

Construcción con Tierra Tecnología y arquitectura

Congresos de Arquitectura de Tierra en Cuenca de Campos
2010/2011.

Coordinadores: Félix Jové Sandoval, José Luis Sáinz Guerra.

ISBN: 978-84-694-8107-3

D.L.: VA673-2011

Impreso en España

Septiembre de 2011

Publicación online.

Para citar este artículo:

MENESES, Tiago. et al. "Comportamiento térmico de construções em alvenaria de adobe: Ensaios experimentais sobre três células de teste à escala". En: *Construcción con tierra. Tecnología y Arquitectura. Congresos de arquitectura de tierra en Cuenca de Campos 2010/2011*. [online]. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid. 2011. P. 151-164. Disponible en internet: http://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones/digital/libro2011/2011_9788469481073_p151-164_meneses.pdf

URL de la publicación: <http://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones.html>

Este artículo sólo puede ser utilizado para la investigación, la docencia y para fines privados de estudio. Cualquier reproducción parcial o total, redistribución, reventa, préstamo o concesión de licencias, la oferta sistemática o distribución en cualquier otra forma a cualquier persona está expresamente prohibida sin previa autorización por escrito del autor. El editor no se hace responsable de ninguna pérdida, acciones, demandas, procedimientos, costes o daños cualesquiera, causados o surgidos directa o indirectamente del uso de este material.

This article may be used for research, teaching and private study purposes. Any substantial or systematic reproduction, re-distribution, re-selling, loan or sub-licensing, systematic supply or distribution in any form to anyone is expressly forbidden. The publisher shall not be liable for any loss, actions, claims, proceedings, demand or costs or damages whatsoever or howsoever caused arising directly or indirectly in connection with or arising out of the use of this material.

Copyright © Todos los derechos reservados

© de los textos: sus autores.

© de las imágenes: sus autores o sus referencias.

COMPORTAMENTO TÉRMICO DE CONSTRUÇÕES EM ALVENARIA DE ADOBE: ENSAIOS EXPERIMENTAIS SOBRE TRÊS CÉLULAS DE TESTE À ESCALA 1:4

VII Congreso de Tierra en Cuenca de Campos, Valladolid, 2010

Tiago Meneses, Engenheiro Civil
Romeu Vicente, Dr. Engenheiro Civil
Aníbal Costa, Dr. Engenheiro Civil
António Figueiredo, Engenheiro Civil
Humberto Varum, Dr. Ingeniero Civil
Nelson Soares, Engenheiro Civil*

*Universidade de Aveiro, UA. Portugal
Departamento de Engenharia Civil*

PALAVRAS-CHAVE: *construção em terra, adobe, comportamento térmico*

Resumo

Em Portugal existe um vasto património construído em alvenaria de adobe que perdurou ao longo dos tempos, localizado sobretudo na zona litoral centro, particularmente na região de Aveiro. Devido ao acentuado estado de degradação que grande parte deste património apresenta, cresceu a necessidade da sua reabilitação.

Este trabalho aborda o tema do comportamento térmico das construções em alvenaria de adobe, face à actual regulamentação térmica portuguesa que apresenta novos desafios no que respeita à utilização da terra crua

em novas construções, bem como na determinação das suas propriedades nos processos de reabilitação térmica e energética de edifícios existentes.

Foi realizada uma campanha experimental que consistiu na construção de três células de teste em alvenaria de adobe com diferentes composições à escala $\frac{1}{4}$ do real, todas com as mesmas dimensões. A base e a cobertura são fronteiras adiabáticas para garantir que as trocas de energia se realizariam pelas paredes de adobe.

Após devidamente monitorizadas foram expostas às mesmas condições climáticas.

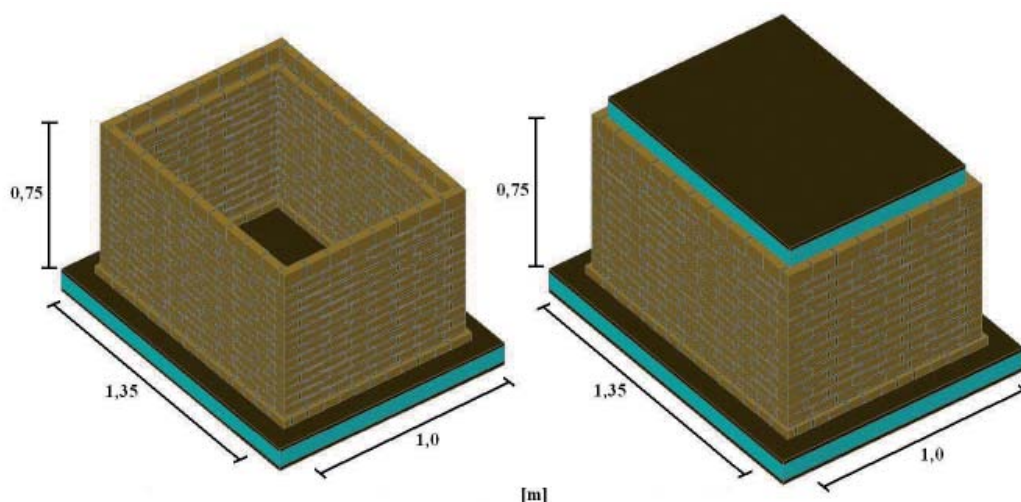


Figura 1. Modelo à escala.

