

University of Cantabria / University of Extremadura

Organizers:



# REHABEND 2018

## Euro-American Congress

CONSTRUCTION  
PATHOLOGY,  
REHABILITATION  
TECHNOLOGY AND  
HERITAGE MANAGEMENT

Caceres (Spain) - May 15<sup>th</sup>-18<sup>th</sup>, 2018

Sponsor entities:



# ***REHABEND 2018***

***CONSTRUCTION PATHOLOGY, REHABILITATION TECHNOLOGY AND  
HERITAGE MANAGEMENT***

*(7<sup>th</sup> REHABEND Congress)*

**Caceres (Spain), May 15<sup>th</sup>-18<sup>th</sup>, 2018**

PERMANENT SECRETARIAT:

**UNIVERSITY OF CANTABRIA**

Civil Engineering School

Department of Structural and Mechanical Engineering

Building Technology R&D Group (GTED-UC)

Avenue Los Castros s/n 39005 SANTANDER (SPAIN)

Tel: +34 942 201 738 (43)

Fax: +34 942 201 747

E-mail: [rehabend@unican.es](mailto:rehabend@unican.es)

[www.rehabend.unican.es](http://www.rehabend.unican.es)

**CODE 176****COMPORTAMENTO AO FOGO DE BLOCOS DE TERRA COMPRIMIDA**

**Soares, Edgar<sup>1</sup>; Lima, Diogo<sup>2</sup>; Ferreira, Débora<sup>2</sup>; Mesquita<sup>2</sup>, Luís; Miranda, Tiago<sup>1</sup>;  
Leitão, Dinis<sup>1</sup>**

1: Universidade do Minho

e-mail: [edgarsoares@civil.uminho.pt](mailto:edgarsoares@civil.uminho.pt); [tmiranda@civil.uminho.pt](mailto:tmiranda@civil.uminho.pt); [dleitao@civil.uminho.pt](mailto:dleitao@civil.uminho.pt)

2: Instituto Politécnico de Bragança

e-mail: [diogoopedro@gmail.com](mailto:diogoopedro@gmail.com); [debora@ipb.pt](mailto:debora@ipb.pt); [imesquita@ipb.pt](mailto:imesquita@ipb.pt)

**PALABRAS CHAVE:** BTC, bloco de terra comprimida, resistência ao fogo

**RESUMO**

A principal preocupação dos documentos normativos com a ocorrência de incêndio não está ligada ao interesse de preservar o património, mas sim ao de garantir que a estrutura permaneça com capacidade portante preservada por um período de tempo considerado necessário para assegurar a completa evacuação das pessoas e o combate ao incêndio.

O trabalho desenvolvido é sobre a segurança das construções em Bloco de Terra Compactada (BTC) quando sujeitas a situações de incêndio. Os resultados da resistência obtidos pelos BTC, a temperaturas elevadas e após arrefecimento, são analisados tendo como principal objetivo aumentar o conhecimento e, assim, garantir a segurança dos bens e principalmente das pessoas.

É igualmente objetivo deste trabalho compreender a influência dos estabilizadores, responsáveis pelo aumento da resistência dos BTC, através de ensaios de resistência termomecânica em regime estacionário. Para tal foram analisadas 5 percentagens de estabilizantes, entre cal e cimento, obtendo-se diferentes respostas do comportamento do material sob a ação do fogo. Também é realizada uma análise dos ensaios de compressão residual à amostra com melhor desempenho a temperaturas elevadas.

O melhor desempenho foi obtido para a composição com maior quantidade de estabilizantes, com 10% de cal e 10% de cimento. Contudo, a composição com 5.0% de cal e 7.5% de cimento apresentou uma resistência próxima da anterior, sendo que esta composição constitui uma melhor escolha devido à menor quantidade de estabilizantes, sendo mais económica e mais sustentável.

**1. INTRODUÇÃO**

A construção em terra está presente em todo o mundo. Além das inúmeras vantagens a nível social, económicas e ambientais, é considerado um método construtivo sustentável, [1]. Considera-se que a sustentabilidade do planeta se traduz na procura e utilização de materiais e técnicas construtivas mais adaptadas ao ambiente, representando assim uma diminuição do consumo de recursos, aumentando a construção em terra e o interesse nos estudos sobre os materiais contidos neste tipo de construção, [2].

