

PROPOSTA DE ENSAIO ACELERADO DE EXPOSIÇÃO A CHUVAS DIRIGIDAS

PROPOSAL OF ACCELERATED TEST EXPOSURE TO DRIVING RAIN

Souza Rezende, Maria Luiza; *UFCEG, Campina Grande, Brasil, marialuiza.rezende@ufcg.edu.br*
Camões, Aires; *Uminho - CTAC, aires@civil.uminho.pt*
Eires, Rute; *Uminho - CTAC, rute@civil.uminho.pt*
Jesus, Carlos; *Uminho - CTAC, cjesus@civil.uminho.pt*
Soares, Edgar; *Uminho - CTAC, edgarsoares84@gmail.com*

RESUMO

O efeito erosivo da chuva dirigida (chuva carregada pelo vento), é considerado um dos principais agentes de degradação nas fachadas de edificações, causando desde problemas estéticos a decomposição dos elementos que as compõem. Devido a atual tendência de uso de materiais de construção não convencionais, torna-se necessária a avaliação do desempenho destes quando em uso e, no caso de componentes para alvenarias externas, a resistência dos mesmos à ação de chuvas dirigidas. Os testes prescritos em normas internacionais são específicos para as condições climáticas do país ou região em que são adotados, havendo a necessidade de adaptações utilizando-se parâmetros coerentes com os dados meteorológicos da região para a qual o material se destina. Neste trabalho é apresentada uma proposta de equipamento de ensaio e descrita a metodologia para levantamento de dados e validação do teste por meio da correlação dos parâmetros adotados com os dados de caracterização de chuvas em Portugal. Foram avaliados diversos fatores, entre os quais o diâmetro da gota, velocidade, distância de aplicação e tempo de exposição. Tendo em vista que o potencial erosivo da chuva natural é medido em função da energia cinética, o teste e a metodologia proposta mostraram-se eficientes em simular a incidência de chuvas em vedações verticais externas, sendo possível, em duas horas de teste, acelerar o desgaste equivalente a 50 anos de exposição na região de maior índice pluviométrico de Portugal.

ABSTRACT

The erosive effect of directed rain (rain that is carried by the wind) is considered one of the main agents of degradation in buildings façades, causing ranging from aesthetic problems to the decomposition of the elements that compose them. Due to the current trend of using non-conventional building materials, it is necessary to evaluate the performance of these materials when in use and, in the case of external masonry components, its resistance to driving rain. The tests prescribed in international standards are specific to the climatic conditions of the country or region in which they are assumed, with the necessity of adaptations using parameters consistent with the meteorological data of the region for which the material is intended. This paper presents a proposal for test equipment and described the methodology for data collection and validation of the test through the correlation between the adopted parameters with data of characterization of precipitation in Portugal. Several factors were evaluated, including drop diameter, velocity, application distance and time of exposure. Considering that the erosive potential of natural rainfall is measured as a function of kinetic energy, the test and the proposed methodology were efficient in simulating the incidence of rainfall in external vertical masonry, being possible, in two hours of test, accelerate wear equivalent to 50 years of exposure in the region with the highest rainfall in Portugal.

1 - INTRODUÇÃO

As chuvas dirigidas (chuva associada à componente horizontal velocidade do vento) são consideradas como responsáveis por até 70% dos casos de infiltração em vedações verticais externas, podendo causar problemas que vão desde o desgaste aparente, comprometendo a estética de edificações, ao comprometimento dos materiais que as compõem (Melo Junior e Carasek, 2014).

Documentos têm sido publicados relatando estudos de caso e métodos de quantificação de índices de exposição (Narula *et al.*, 2017; Blocken *et al.*, 2010; Rydock, 2007; Lima e Morelli, 2005; Blocken e Carmeliet, 2006) contribuindo assim, não só para o avanço da pesquisa nesta área, como também fornecendo importantes informações que visam a contribuir na elaboração de projectos de edificações.

O conhecimento prévio das intensidades e direcções segundo as quais as chuvas incidem em maior intensidade orienta projectistas quanto à escolha de materiais e procedimentos que venham a

proteger as fachadas da degradação causada pelas chuvas, aumentando assim a vida útil de edificações. Alguns comitês de normatização propõem metodologias para avaliação experimental do desempenho de alvenarias quanto à permeabilidade e estanqueidade, (ABNT, 2013), (CEN, 1990), (CEN, 2011), outros objetivam avaliar a erodibilidade decorrente da chuva (*spray tests*) em construções de terra (taipa e blocos de terra comprimidos, estabilizados ou não), porém, a crescente tendência actual de aproveitamento de resíduos na fabricação de elementos para alvenarias e argamassas para revestimentos, implica directamente no estudo do desempenho desses novos materiais em condições de uso (Rezende *et al.*, 2016).

O uso de simuladores ou de exposição natural é dificultado pelo fato de exigir prolongado tempo de exposição, considerando-se o longo período de vida útil previsto para vedações verticais externas. Rezende *et al.* (2015) utilizaram o Basic Hydrology System - BHS, fabricado pela Armfield Corporation, England, o qual é composto por um conjunto de oito bicos com fluxo de água ajustável e área de exposição de 2 m². Apesar do material testado apresentar resultados coerentes aos esperados, verificou-se que, para simular a precipitação anual de 1300 mm foram necessários 160 minutos, com caudal de 0.02 m³.min⁻¹ distribuída nos oito bicos. No equipamento proposto por Ogunye e Boussabaine (2002), para simular 10 anos de exposição a chuvas com intensidade de 150 mm.h⁻¹, foram necessárias 120 horas de exposição. Considerando a previsão de vida útil para uma edificação (ABNT, 2013) seriam necessárias 720 horas de exposição ou seja, 30 dias de teste contínuo.

Os testes de envelhecimento acelerado, aqueles nos quais o agente de degradação é aplicado em intensidade superior à esperada em real condição de uso (John e Sato, 2006) são importantes, porém, utilizando padrões coerentes com as características pluviométricas da região para a qual se destina o material a ser testado. Os testes prescritos em normas internacionais, tomando-os como testes acelerados, utilizam parâmetros específicos para o país ou região em que são adoptados, dificultando assim relacioná-los ou adaptá-los a determinada precipitação ou intensidade.

O fato de que alguns testes são considerados excessivamente severos ou que não reproduzam os efeitos reais de degradação, pode ter sido ocasionado de algumas publicações de dados de intensidade e precipitação de chuvas apresentarem discrepâncias (Dunkerley, 2008). O teste descrito pela norma indiana IS 1725 (BIS, 1982) apresenta-se como o mais erosivo, segundo Cid-Falceto *et al.* (2012), após testar a erodibilidade de blocos de terra utilizando a metodologia proposta pelas normas IS 1725 (BIS, 1982) e SLS 1382 (SLSI, 2009).

A metodologia de ensaio e sistemas utilizados para execução, também interferem nos resultados. Os dados do Bulletin 5 Spray Test (Middleton, 1987) foram relacionados por Heathcote (1995) a 85 anos de precipitação em Sydney, sendo também comentado pelo autor que o bico utilizado no teste tem efeito muito erosivo, recomendando um modelo que proporcionasse distribuição mais uniforme do jacto de água. Dad (1985), após extensa pesquisa experimental, observou que o jacto perpendicular à face a ser avaliada resulta em maior perda de massa do que iria ocorrer em exposição natural e que, utilizando-se 30° de inclinação, poderiam ser obtidos resultados mais realistas. O autor também argumenta que a orientação do jacto na horizontal não é compatível com a precipitação natural, recomendando que este, para melhor simulação, deveria ser utilizado na vertical como o fez Ola e Mbata (1990), Dad (1985) e Ogunye e Boussabaine (2002).

Neste documento é apresentada uma proposta de ensaio acelerado de exposição a chuvas dirigidas, tomando como parâmetro de referência a energia cinética de chuvas naturais e relatado o desenvolvimento do mesmo, objetivando com isto facilitar a adaptação dos parâmetros às condições meteorológicas da região em que for executado. Foi desenvolvido no Laboratório de Materiais de Construção do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, campus Azurém, Guimarães, sendo inicialmente proposto para Portugal.

2 - METODOLOGIA

2.1 - Descrição do equipamento de teste

A estrutura e disposição dos elementos que compõem o equipamento para testes estão ilustradas na Figura 1.