Dos resultados obtidos para as três células de teste foi avaliada e quantificada a inércia térmica e a condutibilidade térmica da terra das respectivas paredes de adobe, sendo posteriormente comparada com os requisitos regulamentares mínimos.

Urge adaptar as nossas construções em terra a condições de habitabilidade e de conforto térmico aos níveis de exigência pretendidos nos dias correntes, melhorando a performance e a atractividade das construções em terra, para que este património secular perdure ao longo dos tempos.

Introdução

O adobe na sua aplicação tradicional, pelos processos de produção associados possui características termofísicas muito variáveis. A actual regulamentação térmica apresenta novos desafios no que respeita à utilização da terra crua em novas construções, bem como na determinação das suas propriedades nos processos de reabilitação térmica e energética de edifícios existentes. Para as intervenções sobre edifícios construídos com estas técnicas é necessário dotar os técnicos de conhecimentos que lhe permitam responder às exigências da nova regulamentação. Com o presente trabalho pretende-se demonstrar as possibilidades de exploração da inércia térmica dos elementos em terra crua em paredes, associada ao solar passivo no inverno e a outras estratégias bioclimáticas no verão, considerando os ciclos diários e

estacionais e salvaguardando os usos intermitentes. O principal objectivo prende-se em avaliar e quantificar a inércia térmica de paredes de adobe, comparando-a com os requisitos regulamentares mínimos.

Com o aumento da necessidade da eficiência energética dos edifícios, o nível de conhecimento dos parâmetros que condicionam a sua performance também precisa de aumentar.

O coeficiente global de perdas de calor e a capacidade calorífica são dois parâmetros fundamentais para o conhecimento da performance térmica da envolvente dos edifícios.

Construção das células de teste em alvenaria de adobe

Para uma melhor compreensão e caracterização do comportamento térmico das construções em alvenaria de adobe, foram construídas três células de teste em alvenaria de adobe com diferentes composições, à escala $\frac{1}{4}$ do real, todas com dimensões idênticas às do modelo à escala da figura 1.

Foram usadas como referência as dimensões características dos adobes do distrito de Aveiro usadas na construção de casas: $0,45 \times 0,30 \times 0,15 \text{ m}^3$. De acordo com a escala pretendida ($\frac{1}{4}$ do real), os adobes para as construções das células de teste ficaram com as dimensões médias: $11,25 \times 7,5 \times 3,75 \text{ cm}^3$.

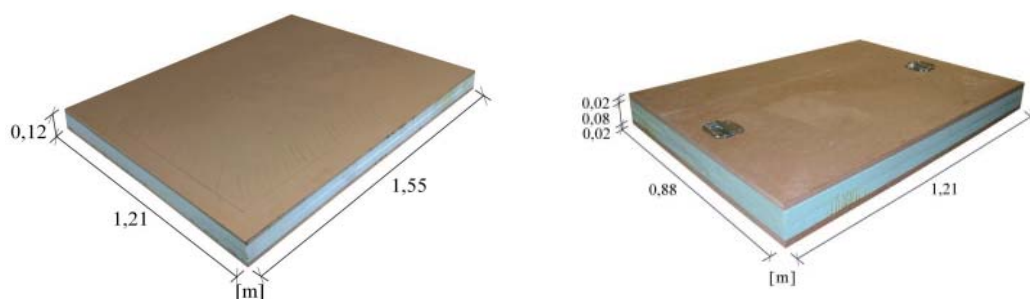


Figura 2. Base e cobertura das células de teste.

Base e cobertura das células de teste

A base e a cobertura têm as mesmas características nas três células de teste, simulando uma condição de fronteira adiabática com o intuito de garantir que as trocas de energia se realizem pelas paredes de adobe. Tanto a base como a cobertura são compostas por duas placas de MDF (Medium-density fiberboard) com dois centímetros de espessura e por duas placas de isolamento térmico em poliestireno extrudido “roofmate” de quatro centímetros. Estes materiais foram colados com cola própria para o uso em poliestireno.

As dimensões das bases e das coberturas das células de teste são $1,55 \times 1,21 \times 0,12 \text{ m}^3$ e $1,21 \times 0,88 \times 0,12 \text{ m}^3$, respectivamente, como ilustra a figura 2.

Célula de teste número 1

A célula de teste número 1 foi construída em alvenaria de adobe, como ilustra a figura 3, com blocos produzidos em laboratório.

Os blocos de adobe usados na construção desta célula de teste, têm uma composição similar aos blocos de adobe das construções existentes no distrito de Aveiro, com um traço em volume de 1:1:2 (cal hidratada, terra ligeiramente argilosa e areia).

A argamassa de assentamento usada no processo de construção da célula de teste tem a mesma composição da mistura usada na produção dos adobes.

Figura 3. Construção da célula de teste número 1.





Figura 4. Processo de corte dos adobes existentes para a construção da segunda célula de teste.



Figura 5. Diferentes fases da construção da célula de teste número 2.

Célula de teste número 2

A célula de teste número 2 foi construída com blocos cortados, de adobes já existentes, originários de uma demolição que ocorreu na zona de Aveiro.

