



**1º SIMPÓSIO  
ENGENHARIA CIVIL**  
19.05.2021

# **LIVRO DE ATAS**



**1º SIMPÓSIO  
ENGENHARIA CIVIL**  
19.05.2021

## Editores

Diogo Ribeiro

Maria da Fátima Portela

Maria Rosário Oliveira

Ricardo Santos

Teresa Neto

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:** 1º Simpósio Engª, Civil (SEC2021) Livro de Atas  
**Publicação:** Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP-IPP)  
**Editores:** Diogo Ribeiro, Maria da Fátima Portela, Maria Rosário Oliveira, Ricardo Santos, Teresa Neto  
**Design:** ISEP - Gabinete de Design e Imagem  
**ISBN:** 978-989-54758-8-9

Porto, maio de 2021

ÍNDICE

PREFÁCIO 14

ORGANIZAÇÃO 16

APOIOS 20

TEMA 01  
ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS, AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS 22

TRANSIÇÕES URBANAS, UM CONTRIBUTO À DESCARBONIZAÇÃO  
A. Andriolli, L. Silva

DESAFIO PARA A ADAPTAÇÃO ÀS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NO DIMENSIONAMENTO DE PASSAGENS HIDRÁULICAS  
A. Sarmento, L. Fernandes, M. Pereira, L. Silva, P. Barreto

AFERIÇÃO DA COTA DE INUNDAÇÃO PLÚVIO-MARÍTIMA, NUM CENÁRIO DE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS, POSSÍVEIS MEDIDAS DE ATENUAÇÃO. O CASO DE ESTUDO DA MADALENA DO MAR.  
J. Gouveia, S. Lousada

TEMA 02  
APLICAÇÕES EM GEOTECNIA 32

ESTUDO DO CARREGAMENTO UNIAXIAL DA AREIA DE COIMBRA DE JUSANTE EM CONDIÇÕES DE DEFORMAÇÃO RADIAL NULA  
M. Fonseca, L. Santos, C. Rodrigues

CARACTERIZAÇÃO NO HCA DO COMPORTAMENTO DA AREIA DE HOSTUN  
R. Ramos, L. Santos, P. Coelho

TEMA 03  
CONSTRUÇÃO 4.0, DIGITALIZAÇÃO E METODOLOGIA BIM 36

APLICAÇÃO DE BIM 7D E REALIDADE AUMENTADA EM FACILITY MANAGEMENT  
A. Pestana

BIM COMO FERRAMENTA DE GESTÃO DA INFORMAÇÃO NAS AÇÕES DE INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO DE EDIFÍCIOS ANTIGOS  
C. Rangel, A. Guimarães, J. Poças Martins, A. Costa

BIM-BASED LCA OF SEISMIC STRENGTHENING SOLUTIONS FOR REINFORCED CONCRETE PRECAST BUILDINGS  
C. Raposo, F. Rodrigues, H. Rodrigues