As técnicas de construção em terra são inúmeras e variam de região para região, conforme as características do solo e da temperatura do local. Em Portugal, as mais comuns são: a taipa, o tabique, a alvenaria de adobe e mais recentemente a alvenaria de blocos de terra compactada (BTC), [1].

Os blocos de terra compactada decorrem de um rigoroso controlo de produção, apresentando valores de resistência mais elevados comparativamente às outras técnicas enumeradas e são facilmente adaptáveis às necessidades técnicas e à arquitetura de cada local, podendo ser utilizados como elementos estruturais ou apenas como elementos de enchimento, [2].

Os BTC são incombustíveis, não exalando gases tóxicos, pelo que os produtos da combustão não são prejudiciais à saúde humana. Adicionalmente, os BTC são baixos condutores de calor (possuem baixa condutividade térmica à temperatura ambiente) quando comparados com os metais. Estas características concedem ao BTC uma boa resistência ao fogo. Contudo, a deterioração do BTC, ao ser sujeito a temperaturas elevadas, manifesta-se de forma ainda desconhecida, modificando o seu comportamento em função do estabilizante contido na sua composição. O aquecimento do BTC conduz à degradação diferencial afetando as propriedades mecânicas por meio da redução e mudança na resistência e no módulo de elasticidade dos materiais conforme a temperatura exposta. Há perda de rigidez da estrutura podendo levar os elementos estruturais ao colapso, tanto na fase de aquecimento quanto na fase de arrefecimento, [3].

Para colocar em prática a implementação de novas técnicas e tecnologias cada vez mais eficientes e eficazes, é necessária a exigência de empenho e dedicação constante na atualização dos conhecimentos que envolvem novos processos construtivos. O desenvolvimento da investigação foca-se essencialmente na segurança, analisando o comportamento mecânico do BTC. Atualmente presume-se que aproximadamente metade da população mundial habite em edifícios construídos em terra, [4], daí a necessidade de estudos detalhados sobre este “novo” material de construção.

Com o trabalho desenvolvido pretende dar-se um contributo na compreensão do comportamento do BTC submetido a ensaio de compressão sob ação do fogo. Dada a falta de investigação nesta área, pretende-se contribuir com novos elementos que ajudem a compreender e analisar a resistência termomecânica em regime estacionário do BTC, com o objetivo de avaliar a sua resistência à compressão sob o efeito do aumento de temperatura, para diferentes percentagens de estabilizantes, entre cal e cimento, [5, 6]. A principal preocupação com a ocorrência de incêndio não está ligada ao interesse de preservar o património, mas sim de garantir que a estrutura permaneça com sua capacidade portante preservada por um período de tempo considerado suficiente para garantir a total evacuação das pessoas. Com este estudo espera-se contribuir para o conhecimento do comportamento de estruturas em BTC quando sujeitas a situações de incêndio.

Assim, e com o objetivo de dar resposta à necessidade de estudar e caracterizar a construção em BTC, a Universidade do Minho e o Instituto Politécnico de Bragança (IPB) têm desenvolvido vários projetos nesse sentido, desde a caracterização do bloco, ao estudo das formas de estabilização, passando pela caracterização térmica e acústica do BTC como a resistência mecânica sob a ação ao fogo, [7].

Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Estruturas e Resistência dos Materiais do IPB. A construção dos cilindros de BTC e respetiva cura foram realizadas no laboratório do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho. São analisadas 5 amostras com percentagens distintas de estabilizantes, cal e cimento, em relação a diferentes temperaturas, em que, para além de comparar os seus comportamentos, se pretende compreender a influência dos estabilizadores e da temperatura na resistência mecânica do BTC.

## **2. PREPARAÇÃO DOS PROVETES**

### **2.1 Composição do BTC**

Os principais componentes para a constituição dos BTC são a terra, a água e, eventualmente, um estabilizador que pode ser químico, físico ou biológico. No caso dos BTC em estudo neste trabalho, utilizou-se solo residual granítico da região do Minho, localizado no Norte de Portugal, água e cal/cimento em diferentes percentagens para a estabilização do solo.

As diferentes percentagens de materiais para o fabrico dos cilindros utilizados nos ensaios de resistência de termomecânica à compressão encontram-se identificadas na Tabela 1, sendo a quantidade de água variável para cada tipo de composição. De acordo com a quantidade de estabilizadores foram identificadas 5 amostras.