Procedeu-se ao corte dos adobes como ilustra a figura 4.

No processo de construção da célula de teste número 2, ilustrado na figura 5, foi usada uma argamassa de assentamento idêntica à usada na construção da primeira célula de teste e nas construções existentes.

Célula de teste número 3

A célula de teste número 3 foi construída com blocos de adobe com adição de cortiça. Para este efeito foi necessário encontrar a composição ideal de adição de cortiça no adobe. Foi usada como mistura base a composição dos blocos de adobe da célula de teste número 1 à qual se adicionou diferentes percentagens e granulometrias de cortiça, em relação ao peso total da amostra. Realizaram-se 6 amostras de acordo com a tabela 1.

A cortiça usada nestes ensaios esteve sujeita a um controlo laboratorial de granulometria.

Tabela 1. Amostras das várias composições de adição de cortiça no adobe.

| Amostras | Cortiça adicionada (%) | Traco | | | | | Cortiça | |
|----------|------------------------|------------|------------|----------------|---------------------|----------|----------|----------|
| | | Terra (gr) | Areia (gr) | Cal Aérea (gr) | Cal Hidráulica (gr) | 1mm (gr) | 2mm (gr) | 4mm (gr) |
| A1 | 0,5 | 500 | 1112,82 | 176,82 | 31,55 | - | - | 9,11 |
| A2 | 1,0 | 500 | 1112,82 | 176,82 | 31,55 | - | - | 18,21 |
| A3 | 2,0 | 500 | 1112,82 | 176,82 | 31,55 | - | - | 36,42 |
| A4 | 2,0 | 500 | 1112,82 | 176,82 | 31,55 | - | 18,21 | 18,21 |
| A5 | 2,0 | 500 | 1112,82 | 176,82 | 31,55 | 18,21 | 18,21 | - |
| A6 | 1,0 | 500 | 1112,82 | 176,82 | 31,55 | - | 18,21 | - |

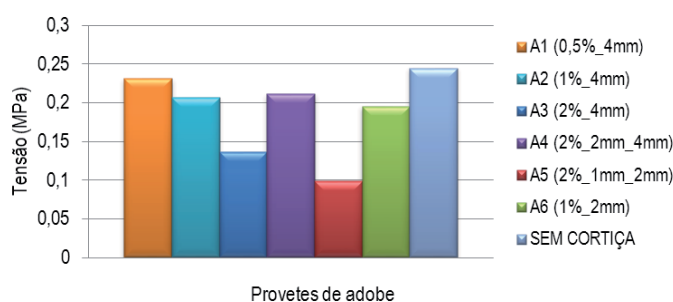


Figura 6. Resultados do ensaio de flexão aos 14 dias.

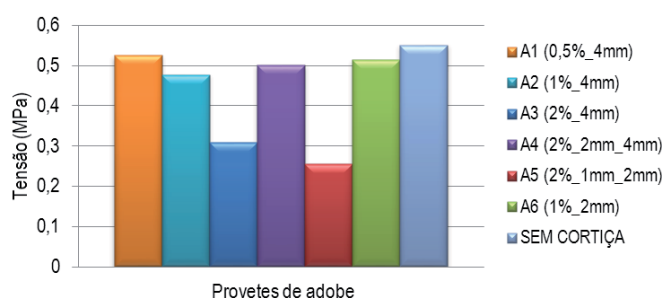


Figura 7. Resultados do ensaio de compressão aos 14 dias.

As amostras foram sujeitas a ensaios de resistência mecânica à flexão, figura 6, e ensaios de resistência à compressão, figura 7.

Após a análise de todas as amostras constatou-se que a adição de cortiça da amostra A1 (na percentagem de 0,5% em relação ao peso total da amostra com granulometria de 4mm) e da amostra A4 (na percentagem de 2% em relação ao peso total da amostra com uma mistura de duas granulometrias de 2mm e 4mm) possuíram um melhor desempenho quando equiparadas às restantes amostras.

Uma vez que o trabalho realizado empreende como objectivo o estudo do comportamento

térmico, a escolha da composição ideal para a adição de cortiça no adobe recaiu para a amostra A4 devido a esta ter uma maior percentagem e mistura de diferentes granulometrias de cortiça, quando comparada com a amostra A1, na expectativa de um melhor comportamento a nível térmico sem comprometer demasiadamente a resistência mecânica.

Encontrada a composição ideal para a adição de cortiça nos adobes, iniciou-se o processo de produção dos mesmos para a construção da terceira e última célula de teste.

Para a construção da célula de teste número 3, figura 8, foi usada uma argamassa de

Figura 8. Diferentes fases da construção da célula de teste número 3.





Figura 9. Reboco das três células de teste.

assentamento com composição semelhante à mistura usada para realizar os adobes desta célula de teste (com cortiça incluída na sua composição). O processo de construção foi idêntico ao processo efectuado na construção das células de teste número 1 e 2.

Reboco das células de teste

Passados trinta dias após a última construção foi realizado o reboco das três células de teste, como ilustra a figura 9. A mistura usada no reboco de cada uma delas é idêntica à argamassa de assentamento da célula de teste respectiva.

