multicamadas, tornam-se soluções bastante interessantes no setor da reabilitação de edifícios, o qual apresenta atualmente um grande peso na indústria da construção em Portugal.

Devido a esta necessidade de novas soluções que garantam as exigências, nomeadamente na área da higrotérmica, é de grande importância conhecer as propriedades destas soluções.

O gesso é um ligante produzido a temperaturas relativamente baixas, portanto de elevada sustentabilidade. Pode constituir um importante material na produção de rebocos interiores, os quais podem também incorporar agregados leves que contribuam para um melhor desempenho higrotérmico do sistema, aumentando a sua resistência térmica e, devido às suas características específicas, aumentando simultaneamente a inércia higroscópica de compartimentos.

O presente trabalho apresenta um breve resumo do estado da arte de rebocos térmicos, à base de gesso, e uma análise das propriedades estudadas em trabalhos levados a cabo por diversos autores. Numa segunda parte do trabalho, são apresentadas as propriedades higrotérmicas de um sistema de reboco térmico à base de gesso, as quais serão utilizadas posteriormente para simulação higrotérmica, através do programa de simulação numérica WUFI Pro. Pretende-se perceber, através da simulação numérica, as possibilidades de aplicação deste tipo de sistema, tendo em conta o clima e o local de aplicação.

Palavras-chave: Sistemas de reboco térmico

Gesso

Propriedades dos materiais

Simulação higrotérmica

¹ CONSTRUCT (LFC), Faculdade de Engenharia (FEUP), Universidade do Porto, Portugal

² CONSTRUCT (LFC), Faculdade de Engenharia (FEUP), Universidade do Porto, Portugal

³ Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa, Portugal



COMPORTAMIENTO HIGROTÉRMICO DE SISTEMAS DE MORTERO TÉRMICO COMBASE EN EL YESO PARA LA REHABILITACIÓN DE PAREDES

1.º J. Maia¹

joanamaia@fe.up.pt

2.º N. M. M. Ramos²

nunoramos@fe.up.pt

3.º R. Veiga³

rveiga@lnec.pt

AREA: PATOLOGIA ENVOLVENTE - HIGROTHERMIA

Resumen

Los sistemas de mortero térmico han surgido en el mercado en los últimos años, presentándose como una plusvalía desde el punto de vista de la sostenibilidad, ya que contribuyen a la eficiencia energética de los edificios e incorporan a menudo materiales reciclados. Siendo usualmente aplicados en capas múltiples, se convierten en soluciones interesantes en el sector de la rehabilitación de edificios, el cual presenta actualmente un gran peso en la industria de la construcción portuguesa.

Debido a la necesidad de nuevas soluciones, que garanticen las exigências, es de gran importancia conocer las propiedades de estas soluciones.

El yeso es un ligante producido a temperaturas relativamente bajas, por lo tanto de elevada sostenibilidad. Puede constituir un importante material en la producción de morteros interiores, los cuales también pueden incorporar agregados ligeros que contribuyan a un mejor desempeño higrotérmico del sistema, aumentando su resistencia térmica y, debido a sus características específicas, aumentando simultáneamente la inercia higroscópica de compartimentos.

El presente trabajo presenta un breve resumen del estado del arte de morteros térmicos, a base de yeso, y un análisis de las propiedades estudiadas en trabajos por diversos autores. En una segunda parte del trabajo, se presentan las propiedades higrotérmicas de un sistema de mortero térmico a base de yeso, las cuales serán utilizadas posteriormente para simulación higrotérmica, a través del programa de simulación WUFI Pro. Se pretende percibir, a través de la simulación, las posibilidades de aplicación de este tipo de sistema, teniendo en cuenta el clima y el local de aplicación.

Palabras clave: Sistema de mortero térmico

Yeso

Propiedades de los materiales

Simulación higrotérmica

Introdução

As argamassas térmicas começaram a surgir e a ser aplicadas com grande frequência na Europa nos anos 80, existindo em França soluções de desempenho comprovado através de *Avis Technique* [1]. Em Espanha, em 1988, surgem rebocos com agregados leves com *Documento de Idoneidad Tecnica*, classificados como sistemas de correção térmica [2].