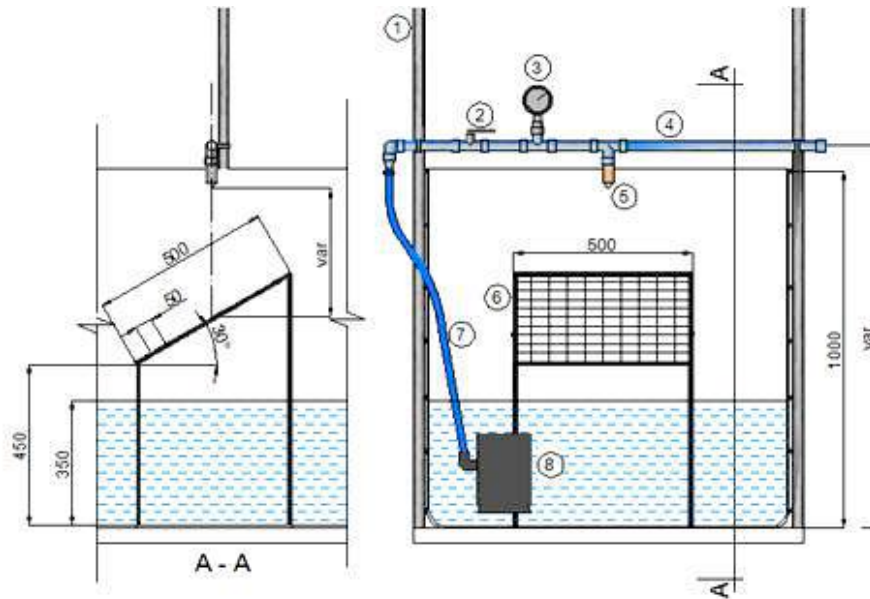


Figura 1 - Equipamento de teste (medidas em mm). Fonte: Rezende *et al.* (2016)

- 1 - Estrutura vertical de apoio em tubos de PVC rígido ($\varnothing 1''$);
- 2 - Válvula de passagem;
- 3 - Medidor de pressão (capac. Máx. 600 kPa);
- 4 - Tubulação horizontal em tubos de PVC rígido ($\varnothing 1''$);
- 5 - Bico - Full Cone Spray-HH30-30100 (6.3 mm) fabricante *Spraying Systems Co.*;
- 6 - Plataforma de apoio para provetes;
- 7 - Bomba submersa. O nível mínimo de água foi estabelecido em função do desempenho da bomba.
- 8 - Mangueira flexível ($\varnothing 1''$)

2.2 - Determinação dos parâmetros de calibração

2.2.1 - Levantamento de dados e cálculo do DRI (*Driving Rain Index*)

Os dados (precipitação anual média e velocidade média dos ventos a 10 m de altura) foram disponibilizados pelo IPMA (Instituto Português do Mar e da Atmosfera) e pelo WMO (*World Meteorological Organization*) sendo calculados os índices de chuva dirigida (DRI) utilizando-se a equação 1, estabelecida pelo CIB (*Conseil International du Batiment*) (Giongo *et al.*, 2011).

$$DRI = V \cdot P \cdot 10^{-3} \quad [1]$$

Em que:

DRI = Índice de chuvas dirigidas ($m^2 \cdot s^{-1}$),

V = Velocidade média anual do vento ($m \cdot s^{-1}$) a 10 m (altura) e

P = Precipitação média anual (mm).

Após serem analisados os dados para 18 localidades portuguesas, foi verificado que o maior valor de precipitação média anual (1715 mm) e o maior índice de chuvas dirigidas ($DRI = 7.39 m^2 \cdot s^{-1}$) foram encontrados para a estação climatológica de Penhas Douradas, distrito de Guardia, os quais foram tomados como referência para a calibração do teste de exposição.

2.2.2 - Determinação da caudal

Tomando-se como referência a relação proposta por Henriques (1993) *apud* Heathcote (1995), segundo a qual 1 DRI corresponde a 116 litros. $m^{-2} \cdot h^{-1}$ e o valor máximo de $DRI = 7.39 m^2 \cdot s^{-1}$, foi calculado o valor da caudal obtendo-se 14.26 litros. $m^2 \cdot min^{-1}$. Para a vazão de 14.26 litros. min^{-1} , a pressão de saída da água no bico foi de 45 kPa, o que está coerente com os valores de pressão adotados para os testes de erosão referendados pelas normas internacionais.

2.2.3 - Determinação do ângulo de saída do jato

Com base na metodologia descrita por Montebeller *et al.* (2001), utilizou-se o teste da farinha (*Flow Pellet Test*) para determinar o ângulo de saída do jato (22°) e diâmetro médio das gotas ($D_{50} = 4.8$ mm), resultados coerentes com os dados de caracterização fornecidos pelo fabricante do bico. De acordo com as referências técnicas da *Spraying Systems Co.*[®], menores valores de pressão proporcionam gotas de diâmetros maiores e menores caudais produzem menores gotas.

Sendo o jato cônico, a área atingida irá depender da altura do vértice (saída do jato) e do ângulo de saída. A altura do vértice deverá ser calculada de maneira que a área de alcance do jato e, por conseguinte, toda a força de impacto deste, esteja dentro dos limites da face do provete a ser ensaiado. No presente trabalho, foram ensaiados provetes com faces medindo 150 mm x 150 mm, sendo avaliadas as distâncias indicadas na Figura 2.

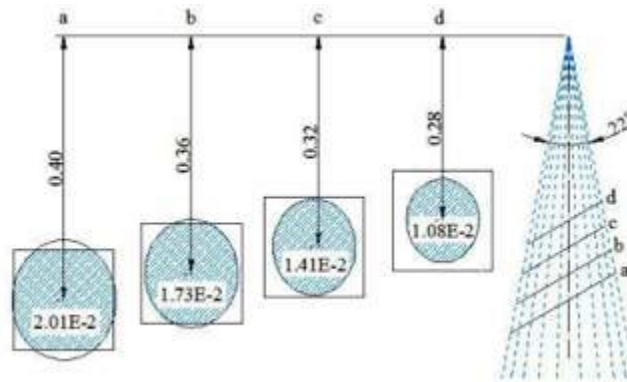


Figura 2 - Relação distância (mm) do jato e área impactada. Fonte: Rezende *et al.* (2016)

Conforme pode ser observado na Figura 2, a distâncias superiores a 320 mm a amplitude do jacto ultrapassa os limites da face do provete, atingindo também as arestas, intensificando a perda de massa pelo fato de que as mesmas são mais susceptíveis a erosão. Por outro lado, quanto maior a área atingida menor será a concentração da energia de impacto e, portanto, menor a capacidade de erosão.

2.2.4 - Determinação do tempo de exposição

O tempo de exposição ao teste irá depender do período de degradação que se deseja acelerar (neste caso foram considerados 50 anos). O tempo de exposição foi calculado por meio da Equação 2.

$$t = 50 \cdot P \cdot C \cdot A^{-1} \quad [2]$$

Em que:

t = Tempo de exposição ao teste (min),
P = Precipitação média anual (litros.m⁻²),
C = Caudal (litros.min⁻¹) e
A = Área da face do provete a ser ensaiado.

Como foi mencionado no subitem 2.1.1, a precipitação pluvial anual considerada foi de 1715 mm, ou seja, 1715 litros.m⁻². Os resultados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Cálculo do tempo de exposição ao teste

| P.M.A. (litros.m ⁻²) | Volume total p/ 50 anos (litros) | Distâncias (m) | Área (m ²) | P.A. relativa a área (litros.min ⁻¹) | Caudal (litros.min ⁻¹) | Tempo (minutos) |
|----------------------------------|----------------------------------|----------------|------------------------|--|------------------------------------|-----------------|
| 1715 | 922.76 | 0.28 | 1.08E-2 | 18.46 | 14.26 | 65 |
| | 1207.45 | 0.32 | 1.41E-2 | 24.15 | | 85 |

2.3 - Cálculo da energia cinética

A velocidade final das gotas, desprezando-se as perdas pelo atrito do ar, e a energia cinética do jato de água foram calculadas segundo a Equação 3 e a Equação 4.

$$v = \sqrt{v_0^2 + 2 \cdot g \cdot s} \quad [3]$$

Em que:

v = velocidade final (m.s⁻¹),
v₀ = velocidade inicial (m.s⁻¹) e dada pelo quociente da vazão pela seção de saída do bico,
g = aceleração da gravidade (m.s⁻²) e
s = distância de pulverização (m).

$$E_c = 1/2 (m \cdot v^2) \cdot 10^{-6} \quad [4]$$

Em que:

E_c = energia cinética (MJ),

m = massa (kg).

Foi considerado o caudal ($2,38 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) para determinar a massa de água na unidade de tempo (massa específica da água = $997 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$).

A energia cinética da chuva natural foi calculada utilizando-se a equação proposta por Foster et al.(1981) (Equação 5).

$$E_c = (0.119 + 0.0873 \cdot \log I) \cdot 10^{-4} \quad [5]$$

Em que:

E_c = energia cinética ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$) e

I = intensidade de chuva ($\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$)

Os resultados, para as condições descritas nos parágrafos anteriores, estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Energia cinética prevista para a chuva natural e para o teste em laboratório

| Chuvas naturais | | | Teste em laboratório | | | |
|---|--|---|----------------------|--|-----------------------------------|--|
| E_c ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$) | E_c Anual ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$) | E_c 50 anos ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$) | Distâncias (m) | E_c ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) | Duração do teste (segundos) | E_c Total ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$) |
| 2.61E-5 | 4.47E-2 | 2.24 | 0.28 | 6.99E-4 | 3900 | 2.73 |
| | | | 0.32 | 5.41E-4 | 5100 | 2.76 |

2.4 - Metodologia de ensaio

A metodologia proposta consiste, inicialmente, na caracterização físico-mecânica dos provetes a serem ensaiados, devendo ser utilizados dados de caracterização que melhor representem o efeito de degradação (massa seca, massa úmida, textura, absorção, resistências mecânicas, análises microestruturais, etc.) para o material a ser testado. Tal procedimento deverá ser repetido depois dos provetes serem expostos ao ensaio de exposição a chuvas, sendo os resultados finais comparados aos iniciais avaliando-se, assim, o nível de degradação ocorrida.