Sistema de monitorização e instrumentação das células de teste

O Sistema de monitorização e aquisição de dados usado, figura 10, monitoriza e regista as temperaturas através de dois “dataloggers” da marca ICP.

O sistema permite registar temperaturas em 12 pontos em simultâneo com uma precisão de 0,01 °C, através de sensores do tipo PT100. Os sensores PT100 garantem uma precisão elevada e permitem um amplo registo de temperaturas (≈ -100 a $+200$ °C) em meios sólidos e líquidos, uma vez que possuem as pontas de prova encapsuladas (liga metálica).

Para a instrumentação das três células de teste foram distribuídos quatro sensores PT100 por célula. O posicionamento dos sensores PT100 efectuado de acordo com as marcações a verde da figura 11, colocando-se um sensor PT100 no centro da célula, outro na superfície interior da parede, outro dentro da parede e um outro junto a superfície exterior da célula de teste, todos orientados na mesma direcção no sentido da parede.

Após a instrumentação das três células de teste, foi realizado o fecho do isolamento da cobertura, com poliuretano.

Figura 10. Sistema de monitorização e aquisição de dados.



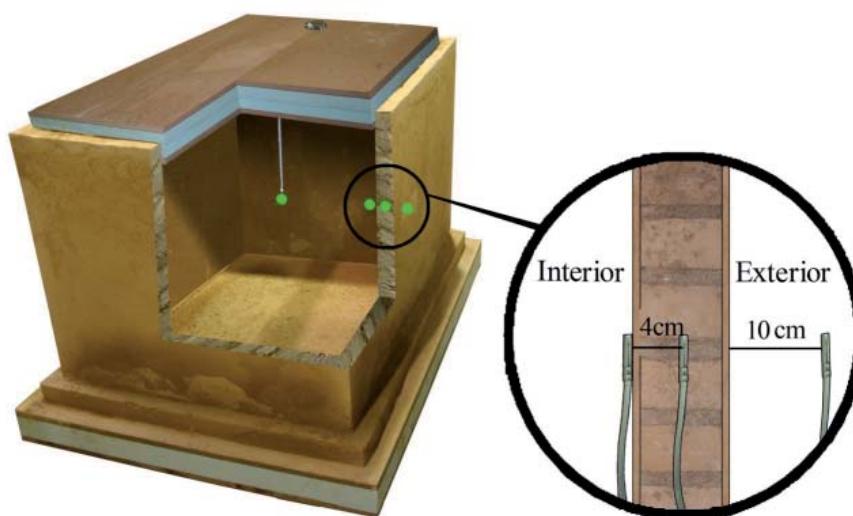


Figura 11. Posicionamento dos sensores PT100 na célula de teste.

Resultados

A interpretação dos resultados foi feita à luz das diversas variáveis que explicam o comportamento das três células de teste nos diferentes dias do mês de Maio com condições de fronteira diferentes: temperatura exterior, radiação, convecção exterior, nebulosidade, humidade relativa.

Condicionantes do ensaio

As três células de teste padeciam de elementos perturbadores correspondentes à geometria dos edifícios do Departamento de Engenharia Civil e do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro. Estes só permitiam que as células de teste estivessem expostas a radiação directa entre as 14h e as 18h40m, uma vez que as suas sombras até então não o permitiam.

As dimensões destes edifícios protegem as células de teste dos ventos, exceptuando os ventos com direcção de SW e NE.

Outra condicionante do ensaio prende-se pelo facto das três células de teste não serem ventiladas, revelando ser uma limitação numa questão de representatividade de uma pequena casa de adobe, mas desta forma com este trabalho servem-se dois grandes propósitos, a

avaliação da questão da inércia térmica deste tipo de construções e o cálculo da condutibilidade térmica (λ) do material terra.

Na realização deste ensaio foi tido em conta que o material humedecido apresenta uma condutibilidade térmica, λ , completamente distinta da do material seco, por isso as células de teste nos dias que se demonstraram chuvosos estiveram devidamente resguardadas e os valores registados nesses dias não foram tidos em conta na análise efectuada.

Análise e discussão dos resultados obtidos

As células de teste foram instrumentadas no período de 1 a 30 de Maio de 2010. Apresentam-se de seguida os resultados mais significativos e mais elucidativos para evidenciar o cálculo da condutibilidade térmica e da inércia térmica.

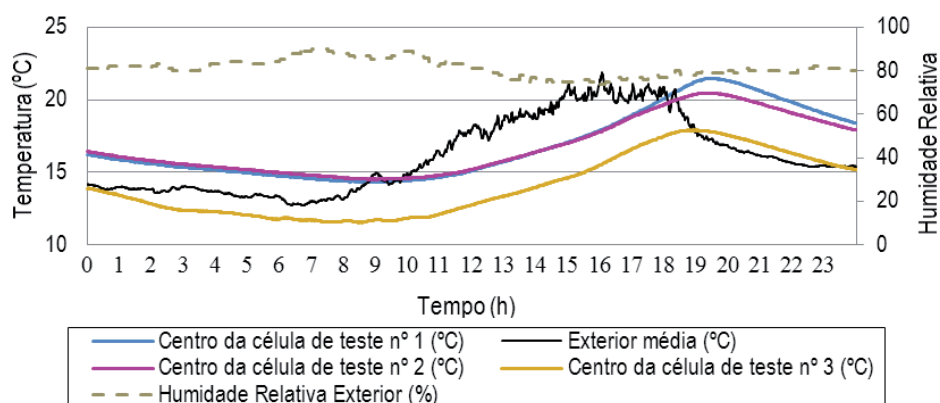


Figura 12. Temperaturas das três células de teste no dia 1 de Maio de 2010.