Tabela 1 - Composição da fração sólida, em percentagem, de cada mistura estudada.

Amostra	Solo (%)	Cal (%)	Cimento (%)
M1	90.0	5.0	5.0
M2	87.5	5.0	7.5
M3	87.5	7.5	5.0
M4	85.0	7.5	7.5
M5	80.0	10.0	10.0

As características físicas médias dos provetes como sejam altura, diâmetro, peso e volume estão apresentadas na Tabela 2. Todos os provetes foram fabricados de forma a apresentarem as mesmas dimensões. Porém, devido à dilatação de alguns materiais, os provetes foram pesados e medidos antes do respetivo ensaio.

Tabela 2 - Características físicas médias dos provetes de BTC.

Altura (mm)	140
Diâmetro (mm)	70
Volume (cm <sup>3</sup> )	538.78
Peso dos sólidos (g)	969.59
Peso volúmico (g/cm <sup>3</sup> )	1.80

## 2.2 Fabrico dos BTC's

Depois de definidas as composições e quantidades dos materiais, foi realizado o processo de fabrico dos BTC. Para a realização dos ensaios foram produzidos cerca de 100 provetes cilíndricos de BTC com 70 mm de diâmetro e 140 mm de altura.

Para a preparação do solo foi necessário primeiro realizar o processo de destorroamento manualmente. Seguidamente, o solo foi espalhado num local ao ar livre. Quando o solo apresentou um aspeto seco e mais claro foi recolhido e armazenado no laboratório. A seguir à preparação do solo, foi realizada a pesagem dos 3 constituintes da mistura para os BTC: solo, cal e do cimento.

A primeira etapa foi a mistura dos materiais sólidos, ou seja, da terra, cal e cimento. Com a ajuda da misturadora foram colocados todos os materiais cerca de 5 minutos, até se alcançar uma mistura homogénea. A água foi adicionada em quantidade necessária para alcançar a homogeneidade. A mistura pesada foi colocada dentro do molde da prensa. A mistura teve que ser espalhada e nivelada manualmente antes de se fechar o molde de modo a comprimir a mistura e assim formar os provetes. Por último, os provetes foram cuidadosamente retirados da prensa e colocados sobre uma base plana, para facilitar o transporte enquanto estão frescos. Os provetes estiveram durante uma semana a ganhar resistência para depois poderem ser empilhados, continuando assim o processo de cura até o ensaio.

Os provetes foram ensaiados para 6 patamares diferentes temperaturas, ver Tabela 3. O patamar de temperatura P0 é identificado como a temperatura ambiente.

Tabela 3 - Patamares de temperatura dos ensaios.

Patamar	Temperatura (°C)
P0	20
P1	100
P2	200
P3	400
P4	600
P5	800

### 3. ENSAIOS EXPERIMENTAIS

#### 3.1 Equipamento de ensaio

Os ensaios foram realizados num forno fixado na base a uma máquina de ensaios universal, Instron® 4485, adaptada para funcionar à compressão, Figura 1. De acordo com a temperatura que cada provete deve alcançar, o aumento da temperatura era acompanhado graficamente até a mesma ficar constante durante 10 minutos, só então era dado início ao ensaio de compressão. As temperaturas foram medidas com dois termopares. O primeiro termopar era fixado na amostra, com o objetivo de medir a temperatura no provete e controlar o sistema PID de controlo da temperatura, enquanto o segundo era deixado solto dentro do forno de modo que não tocasse em nenhuma superfície, para medir a temperatura dentro do forno, Figura 2.



Figura 1: Forno fixado na base do Sistema de ensaios mecânicos da série Instron® 4485.

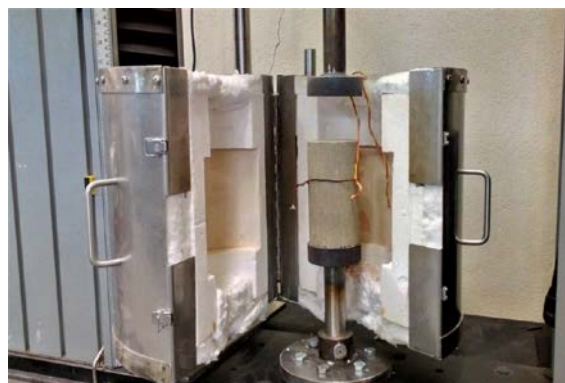


Figura 2: Localização dos termopares.