|                                                                                                                                                                                          |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| GESTÃO DO PATRIMÓNIO EDIFICADO COM RECURSO AO BIM<br>E. Tavares                                                                                                                          |           |
| A APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DA METODOLOGIA LEAN NA DIREÇÃO DE UMA OBRA<br>J. Quelhas                                                                                                         |           |
| ANÁLISE DA COMPATIBILIDADE ENTRE PROJETOS DE ESPECIALIDADES COM RECURSO AO BIM<br>R. Simões, J. Hormigo                                                                                  |           |
| METODOLOGIA BIM APLICADA A GESTÃO DE ATIVOS<br>S. João, J. Hormigo, M.J. Falcão, P. Couto                                                                                                |           |
| APLICAÇÕES DE REALIDADE VIRTUAL EM COORDENAÇÃO DE PROJETO DE ENGENHARIA CIVIL<br>L. Sousa, D. Ribeiro, R. Gavina                                                                         |           |
| <b>TEMA 04</b><br><b>ESTRUTURAS, SEGURANÇA E ENGENHARIA SÍSMICA</b>                                                                                                                      | <b>54</b> |
| AVALIAÇÃO E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS NO CONTEXTO DA NP EN 1998-3:2017<br>B. Tomás, J. Estêvão                                                                                           |           |
| ESTUDO DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DA PONTE MILITAR<br>MABEY & JOHNSON – SOLUÇÕES PARA AUMENTAR A CAPACIDADE<br>DE CARGA E O COMPRIMENTO DE MONTAGEM<br>E. Osório, J. Pedro, P. Matias   |           |
| STRUCTURAL DESIGN OF TRANSFER STRUCTURE<br>G. Ribeiro, J. Almeida, P. Lobo                                                                                                               |           |
| AVALIAÇÃO SÍSMICA DE EDIFÍCIOS EXISTENTES SEGUNDO O EUROCÓDIGO 8 COM VISTA<br>À REABILITAÇÃO – SISTEMATIZAÇÃO DE PROCEDIMENTOS E APLICAÇÃO<br>L. Carvalho, A. Arêde, A. Furtado          |           |
| FUNDAÇÕES INDIRETAS DE PONTES MODULARES<br>– SOLUÇÕES DE EXECUÇÃO ACELERADA<br>M. Passos, A. Pinto, A. André                                                                             |           |
| AVALIAÇÃO DA COORDENAÇÃO DE SEGURANÇA EM OBRA<br>– CASO DE ESTUDO<br>M. Souza, C. Oliveira, J. Ferreira da Silva                                                                         |           |
| FLAT SLABS WITH DIFFERENT LONGITUDINAL REINFORCEMENT RATIOS<br>UNDER HORIZONTAL CYCLIC LOADING<br>M. Rossi, B. Isufi, A. Pinho Ramos                                                     |           |
| VIBRAÇÕES INDUZIDAS POR PEÕES EM ESCADAS METÁLICAS<br>P. Andrade, J. Santos, P. Escórcio                                                                                                 |           |
| ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE BARRAGENS DE BETÃO SUJEITAS<br>A VIBRAÇÕES PROVOCADAS POR DESMONTE DO MACIÇO ROCHOSO<br>COM RECURSO A EXPLOSIVO<br>R. Fonseca, J. Gomes, J. Lemos, R. Resende |           |

|                                                                                                                                                                 |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| COMPORTAMENTO À FLEXÃO DE VIGAS DE BETÃO ECO-EFICIENTES<br>E DE ULTRA-ELEVADA DURABILIDADE<br>R. Martins, R. do Carmo, H. Costa, E. Júlio                       |           |
| COMPORTAMENTO DE FACHADAS ENVIDRAÇADAS SOB A AÇÃO<br>DE EXPLOSÕES – DESENVOLVIMENTO DE UMA SOLUÇÃO DE PROTEÇÃO<br>R. Rita, J. Pedro, P. Matias                  |           |
| PROJETO DE ESTRUTURAS E FUNDAÇÕES DE UM PAVILHÃO MULTIUSOS<br>R. Vasques, A. Gião                                                                               |           |
| A SEGURANÇA NA OBRA DE REABILITAÇÃO DA PONTE DE CAVEZ SOBRE O RIO TÂMEGA<br>F. Meretti, C. Reis, J. Baptista                                                    |           |
| <b>TEMA 05</b><br><b>GESTÃO DE ATIVOS E RISCO NA CONSTRUÇÃO</b>                                                                                                 | <b>82</b> |
| RISCOS DECORRENTES DO AMIANTO EM CONTEXTO DE TRABALHO<br>C. Pinto, C. Oliveira, J. Ferreira Silva                                                               |           |
| SEGURANÇA E SAÚDE EM OBRAS SUBTERRÂNEAS – TÚNEL DE ADUÇÃO DE GOUVÃES<br>H. Ribeiro, C. Reis                                                                     |           |
| GESTÃO DA SEGURANÇA E SAÚDE NA OBRA DA MINA DE MATEUS<br>H. Cunha, C. Reis, T. Pinto                                                                            |           |
| GESTÃO DE ATIVOS APLICADA A INFRAESTRUTURAS DE ABASTECIMENTO<br>DE ÁGUA – AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE CAPTAÇÕES DE ÁGUA<br>J. Soares, L. Ramos, J. Gabriel Silva |           |
| ESTUDO DOS ACIDENTES DE TRABALHO NO SETOR DA CONSTRUÇÃO EM PORTUGAL<br>P. Bastos                                                                                |           |

|                                                                                                              |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>TEMA 06</b><br><b>INDUSTRIALIZAÇÃO E TECNOLOGIAS CONSTRUTIVAS</b>                                         | <b>94</b> |
| ANÁLISE EXPERIMENTAL DE LIGAÇÕES PILAR-PILAR EM BETÃO PRÉ-FABRICADO<br>D. Martins, V. Lúcio, S. Souza        |           |
| RECONHECIMENTO DE PADRÕES ESTRUTURAIS E CONSTRUTIVOS<br>NAS PONTES DA CASA EIFFEL<br>N. Nunes, E. Figueiredo |           |

