

Autoria do Trabalho: I. Simões, N. Simões, A. Tadeu
mivsimoes@itecons.uc.pt
CICC, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia,
Universidade de Coimbra

ESTUDO COMPARATIVO DO ATRASO TÉRMICO DE ISOLAMENTOS TÉRMICOS, QUE REVELA UM BOM DESEMPENHO DO AGLOMERADO EXPANDIDO DE CORTIÇA, PRODUZIDO PELA AMORIM ISOLAMENTOS.

RESUMO

Este artigo determina o atraso térmico de paredes compostas por múltiplas camadas. O atraso térmico das soluções indica-nos a diferença de tempo entre uma variação de temperatura numa das superfícies do sistema construtivo e a manifestação dessa variação na face oposta, quando o sistema é sujeito a um regime variável de transmissão de calor. Soluções com um atraso térmico mais elevado contribuem para a melhoria do comportamento térmico dos edifícios, visto que retardam a perda ou ganho de calor através da envolvente. Neste estudo, simula-se a transferência de calor por condução em diferentes sistemas, usando para o efeito soluções analíticas. As soluções, obtidas como funções de Green, são estabelecidas através da imposição de continuidade de temperatura e de fluxo de calor nas interfaces entre as várias camadas. O problema é resolvido, inicialmente, no domínio da frequência, sendo a resposta no domínio do tempo obtida posteriormente através da aplicação de uma transformada inversa de Fourier do tipo fast Fourier Transform no espaço-tempo. A formulação aplicada foi primeiro validada através da comparação de resultados com medições experimentais.

O estudo consiste na comparação do atraso térmico proporcionado por soluções construtivas com diferentes produtos de isolamento térmico leve (aglomerado de cortiça expandida, poliestireno expandido extrudido e lã de rocha) destinadas a construção nova e reabilitação. As propriedades térmicas destes materiais foram previamente obtidas experimentalmente. Nas modelações, os sistemas estão sujeitos a mudanças de temperatura que variam de acordo com uma função sinusoidal, com o objectivo de simular a variação da temperatura no ambiente exterior ao longo de um período de vários dias.

1 - INTRODUÇÃO

Actualmente e, particularmente, em Portugal, os termos “sustentabilidade” e “eficiência energética” têm vindo a ter uma utilização crescente, em virtude dos compromissos assumidos no Protocolo de Quioto e da legislação europeia que tem vindo a ser transposta para a ordem jurídica nacional neste âmbito (0-0). Perante o actual cenário da crescente emissão de gases com efeito de estufa, essencialmente devido à industrialização dos países, a União Europeia tem trabalhado intensamente no sentido de promover a eficiência energética em todos os sectores, e de assegurar uma redução efectiva do consumo de energia obtida através de combustíveis fósseis, quer pela via da exploração de fontes de energia renováveis, quer pela implementação de medidas de promoção de eficiência energética nos vários sectores, em particular no sector residencial.

Numa habitação, o uso de um material de construção considerado sustentável não implica obrigatoriamente que este contribua de forma positiva para a eficiência energética do edifício em causa. Por outro lado, um material que apresente características que contribuam para a redução de perdas de calor pode não ser, necessariamente, um material sustentável, pela energia que poderá estar incorporada no seu processo de fabrico e/ou transporte, manutenção e demolição. Neste contexto da sustentabilidade na construção, interessa não só conhecer o comportamento individual de cada material, mas também do sistema construtivo como um todo.

Torna-se premente promover a reabilitação sustentável com recurso a soluções com materiais e tecnologias que minimizem a pegada ecológica, garantindo ainda a melhoria do conforto térmico e a redução das necessidades energéticas. A utilização de materiais naturais deve ser equacionada quando se projecta uma reabilitação, promovendo deste modo uma construção sustentável. Adicionalmente, estes materiais deverão cumprir todos os requisitos funcionais exigidos à sua função, apresentando em particular bons desempenhos higro-térmicos e elevada durabilidade.