2.5 - Avaliação experimental

Para os testes iniciais, foram ensaiados provetes de concreto e BTCs (blocos de terra compactada) estabilizados com metacaulim, ambos com dimensões de 150 mm x 150 mm x 75 mm, sendo tais materiais escolhidos pelo fato de serem bastante utilizados na fabricação de elementos para alvenarias.

2.5.1 - Provetes de Concreto

Como ligantes, foram utilizados cimento Portland CEM I 42.5R e metacaulino (Mk) de alta reatividade (substituindo 10% e 15% da massa do cimento) e, como agregados, pedra britada de origem granítica, areia quartzosa e pó de pedra, na proporção de 37%, 40% e 23% respectivamente. Tal proporção foi baseada no menor índice de vazios e maior massa unitária, sendo respeitado o limite máximo de dimensão de agregado recomendado pela NBR 6136 (ABNT, 2008) de metade da menor espessura de parede do bloco (12.5 mm). A quantidade de cada material está descrita na Tabela 3.

Tabela 3 - Quantidade de material utilizado nas misturas de concreto ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

| Mistura | Cimento | Mk* | | Brita | Areia | Pó de Pedra | Fator $A/(C+Mk)**$ |
|---------|---------|-----|----|-------|-------|----------------|-----------------------|
| | | % | kg | | | | |
| A | 266 | 0 | 0 | 820 | 887 | 510 | 0.56 |
| B | 239 | 10 | 27 | 820 | 887 | 510 | 0.57 |
| C | 226 | 15 | 40 | 820 | 887 | 510 | 0.58 |

*Metacaulino, **Cimento+Metacaulino

Objetivando obter a densidade dos blocos de concreto pré-fabricados (moldados por vibroprensagem), foram utilizados moldes prismáticos cúbicos com 150 mm de aresta, sobre os quais, depois de preenchidos com a mistura, foi aplicada uma carga de compressão de $45 \pm 0.5 \text{ kN}$ (taxa de

carga 0.5 kN/seg) de forma simultânea, na base do molde e no topo da peça de encaixe, tendo sido este valor determinado experimentalmente. As dimensões dos provetes, após a prensagem, foram reduzidas a 150 mm x 150 mm x 75 mm sendo a face quadrada escolhida para execução do ensaio acelerado de exposição a chuvas. Após a desmoldagem, os provetes, devidamente embalados em filme de PVC, foram armazenados em ambiente de laboratório (21° C e UR 81%).

Aos 56 dias de cura, os provetes, após secagem em estufa (100±5° C) até a constância de massa, foram expostos ao ensaio utilizando os parâmetros determinados no item 2.2, ou seja, jato de água (pH=7.3) cônico e cheio, com vazão de 14.26 litros.min⁻¹ e pressão de saída de 45 kPa. Considerou-se a massa constante quando duas pesagens consecutivas, efetuadas em um intervalo de 24 horas, apresentaram diferença igual ou inferior a 0,5%. O provete foi posicionado a uma distância de 0.32 m do bico de saída do jato, em uma plataforma inclinada 30° em relação à horizontal.

Após o ensaio, foi aferida a massa úmida do corpo de prova e repetido o procedimento de secagem, sendo então calculada a perda de massa decorrente da degradação. A diferença entre a massa seca e a massa úmida foi considerada como absorção por chuvas (Eq. 6) e a diferença entre as massas secas, como desgaste por erosão (Eq. 7), sendo também comparadas as resistências à compressão antes e ao final do teste.

$$Ab_{ch} = (m_u - m_{sf}) \cdot m_u^{-1} \cdot 100 \quad [6]$$

$$D_e = (m_{si} - m_{sf}) \cdot m_{si}^{-1} \cdot 100 \quad [7]$$

Em que:

Ab_{ch} = absorção por chuvas,

D_e = desgaste por erosão,

m_{si} = massa seca inicial,

m_{sf} = massa seca final e

m_u = massa úmida.

Aos ensaios de caracterização das propriedades físico-mecânicas (absorção por imersão e resistência à compressão), foram realizadas análises termogravimétricas (TGA) para investigação das alterações químicas decorrentes da adição do metacaulim e a relação destas com os resultados obtidos nos ensaios físicos e mecânicos.

Os resultados de absorção (Ab_{ch}), perda de massa ($P_{m,ch}$) e resistência à compressão ($f_{c,ch}$) dos provetes submetidos ao ensaio de exposição à chuvas estão descritos na Tabela 4, onde constam também os valores de resistência à compressão ($f_{c,i}$) e absorção por imersão (Ab_i) dos provetes de mesma idade (56 dias), não submetidos ao ensaio de degradação e mantidos em ambiente protegido.

Tabela 4 - Resultados obtidos após ensaio de durabilidade e comparação com os resultados de referência (não submetidos ao ensaio) para blocos de concreto

| Mistura | Mk (%) | Ab_{ch} (%) | Ab_i (%) | Ab_{ch} / Ab_i | $P_{m,ch}$ (%) | $f_{c,ch}$ (MPa) | $f_{c,i}$ (MPa) | $f_{c,ch} / f_{c,i}$ |
|---------|--------|---------------|------------|------------------|----------------|------------------|-----------------|----------------------|
| A | 0 | 7.7 | 8.7 | 0.9 | 0.64 | 12.2 | 10.8 | 1.1 |
| B | 10 | 6.9 | 8.0 | 0.9 | 0.25 | 13.9 | 12.2 | 1.1 |
| C | 15 | 6.7 | 7.5 | 0.9 | 0.15 | 17.2 | 13.0 | 1.3 |

Comparando-se os resultados apresentados na tabela 4, verifica-se que a absorção de água decorrente da exposição ao ensaio de degradação foi inferior à absorção por imersão, podendo-se considerar a diferença (10%) como margem de segurança. Contrariando os resultados esperados em um ensaio presumido ser de degradação, todas as composições apresentaram, após o ensaio, melhorias nas propriedades físicas e mecânicas em relação aos provetes de referência, não expostos ao teste.

Os resultados de perda de massa, todos inferiores a 1%, considerando-se o limite de 5% sugerido por Fitzmaurice *apud* Heathcote (2002) para blocos de terra e de 10% recomendado pela Associação Brasileira de Cimento Portland (1980) para tijolos de solo-cimento, demonstraram que, para elementos de concreto, a erosão não é um parâmetro de resposta de degradação representativo, porém, as misturas com 15% de metacaulim apresentaram o menor valor de perda de massa (0.15%).

Verifica-se também que o uso de metacaulino promoveu aumento nos valores de resistência à compressão, entretanto, os resultados obtidos para os provetes submetidos ao ensaio de exposição à chuvas foram muito superiores aos de mesma composição mantidos em ambiente protegido, resultados esses justificados, em parte, pelas análises térmicas as quais evidenciaram maior ocorrência de carbonatação nos provetes submetidos ao teste acelerado de exposição a chuvas. A elevada

porosidade dos produtos de concreto seco, devido ao baixo teor de água nas misturas em estado fresco e a compactação das mesmas durante a moldagem, pode ocasionar a presença de poros de ar e, conseqüentemente, facilitar a carbonatação. De acordo com Ngala e Page (1997), a deposição do CaCO_3 nos poros promove maior compacidade à pasta melhorando as suas propriedades físicas e mecânicas. Outro fator que pode ter influenciado é o período de tempo de secagem em estufa. Os provetes protegidos, em virtude de não estarem umedecidos, atingiram a constância de massa mais rapidamente do que os provetes submetidos ao ensaio de degradação permanecendo, portanto, menor período de tempo em estufa. Isto foi comprovado ao serem ensaiadas amostras com 15% de metacaulim, sendo ambas as amostras (protegidas e ensaiadas) mantidas em estufa por igual período de tempo, até que as amostras ensaiadas atingissem massa constante. Os resultados demonstraram que a ocorrência de carbonatação foi mais intensa para as amostras protegidas, cujos poros, não estando preenchidos por água, facilitaram a intrusão do CO_2 e posterior carbonatação.

2.5.2 - Blocos de terra compactada (BTC's)

Foi utilizado solo granítico residual proveniente da freguesia de Azurém, concelho de Guimarães, solo este também utilizado por Silva *et al.* (2013) em pesquisa que avaliou a estabilização do solo por meio de cinzas volantes ativadas quimicamente. De acordo com a classificação USCS (Unified Soil Classification System), o solo classifica-se como SM (areia siltosa), apresentando baridade seca no valor de $1,83 \text{ g.cm}^{-3}$ e 15,2% de teor de umidade ótimo. Como estabilizante foi adicionado um aglutinante geopolimérico obtido a partir da ativação alcalina de metacaulino. A composição das fases sólida e líquida está descrita na Tabela 5.

Tabela 5 - Composição dos blocos de terra compactada

| Fase sólida | | Fase líquida | | |
|-------------|--------|----------------------|----------------------------------|----------------------|
| Solo (%) | MK (%) | Teor de Ativador (%) | NaOH / Na_2SiO_3 | Concentração de NaOH |
| 85 | 15 | 21.7 | 2 | 12.5 molal |

Os blocos foram moldados, curados e ensaiados seguindo a metodologia utilizada para os blocos de concreto, apresentando, após moldados, densidade de $22,5 \text{ kN.m}^{-3}$. Os ensaios de caracterização das propriedades físico-mecânicas (absorção por imersão e resistência à compressão) e teste acelerado de exposição a chuvas foram realizados aos 56 dias de cura, estando os resultados descritos na Tabela 6 onde constam também os resultados de referência (blocos não ensaiados e mantidos em ambiente protegido).