Os rebocos térmicos são produtos de revestimento de desempenho térmico melhorado, enquadrando-se na Norma Europeia NP EN 998-1:2013 [3], onde têm a designação de Argamassas de Isolamento Térmico para Reboco e se dividem em duas classes de isolamento térmico: T1 e T2.

Os rebocos térmicos são usualmente aplicados em sistemas multicamada constituídos por uma ou mais camadas desse mesmo reboco isolante, de espessura relativamente elevada, a qual é aplicada sobre um suporte (normalmente em alvenaria ou betão), e uma camada de argamassa de acabamento que confere maior resistência ao sistema. Alguns sistemas apresentam ainda pinturas como acabamento final.

Existem diversos tipos de argamassas térmicas nas quais se usam diferentes ligantes e agregados, tendo em conta o seu propósito. O gesso, em particular, é um material ainda não muito explorado para a produção de argamassas térmicas, devido ao seu desempenho quando utilizado em ambientes húmidos.

No que diz respeito a argamassas à base de gesso, as suas propriedades e características podem ser definidas no âmbito da Norma Europeia EN 13279-1: 2008 [4], na qual os rebocos térmicos com base em gesso, para aplicação como revestimentos interiores, se classificam como C4 – “thermal insulation plaster” – incluídos no grupo de rebocos interiores de gesso para propósitos especiais. O único requisito definido é o tempo de presa inicial (> 20 min) e refere que os produtores devem verificar as propriedades de isolamento térmico através de métodos adequados (descritos na referida norma).

Verifica-se que existe uma grande lacuna no que se refere ao enquadramento normativo e consequente avaliação do desempenho deste tipo de materiais, com características térmicas melhoradas, apesar do crescente interesse na sua utilização.

O desenvolvimento de produtos à base de gesso com incorporação de agregados leves pode apresentar mais-valias interessantes no comportamento térmico, contribuindo para a resistência térmica de elementos da envolvente. Também pode contribuir para um melhor comportamento higríco, para a inércia higroscópica de compartimentos, para a durabilidade de revestimentos, através da aplicação de rebocos com módulo de elasticidade mais baixo com benefícios na redução de fissuração, e na sustentabilidade, por meio de incorporação de resíduos e utilização de matérias-primas naturais que implicam quantidades de energia reduzidas no processo de produção.

No presente trabalho apresenta-se um breve resumo do estado da arte de rebocos térmicos, à base de gesso, e uma análise das propriedades estudadas em trabalhos levados a cabo por diversos autores. Numa segunda parte do trabalho, são apresentadas as propriedades higrotérmicas de um sistema de reboco térmico à base de gesso, as quais serão utilizadas posteriormente para simulação higrotérmica, através do programa de simulação numérica WUFI Pro. Pretende-se perceber, através da simulação numérica, as possibilidades de aplicação deste tipo de sistemas, tendo em conta o clima e o local de aplicação.

Rebocos térmicos à base de gesso: estado-da-arte

Hernández-Olivares *et al.* [5] descrevem uma análise experimental avaliando a compatibilidade de granulado de cortiça e gesso. Os provetes foram produzidos misturando 80% de gesso semihidratado com 20% de granulado de cortiça de cada tipo, usando dois raios água/gesso (w/g) diferentes, para analisar a sua influência nas propriedades mecânicas do produto final: Série 1 (w/g = 0,8) e Série 2 (w/g = 0,6). Os ensaios à compressão e à flexão mostraram resultados semelhantes para ambos os raios w/g, com exceção dos provetes realizados com granulado de cortiça. Este tipo de cortiça continha uma grande quantidade de pequenas fibras vegetais que contribuíram para o aumento da resistência mecânica da Série 2. Relativamente à avaliação da condutibilidade térmica, verificou-se que existe uma correlação entre a massa volúmica e a condutibilidade térmica: quanto maior a massa volúmica, maior a condutibilidade térmica, sendo o melhor resultado de 0,126 W/m/K para uma massa volúmica de 578 kg/m³ [5].