Como os edifícios estão sujeitos a condições de temperatura variáveis, o desempenho térmico e energético dos sistemas construtivos deve ser estimado usando modelos dinâmicos. Além de ser importante garantir resistência térmica adequadas em elementos opacos e transparentes, devem ser considerados outros parâmetros de desempenho térmico, tais como a inércia térmica e o atraso térmico (0, 0).

O atraso térmico tem merecido a atenção de diversos investigadores (0-0), recorrendo a diferentes métodos de cálculo, de modo a compreender como este parâmetro influencia a transferência de calor entre o exterior e o ambiente com temperatura controlada. Nestes estudos entende-se o atraso térmico como o intervalo de tempo decorrido entre uma variação térmica numa superfície de uma solução construtiva e a sua manifestação na superfície oposta, quando o sistema é submetido a um regime periódico de transmissão de calor 0.

No presente artigo apresenta-se um estudo comparativo, em termos de atraso térmico, de sistemas constituídos por várias camadas (sistemas multicamada) incorporando isolamento térmico do tipo aglomerado de cortiça expandida (ICB), da Amorim Isolamentos; poliestireno extrudido expandido (XPS) e lã de rocha (MW). Para tal, desenvolveu-se um programa de cálculo para simular a difusão de calor em regime transiente em sistemas multicamada, utilizando fun-

ções de Green para determinar respostas no domínio da frequência. As respostas no domínio do tempo são posteriormente obtidas através da aplicação de uma transformada inversa de Fourier do tipo fast Fourier Transform no espaço-tempo. Esta formulação analítica

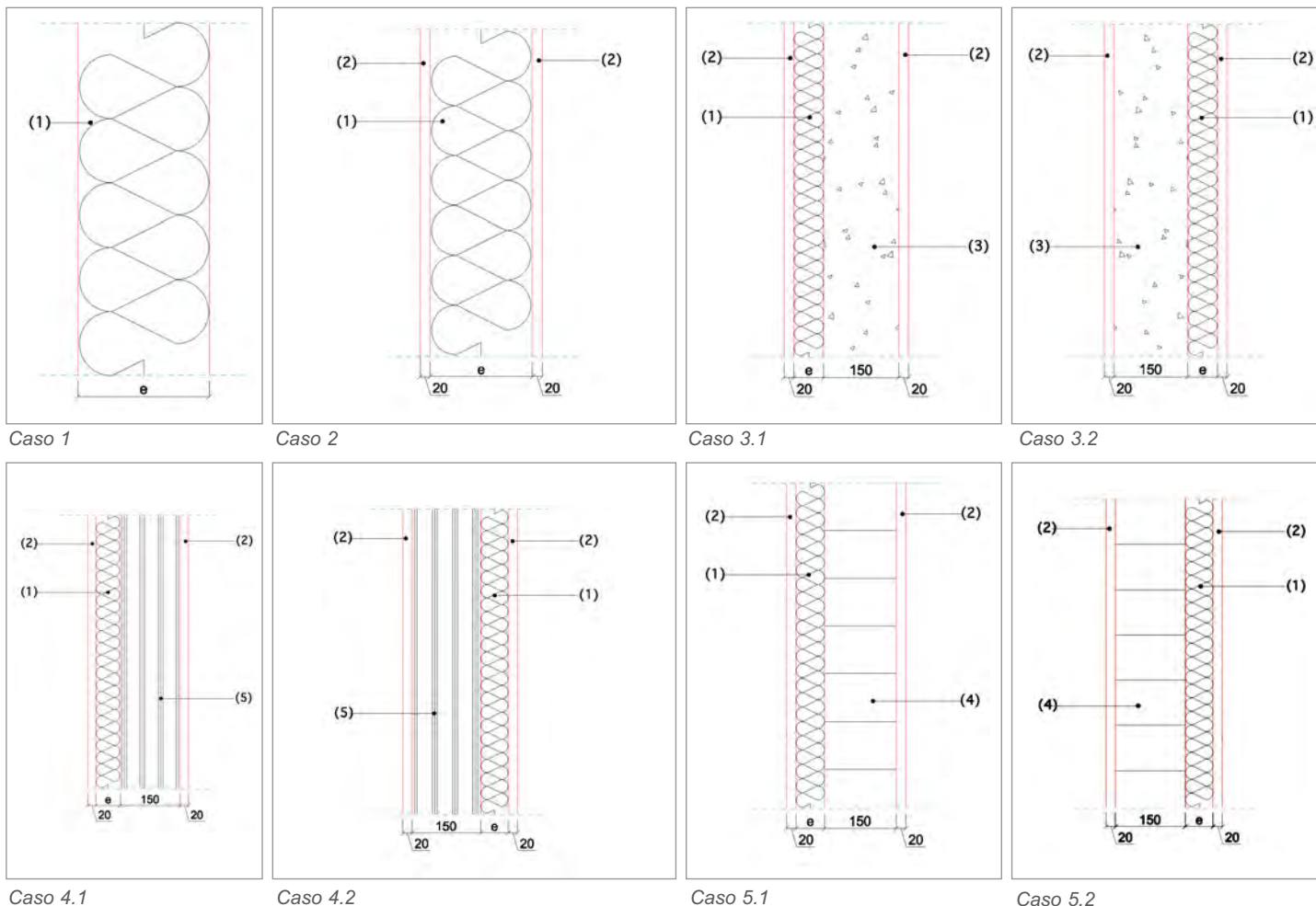
foi previamente validada através da comparação de resultados com dados obtidos experimentalmente.