Tabela 6 - Resultados obtidos após ensaio de durabilidade e comparação com os resultados de referência (não submetidos ao ensaio) para blocos de terra

| Ab_{ch} (%) | Ab_i (%) | $\text{Ab}_{\text{ch}} / \text{Ab}_i$ | $\text{P}_{\text{m, ch}}$ (%) | $f_{\text{c, ch}}$ (MPa) | $f_{\text{c, i}}$ (MPa) | $f_{\text{c, ch}} / f_{\text{c, i}}$ |
|-----------------------------|-------------------|---------------------------------------|-------------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| 11.26 | 10.50 | 1.07 | 0.60 | 9.60 | 9.70 | 1.01 |

Verifica-se, por meio dos dados apresentados na Tabela 6, que ao final do ensaio de exposição a chuvas os BTC's apresentaram perda de massa ($\text{P}_{\text{m, ch}}$) inferior ao limite de 5% proposto por Fitzmaurice *apud* Heathcote (2002) e ao resultado encontrado para os blocos de concreto sem metacaulino (Tabela 4). Silva *et al.* (2013), utilizando a metodologia proposta pela NZS 4298 (1998), também concluiu que blocos de solo estabilizados com cinza volante não apresentaram nenhum sinal de erosão ao final de 1 hora de teste. Se considerarmos os resultados obtidos pelos autores citados com relação à erosão de blocos de igual solo sem estabilização, podemos afirmar que a estabilização com metacaulino promoveu adequação do solo suficiente para o seu uso em BTC's.

Nota-se também que a absorção durante o ensaio de durabilidade foi superior ao valor obtido por imersão, entretanto, ambos os valores estão dentro do limite máximo estipulado pela NBR 10834 (ABNT, 2013) de 20% e que os valores de resistência à compressão não foram afetados pelo teste.

3 - CONCLUSÕES

Considerando que o potencial erosivo da chuva é medido em função da energia cinética, o ensaio proposto mostrou-se eficiente em simular a energia cinética de chuvas incidentes em vedações externas. A metodologia proposta procurou se adequar aos dados de precipitação, velocidade do vento e chuvas dirigidas em Portugal, sendo que, para que seja utilizada em outro local há a necessidade da adaptação aos dados meteorológicos da região à qual se destina o produto que se deseja avaliar.

A secagem em estufa para determinação da massa seca pode ocasionar maior carbonatação, principalmente em produtos de cimento Portland, devendo todas as amostras (ensaiadas ou não) permanecer em estufa por igual período de tempo. Os baixos valores de perda de massa resultante da exposição ao ensaio de simulação de chuvas demonstraram que, para o estudo de durabilidade de concretos expostos à ação de chuvas, a erodibilidade, associada ao ensaio de chuva dirigida utilizado, não pode ser considerada como parâmetro de resposta.

Os resultados de desgaste por erosão em blocos de solo estabilizado com metacaulino utilizando-se a metodologia de ensaio proposta foram similares aos publicados por Silva *et al.* (2013) para blocos de igual solo estabilizado com cinzas volantes, porém, utilizando a metodologia proposta pelas SNZ (*Standards New Zealand*). Para melhor validação do ensaio proposto, sugere-se que blocos com a mesma composição sejam testados com metodologias de ensaio diferentes e que, se possível, os resultados sejam comparados aos encontrados por exposição natural.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (248888/2013-7) e à cooperação de todos os integrantes do Laboratório de Materiais de Construção da Universidade do Minho, onde foi realizado todo o trabalho experimental.

REFERÊNCIAS

- ABNT - (2013) Edificações habitacionais - Desempenho – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVE. NBR 15575-4. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT - (2008) Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos. NBR 6136. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT - (2013) Bloco de solo-cimento sem função estrutural — Requisitos. NBR 10834. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABCP - (1980) Dosagem das misturas de solo-cimento: normas de dosagem e métodos de ensaio. Associação Brasileira de Cimento Portland. Publicações ABCP, São Paulo.
- BIS - (1982) Specification for soil based blocks used in general building construction. IS 1725. Indian Bureau of Indian Standards.
- Blocken B., Carmeliet J. (2006) On the accuracy of wind-driven rain measurements on buildings. *Building and Environment*, 41(16), pp. 1798-1810.
- Blocken B., Dezsö G., Beek J., Carmeliet J. (2010) Comparison of calculation models for wind-driven rain deposition on building facades. *Atmospheric Environment*, 44, pp. 1714-1725.
- CEN - (1990) Methods of test for mortar for masonry – Part 15: Determination of driving rain resistance of rendering mortars. PrEN 1015-15. European Committee for Standardization, Brussels.
- CEN –(2011) Specifications for masonry units. EN 771. European Committee for Standardization, Brussels.
- Cid-Falceto J, Mazarron F.R., Cañas I. (2012) Assessment of compressed earth blocks made in Spain: international durability tests. *Construction and Buildings Materials*, 37, pp. 738-745.
- Dad M. (1985) The use of Cement Stabilized Soil for low cost housing in developing countries. PhD Thesis, University of Newcastle Upon Tyne.
- Dunkerley D. (2008) Rain event properties in nature and in rainfall simulation experiments: a comparative review with recommendations for increasingly systematic study and reporting. *Hydrological Processes*, 22, pp. 4415-4435.
- Foster G.R., McCool D.K., Renard K.G., Moldenhauer W.C. (1981) Conversion of the universal soil loss equation to SI units. *Journal of Soil and Water Conservation*, 36, PP,355-359
- Giongo M., Paradatz I.J. (2011) Lambertz R. Determinação da exposição à chuva dirigida em Florianópolis, SC: índices de chuva dirigida e métodos semiempíricos. *Ambiente Construído*, 11(1), pp. 7-23.

- Heathcote, K.A. (1995) Durability of earth wall buildings. *Construction and building materials*, 9(3), pp. 185-189.
- John V.M., Sato N.M.N. (2006) Durabilidade de componentes da construção. In: *Construção e Meio Ambiente*. Editores: Miguel Aloysio Sattler e Fernando Oscar Ruttkay Pereira. ANTAC, Coleção Habitare, 7, pp. 20-57, Porto Alegre.
- Lima M.G., Morelli F. (2005) Mapa Brasileiro de Chuva Dirigida: algumas considerações. In: *International Symposium on Mortars Technology 1*. Florianópolis, SC.
- Melo Junior C.M., Carasek H. (2014) Relationship between the deterioration of multi-story buildings facades and the driving rain. *Revista de la construcción*, 13(1), pp. 64-73.
- Middleton G. (1987) Bulletin 5. Earth Wall Construction. In: 1992 rbSLM, editor. NorthRyde (Australia): CSIRO Division of Building, Construction and Engineering.
- Montebeller C.A., Carvalho D.F., Alves Sobrinho, T., Nunes A.C.S., Rubio E. (2001) Avaliação hidráulica de um simulador de chuvas pendular. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 5(1), pp. 1-5.
- Narula, P., Sarkar, K., Azad, S. (2017). Driving Rain Indices for India at 1°x1° gridded scale. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 161, DOI: 10.1016/j.jweia.2016.12.005, pp. 1-8.
- Ngala V.T., Page C.L. (1997) Effects of carbonation on pore structure and diffusional properties of hydrated cement pastes" *Cement and Concrete Research*, 27 (7), pp. 995-1007.
- Ogunye F.O., Boussabaine H. (2002) Development of a rainfall test rig as an aid in soil block weathering assessment. *Construction and Building Materials*, 16, pp. 173-180
- Ogunye F.O., Boussabaine H. (2002) Diagnosis of assessment methods for weather ability of stabilized compressed soil blocks. *Construction and Buildings Materials*, 16, pp. 163-172.
- Ola S.A., Mbata A. (1990) Durability of soil-cement for building purpose – Rain erosion resistance test. *Construction and Building Materials*, 4(4), pp. 182-187.
- Rezende M.L.S., Nascimento J.W.B., Neves G.A., Ferreira H.C. The effect of metakaolin on the durability of concrete hollow blocks used in masonry: evaluation of degradation caused by driving rain. *REM: Revista Escola de Minas*, 68(1), pp. 21-27 (2015).
- Rezende, M.L.S., CAMões, A., Eires, R., Jesus, C. (2016). Desenvolvimento e avaliação de um simulador de chuvas para teste acelerado de degradação. *Revista de Engenharia Civil UMinho*, 53, pp.17-28
- Rydock P.J. (2007) A framework for using a present weather observation method to calculate a driving rain wall factor at any location. *Building and Environment*, 42, pp. 1229-1235.
- Silva R.A., Oliveira D.F., Miranda T., Cristelo N., Escobar M.C., Soares E. (2013) Rammed earth construction with granitic residual soils: The case study of northern Portugal. *Construction and Buildings Materials*, 47, pp. 181-191.
- SLSI - (2009) Specification for compressed stabilized earth blocks. Part 2: Test Methods. SLS 1382-2. Sri Lanka Standards Institution.
- SNZ. Materials and workmanship for earth buildings. NZS 4298. Standards New Zealand (1998).
- IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera. Normais Climatológicas (1971-2000). Disponível em: <https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/>
- WMO - World Meteorological Organization - Undata. Disponível em <http://data.un.org/Data.aspx?d=CLINO&f=ElementCode%3a39>
- Spraying Systems Co.® Referências Técnicas. Disponível em: http://www.spray.com/cat70pt/cat70ptpdf/ssco_cat70pt_a.pdf