| | | Temperatura (°C) |  | Vento | | Humidade Relativa (%) | |
|--------|------|---|---|----------------------|--------------------|---|--------------------|
| | | | | Intensidade (m/s) | Hora de Registo |  | Hora de Registo |
| Média | 15,4 |  | WNW | 4,1 | - | 81 | - |
| Máxima | 22 | | NNW | 6,7 | 20h:00m | 90 | 7h:20m |
| Mínima | 12,5 | | - | 0 | 1h:40m | 74 | 16h:10m |

Tabela 2. Dados meteorológicos do dia 1 de Maio para Aveiro ^{1,2}.

| | Temperatura (°C) | | Amortecimento (°C) | Atraso |
|--------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------|--------|
| | Valor máximo | Hora de registo | | |
| Exterior média | 21,92 | 16h:03m | - | - |
| Centro da célula de teste nº 1 | 21,48 | 19h:30m | 0,44 | 3h:27m |
| Centro da célula de teste nº 2 | 20,46 | 19h:14m | 1,46 | 3h:11m |
| Centro da célula de teste nº 3 | 17,90 | 18h:57m | 4,02 | 2h:54m |

Tabela 3. Resultados do ensaio do dia 1 de Maio.

Dia 1

Os resultados obtidos no primeiro dia de monitorização para as três células de teste são apresentados na tabela 3 e as curvas das temperaturas estão ilustradas na figura 12.

Na tabela 2 é apresentada a informação dos dados meteorológicos relativos ao dia 1 de Maio para a cidade de Aveiro ^{1,2}.

Neste primeiro dia de ensaio verificou-se uma grande diferença nas temperaturas interiores das células de teste, uma vez que estas ainda não estão sujeitas aos ciclos diários.

Neste dia com alguma nebulosidade as células de teste números 1 e 2 registaram comportamentos semelhantes, ambas apresentaram um risco de sobreaquecimento devido ao facto de não serem ventiladas, gerando efeito estufa, que só com o acentuar do arrefecimento nocturno provocou a redução de temperaturas nas paredes e no interior das células de teste.

A célula de teste número 3, apresentou um amortecimento na ordem dos 4,02°C, provando que a incorporação de cortiça nos adobes é muito favorável para o comportamento térmico.

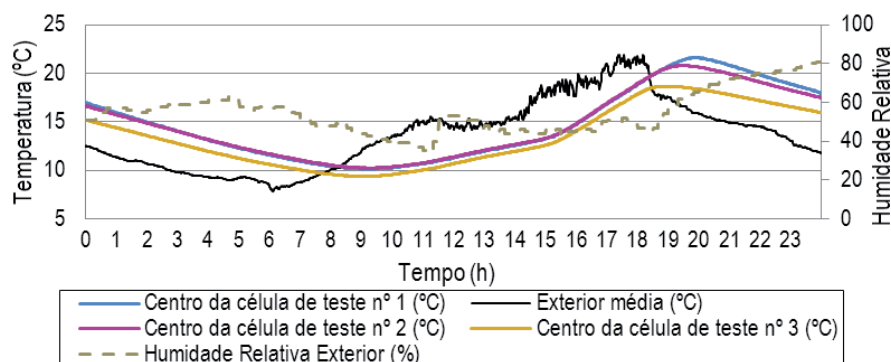


Figura 13. Temperaturas das três células de teste no dia 5 de Maio de 2010.

| | Temperatura (°C) | | Vento | | Humidade Relativa (%) | |
|--------|------------------|--|-------------------|-----------------|-----------------------|-----------------|
| | | | Intensidade (m/s) | Hora de Registo | HR | Hora de Registo |
| Média | 16,1 | | NNW | - | 55 | - |
| Máxima | 22 | | WNW | 12h:50m | 81 | 11h:10m |
| Mínima | 7,5 | | - | 6h:10m | 34 | 23h:50m |

Tabela 4. Dados meteorológicos do dia 5 de Maio para Aveiro ^{1,2}.

| | Temperatura (°C) | | Amortecimento (°C) | Atraso |
|--------------------------------|------------------|-----------------|--------------------|--------|
| | Valor máximo | Hora de registo | | |
| Exterior média | 21,95 | 18h:10m | - | - |
| Centro da célula de teste nº 1 | 21,61 | 19h:56m | 0,34 | 1h:46m |
| Centro da célula de teste nº 2 | 20,81 | 19h:24m | 1,14 | 1h:14m |
| Centro da célula de teste nº 3 | 18,66 | 18h:50m | 3,29 | 0h:40m |

Tabela 5. Resultados do ensaio do dia 5 de Maio.

Dia 5

Seguidamente são apresentadas na figura 13 as curvas das temperaturas das diferentes células de teste registadas após estas terem sido sujeitas a quatro ciclos diários.