Apresenta-se na próxima secção os casos estudados e respectivos resultados, tirando-se de seguida algumas conclusões.

TABELA 1: Propriedades térmicas dos materiais utilizados no estudo.

Material	Condutibilidade térmica, K ($W.m^{-1}.C^{-1}$)	Massa volúmica, ρ ($kg.m^{-3}$)	Calor específico, c ($J.kg^{-1}.C^{-1}$)	Difusividade térmica, k ($m^2.s^{-1}$)
Aglomerado de cortiça expandida (ICB da Amorim Isolamentos)	0.038	100.0	1560.0	2.44E-07
Poliestireno extrudido (XPS)	0.035	35.0	1400.0	7.14E-07
Lã de rocha (MW)	0.040	70.0	837.0	6.83E-07
Argamassa tradicional	0.72	1860.0	780.0	4.96E-07
Painéis de fibras de madeira de média densidade (MDF)	0.120	712	1550.0	1.09E-07
Betão	1.4	2300.0	880.0	6.92E-07
Pedra Granítica	3.0	2600.0	840.0	1.37E-06
Ar	0.026	1.2928	1000.0	2.01E-05

FIGURA 1: Esquemas ilustrativos dos sistemas construtivos estudados



1 - Isolamento térmico (aglomerado de cortiça expandida, lã de rocha ou poliestireno extrudido expandido). 2 - Reboco de argamassa tradicional. 3 - Betão. 4 - Pedra Granítica. 5 - Painéis de fibra de madeira de média densidade (MDF). 6 - Espessura de isolamento.

Nota: as espessuras são dadas em milímetros.

FIGURA 2: Evolução temporal da variação de temperatura na superfície exterior das paredes.