TEST&E 2019

Monitorizar e Preservar

2º Congresso de Ensaios e Experimentação
em Engenharia Civil

19-21 FEVEREIRO 2019
PORTO · PORTUGAL

isep Instituto Superior de
Engenharia do Porto

P.PORTO



ATAS DO 2º CONGRESSO

DE ENSAIOS E EXPERIMENTAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



TEST&E 2019

Monitorizar e Preservar

2º Congresso de Ensaios e Experimentação
em Engenharia Civil

ATAS DO 2º CONGRESSO

de

Ensaios e Experimentação em Engenharia Civil

Monitorizar e Preservar

Instituto Superior de Engenharia do Porto
19-21 fevereiro 2019 | Porto | Portugal

Editores

José Neves
Diogo Ribeiro
Álvaro Ribeiro

Organização



Aviso Legal

A qualidade científica e os conteúdos das comunicações são da inteira responsabilidade dos respetivos autores. O editor não aceita qualquer responsabilidade pela informação contida nas comunicações inseridas na presente publicação. Nos termos legais em vigor, é expressamente proibida a reprodução total ou parcial desta publicação no seu todo ou em parte, não podendo ser reproduzida ou transmitida por qualquer outra forma ou processo eletrónico, mecânico ou outros, incluindo cópia, sem autorização expressa do editor. A escrita segundo o novo acordo ortográfico foi opção livre dos autores.

Ficha Técnica

Título: Atas do 2.º Congresso de Ensaios e Experimentação em Engenharia Civil

Editores: José Neves, Diogo Ribeiro, Álvaro Ribeiro

Conceção editorial e gráfica: José Neves

Autores: vários

Copyright © RELACRE - Associação de Laboratórios Acreditados em Portugal

Estrada do Paço do Lumiar

Campus do Lumiar – Edifício D, 1º Andar

1649-038 Lisboa, Portugal

Telefone: +351 213 139 840

E-mail: geral@relacre.pt

Website: <http://www.relacre.pt>

Suporte: eletrónico

Formato: PDF

Data de publicação: Julho de 2019

ISBN: 978-972-8574-49-9

DOI: 10.5281/zenodo.3355354

<https://doi.org/10.5281/zenodo.3355354>

Website do congresso: <https://www2.isep.ipp.pt/teste2019/>

ÍNDICE

| | |
|--|------|
| PREFÁCIO <i>José Neves, Digo Ribeiro, Álvaro Ribeiro</i> | XI |
| ORGANIZAÇÃO | XIII |
| APOIOS E EXPOSITORES | XV |
| Tema 1 | |
| REABILITAÇÃO DO PATRIMÓNIO | |
| METODOLOGIA PARA A CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DE EDIFÍCIOS HISTÓRICOS DE PEDRA UTILIZANDO ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS <i>Carlos Chastre, Marco Ludovico Marques</i> | 3 |
| ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE PAREDES DE ALVENARIA E PAVIMENTOS DE MADEIRA DO CENTRO HISTÓRICO DE VISEU <i>João Negrão, Romeu Vicente, Tiago Ferreira, Ricardo Almeida, José Mendes da Silva</i> | 15 |
| ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS PARA A INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO DE EDIFÍCIOS HISTÓRICOS DE ALVENARIA DE PEDRA <i>Carlos Chastre, Marco Ludovico Marques, Hugo Biscaia</i> | 25 |
| AVALIAÇÃO ESTRUTURAL PELO MÉTODO NÃO-DESTRUTIVO EM EDIFÍCIO DE CONCRETO ARMADO DO PATRIMÓNIO HISTÓRICO NA REGIÃO LITORÂNEA NO CEARÁ/BRASIL AVALIAÇÃO <i>Lia Cavalcante, Moacir Rodrigues, Larissa Mota, David Gomes, João Medeiros, Maria Silva, João Fernandes, Esequiel Mesquita</i> | 37 |
| AVALIAÇÃO DO TEOR DE ÁGUA NA EXTREMIDADE DE UMA VIGA DE MADEIRA EM CONTACTO COM ALVENARIA HÚMIDA <i>Maxime Verbist, Jorge Branco, João Parracha, Lina Nunes</i> | 49 |
| ENSAIOS DE TRAÇÃO EM OBRA PARA SISTEMAS DE ANCORAGEM EM BETÃO E ALVENARIA <i>Bárbara Campelo, Gonçalo Carvalho</i> | 61 |
| COMPORTAMENTO A CARGAS VERTICAIS DE ASNAS EXISTENTES DE MADEIRA EM TESOURA <i>Alexandre Costa, Carlos Rodrigues, Jorge Fonseca, Aníbal Costa</i> | 69 |
| Tema 2 | |
| NOVOS MATERIAIS | |
| ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO BETÃO REFORÇADO COM FIBRAS <i>Inês Moreira, Ana Gomes, Maria da Luz Garcia, Diogo Araújo</i> | 83 |
| COMPORTAMENTO DO BETÃO REFORÇADO COM FIBRAS - CAPACIDADE DE ABSORÇÃO DE ENERGIA COM FIBRAS DE AÇO E POLIMÉRICAS <i>Ana Gomes, Inês Moreira, Maria da Luz Garcia, Diogo Araújo</i> | 95 |
| MEDIÇÃO DO COEFICIENTE DE DILATAÇÃO TÉRMICA DO BETÃO NAS PRIMEIRAS IDADES: UM NOVO MÉTODO EXPERIMENTAL BASEADO NO AQUECIMENTO/ARREFECIMENTO INTERNO <i>Behzad Zahabizadeh, Ali Edalat-Behbahani, José Gomes, José Granja, Rui Faria, Miguel Azenha</i> | 107 |
| DESENVOLVIMENTO DE APARATO PARA MEDIÇÃO DE RESISTIVIDADE ELÉTRICA EM PASTAS DE CONCRETO <i>Carlos Calado, Aires Camões, Fabrizio Elias, Tâmara Dalpane</i> | 119 |

| | |
|---|-----|
| CARACTERIZAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA RELAÇÃO ÁGUA / CIMENTO NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO PERMEAVÉL <i>George Gomes, João Medeiros, Matheus Souza, Felipe Cavalcante, Lia Cavalcante, Francisco Rodrigues, Emanuel Araújo, Loyane Xavier, Esequiel Mesquita</i> | 131 |
| AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE ARGAMASSAS COM CINZAS DE CASCA DE AMÊNDOA <i>Maria da Luz Garcia</i> | 141 |
| SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE AREIA POR PET EM ARGAMASSAS <i>Maria da Luz Garcia, Vanessa Dias, Vítor Silva</i> | 149 |
| CARACTERIZAÇÃO DA RESISTÊNCIA DA SUPERFÍCIE DE ETICS À ÁGUA, GRAFFITI E BIOCOLONIZAÇÃO <i>Inês Flores-Colen, Rosário Veiga, Sofia Malanho</i> | 161 |
| ESTUDO EXPERIMENTAL SOBRE OS EFEITOS DA MODIFICAÇÃO COM NANOARGILA NAS PROPRIEDADES DE UMA MISTURA SMA <i>João Crucho, José Neves, Silvino Capitão, Luís Picado-Santos</i> | 171 |
| Tema 3 HIDRÁULICA, AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS | |
| MODELOS TRIDIMENSIONAIS DE SUPERFÍCIE DE QUEBRA-MARES OBTIDOS ATRAVÉS DE VANT. DO PROTÓTIPO PARA O LABORATÓRIO <i>Rute Lemos, Maria Henriques, Rui Capitão, Conceição Fortes</i> | 183 |
| ESTUDOS RECENTES ENVOLVENDO MODELAÇÃO FÍSICA E NUMÉRICA APLICADA À ENGENHARIA COSTEIRA. MARÍTIMA E OFFSHORE <i>Francisco Taveira-Pinto, Paulo Rosa-Santos, Tiago Fazeres-Ferradosa</i> | 195 |
| AVANÇOS RECENTES NA MONITORIZAÇÃO DE OBRAS MARÍTIMAS EM PORTUGAL <i>Rui Capitão, Rute Lemos, Conceição Fortes, Maria Henriques</i> | 207 |
| ENSAIOS DE AGITAÇÃO NO PORTO DE LEIXÕES EM CENÁRIO DE ALTERAÇÃO CLIMÁTICA <i>Miguel Silva, Conceição Fortes, Rute Lemos, Graça Neves, Carlos Caeiro</i> | 221 |
| EXTENSÃO DO MOLHE NORTE DO PORTO DE LEIXÕES: MODELAÇÃO FÍSICA DE UM NAVIO AMARRADO NO POSTO A <i>Liliana Pinheiro, Francisco Pedro, Hossam Abdelwahab, Conceição Fortes, João Santos, Rui Capitão</i> | 233 |
| ESTUDO EM MODELO REDUZIDO DO ESPRAIAMENTO, GALGAMENTO E DANO EM QUEBRA-MARES DE TALUDE <i>João Santos, Francisco Pedro, Mário Coimbra, Andrés Figuero, Conceição Fortes, José Sande, Moritz Körner, Rute Lemos, Antje Bornschein, Julius Weimper, Jeroen van den Bos, Bastian Dost, Rita Carvalho, Alberto Alvarells, Enrique Peña, Reinhard Pohl, Teresa Reis</i> | 245 |
| TÉCNICAS DE ANÁLISE E PÓS-PROCESSAMENTO DE IMAGEM APLICADA À EXTRAÇÃO DE DADOS LOCAIS DE ENSAIOS DE ROTURA DE BARRAGENS <i>Sílvia Amaral, Teresa Alvarez, Maria Teresa Viseu, Rui Ferreira</i> | 257 |
| ANÁLISE DE SENSIBILIDADE À GEOMETRIA DO CANAL PILOTO NA ROTURA DE BARRAGENS POR GALGAMENTO <i>Teresa Alvarez, Solange Mendes, Sílvia Amaral, Maria Teresa Viseu, Rui Ferreira</i> | 269 |
| DETERMINAÇÃO DOS CAMPOS DE VELOCIDADES DE ESCOAMENTOS BIFÁSICOS USANDO PIV-PTV <i>Rui Aleixo, Elsa Carvalho, Maria Manuela Lima, Rui Ferreira</i> | 279 |