No trabalho descrito em [6], Gutiérrez-González *et al.* estudou as propriedades e o comportamento térmico de gesso com adição de desperdícios de dois tipos de espuma de poliuretano. Verificou-se uma diminuição da massa volúmica com a adição de espuma de poliuretano, e, conseqüentemente, da condutibilidade térmica (diminuindo mais de 66%, relativamente ao material sem adição de poliuretano). Apesar de a aderência diminuir com o aumento da adição de poliuretano, o tipo de fratura apresentou-se coesiva [6].

De Oliveira *et al.* [7] procuraram avaliar as propriedades físico-mecânicas de um compósito à base de gesso com adição de vermiculite. Foi possível concluir que a aderência entre a vermiculite e a matriz de gesso é bastante boa, o que se reflete numa melhor resistência à flexão deste material, quando comparando com um material sem adição de vermiculite. A percentagem de vermiculite que conduziu a melhores resultados nas propriedades foi de 20% [7].

Um dos objetivos de Martias *et al.* [8] consistiu em medir a condutibilidade térmica, em função da percentagem de adições introduzidas na matriz de gesso. As adições introduzidas foram vermiculite exfoliada e moscovite (mica). Os resultados mostraram que a condutibilidade térmica diminuiu quando adicionada vermiculite, enquanto que permaneceu constante quando adicionada mica. Além disso, concluiu-se que aumentando a percentagem de vermiculite de 5% para 25% também aumentava a porosidade para 45%, enquanto que com a adição de mica a porosidade (cerca de 40%) não se alterava [8].

Cherki *et al.* [9] determinaram as propriedades térmicas de um compósito de gesso e cortiça com diferentes tamanhos de cortiça granulada, mantendo-se o volume de cortiça incorporada, para verificar se o tamanho do granulado influenciava as propriedades térmicas. Este estudo mostrou que aumentando o tamanho do granulado de cortiça a massa volúmica reduz e, conseqüentemente, a condutibilidade térmica. Além disso, comparando este reboco de gesso e cortiça com um reboco de gesso de referência (sem cortiça) observou-se que a massa volúmica reduziu para cerca de metade ($\approx 800-450$ kg/m³) e a condutibilidade térmica para um terço ($\approx 0,3-0,11$ W/m/K) [9].

Abidi *et al.* [10] avaliaram a influência da microestrutura na condutibilidade térmica de materiais com porosidade entre 45% e 75%. Estes materiais eram constituídos, essencialmente, por gesso e adições. Escolheram-se três adições diferentes: vermiculite exfoliada, perlite e cimento. A condutibilidade térmica reduziu com as adições, permitindo a perlite uma maior resistência térmica, comparando com a vermiculite e muito maior comparando com a adição de cimento [10].

Apresenta-se, de seguida, um quadro resumo das propriedades medidas pelos diferentes autores referidos (ver Tabela 1).

Tabela 1: Resumo das propriedades de rebocos térmicos, à base de gesso, obtidas nos diferentes ensaios realizados pelos autores analisados.