TEMA 07  
INFRAESTRUTURAS DE TRANSPORTES  
(RODOVIA, FERROVIA, PORTOS E AEROPORTOS)

100

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DA INFRAESTRUTURA PEDONAL  
PARA PROMOÇÃO DA MOBILIDADE SUAVE EM CIDADES DE ENCOSTA  
A. Nogueira, B. Santos, J. Gonçalves

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE COMBOIOS NA PONTE FERROVIÁRIA DE ALTA VELOCIDADE  
SOBRE O RIO VOLGA SOB AÇÃO DE VENTOS LATERAIS EXTREMOS  
D. Barbosa, P. Montenegro, R. Calçada

CONTRIBUIÇÃO PARA A APLICAÇÃO DO MACOPAV NA CONCEPÇÃO  
EXPEDITA DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS FLEXÍVEIS  
E. Ferreira, M. Minhoto

AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA DE PONTES EM BETÃO DA REDE VIÁRIA  
NACIONAL SUJEITAS AO CARREGAMENTO DE VEÍCULOS MILITARES  
E. Filipe, A. Costa, P. Matias

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E DE AUTORREGENERAÇÃO  
DE MISTURAS BETUMINOSAS COM REJUVENESCEDORES ENCAPSULADOS  
G. Pereira, R. Micaelo, A. C. Freire

VALIDAÇÃO DE UM MÉTODO INDIRETO DE AUSCULTAÇÃO DE DEGRADAÇÕES  
PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS  
I. Feitosa, B. Santos, P. Almeida

CONCEÇÃO DE REDES RODOVIÁRIAS EM ZONAS DE 30 KM/H  
J. Ferreira, S. Gomes, S. Fontul

AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE MISTURAS BETUMINOSAS DO TIPO STONE MASTIC  
ASPHALT, INCORPORANDO FIBRAS CELULÓSICAS REVESTIDAS COM CERA POLIOLEFÍNICA  
P. Salvador, L. Quaresma

AVALIAÇÃO DE INFRAESTRUTURAS DE MOBILIDADE EM AMBIENTES URBANOS  
C. Lima, M. Minhoto, J. Vaz, F. Dácio de Almeida

SIMULAÇÃO DO GALGAMENTO EM QUEBRA-MARES UTILIZANDO  
O MODELO NUMERICO SWASH  
J. Gomes, J. Santos

ANÁLISE ESTATÍSTICA DE ACIDENTES FERROVIÁRIOS  
N. Tomaz, C. Reis, J. Correia

INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO DOS REVESTIMENTOS SUPERFICIAIS NO SEU DESEMPENHO  
L. Silva, H. Silva

TEMA 08  
INFRAESTRUTURAS HIDRÁULICAS

126

CARATERIZAÇÃO DA AGITAÇÃO MARÍTIMA NAS PROXIMIDADES  
DO QUEBRA-MAR NORTE DO PORTO DE PENICHE  
A. Gomes, P. Coelho, J. A. Santos

QUANTIFICAÇÃO DA AFLUÊNCIA INDEVIDA DE ÁGUAS PLUVIAIS ÀS ETAR  
D. Silva, C. Vieira, C. Matos, I. Bentes

AVALIAÇÃO E REABILITAÇÃO DE SISTEMAS PÚBLICOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA COM  
BASE NA GESTÃO PATRIMONIAL DE INFRAESTRUTURAS CASO DE ESTUDO DA QUINTA DO LAGO  
J. Caetano, R. Lança

SISTEMAS VERDES DE DRENAGEM URBANA: AVALIAÇÃO  
DO COMPORTAMENTO HIDRÁULICO DE CANTEIROS DE BIOFILTRAÇÃO  
J. Oliveira

ANÁLISE DO RISCO DE CHEIAS NOS CONCELHOS DO FUNCHAL, MACHICO,  
RIBEIRA BRAVA E SÃO VICENTE - APLICAÇÃO DE BACIAS DE DETENÇÃO  
L. Gonçalves, S. Lousada

IMPLEMENTATION OF PUMP-AS-TURBINES AS ENERGY RECOVERY SOLUTIONS  
WITHIN WATER DISTRIBUTION AND SUPPLY SYSTEMS  
M. Perdigão

TEMA 09  
INOVAÇÃO E TENDÊNCIAS FUTURAS

141

DESIGN OF S690 SLENDER PLATE I-GIRDERS UNDER COMBINED  
SHEAR, BENDING AND COMPRESSION  
H. Afonso

CONSTRUÇÃO PRÉ-FABRICADA COM PROPÓSITOS SUSTENTÁVEIS-CASO DE ESTUDO  
L. Pereira, P. Delgado, A. Curado