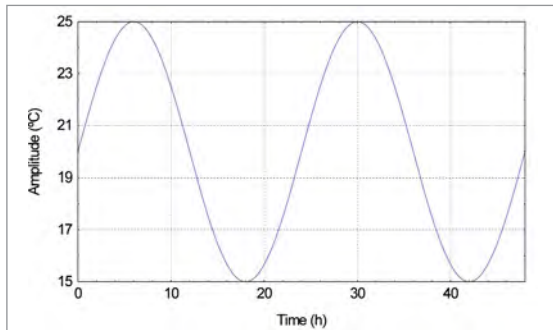
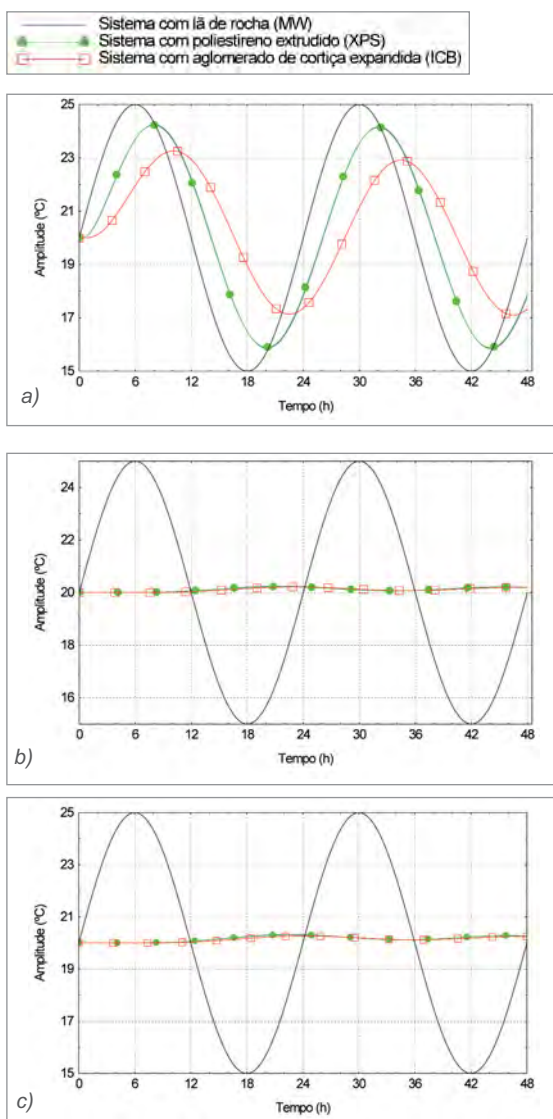


FIGURA 3: Resultados analíticos: a) Caso 1: Isolamento térmico. b) Caso 4.1: Sistema multicamada composto por argamassa de reboco na superfície da camada de MDF e isolamento térmico (isolamento pelo exterior). c) Caso 4.2: Sistema multicamada composto por argamassa de reboco na superfície da camada de MDF e isolamento térmico (isolamento pelo interior).



2 - CASOS ESTUDADOS

Os cinco sistemas estudados são compostos por diferentes materiais, nomeadamente, argamassa tradicional de reboco, betão, painéis de fibras de madeira de média densidade (MDF) e pedra granítica. O atraso térmico foi determinado para várias espessuras de isolamento térmico, a variar entre os 60 mm e os 200 mm, e para os diferentes tipos de isolamento térmico: ICB, XPS e MW. Na Tabela 1 apresentam-se as propriedades térmicas determinadas experimentalmente para cada material.

Em todas as simulações impôs-se uma variação de temperatura na superfície exterior das paredes (superfície à esquerda de cada sistema construtivo ilustrado na Figura 1), durante um período de 48 horas, como se ilustra na Figura 2. A temperatura inicial assumida, em todos os sistemas, foi de 20 °C, como uma oscilação de 10 °C em cada período de 24 horas. O meio em contacto com a superfície interior (superfície receptora) é o ar.

Para ilustrar os resultados obtidos, apresenta-se na Figura 3 a evolução de temperaturas na superfície exposta e na superfície receptora para os Casos 1, 4.1 e 4.2, quando a espessura de isolamento térmico é de 100 mm. Os Casos 4.1 e 4.2 diferenciam-se pela posição do isolamento térmico, em que no primeiro o isolamento se encontra junto à superfície exposta e no segundo junto à superfície receptora. A linha contínua preta, apresentada nos gráficos das figuras, corresponde à variação de temperatura na superfície exterior, enquanto as linhas com marcas representam a evolução de temperaturas na superfície receptora em cada um dos sistemas analisados.