Tema 4

GEOTECNIA E TRANSPORTES

| | |
|---|-----|
| COMPARAÇÃO DA NORMALIZAÇÃO PORTUGUESA EM VIGOR COM A NOVA NORMALIZAÇÃO EUROPEIA PARA CARATERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DE SOLOS - ESTUDO LABORATORIAL <i>Carla Martins, Eduardo Neves, Adriano Teixeira, Manuela Carvalho</i> | 291 |
| TRATAMENTO DE SOLOS COM CAL <i>João Afonso, Sara Cardoso, Nuno Pinto</i> | 301 |
| ANÁLISE COMPARATIVA DE METODOLOGIAS DE COMPACTAÇÃO DE SOLO-CIMENTO PELO MÉTODO SUL-AFRICANO <i>Joana Machado, Ana Cristina Freire, Simona Fontul, Vitor Antunes</i> | 313 |
| AValiação EXPERIMENTAL DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DE MISTURAS BETUMINOSAS <i>Rui, Micaelo, José Neves, Mauro Antunes, Daniel Aelenei</i> | 325 |
| MONITORIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO DINÂMICO DE ZONAS DE TRANSIÇÃO DA VIA FÉRREA <i>Cristina Alves Ribeiro, Rui Calçada</i> | 335 |
| SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO DA VIA PARA PESAGEM DE MATERIAL CIRCULANTE EM MOVIMENTO <i>Araliya Mosleh, Andreia Meixedo, Pedro Alves Costa, Rui Calçada</i> | 347 |
| CALIBRAÇÃO EXPERIMENTAL DE UM MODELO DINÂMICO DE UMA PONTE FERROVIÁRIA <i>Daniel Vaz, Gonçalo Ferreira, Diogo Ribeiro, Rui Calçada</i> | 357 |
| AValiação DO COMPORTAMENTO DINÂMICO DA PONTE FERROVIÁRIA SOBRE O SADO <i>Andreia Meixedo, Diogo Ribeiro, João Santos, Rui Calçada</i> | 369 |
| ANÁLISE EXPERIMENTAL DAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DOS COMPONENTES E MATERIAIS DE PONTES EM ARCO DE ALVENARIA DE PEDRA <i>Rúben Silva, Cristina Costa, António Arêde, António Topa Gomes, José Menezes</i> | 379 |
| ENSAIOS EXPERIMENTAIS EM PONTES FERROVIÁRIAS COM VIÉS DA REDE ESPANHOLA DE ALTA VELOCIDADE <i>Carlos Velarde, Diogo Ribeiro, Khanh Nguyen, Jaime García-Palacios, Ván Díaz, José Goicolea</i> | 389 |
| VALIDAÇÃO DE UM MODELO NUMÉRICO DA PONTE DAS VÁRZEAS COM BASE NUM ENSAIO DINÂMICO <i>Cláudio Horas, Diogo Ribeiro, Abílio de Jesus, Rui Calçada</i> | 401 |
| VALIDAÇÃO DE UM MODELO NUMÉRICO DA PONTE DA ARRÁBIDA COM BASE EM ENSAIO DINÂMICO <i>Jorge Leite, Ricardo Santos, Diogo Ribeiro, Rui Calçada</i> | 409 |
| APLICAÇÃO DA MODELAÇÃO 3D À REABILITAÇÃO E INSPEÇÃO DE VIA FÉRREA COM VISTA À IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA BIM <i>Manuel Vilela, José Neves, Zita Sampaio</i> | 417 |

Tema 5

INOVAÇÃO E TENDÊNCIAS FUTURAS

| | |
|--|-----|
| ENSAIOS DE RESISTÊNCIA AO FOGO DE PAREDES NÃO PORTANTES <i>Paulo Piloto, Mohamed Khetata, Ana Gavilán</i> | 429 |
| MODELO DE CÁLCULO AVANÇADO CALIBRADO COM ENSAIO EXPERIMENTAL DE LAJES EM MADEIRA EXPOSTAS AO FOGO <i>Elza Fonseca, Paulo Piloto</i> | 441 |

| | |
|---|-----|
| EFEITO DA TEMPERATURA EM LIGAÇÕES COLADAS ENTRE LAMINADOS DE CFRP E CHAPAS METÁLICAS <i>Hugo Biscaia, Manuel Silva, Pedro Ribeiro</i> | 449 |
| MONITORIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO DOS OCUPANTES EM EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS – UM CASO DE ESTUDO <i>Pedro Pereira, Nuno Ramos</i> | 461 |
| PRINCIPAIS DESAFIOS E DESENVOLVIMENTOS EM ENSAIOS PARA FORA-DO-PLANO DE PAREDES DE ENCHIMENTO À ESCALA REAL <i>António Arêde, André Furtado, José Melo, Nuno Pinto, Hugo Rodrigues, Humberto Varum</i> | 473 |
| LIGAÇÕES COLADAS ENTRE BARRAS DE AÇO INOX EXTERIORMENTE COLADAS A ELEMENTOS DE BETÃO: ANÁLISE TEÓRICA VS. EXPERIMENTAL <i>Hugo Biscaia, Noel Franco, Carlos Chastre</i> | 485 |
| MONITORAMENTO NÃO-DESTRUTIVO DA EVOLUÇÃO DO POTENCIAL DE CORROSÃO EM ESTRUTURA STEEL FRAME <i>Lia Cavalcante, Matheus Silva, Moacir Rodrigues, Vinicius Sales, João Medeiros, Emanuel Araújo, Ana Barroso, Tallis Rubens, Esequiel Mesquita</i> | 499 |
| ANÁLISE DA DELAMINAÇÃO E SEUS EFEITOS EM COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIMÉRICA <i>Pedro Emanuel Silva, João Emílio Matos, Luís Miguel Durão</i> | 505 |
| AValiação IN-SITU DO DESEMPENHO DE REVESTIMENTOS COM INCLUSÃO DE PIGMENTOS REFLETANTES <i>Nuno Ramos, Joana Maia, Ricardo Almeida, Bruno Carneiro</i> | 517 |
| PROJETO ELEVAR – ESTUDO LOCALIZADO DE ESTRUTURAS VERTICAIS COM AERONAVES ROBOTIZADAS. UMA CONTRIBUIÇÃO PARA AS INSPEÇÕES VISUAIS ASSISTIDAS DE OBRAS DE ENGENHARIA <i>Maria João Henriques, Tiago Pinto, João Andrade, Duarte Dornellas, Jorge Gonçalves, Ricardo Ribeiro, Alexandre Bernardino, José Santos-Victor, António Lopes Batista</i> | 525 |
| MONITORAMENTO DE OBRAS CIVIS UTILIZANDO A PLATAFORMA ARDUINO E SENSORES DE BAIXO CUSTO <i>Fabio Ioveni Lavandoscki, Douglas Cavalcante, Henrique Puhlmann, Icaro Gonçalves, Diego Lapolli Bressan, Lucas Fernandes</i> | 535 |
| MONITORAMENTO REMOTO DE FISSURAS EM SALA COM PAREDES CONSTITUÍDAS DE ALVENARIA <i>Fabio Ioveni Lavandoscki, Diego Lapolli Bressan</i> | 547 |
| MONITORAMENTO DAS CARGAS EM ESCORAS TELESCÓPICAS UTILIZADAS NA INSTALAÇÃO DE VIGA-GUIA CURVA PRÉ-MOLDADA <i>Ciro José Ribeiro Villela Araujo, Diego Lapolli Bressan</i> | 553 |
| Tema 6 | |
| ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS | |
| DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DE ARGAMASSAS ATRAVÉS DE MÉTODOS DINÂMICOS <i>Ana Isabel Marques, João Morais, Carlos Santos, Paulo Morais, Dora Santos, Maria do Rosário Veiga</i> | 565 |
| VARIAÇÕES NO MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO DE ARGAMASSAS OCASIONADOS PELO EFEITO DA UMIDADE <i>João Medeiros, Felipe Cavalcante, Francisco Rodrigues, George Gomes, Matheus Silva, André Alves, Esequiel Mesquita</i> | 577 |
| UTILIZAÇÃO DE ULTRASONOGRAFIA PARA AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE MADEIRA SUBMETIDA A AUMENTOS DE TEMPERATURA <i>Luiz António Branco, Eduardo Chahud, António Carlos Viana Silva, Romeu Rodrigues Pereira</i> | 587 |