TOWARDS THE IMPLEMENTATION OF INTELLIGENT OPTIMIZATION  
SYSTEMS FOR PROCESS MANAGEMENT IN PAVEMENT REHABILITATION  
M. Amândio, J. Neves, M. Parente

LABORATORY TESTS ON STRUCTURAL GLASS SLABS: A COMPARATIVE  
STUDY WITH INTERNATIONAL STANDARDS  
P. Bonilha, R. Camposinhos, A. Junior, D. Ribeiro

OBTENÇÃO DE CAUDAL ATRAVÉS DE TRATAMENTO DE IMAGEM  
R. Santos, J. Fernandes

REFORÇO DE PONTES MODULARES DO TIPO BAILEY COM RECURSO  
A SISTEMAS DE PRÉ-ESFORÇO  
T. Ramos, J. Almeida, A. André

TEMA 10

MONITORIZAÇÃO, INSPEÇÃO E EXPERIMENTAÇÃO

154

TERMOGRAFIA RADIOMÉTRICA PARA DIAGNÓSTICO DE PATOLOGIAS NAS EDIFICAÇÕES  
A. Paz, E. Figueiredo

MEDIÇÃO DA DEFORMAÇÃO EM MATERIAIS METÁLICOS  
ATRAVÉS DE SISTEMAS DE VISÃO  
D. Valente, J. Valença, E. Cavaco

INSPEÇÃO DE FACHADAS COM RECURSO À TERMOGRAFIA  
DE INFRAVERMELHOS - CASO DE ESTUDO EM VISEU  
F. Cerveira, R. Almeida, J. Mendes Silva

INSPEÇÃO TÉCNICA DE CONSTRUÇÕES COM RECURSO A DRONES  
CASOS DE ESTUDO  
J. Miraldes, J. Lanzinha, J. Falorca

APPLICATION AND REMOVAL OF GRAFFITI ON ETICS:  
INFLUENCE ON THEIR WATER TRANSPORT PROPERTIES  
J. Feltes

MONITORIZAÇÃO DE DESLOCAMENTOS EM ESTRUTURAS COM APOIO  
DE TECNOLOGIA VÍDEO E VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO  
R. Cabral, D. Ribeiro, R. Santos, J. Gabriel

AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA DAS DELEGACIAS DE POLÍCIA CIVIL  
DA SECRETARIA DE ESTADO SEGURANÇA PÚBLICA EM SÃO LUÍS - MARANHÃO - BRASIL  
V. Lopes, M. Leão

TEMA 11

PLANEAMENTO TERRITORIAL E URBANO

170

ANÁLISE DO RISCO DE CHEIAS NAS RIBEIRAS DO CONCELHO DO FUNCHA  
- DO PLANEAMENTO À AÇÃO  
A. Moura, S. Lousada

TEMA 12

QUALIDADE E SUSTENTABILIDADE DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

174

APLICAÇÃO DE MODELO DE AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NA HABITAÇÃO  
T. Silva, J. Lanzinha

ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS  
NA REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO  
E. Maia, T. Neto

ESTUDO DO DESEMPENHO TÉRMICO - EDIFÍCIO DE ENGENHARIA CIVIL  
DA UNIVERSIDADE DO ALGARVE  
F. Gonçalves, F. Farinha

EDIFÍCIO COM CONSUMO DE ENERGIAS NULAS. CASO ESTUDO  
- “ECO-POWER ZERO RÉSIDENCE”  
J. Rio, F. Farinha, E. Almeida

MODELOS COMPUTACIONAIS APLICADOS À PREVISÃO DA VIDA ÚTIL DE ETICS  
J. Tavares, J. Brito, A. Silva

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA NA PERSPETIVA DA CERTIFICAÇÃO BREEAM  
NA CONSTRUÇÃO - PROPOSTA DE METODOLOGIA  
M. Rodrigues

INFRAESTRUTURAS VERDES - IMPACTOS EM MEIO URBANO  
M. Martins

REABILITAÇÃO SUSTENTÁVEL DE EDIFÍCIO COM NECESSIDADES  
DE ENERGIA NULAS OU QUASE NULAS - CASO DE ESTUDO  
N. Pardal, José Coimbra

OTIMIZAÇÃO DE MODELOS PARAMÉTRICOS NA DETERMINAÇÃO  
DA VULNERABILIDADE DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS À POLUIÇÃO  
R. Marques, F. Pacheco, L. Fernandes