Referência	Agregado leve/ adição	Massa volúmica (kg/m ³)	Condutibilidade térmica (W/m.°C)	Propriedades mecânicas
[5]	Cortiça (de inverno)/ 3 proporções	578-864	0,126-0,200	Resistência à compressão de 2,27 N/mm ² e à flexão de 2,26 N/mm ² (20% incorporação de cortiça de inverno)
[6]	Desperdícios espuma poliuretano branco-gesso/ 0,5-1 a 4-1 (5% adição)	1258 a 535	0,316 a 0,104	Diminuição da resistência à compressão e à flexão para cerca de metade, com rácio 1/1 (6,58MPa e 2,59MPa), em relação ao material sem adição de espuma
[7]	Vermiculite/ 20%	866	-	Resistência à compressão de 2,4 N/mm ² e à flexão de 2,0 N/mm ²
[8]	Vermiculite/ 0,5 e 25%	-	0,58; 0,46; 0,27	Aumento da %vermiculite conduz à diminuição do módulo Young
[9]	Cortiça/ 4 proporções de 2,5-5mm a 8-12,5mm	472,32-447,32	0,124-0,101	Volume de cortiça incorporada nas 4 amostras constante
[10]	Vermiculite/ 0, 5 e 25%	-	0,50; 0,45; 0,23	Aumento da porosidade (47, 51 e 74%)
	Perlite/ 0, 5 e 25%	-	0,50; 0,35; 0,16	Aumento da porosidade (47, 57 e 76%)

Verificou-se uma tendência clara na obtenção de novos materiais mais leves e com características térmicas melhoradas. No entanto, de uma forma geral, o facto de os materiais apresentarem menor massa volúmica, o que está diretamente relacionado também com um aumento de porosidade, traduz-se numa perda da resistência mecânica. Em termos de agregados leves constata-se o recurso a materiais de origem natural, como é o caso da cortiça e adições minerais, e de desperdícios, na maioria das vezes industriais, como por exemplo fibras não naturais.

Materiais e metodologia experimental

Materiais

Os materiais em estudo são um reboco térmico e uma argamassa de revestimento, ambos à base de gesso (de origem portuguesa). O reboco térmico tem na sua constituição cortiça granulada e adjuvantes, sendo aplicado por projeção mecânica. Quanto à argamassa de revestimento é constituída por cargas minerais e adjuvantes, além do gesso (ver Figura 1). Este revestimento final, aplicado pelo interior, tem como finalidade regularizar a parede, sendo aplicada apenas uma camada de 2/3mm de espessura.



Figura 1: Reboco térmico, à esquerda, e argamassa de revestimento, à direita.

Metodologia experimental

Apresentam-se na Tabela 2 as propriedades higrotérmicas medidas, necessárias à simulação numérica, assim como os procedimentos de ensaio utilizados.

Tabela 2: Metodologia experimental e provetes.

Propriedade	Procedimento	Dimensão dos provetes (mm)	Reboco térmico (T) (nºprovetes)	Revestimento (C) (nºprovetes)
Massa volúmica (ρ) e porosidade (P)	FE Pa 44 [11]	40x40x40	3	3
Condutibilidade térmica (λ)	EN 12664:2001 [12]	300x300x30	2	-
Coefficiente de capilaridade (A_w)	EN ISO 15148:2002 [13]	100x100x200	3	3
Curva de adsorção (w)	EN ISO 12571:2000 [14]	100x100x20	3	3
Fator de resistência à difusão (μ)	ISO 12572:2000 [15]	210x210x20	3	3 (reboco térmico + revestimento)

Propriedades higrotérmicas: resultados

Apresentam-se na Tabela 3 os resultados obtidos na campanha experimental.

Tabela 3: Resultados das propriedades higrotérmicas medidas.

Propriedade	Reboco térmico (T)	Revestimento (C)
ρ_{bulk} (kg/m ³)	659.5 ± 5.4	1261.4 ± 2.5
P (%)	50.6 ± 1.3	38.0 ± 0.2
Λ (kg/m°C)	0.134 ± 3.8x10 ⁻⁵	-
μ (-)	6.2 ± 0.1	8.2 ± 0.2
A_w (kg/m ² s ^{0.5})	0.282 ± 1.41x10 ⁻⁴	0.255 ± 4.02x10 ⁻⁴
w _{80%} (kg/m ³)	2.0 ± 0.08	2.7 ± 0.08
w _{saturoado} (kg/m ³)	503.8 ± 16.33	378.7 ± 2.43