#### 3.2 Ensaios experimentais dos provetes de BTC

Antes do ensaio os provetes são pesados e medidos. As temperaturas do forno e dos provetes foram controladas até ao fim do ensaio. Com a velocidade constante de ensaio fixada em 0.06 mm/s até à rotura dos provetes, foi possível observar a tensão máxima de rotura, assim como o comportamento da amostra após a rotura.

Quando o provete atingia a rotura, significava que o ensaio havia terminado sendo possível ver a rotura da amostra, Figura 3.

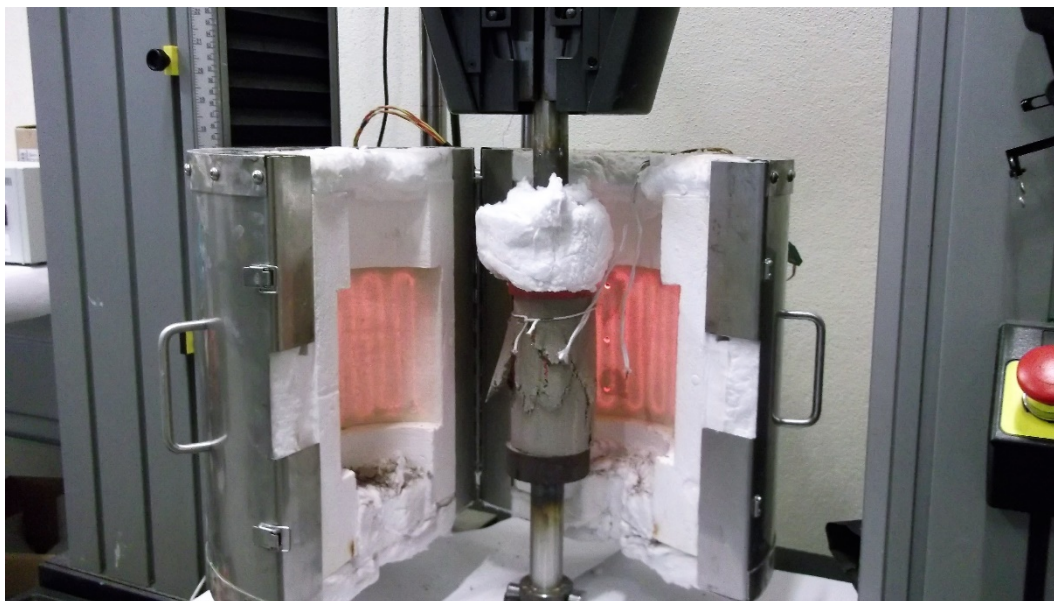


Figura 3: Provete após ruptura e abertura do forno.

#### 4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

No estudo dos blocos, as principais propriedades mecânicas são a resistência à compressão, resistência à tração, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson, sendo a resistência à compressão do bloco o principal parâmetro de dimensionamento da alvenaria e, por isso, esta propriedade é a principal variável do controle de qualidade dos blocos, estando diretamente relacionado com o desempenho das paredes de uma edificação, [8].

Na Figura 4 são apresentados os resultados tensão-extensão para os patamares de temperatura considerados. A seguir serão analisadas a resistência à compressão, onde será verificado qual a melhor percentagem de cal e cimento para se obter uma maior resistência do BTC.

Nos provetes à temperatura ambiente foi obtida uma resistência entre 3 e 5 MPa, indicando um aumento significativo na resistência devido aos estabilizantes. A resistência à compressão numa estrutura de terra varia entre 0.5 e 2.0 MPa e a resistência à tração é cerca de 20% da resistência à compressão, [9].

A composição que teve menor resistência à temperatura ambiente foi a M3, demonstrando que a quantidade de cal influencia a resistência do cimento, neste caso de forma negativa, resultando que a amostra M3 com 2,5% de cal a mais, porém com a mesma quantidade de cimento que a composição M1, obteve menor resistência. A adição de cimento no solo provoca aglomeração das partículas e torna a argila mais estável, já a adição de cal permite a dissolução de minerais argilosos, [10].