| | |
|---|-----|
| RASTREABILIDADE METROLÓGICA DE EXTENSÓMETROS DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA UTILIZADOS NA MONITORIZAÇÃO DE BARRAGENS DE BETÃO <i>Luís Lages Martins, Juan Mata, Carlos Serra, António Tavares de Castro</i> | 585 |
| CALIBRAÇÃO DE SONDAS DE TEMPERATURA USADAS NA MEDIÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE SOLOS <i>Rafaela Cardoso, Mariana Sousa, Ana Vieira</i> | 605 |
| AValiação NUMÉRICA E EXPERIMENTAL DA CARGA ADMISSÍVEL EM VIGAS COMPOSTAS PARA MONOCARRIS DE SISTEMAS DE ELEVAÇÃO <i>Hugo Gouveia, Fernando Ferreira, Jorge Justo</i> | 615 |
| PROPOSTA DE ENSAIO ACELERADO DE EXPOSIÇÃO A CHUVAS DIRIGIDAS <i>Maria Luiza Souza Rezende, Aires Camões, Rute Eires, Carlos Jesus, Edgar Soares</i> | 625 |
| UTILIZAÇÃO DE ENSAIOS TENDENCIALMENTE NÃO-DESTRUTIVOS PARA CARACTERIZAÇÃO DE UMA LAJE TÉRREA INDUSTRIAL <i>João Guedes, Alexandre Costa, Bruno Quelhas, Tiago Ilharco, Valter Lopes, Joana Oliveira</i> | 635 |
| Tema 7 | |
| VIBRAÇÕES E HIGROTÉRMICA | |
| VIBRAÇÕES DO SISTEMA VIA-MACIÇO NUM TROÇO DA LINHA DO NORTE <i>Nuno Correia dos Santos, Aires Colaço, Pedro Alves Costa, Rui Calçada</i> | 647 |
| VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL DE UM MODELO NUMÉRICO PARA PREVISÃO DE VIBRAÇÕES INDUZIDAS EM EDIFÍCIOS POR TRÁFEGO FERROVIÁRIO EM TÚNEIS <i>Patrícia Lopes, Pedro Alves Costa, Jesus Fernández, António Silva Cardoso, Rui Calçada</i> | 659 |
| ENSAIOS DINÂMICOS DE VEÍCULOS FERROVIÁRIOS DE MERCADORIAS <i>Rúben Silva, Diogo Ribeiro, Cristina Costa, António Arêde, Rui Calçada</i> | 671 |
| MONITORAÇÃO EXPERIMENTAL E MODELAGEM NUMÉRICA DO COMPORTAMENTO DINÂMICO DE PASSARELAS DE PEDESTRES <i>Gilvan Lunz Debona, José Guilherme Silva</i> | 681 |
| CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA DE SOLUÇÕES TRADICIONAIS DE PAREDES DO CENTRO HISTÓRICO DE VISEU <i>Ricardo Almeida, Romeu Vicente, Eduardo Roque, Tiago Ferreira, João Negrão, José Mendes da Silva</i> | 693 |
| AValiação EXPERIMENTAL DOS EFEITOS DINÂMICOS INDUZIDOS PELO VENTO NA TORRE DE TELECOMUNICAÇÕES DO MONTE DA VIRGEM <i>Diogo Ribeiro, Jorge Leite, Nuno Pinto, Rui Calçada</i> | 703 |
| AValiação DA PERMEABILIDADE AO AR DE VÃOS ENVIDRAÇADOS ATRAVÉS DE ENSAIOS COM PORTA VENTILADORA <i>Nuno Ramos, Ricardo Almeida, Pedro Pereira</i> | 713 |
| ANÁLISES TEÓRICO E EXPERIMENTAL DE FREQUÊNCIAS NATURAIS DE VIGA ENGASTADA-LIVRE CONSIDERANDO OS MÉTODOS DE RESOLUÇÃO EXATA/ANALÍTICA E MATRICIAL <i>Diego Lapolli Bressan</i> | 725 |
| ÍNDICE DE AUTORES | 737 |
| APÊNDICE DE FOTOGRAFIAS | 739 |

PREFÁCIO

O 2º Congresso de Ensaios e Experimentação em Engenharia Civil – TEST&E 2019 – foi realizado de 19 a 21 de fevereiro de 2019 no Instituto Superior de Engenharia do Porto, numa organização conjunta da RELACRE (Associação de Laboratórios Acreditados de Portugal), do ISEP (Instituto Superior de Engenharia do Porto) e do IST (Instituto Superior Técnico).

Este congresso pretendeu proporcionar um amplo fórum de divulgação e partilha de conhecimentos e experiências entre os seus participantes das áreas da investigação e ensino, indústria e serviços, sob o tema principal: Monitorizar e Preservar.

No atual ciclo de atividade com enfoque na preservação e valorização do património construído, este congresso pretendeu dar a devida importância à monitorização como ferramenta de apoio imprescindível à gestão desses mesmos ativos, com a finalidade última da sua melhor preservação no ciclo de vida. A monitorização assume ainda maior relevância no âmbito da utilização de novos materiais ou processos construtivos, sobretudo na reabilitação ou reconstrução, onde interessa aprofundar conhecimentos relativos ao seu comportamento em serviço. A implementação das mais variadas técnicas de monitorização, usufruindo com vantagem das tecnologias de informação e comunicação da atualidade, baseia-se em grande medida em ensaios e experimentação que estão em permanente evolução.

Neste livro são apresentados os 68 artigos de 204 autores, de acordo com os seguintes temas:

1. Reabilitação do património
2. Novos materiais
3. Hidráulica, ambiente e recursos naturais
4. Geotecnia e transportes
5. Inovação e tendências futuras
6. Ensaios não destrutivos
7. Vibrações e higrotérmica

Os editores expressam os seus maiores agradecimentos: aos autores, pela confiança na divulgação dos seus trabalhos neste congresso; à Comissão Científica, pela contribuição dada à qualidade técnica e científica dos artigos; à Comissão Organizadora Local e à Comissão Executiva, pela garantia de concretização do congresso com todo o sucesso. Um agradecimento geral é dirigido a todos os que direta ou indiretamente contribuíram para a excelência da qualidade deste congresso.

Lisboa, julho de 2019.

Os editores

José Neves (CERIS, IST, ULIsboa)

Diogo Ribeiro (ISEP, CONSTRUCT)

Álvaro Ribeiro (LNEC, RELACRE)

ORGANIZAÇÃO

Comissão Organizadora

Álvaro Ribeiro (LNEC, RELACRE)
Diogo Ribeiro (ISEP, CONSTRUCT)
José Neves (IST, ULisboa)

Comissão Organizadora Local

Alexandre Costa (ISEP, CONSTRUCT)
Eduardo Vivas (H2OPT)
Patrícia Lopes (ISEP, CONSTRUCT)
Ricardo Santos (ISEP, CONSTRUCT)
Rui Camposinhos (ISEP, CONSTRUCT)
Tiago Abreu (ISEP, CONSTRUCT)

Comissão Executiva

Ana Duarte (RELACRE)
Cláudia Silva (RELACRE)
Horácio Macedo (ISEP)
Joel Vilas Boas (ISEP)
Jorge Moutinho (ISEP)
Maria João Conceição (RELACRE)

Comissão Científica

Aires Camões (UMinho)
Aldina Santiago (FCTUC)
Alexandre Cury (UFJF, Brasil)
Ana Cristina Freire (LNEC)
Ana Velosa (UAveiro)
António Arêde (FEUP)
António Vilhena (LNEC)
António Tadeu (FCTUC, ITECONS)
Armando Camelo (EDP, ISEP)
Baldomiro Xavier (Teixeira Duarte)
Carla Sousa (Mota-Engil)
Carlos Chastre (FCT/UNL)
Cristina Alves Ribeiro (Senqual)
Cristina Costa (IPTomar)
Cristina Silva (IPT, Brasil)
Diogo Ribeiro (ISEP)
Eduardo Neves (CICCOPN)
Elsa Caetano (FEUP)
Francisco Araújo (Euromodal)
Francisco Taveira Pinto (FEUP)
Hugo Biscaia (FCT, UNova)
Hugo Costa (ISEC)
Hugo Patrício (IP)
Hugo Rodrigues (IPLeiria)
Inês Flores Colen (IST)
Isabel Torres (FCTUC)

João Alfredo Santos (ISEL)
João André (APEB)
Jorge Branco (UMinho)
José Neves (IST, ULisboa)
José Santos (UMadeira)
José Varandas (FCT, UNova)
Leandro Trautwein (UNICAMP, Brasil)
Luís Evangelista (ISEL)
Luís Martins (LNEC)
Luís Oliveira Santos (LNEC)
Luis Picado Santos (IST)
Luiz António Branco (UFMG, Brasil)
Miguel Azenha (UMinho)
Nuno Cristelo (UTAD)
Nuno Ramos (FEUP)
Paulina Faria (FCT, UNova)
Paulo Amaral (LREC, Açores)
Rafaela Cardoso (IST)
Romeu Vicente (UAveiro)
Rui Calçada (FEUP)
Rui Camposinhos (ISEP)
Rui Ferreira (IST)
Rui Micaelo (FCT, UNova)
Silvino Capitão (ISEC)
Victor Cavaleiro (UBI)