Simulação higrotérmica

Dados para simulação

A simulação higrotérmica será realizada através do programa de simulação WUFI Pro para um sistema de parede composto por quatro camadas: argamassa de acabamento exterior (4 mm, material da base de dados do WUFI [16]), com base cimentícia, alvenaria de tijolo cerâmico (20 cm e R=0,46m²C/W, material da base de dados do WUFI [16]) e o sistema de reboco térmico analisado anteriormente: reboco térmico com base em gesso e incorporação de cortiça e argamassa de regularização (2 mm, também considerada nos cenários L0 e M0). O sistema de reboco térmico será aplicado pelo interior e avaliado o seu efeito para duas espessuras diferentes (4 e 8 cm) para dois climas europeus distintos (Lisboa e Milão). Será avaliado o desempenho deste sistema quando aplicado pelo interior,

não considerando a ação da chuva e estando a parede orientada a Norte. Considerou-se uma absorção solar de 0,4 e um período de simulação de um ano. Apresentam-se na Tabela 4 os cenários de simulação.

Tabela 4: Cenários de simulação e coeficiente de transmissão térmica da parede.

Cenário de simulação	Cidade	Espessura reboco térmico (cm)	U parede (W/m ² .°C)
L0	Lisboa	0	1,57
L4	Lisboa	4	1,07
L8	Lisboa	8	0,81
M0	Milão	0	1,57
M4	Milão	4	1,07
M8	Milão	8	0,81

Verifica-se que, com uma camada de reboco térmico de 4 centímetros é possível reduzir a transmissão térmica da parede em cerca de 32% e com uma espessura de 8 centímetros, de quase 48%, o que se pode traduzir numa melhoria do conforto.

Resultados obtidos

Apresenta-se na Figura 2 a frequência acumulada do teor de humidade total na parede, para os diferentes cenários simulados.

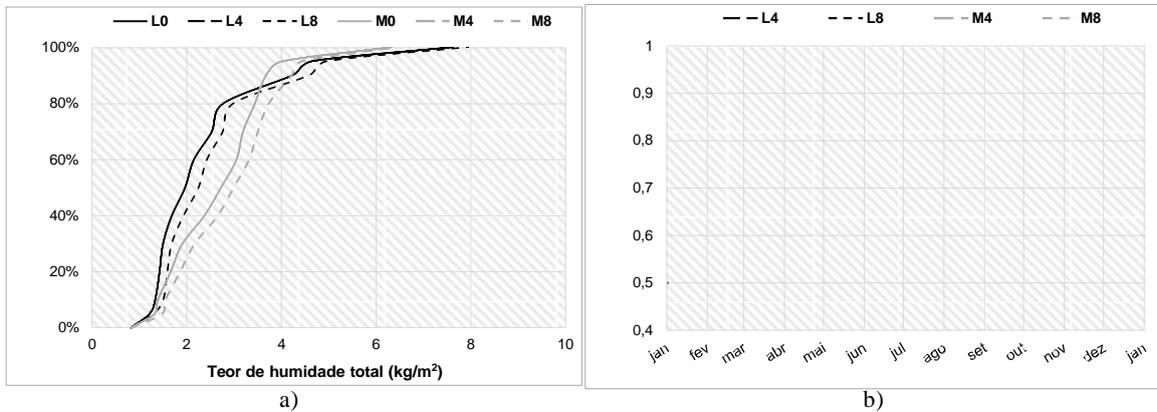


Figura 2: a) Frequência acumulada do teor de humidade total na parede; b) Variação anual do teor de humidade no reboco térmico.

Verifica-se que, com a camada adicional de reboco térmico, há um aumento do teor de humidade na parede, o que pode dever-se ao facto de este material, permitir uma acumulação de humidade no seu interior, visível na variação anual do teor de humidade no seio do reboco térmico. Quanto aos climas simulados, constata-se que Milão, em aproximadamente 60% das ocorrências, apresenta uma evolução mais rápida no teor de humidade do que Lisboa. No entanto, para situações mais extremas, Lisboa apresenta teores de humidade mais elevados.