A Figura 3 a) ilustra os resultados da transferência de calor através do sistema composto por uma única camada. O sistema composto por aglomerado de cortiça expandida, da Amorim Isolamentos, é o que exhibe um maior atraso térmico quando comparado com os outros sistemas, XPS e MW. Observa-se também que é o que apresenta também o menor valor de temperatura máxima na superfície receptora.

Os sistemas multicamada, Casos 4.1 e 4.2 (Figuras 3 b) e c)) garantem uma elevada resistência térmica, evidenciada pela diminuição da temperatura verificada na superfície receptora em relação à temperatura incidente na superfície exposta. Esse comportamento deve-se ao facto dos sistemas compostos por várias camadas, com propriedades térmicas distintas entre si, conduzirem a maiores atrasos térmicos do que os sistemas simples (i.e. sistemas compostos por um único material com a mesma espessura dos sistemas multicamada).

Por análise das Figuras 3 b) e c) conclui-se que a posição do isolamento térmico para os sistemas em análise não é muito relevante para o atraso térmico, assim como, para a diferença entre a temperatura interior em relação à exterior. Contudo, embora a diferença seja pequena, regista-se um maior atraso térmico quando o isolamento é aplicado pelo interior (Caso 4.2), e menores temperaturas na superfície receptora quando o isolamento é aplicado pelo exterior (Caso 4.1).

A Figura 4 é composta por gráficos que representam a evolução do atraso térmico e o coeficiente de transmissão térmica, U , com o aumento de espessura de isolamento térmico, determinados para todos os sistemas em análise. Da análise da Figura 4 verifica-se que o atraso térmico exibido pelo sistema constituído apenas pelo painel de isolamento térmico (Caso 1) é muito menor que o evidenciado pelos sistemas multicamada (Casos 3.1, 3.2, 4.1, 4.2, 5.1 e 5.2), pelo que a transferência de calor no Caso 1 é mais rápida que nos restantes casos. Como espectável, o aumento da espessura de isolamento conduz a atrasos térmicos superiores e a uma maior diferença entre as temperaturas máximas das superfícies. É evidente nestes resultados que sistemas com maior número de camadas, constituídas por materiais com

propriedades térmicas diferentes, apresentam maiores atrasos térmicos.

Nota-se que o aumento de isolamento térmico origina a diminuição do coeficiente de transmissão térmica e o aumento do atraso térmico, em cada um dos sistemas analisados. Contudo, comparando diferentes sistemas construtivos, sistemas com coeficientes de transmissão térmica similares apresentam diferentes atrasos térmicos (Caso 3.1 e Caso 3.2).

Comparando sistemas com o mesmo número de camadas e com a mesma espessura, observa-se que os atrasos térmicos maiores correspondem aos sistemas que têm difusividades térmicas menores no material que os diferencia. A difusividade térmica dos materiais corresponde ao quociente entre a condutibilidade térmica e o produto da massa volúmica pelo calor específico desse material.

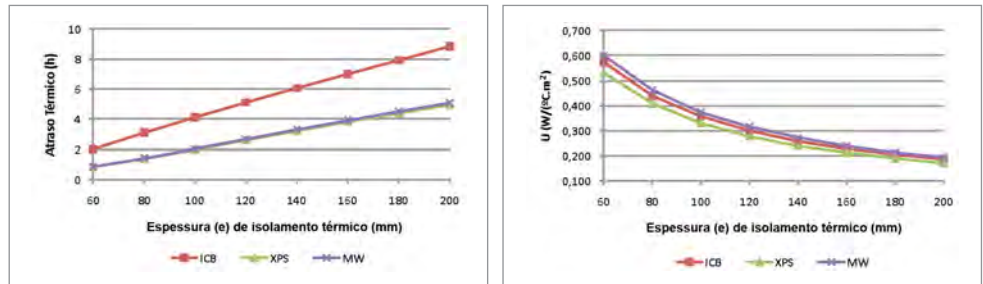
Dos sistemas estudados constituídos por várias camadas, e em que o isolamento é aplicado pelo exterior, nota-se que o atraso térmico conseguido por soluções com apenas 60 mm de espessura de ICB é equivalente ao alcançado por sistemas com 100 mm de XPS/MW. No caso do isolamento ser aplicado pelo interior, o atraso térmico de sistemas com 60 mm de espessura de ICB é apenas superado por sistemas com XPS/MW que apresentam 80 mm de espessura. Salienta-se que não existe uma variação linear destes parâmetros, como se pode concluir da análise das curvas apresentadas na Figura 4.