APOIOS E EXPOSITORES

Patrocínio GOLD



Patrocínios SILVER



Expositores



Apoios institucionais



Apoios à divulgação



Tema 1

REABILITAÇÃO DO PATRIMÓNIO

ÍNDICE DE AUTORES

- ABDELWAHAB, Hossam, **233**
AELENEI, Daniel, **325**
AFONSO, João, **301**
ALEIXO, Rui, **279**
ALMEIDA, Ricardo, **15, 517, 693, 713**
ALVARELLOS, Alberto, **245**
ALVAREZ, Teresa, **257, 269**
ALVES, André, **577**
AMARAL, Sílvia, **257, 269**
ANDRADE, João, **525**
ANTUNES, Mauro, **325**
ANTUNES, Vitor, **313**
ARAUJO, Ciro, **553**
ARAÚJO, Diogo, **83, 95**
ARAÚJO, Emanuel, **131, 499**
ARÊDE, António, **379, 473, 671**
AZENHA, Miguel, **107**
- BARROSO, Ana, **499**
BATISTA, António Lopes, **525**
BERNARDINO, Alexandre, **525**
BISCAIA, Hugo, **25, 449, 485**
BORNSCHEIN, Antje, **245**
BRANCO, Jorge, **49**
BRANCO, Luiz António, **587**
BRESSAN, Diego Lapolli, **535, 547, 553**
- CAEIRO, Carlos, **221**
CALADO, Carlos, **119**
CALÇADA, Rui, **335, 347, 357, 369, 401, 409, 647, 659, 671, 703**
CAMÕES, Aires, **119, 625**
CAMPELO, Bárbara, **61**
CARDOSO, António Silva, **659**
CARDOSO, Rafaela, **605**
CARDOSO, Sara, **301**
CAPITÃO, Rui, **183, 207, 233,**
CAPITÃO, Silvino, **171**
CARNEIRO, Bruno, **517**
CARVALHO, Elsa, **279**
CARVALHO, Gonçalo, **61**
CARVALHO, Manuela, **291**
CARVALHO, Rita, **245**
CASTRO, António Tavares, **585**
CAVALCANTE, Douglas, **535**
CAVALCANTE, Felipe, **131, 577**
CAVALCANTE, Lia, **37, 131, 499**
CHASTRE, Carlos, **3, 25, 485**
CHAHUD, Eduardo, **587**
COIMBRA, Mário, **245**
COLAÇO, Aires, **647**
COSTA, Alexandre, **69, 635**
COSTA, Aníbal, **69**
COSTA, Cristina, **379, 671**
COSTA, Pedro Alves, **347, 647, 659**
CRUCHO, João, **171**
- DALPANE, Tâmara, **119**
DEBONA, Gilvan Lunz, **681**
DÍAZ, Ván, **389**
DIAS, Vanessa, **149**
- DORNELLAS, Duarte, **525**
DOST, Bastian, **245**
DURÃO, Luís Miguel, **505**
- EDALAT-BEHBAHANI, Ali, **107**
EIRES, Rute, **625**
ELIAS, Fabrizio, **119**
- FARIA, Rui, **107**
FAZERES-FERRADOSA, Tiago, **195**
FERNANDES, João, **37**
FERNANDES, Lucas, **535**
FERNÁNDEZ, Jesus, **659**
FERREIRA, Fernando, **615**
FERREIRA, Gonçalo, **357**
FERREIRA, Rui, **257, 269, 279**
FERREIRA, Tiago, **15, 693**
FIGUERO, Andrés, **245**
FLORES-COLEN, Inês, **161**
FONSECA, Elza, **441**
FONSECA, Jorge, **69**
FONTUL, Simona, **313**
FORTES, Conceição, **183, 207, 221, 233, 245**
FRANCO, Noel, **485**
FREIRE, Ana Cristina, **313**
FURTADO, André, **473**
- GARCIA, Maria da Luz, **83, 95, 141, 149**
GARCÍA-PALACIOS, Jaime, **389**
GAVILÁN, Ana, **429**
GOICOLEA, José, **389**
GOMES, António Topa, **379**
GOMES, Ana, **83, 95**
GOMES, David, **37**
GOMES, George, **131, 577**
GOMES, José, **107**
GONÇALES, Icaro, **535**
GONÇALVES, Jorge, **525**
GOUVEIA, Hugo, **615**
GRANJA, José, **107**
GUEDES, João, **635**
- HENRIQUES, Maria, **183, 207, 525**
HORAS, Cláudio, **401**
- ILHARCO, Tiago, **635**
- JESUS, Abílio de, **401**
JESUS, Carlos, **625**
JUSTO, Jorge, **615**
- KHETATA, Mohamed, **429**
KÖRNER, Moritz, **245**
- LAVANDOSCKI, Fabio Ioveni, **535, 547**
LEITE, Jorge, **409, 703**
LEMONS, Rute, **183, 207, 221, 245**
LIMA, Maria Manuela, **279**
LOPES, Patrícia, **659**
LOPES, Valter, **635**

- MACHADO, Joana, **313**
MAIA, Joana, **517**
MALANHO, Sofia, **161**
MARQUES, Ana Isabel, **565**
MARQUES, Marco Ludovico, **3, 25**
MARTINS, Carla, **291**
MARTINS, Luís Lages, **585**
MATA, Juan, **585**
MATOS, João Emílio, **505**
MEDEIROS, João, **37, 131, 499, 577**
MEIXEDO, Andreia, **347, 369**
MELO, José, **473**
MENDES, Solange, **269**
MENEZES, José, **379**
MESQUITA, Esequiel, **37, 131, 499, 577**
MICAEL, Rui, **325**
MORAIS, João, **565**
MORAIS, Paulo, **565**
MOREIRA, Inês, **83, 95**
MOSLEH, Araliya, **347**
MOTA, Larissa, **37**
- NEGRÃO, João, **15, 693**
NEVES, Eduardo, **291**
NEVES, Graça, **221**
NEVES, José, **171, 325, 417**
NGUYEN, Khanh, **389**
NUNES, Lina, **49**
- OLIVEIRA, Joana, **635**
- PARRACHA, João, **49**
PEDRO, Francisco, **233, 245**
PEÑA, Enrique, **245**
PEREIRA, Pedro, **461, 713**
PEREIRA, Romeu Rodrigues, **587**
PICADO-SANTOS, Luís, **171**
PILOTO, Paulo, **429, 441**
PINHEIRO, Liliana, **233**
PINTO, Nuno, **301**
PINTO, Nuno, **473, 703**
PINTO, Tiago, **525**
POHL, Reinhard, **245**
PUHLMANN, Henrique, **535**
- QUELHAS, Bruno, **635**
- RAMOS, Nuno, **461, 517, 713**
REIS, Teresa, **245**
REZENDE, Maria Luíza Souza, **625**
RIBEIRO, Cristina Alves, **335**
RIBEIRO, Diogo, **357, 369, 389, 401, 409, 671, 703**
RIBEIRO, Pedro, **449**
- RIBEIRO, Ricardo, **525**
RODRIGUES, Carlos, **69**
RODRIGUES, Hugo, **473**
RODRIGUES, Moacir, **37, 499**
RODRIGUES, Francisco, **131, 577**
ROQUE, Eduardo, **693**
ROSA-SANTOS, Paulo, **195**
RUBENS, Tallis, **499**
- SALES, Vinicius, **499**
SAMPAIO, Zita, **417**
SANDE, José, **245**
SANTOS, Carlos, **565**
SANTOS, Dora, **565**
SANTOS, João, **233, 245**
SANTOS, João, **369**
SANTOS, Nuno Correia, **647**
SANTOS, Ricardo, **409**
SANTOS-VICTOR, José, **525**
SERRA, Carlos, **585**
SILVA, António Carlos Viana, **587**
SILVA, José Guilherme, **681**
SILVA, José Mendes, **15, 693**
SILVA, Manuel, **449**
SILVA, Maria, **37**
SILVA, Matheus, **499, 577**
SILVA, Miguel, **221**
SILVA, Pedro Emanuel, **505**
SILVA, Rúben, **379, 671**
SILVA, Vítor, **149**
SOARES, Edgar, **625**
SOUSA, Mariana, **605**
SOUZA, Matheus, **131**
- TAVEIRA-PINTO, Francisco, **195**
TEIXEIRA, Adriano, **291**
- VAZ, Daniel, **357**
VAN DEN BOS, Jeroen, **245**
VARUM, Humberto, **473**
VEIGA, Maria do Rosário, **161, 565**
VELARDE, Carlos, **389**
VERBIST, Maxime, **49**
VICENTE, Romeu, **15, 693**
VIEIRA, Ana, **605**
VILELA, Manuel, **417**
VISEU, Maria Teresa, **257, 269**
- WEIMPER, Julius, **245**
- XAVIER, Loyane, **131**
- ZAHABIZADEH, Behzad, **107**