Os resultados provenientes da monitorização são apresentados na tabela 5.

O quinto dia de ensaio foi um dia de céu limpo e solarengo, os dados meteorológicos para Aveiro são apresentados na tabela 4 ^{1,2}.

Nas células de teste números 1 e 2, apresentaram uma tendência de sobreaquecimento

para o qual contribuiu o efeito estufa gerado no interior das células de teste devido à falta de ventilação interior.

Neste dia de grande amplitude térmica com temperaturas máximas de 22°C, a célula de teste número 3 não apresentou sobreaquecimento, realizando ainda um bom amortecimento na ordem dos 3,29°C.

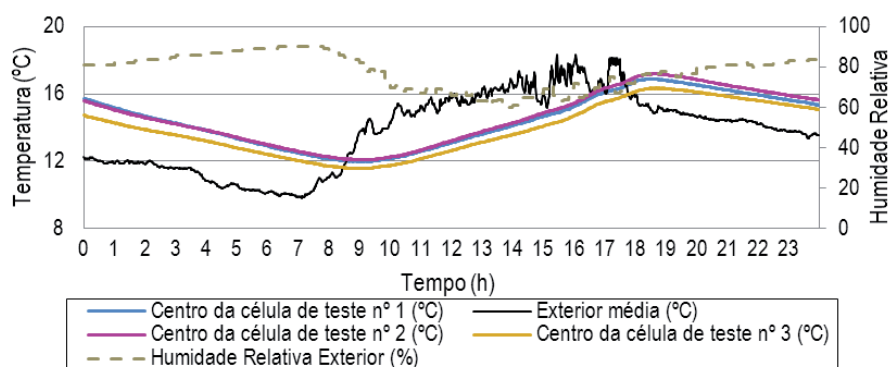


Figura 14. Temperaturas das três células de teste no dia 10 de Maio de 2010.





| | Temperatura (°C) | | Vento | | Humidade Relativa (%) | | |
|--------|---------------------|---|---|----------------------|-----------------------|--|---------|
| | | |  | Intensidade (m/s) | Hora de Registo |  Hora de Registo | |
| Média | 17,3 |  | WSW | 4,4 | - | 78 | - |
| Máxima | 18,5 |  | WSW | 6,7 | 16h:30m | 90 | 6h:30m |
| Mínima | 9,6 | | - | 0 | 23h:40m | 60 | 13h:50m |

Tabela 6. Dados meteorológicos do dia 10 de Maio para Aveiro ^{1,2}.

| | Temperatura (°C) | | Amortecimento (°C) | Atraso |
|--------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------|--------|
| | Valor máximo | Hora de registo | | |
| Exterior média | 18,37 | 16h:03m | - | - |
| Centro da célula de teste nº 1 | 16,91 | 18h:34m | 1,46 | 2h:31m |
| Centro da célula de teste nº 2 | 17,20 | 18h:45m | 1,17 | 2h:42m |
| Centro da célula de teste nº 3 | 16,35 | 18h:32m | 2,02 | 2h:29m |

Tabela 7. Resultados do ensaio do dia 10 de Maio.

Dia 10

Os resultados das temperaturas registadas no ensaio no dia 10 de Maio para as diferentes células de teste são apresentados na tabela 7 e expostas graficamente na figura 14.

Os dados meteorológicos registados no dia 10 de Maio para Aveiro são apresentados na tabela 6 ^{1,2}.

No dia 10, as três células de teste têm um comportamento muito parecido entre elas, muito devido à predominância de alguma nebulosidade e à presença de ventos em direcção favorável que provocaram uma maior

convecção exterior favorecendo a dissipação de energia das paredes, por estes motivos não se verificaram sobreaquecimento das células de teste.

A célula de teste número 3 apresentou sempre a maior diferença quando comparada com as outras curvas das temperaturas interiores das outras células de teste. Esta diferença deve-se à incorporação de cortiça na composição do adobe que melhorou o isolamento térmico, provando que é uma solução viável para este tipo de construções.

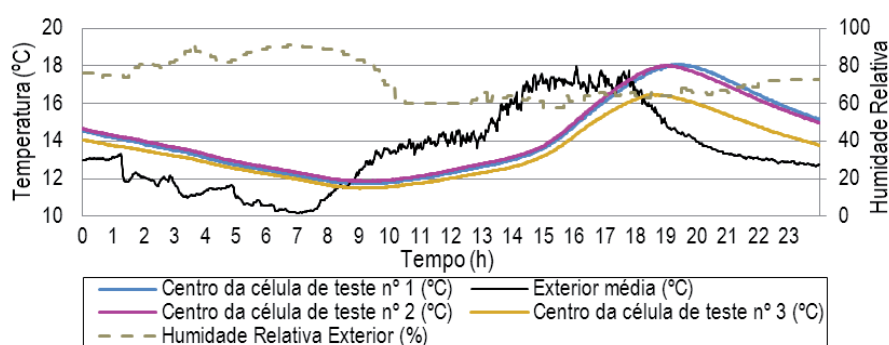


Figura 15. Temperaturas das três células de teste no dia 13 de Maio de 2010.