3 - CONCLUSÕES

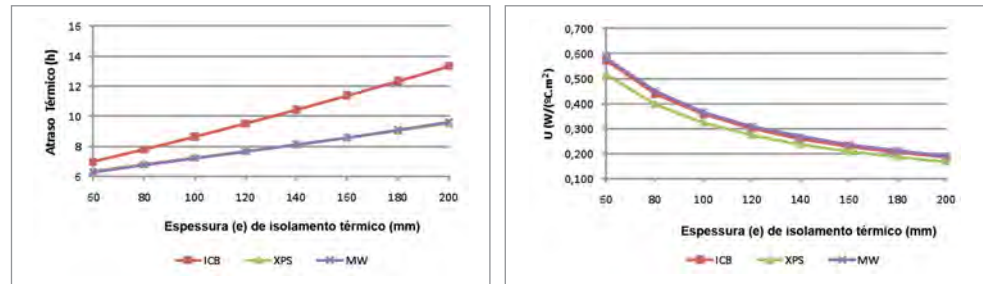
O estudo efectuado realça que o coeficiente de transmissão térmica não é suficiente para caracterizar termicamente uma solução construtiva sujeita a um regime variável de temperatura, tendo-se avaliado, por isso, as diferenças de atraso térmico em função da composição de soluções incorporando diferentes tipos de isolamento térmico.

Os resultados obtidos permitiram concluir que a composição do sistema faz variar significativamente o número de horas de atraso térmico. A complexidade do sistema é, por norma, sinónimo de maiores valores de atraso. Para sistema com um igual número de camadas, a espessura, a localização e a difusividade térmica de cada um dos materiais é um parâmetro relevante no resultado. Da análise efectuada verifica-se que os

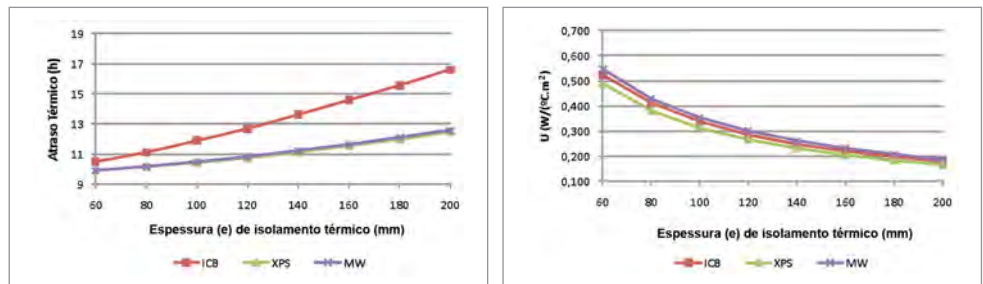
FIGURA 4A: Atraso térmico e coeficiente de transmissão térmica para os sistemas construtivos estudados: Casos 1, 2, 3.1 e 3.2..