Apresenta-se na Figura 3 a frequência acumulada da temperatura e humidade relativa na interface entre a alvenaria e a camada adjacente de reboco interior.

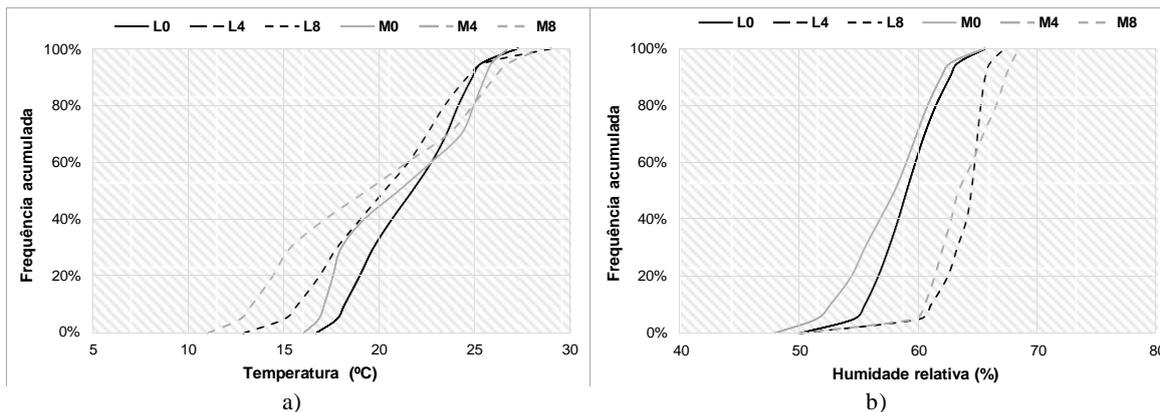


Figura 3: Frequência acumulada na interface entre a alvenaria e a camada adjacente de reboco interior da: a) Temperatura; e b) Humidade relativa.

Verifica-se que, para ambos os climas, a inclusão da camada de reboco térmico origina uma maior variação da temperatura e da humidade relativa e, também, uma redução da temperatura (em grande parte do tempo) e um aumento da humidade relativa, com o aumento da espessura de reboco. Na cidade de Milão, a variação é ligeiramente superior do que em Lisboa, o que vai de encontro ao tipo de clima. Verifica-se, portanto, que aumenta o risco de ocorrência de condensações internas nesta interface (alvenaria e camada de reboco adjacente).

Apresenta-se na Figura 4 a distribuição do perfil de temperaturas, considerando os instantes de menor e maior temperatura superficial exterior.

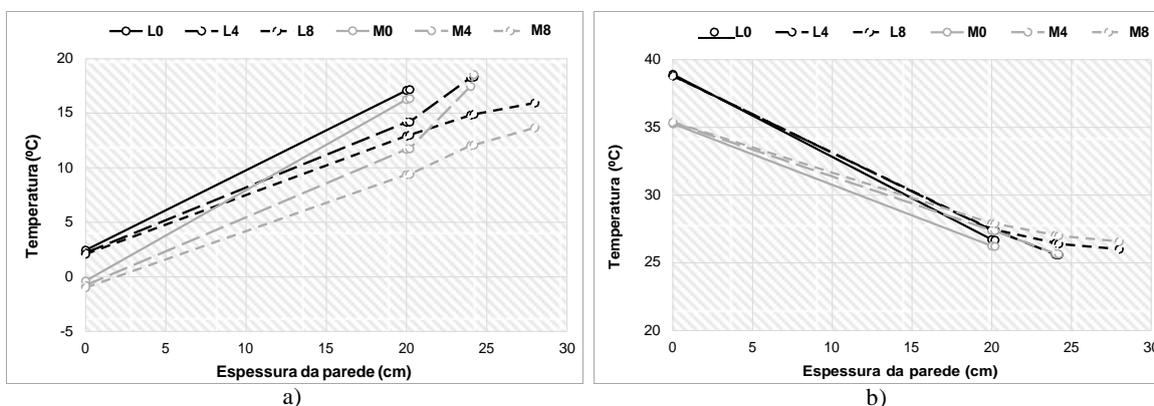


Figura 4: a) Perfil de temperatura no instante de: a) menor e b) maior, temperatura superficial exterior.