Analisando as duas amostras que obtiveram melhores resultados e comportamento parecidos, M5 (10% de cal e 10% de cimento) e M2 (5% de cal e 7.5% de cimento), a amostra M2 apesar de 7,5% a menos de estabilizantes na sua composição, a sua resistência foi maior. Em termos económicos e da sustentabilidade do material, a quantidade de estabilizantes é importante na fabricação dos BTC.

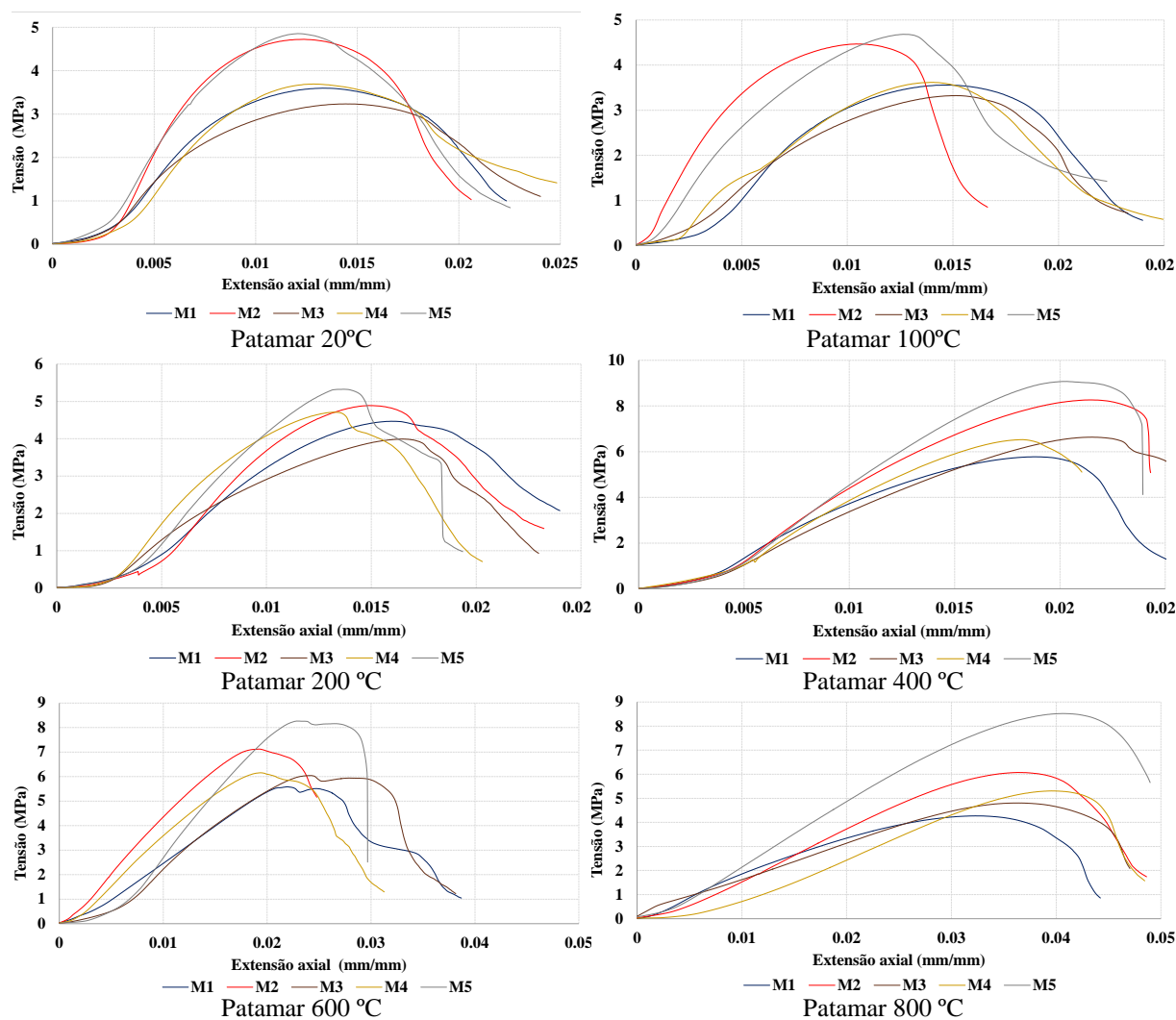


Figura 4: Relação tensão (MPa) versus extensão axial (mm/mm).