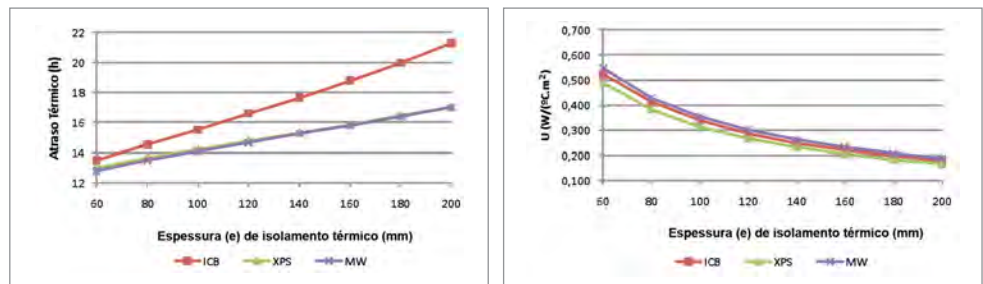
Caso 1



Caso 2

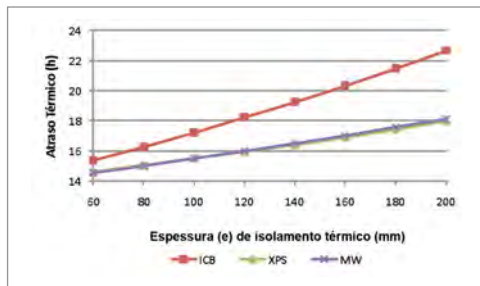


Caso 3.1

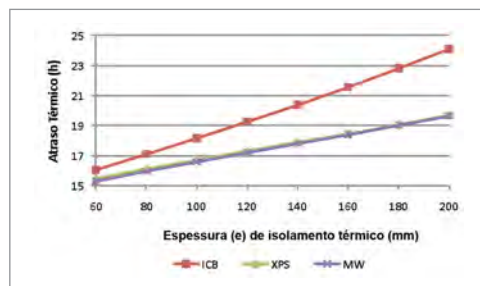
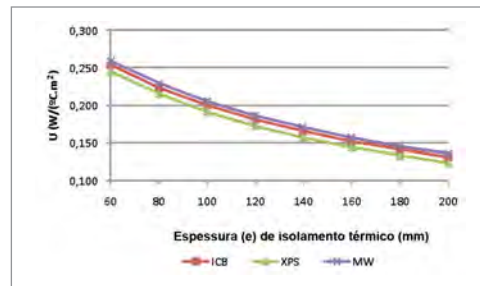


Caso 3.2

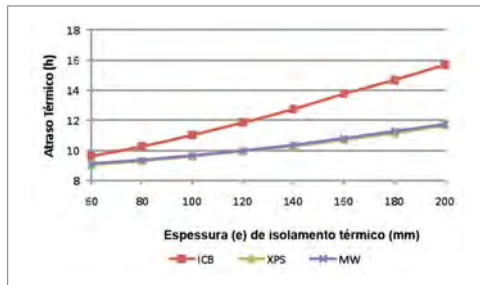
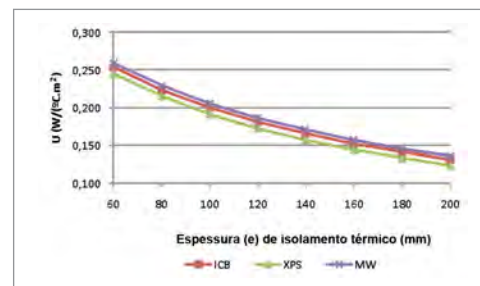
FIGURA 4B: Atraso térmico e coeficiente de transmissão térmica para os sistemas construtivos estudados: Casos 4.1, 4.2, 5.1 e 5.2.



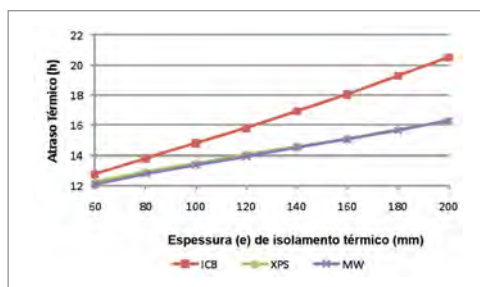
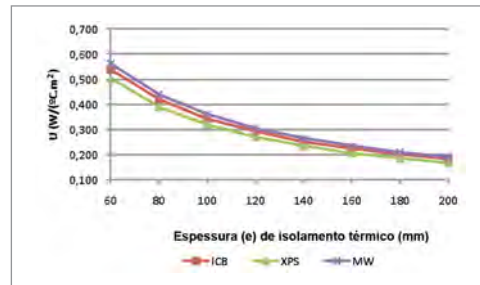
Caso 4.1