O aumento da espessura de reboco térmico traduz-se em perfis de temperatura com menor variação na camada de alvenaria. Apresentam-se na Figura 5 e Figura 6 os gráficos de isopletas para os diversos cenários. A partir da análise destes gráficos é possível verificar se é ou não expectável o desenvolvimento de bolores na superfície interior. Quando o desenvolvimento do gráfico se encontra abaixo do limite das isopletas (LIM B I e LIM B II), significa que é pouco provável que se desenvolvam bolores.

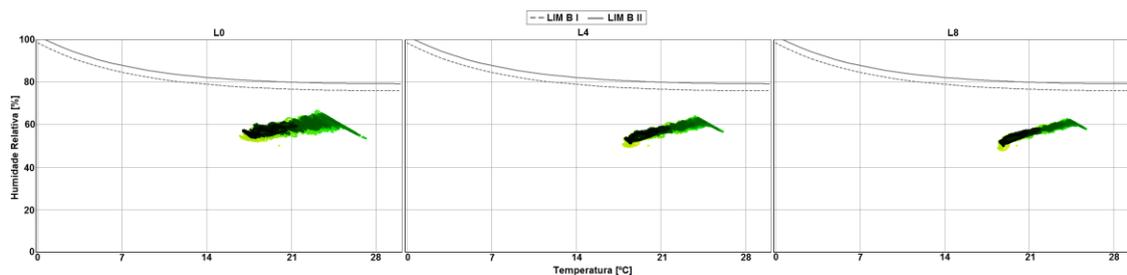


Figura 5: Isopletras nos cenários na cidade de Lisboa: L0, L4 e L8.

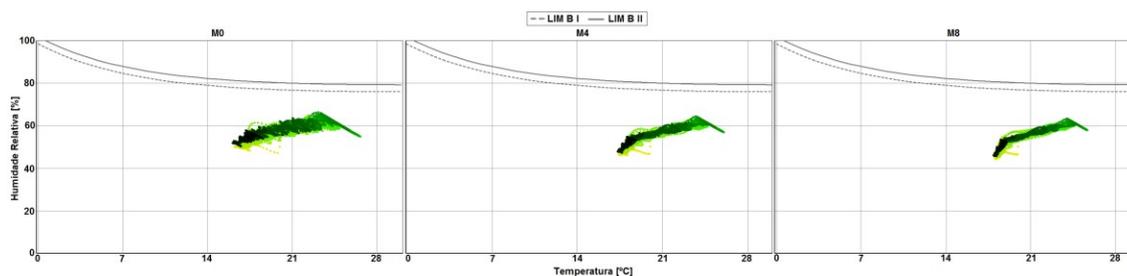


Figura 6: Isopletras nos cenários na cidade de Milão: M0, M4 e M8.

Verifica-se que, com a inclusão da camada de reboco térmico, o risco de ocorrência de fungos diminui nos dois climas, sendo mais evidente quando comparando os cenários sem reboco térmico com os cenários com a camada de 4 centímetros de espessura, do que entre os dois cenários com reboco térmico, visto que o desenvolvimento do gráfico se encontra mais afastado das linhas limite das isopletras.

Conclusões

A partir dos resultados obtidos no presente trabalho pode concluir-se que, de acordo com a norma EN 998-1, o reboco analisado classifica-se como T2, na categoria dos rebocos térmicos, visto que a condutibilidade térmica apresenta um valor entre 0,1 W/m.°C e 0,2 W/m.°C. Como tal, os cenários de simulação com inclusão da camada de reboco térmico (L4, L8, M4 e M8) apresentaram uma redução do coeficiente de transmissão térmica da parede. Apesar deste impacto positivo na redução do coeficiente de transmissão térmica e de, neste caso, não se verificarem condensações internas, o risco da sua ocorrência na interface alvenaria-camada de reboco térmico aumentou, visto que, para maiores espessuras de reboco térmico há uma diminuição da temperatura e aumento da humidade relativa.