## 5. CONCLUSÕES

O trabalho desenvolvido permitiu analisar e avaliar o comportamento do BTC e a sua resistência para diferentes percentagens de estabilizantes quando submetidos a diferentes temperaturas. Assim, apesar de já esperado, o melhor desempenho foi obtido na composição M5, constituída pela maior quantidade de estabilizantes. Foi possível concluir que a composição M2 com 5.0% de cal e 7.5% de cimento apresenta uma resistência próxima da composição M5 com 10% de cal e 10% de cimento, sendo a M2 a melhor escolha devido à menor quantidade de estabilizantes, é uma solução mais económica e mais sustentável.

Nos ensaios de resistência termomecânica em regime estacionário, para diferentes patamares de temperatura, concluiu-se que o BTC se comporta, em geral, de uma forma melhor quando submetido a 400°C, atingindo uma maior resistência.

Em conclusão, pode-se afirmar que o BTC obteve um aumento da resistência quando submetido a temperaturas maiores que 400°C, dando a segurança necessária em caso de incêndios.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Ferreira, D. M.; Araújo, A., *et al.* - "Behaviour of non-loadbearing tabique wall subjected to fire – Experimental and numerical analysis," *Journal of Building Engineering*, vol. 9, pp. 164-176, 1// 2017.

- [2] Oliveira, J. V. - "Comportamento mecânico de blocos de terra compactada ativados alcalinamente," Mestrado Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, 2014.
- [3] D. Thê-Nguyen, F. M. - "Behaviour of hollow clay brick masonry walls during fire. Part2: 3d finite element modeling and spalling assessment," *Fire Saf. J*, vol. 66, pp. 35-45, 2014.
- [4] Gomes, M. I. d. S. - " Conservação de construções de taipa: argamassas de reparação," Doutorado, Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade Nova de Lisboa, 2013.
- [5] Rui Silva, E. S., Daniel Oliveira, Tiago Miranda, Nuno Cristelo, Dinis Leitão - "Mechanical characterisation of dry-stack masonry made of CEBs stabilised with alkaline activation," *Construction and Building Materials - Elsevier*, vol. 75, pp. 349-358, 2015.
- [6] Thomas Sturm, L. R., Paulo B. Lourenc,o - "Characterization of dry-stack interlocking compressed earth blocks," *Materials and Structures*, vol. 48, pp. 3059-3074, 2015.
- [7] Lima, D. P. d. - "Ensaio de resistência termomecânica em regime estacionário em Bloco de terra compactada (BTC)," Mestrado Engenharia Civil, Instituto Politécnico de Bragança, 2017.
- [8] Márcia Souza, A. S., Joelma Pereira - "Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto," *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* vol. 12, pp. 205-212, 2007.
- [9] Humberto Varum, T. M., Ana Velosa - "Caracterização do adobe em construções existentes na região de Aveiro," presented at the Seminário Ibero-Americano de construção em terra, 2005.
- [10] Rigassi, V., *Compressed earth block: manual of production* vol. 1: A Publication of the Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien, 1985.



Coordinators:

The logo for GTED-UC is presented on a white rectangular background. At the top, it reads 'Universidad de Cantabria' in a small font. Below this is the acronym 'GTED-UC' in a large, bold, stylized font. Underneath the acronym, it says 'GRUPO DE TECNOLOGÍA DE LA EDIFICACIÓN'. At the bottom of the logo is a stylized graphic element resembling a leaf or a drop, and the text 'Escuela Politécnica' is written below it.

Co-Organizers:

A horizontal row of logos for the co-organizing institutions. From left to right, the logos are: Universidad Kennedy (UK logo), unesp (with a blue star icon), UFMG (with a red 'm' icon), Universidad Austral (with a red and black shield icon), Universidad de Cantabria (with a green gear icon), Universidad de Coimbra (with a red and white shield icon), universidade de aveiro (with a green book icon), Técnico Lisboa (with a blue 'lf' icon), tecnalía (with a red and orange arrow icon), Universidad de Burgos (with a red and white shield icon), UPC (with a blue circle of white dots icon), UPV EHU (with a black and white puzzle piece icon), Universidad Politécnica de Madrid (with a blue and gold shield icon), Universidad de Sevilla (with a red and white shield icon), UEMC (with a green and white shield icon), Universidad Europea Miguel de Cervantes (with a blue and white building icon), and Miami (with a green and orange 'U' icon).