| | Temperatura (°C) | | Vento | | Humidade Relativa (%) | |
|--------|---------------------|--|----------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|
| | | | Intensidade (m/s) | Hora de Registo | H R | Hora de Registo |
| Média | 17,3 | | NNW | 4,4 | - | - |
| Máxima | 19 | | NNW | 9,8 | 18h:50m | 92 |
| Mínima | 10 | | - | 0 | 2h:30m | 58 |

Tabela 8. Dados meteorológicos do dia 13 de Maio ^{1,2}.

| | Temperatura (°C) | | Amortecimento (°C) | Atraso |
|--------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------|--------|
| | Valor máximo | Hora de registo | | |
| Exterior média | 18,01 | 18h:05m | - | - |
| Centro da célula de teste nº 1 | 18,08 | 19h:26m | -0,07 | 3h:21m |
| Centro da célula de teste nº 2 | 18,03 | 18h:49m | -0,02 | 3h:44m |
| Centro da célula de teste nº 3 | 16,48 | 18h:41m | 1,53 | 3h:36m |

Tabela 9. Resultados do ensaio do dia 13 de Maio.

Dia 13

As curvas das temperaturas das três células de teste para este dia de ensaio são apresentadas na figura 15, seguidas dos respectivos resultados expostos na tabela 9.

A tabela 8 apresenta os dados meteorológicos do dia 13 de Maio ^{1,2}.

Neste dia 13, as células de teste números 1 e 2 revelaram um sobreaquecimento devido à combinação de várias situações propícias a este efeito, a elevada exposição solar, a inexistência de ventos na sua direcção, que não proporcionou convecção exterior favo-

rável das paredes conduzindo ao aquecimento do espaço interior, uma vez que não é ventilado (efeito estufa) o que explica o facto dos resultados das temperaturas máximas interiores serem quase tão elevadas como as temperaturas máximas registadas no exterior.

A célula de teste número 3 uma vez que é isolada apresentou comportamento distinto das outras células de teste, reforçando mais uma vez que o comportamento térmico é melhorado com a incorporação de cortiça no adobe.

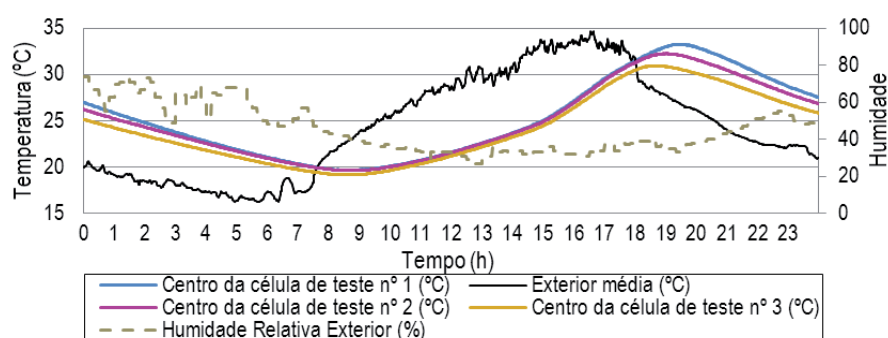


Figura16. Temperaturas das três células de teste no dia 21 de Maio de 2010.

| | | Temperatura (°C) |  | Vento Intensidade (m/s) | Hora de Registro | Humidade Relativa (%)  | |
|--------|------|---|---|-------------------------------|---------------------|--|---------------------|
| | | | | | | H R | Hora de Registro |
| Média | 25,8 |  | N | 2,1 | - | 46 | - |
| Máxima | 35 |  | NNW | 5,8 | 17h:30m | 74 | 1h:20m |
| Mínima | 16 | | - | 0 | 5h:20m | 27 | 12h:50m |

Tabela 10. Dados meteorológicos do dia 21 de Maio ^{1,2}.

| | Temperatura (°C) | | Amortecimento | Atraso |
|--------------------------------|------------------|-----------------|---------------|--------|
| | Valor máximo | Hora de registo | (°C) | |
| Exterior média | 34,72 | 16h:38m | - | - |
| Centro da célula de teste nº 1 | 33,28 | 19h:22m | 1,44 | 3h:16m |
| Centro da célula de teste nº 2 | 32,26 | 18h:55m | 2,46 | 2h:17m |
| Centro da célula de teste nº 3 | 30,97 | 18h:43m | 3,75 | 2h:05m |

Tabela 11. Resultados do ensaio do dia 21 de Maio.

Dia 21

São apresentadas na tabela 11 os resultados das temperaturas do ensaio realizado no dia 21 de Maio para as três células de teste, e as referentes curvas das temperaturas estão ilustradas na figura 16.

Os dados meteorológicos registados são apresentados na tabela 10 ^{1,2}.

A célula de teste número 1, neste dia de ensaio após 4 horas e 40 minutos de grande exposição solar, apresentou um risco de sobreaquecimento devido não só à carência de vento na direcção das células de teste, mas também

à inexistência de ventilação no espaço interior que gerou o efeito estufa.