Uma das mais-valias observadas com a inclusão da camada de reboco térmico foi a diminuição do risco de ocorrência de fungos na superfície interior.

Este tipo de materiais, com base em gesso, poderá ser uma alternativa de isolamento de paredes, pelo interior, devendo, na sua aplicação, ser avaliada a eventual necessidade de uma barreira pára-vapor, pelo interior, de modo a que o risco de ocorrência de condensações na interface das diferentes camadas seja reduzido.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio à FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia, pelo financiamento da Bolsa de Doutoramento PD/BD/52659/2014 da 1ª autora, através do



Programa Doutoral EcoCoRe. Este trabalho foi financiado pelo: Projeto POCI-01- 0145-FEDER- 007457 – CONSTRUCT – Instituto de I&D em Estruturas e Construção financiado pelo FEDER através de fundos COMPETE2020 - Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (POCI) – e por fundos nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia. Os autores gostariam de agradecer à empresa Sival – Gessos Especiais o apoio disponibilizado para a realização deste estudo.

Bibliografia

- [1] CSTB. Avis Technique ou ATec. 2016; Available from: <http://evaluation.cstb.fr/avis-technique/>.
- [2] IETcc. 2016; Available from: <http://www.ietcc.csic.es/index.php/en/technical-support/innoproductdit>.
- [3] CEN, EN 998 Specification for mortar for masonry, in Part 1: Rendering and plastering mortar. 2010, European Committee for Standardization: Brussels.
- [4] CEN, EN 13278 Gypsum binders and gypsum plasters, in Part 1: Definitions and requirements. 2008, European Committee for Standardization: Brussels.
- [5] Hernández-Olivares, F., et al., Development of cork-gypsum composites for building applications. *Construction and Building Materials*, 1999. 13(4): p. 179-186.
- [6] Gutiérrez-González, S., et al., Lightweight plaster materials with enhanced thermal properties made with polyurethane foam wastes. *Construction and Building Materials*, 2012. 28(1): p. 653-658.
- [7] de Oliveira, M.P., et al., Gypsum-based composites with EVA waste and vermiculite. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2012. 16(6): p. 684-689.
- [8] Martias, C., et al., A new composite based on gypsum matrix and mineral additives: Hydration process of the matrix and thermal properties at room temperature. *Thermochimica Acta*, 2013. 567: p. 15-26.
- [9] Cherki, A.B., et al., Experimental thermal properties characterization of insulating cork-gypsum composite. *Construction and Building Materials*, 2014. 54: p. 202-209.
- [10] Abidi, S., et al., Impact of perlite, vermiculite and cement on the thermal conductivity of a plaster composite material: Experimental and numerical approaches. *Composites Part B: Engineering*, 2015. 68: p. 392-400.
- [11] LNEC, Ficha de Ensaio de Revestimentos de Paredes in Determinação da porosidade aberta e das massas volúmica aparente e real. 2015, Laboratório Nacional de Engenharia Civil: Lisboa.
- [12] CEN, EN 12664 Thermal performance of building materials and products. , in Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods. Dry and moist products of medium and low thermal resistance 2001, European Committee for Standardization: Brussels.
- [13] ISO, ISO 15148 Hygrothermal performance of building materials and products, in Determination of water absorption coefficient by partial immersion. 2002, International Standard.
- [14] ISO, ISO 12571 Hygrothermal performance of building materials and products, in Determination of higrscopic sorption properties. 2000, International Standard.
- [15] ISO, ISO 12572 Hygrothermal performance of building materials and products, in Determination of water vapour transmission properties. 2000, International Standard.
- [16] IBP. WUFI WUFI Pro Manual 2016.