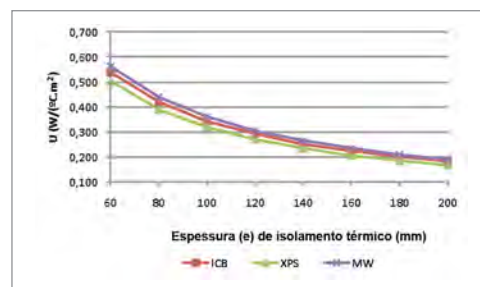
Caso 4.2



Caso 5.1



Caso 5.2



materiais de isolamento térmico, quando são estudados isoladamente, apresentam diferenças evidentes entre si, registrando o ICB atrasos térmicos sempre superiores a uma vez e meia em relação aos outros sistemas. Já quando os isolamentos térmicos são incorporados em sistemas mais complexos (maior número de camadas), embora o ICB apresente sempre melhores resultados, o tipo de isolamento tem menor relevância para o valor final do atraso térmico, em particular, para menores espessuras de isolamento.

De um modo global, as soluções construtivas estudadas que incorporam aglomerado de cortiça expandida da Amorim Isolamentos, apresentam um menor coeficiente de transmissão térmica, mas um maior atraso térmico. Este parâmetro determinará, portanto, que uma variação de temperatura no exterior atingirá mais tarde a superfície interior de um elemento construtivo com aglomerado de cortiça expandida do que com um sistema com os outros isolamentos estudados.

4 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Directiva Comunitária n.º 2002/91/EC do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia de 16 de Dezembro relativa ao desempenho energético dos edifícios, Jornal Oficial das Comunidades Europeias, Bruxelas, 4 de Janeiro de 2003.
- [2] Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de Abril. Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE)
- [3] Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril. Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE)
- [4] Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril. Regulamento das Características do Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE).
- [5] N. Aste, A. Angelotti, M. Buzzetti, The influence of the external walls thermal inertia on the energy performance of well insulated buildings, *Energ. Buildings* 41 (2009) 1181-1187.
- [6] J. Pfafferott, S. Herkel, J. Wapler, Thermal building behavior in summer: long-term data evaluation using simplified models, *Energ. Buildings* 37 (2005) 844-852.
- [7] K.A. Antonopoulos, E.P. Koronaki, Effect of indoor on the time constant and thermal delay of buildings, *Int. J. Energy Res.* 24 (2000) 391-402.
- [8] K.A. Antonopoulos, E.P. Koronaki, Thermal parameter components of building envelope, *Appl. Therm. Eng.* 20 (2000) 1193-1211.
- [9] F. Alhama, J.F. López-Sánchez, C.F. González-Fernández, Heat Conduction through a multi-layered wall with variable boundary conditions, *Energy* 22(8) (1997) 797-803.
- [10] Norma Brasileira ABNT NBR 15220-2: 2005 Versão Corrigida: 2008.

iPlate

i play...



A troca fácil e intuitiva dos botões de accionamento permite uma conjugação de cores alargada dando a possibilidade de associar as suas cores preferidas ou adaptar à decoração do seu espaço de banho.



A nova placa de comando para autoclismos interiores OLI, é uma proposta multicolorida que potencia as possibilidades decorativas do seu banho num conjunto divertido de infinitas combinações. Aliando a funcionalidade e as múltiplas possibilidades de expressão, a iPlate conjuga o atrevido movimento das linhas rectas com as curvas pronunciadas dos dois botões de accionamento, conferindo-lhe personalidade e irreverência.

Disponível numa paleta de cores alargada, a iPlate é mais do que uma placa de comando de dupla descarga, é um reflexo do seu espírito no seu espaço de banho.