A célula de teste número 2 não apresentou picos tão elevados quando comparado com a célula de teste número 1, devido ao facto de ter menos 20 minutos de exposição solar em relação à primeira.

| Célula de teste nº 1 | | Célula de teste nº 2 | | Célula de teste nº 3 | |
|----------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|
| U [W/m ² .°C] | λ [W/m.°C] | U [W/m ² .°C] | λ [W/m.°C] | U [W/m ² .°C] | λ [W/m.°C] |
| 2,06 | 0,95 | 1,83 | 0,80 | 1,47 | 0,59 |

Tabela 12. Resultados para as diferentes células de teste da condutibilidade térmica λ e do coeficiente de transmissão térmica U .

$$I = e \times \left(\frac{1}{R_{si}} \right) \times \frac{(q_{int} - q_i)}{(q_i - q_{parede})} \quad (1)$$

| Célula de teste nº 1 | | Célula de teste nº 2 | | Célula de teste nº 3 | |
|----------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|
| U [W/m ² .°C] | λ [W/m.°C] | U [W/m ² .°C] | λ [W/m.°C] | U [W/m ² .°C] | λ [W/m.°C] |
| 2,22 | 1,07 | 1,95 | 0,87 | 1,65 | 0,69 |

Tabela 13. Resultados para as diferentes células de teste do coeficiente de transmissão térmica U e do coeficiente de condutibilidade térmica λ .

$$U = \frac{1}{R_{si}} \times \frac{(q_{int} - q_i)}{(q_{int} - q_{ext})} \quad (2)$$

Determinação da condutibilidade térmica das diferentes células de teste

Para o cálculo do coeficiente de condutibilidade térmica, λ , usou-se a fórmula clássica da equação de fluxo unidireccional em regime permanente (equação 1), onde é considerada a resistência térmica superficial interior, $R_{si} = 0,13$ como adoptado no RCCTE³.

Os resultados são apresentados na tabela 12.

A célula de teste número 3 apresenta um valor do coeficiente de condutibilidade térmica U (W/m².°C) inferior ao valor máximo admissível para elementos opacos estabelecido no RCCTE³.

Seguindo a norma DIN EN ISO 6946⁴, para o cálculo do valor do coeficiente de transmissão térmica, U , usando as equações de fluxo (equação 2), considerando $R_{si} = 0,13$.

Na tabela 13 são apresentados os resultados para o cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U , e da condutibilidade térmica, λ , para as três células de teste.

Comentários finais

As células de teste números 1 e 2 apresentaram comportamentos semelhantes ao longo dos dias, evidenciando-se sempre mais um pouco a primeira célula, uma vez que detém um maior período de exposição solar quando comparada com as outras células de teste. Nos dias de grande radiação foi notório que ambas as células de teste apresentaram uma tendência de sobreaquecimento, isto acontece devido a uma acumulação de situações favoráveis a este efeito: i) a elevada exposição solar; ii) a inexistência de convecção exterior das paredes devido a carência de ventos na direcção das células de teste; iii) o efeito de estufa gerado devido a falta de ventilação do espaço interior das células de teste.

A célula de teste número 3 apresentou sempre um comportamento distinto das outras células de teste, evidenciando a importância que a incorporação de cortiça nos adobes teve no comportamento térmico.

Os dias 5, 21 e 22 de Maio mostraram-se dias de grande exposição solar, sem incidência de ventos na direcção das células de teste o que

não favoreceu a convecção exterior. A grande diferença entre estes dias residiu na amplitude térmica registada o que influenciou os resultados do amortecimento.

Em dias de grande amplitude térmica e elevada exposição solar, as células de teste demonstram bons níveis de amortecimento, já os dias que exibem alguma nebulosida-

de revelam-se prejudiciais para os amortecimentos.

Com este trabalho cooperamos para o conhecimento mais aprofundado das construções em terra pensando ter dado um contributo importante para que este património secular perdure ao longo dos tempos.

Bibliografia

1. *ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DA PROTECÇÃO CIVIL DO MUNICÍPIO DE AVEIRO.*

2. *ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DO DEPARTAMENTO DE AMBIENTE UNIVERSIDADE DE AVEIRO* <http://climetua.fis.ua.pt/legacy/main/current_monitor/cesamet.htm>. Acesso em: Maio de 2010.

3. *DECRETO-LEI 80/2006, (2006): "RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios", 4 de Abril.*

4. *DIN EN ISO 6946:2008-04 (2008): "Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient". EEWärmeG: Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich, 07 de Agosto.*

Notas

* **Tiago Meneses**, Engenheiro Civil (UA, 2010) tem incidido o seu estudo no comportamento térmico de construções em alvenaria de adobe.

Romeu Vicente, Engenheiro Civil, Ph.D, professor da Universidade de Aveiro, Portugal, tem desenvolvido vários trabalhos sobre avaliação, reabilitação e reforço térmico de estruturas.

Aníbal Costa, Engenheiro Civil, Ph.D, professor da Universidade de Aveiro, Portugal, tem desenvolvido vários trabalhos sobre avaliação e reabilitação de construções em terra.

António Figueiredo, Engenheiro Civil (UA, 2009) tem incidido o seu estudo em construções em alvenaria de terra.

Humberto Varum, Engenheiro Civil, Ph.D, professor da Universidade de Aveiro, Portugal, tem desenvolvido vários trabalhos sobre avaliação e reabilitação de construções em terra.

Nelson Soares, Engenheiro Civil (UA, 2007) tem incidido o seu estudo em construções em alvenaria de terra.