DEFINIÇÃO DO GRAU DE RISCO NO CONTEXTO DAS INFRAESTRUTURAS  
E SUA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL - CASO DE ESTUDO EM CASTELO BRANCO  
B. Patrocínio, A. Dias, T. Albuquerque, C. Santos

|                                                                                                                                                      |            |                                                                                                                                                                                            |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>TEMA 13</b><br><b>REABILITAÇÃO E CONSERVAÇÃO DO PATRIMÓNIO</b>                                                                                    | <b>198</b> | <b>TEMA 14</b><br><b>RECICLAGEM,VALORIZAÇÃO E NOVOS MATERIAIS</b>                                                                                                                          | <b>228</b> |
| MELHORIA DA QUALIDADE DE PROJETOS DE REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO<br>A. Mendonça, A. Paiva, J. Mendes da Silva, C. Dominguez               |            | ECONOMIA CIRCULAR E ANÁLISE WATER PINCH APLICADAS A UM CASO DE ESTUDO DA INDÚSTRIA ALIMENTAR<br>A. Lima, T. Abreu, S. Figueiredo                                                           |            |
| A IMPORTÂNCIA DA GESTÃO DA MANUTENÇÃO PREDIAL EM CONDOMÍNIOS RESIDENCIAIS: CASO DE ESTUDO<br>A. Lima, A. Paiva                                       |            | RECICLAGEM TOTAL DE MISTURAS BETUMINOSAS USANDO ÓLEO ALIMENTAR USADO COMO REJUVENESCEDOR E RESÍDUOS DE PLÁSTICO<br>C. Rodrigues, S. Capitão, L. Picado-Santos                              |            |
| INSPEÇÃO E REABILITAÇÃO DE UM EDIFÍCIO MULTIFAMILIAR DA DÉCADA DE 60 EM COVILHÃ<br>I. Marcelino, J. Lanzinha                                         |            | MAXIMISING THE USE OF WASTE IN CONSTRUCTION MATERIALS - INVESTIGATION ON RECYCLED BITUMINOUS MIXTURES WITH HIGH-CONTENT RECLAIMED ASPHALT<br>C. Santos, J. Neves, A. C. Freire, V. Antunes |            |
| INSPEÇÃO, AVALIAÇÃO E REABILITAÇÃO DE PONTES METÁLICAS<br>M. Marques, F. Virtuoso, A. Gomes                                                          |            | POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DA CASCA DE PINHEIRO COMO AGREGADO EM ELEMENTOS DE BETÃO LEVE<br>C. Fernandes, J. Pinto, A. Briga-Sá                                                               |            |
| GESTÃO DE OBRAS DE ARTE SOB TUTELA MUNICIPAL ESTUDO DE PONTES EM ALVENARIA DE UM MUNICÍPIO<br>M. Sousa, J. Almeida, C. Costa                         |            | RECICLAGEM DE ESCÓRIA E CINZA DE INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS COMO PRESURSORES EM CIMENTOS ALCALINOS<br>L. Segadães, N. Cristelo                                                |            |
| ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE TUBAGENS EM MATERIAL COMPÓSITO NA REABILITAÇÃO DE PASSAGENS HIDRÁULICAS E AGRÍCOLAS<br>M. Santos      |            | ADIÇÃO DE MATERIAL RECICLADO - AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO BETÃO E DO SOLO-CIMENTO<br>B. Oliveira, S. Carronda, C. Santos                                                                   |            |
| ESCADARIA LIVRARIA LELLO - INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO ESTRUTURAL<br>N. Monteiro, A. Costa                                                                |            | NANOCRISTAIS DE CELULOSE INSERIDOS NA COMPOSIÇÃO DA ARGAMASSA<br>I. Josué , C. Santos                                                                                                      |            |
| USE OF WET-MIX SHOTCRETE IN THE REPAIR OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES. CASE STUDY OF A REHABILITATION WORK IN A MARINE ENVIRONMENT<br>P. Fazenda  |            | AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO BETÃO COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO<br>J. Baltazar, C. Santos                                                                          |            |
| AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE SÍSMICA DE UM ARCO EM ALVENARIA DE PEDRA UTILIZANDO O MÉTODO DOS ELEMENTOS DISCRETOS<br>P. Silva, C. Cismaşiu, J. Lemos |            |                                                                                                                                                                                            |            |
| MASONRY ARCH STRENGTHENING WITH CFRP AND STAINLESS STEEL USING CONTINUOUS REINFORCEMENT EMBEDDED AT ENDS<br>R. Ribeiro, C. Chastre, H. Biscaia       |            | <b>PROGRAMA DO EVENTO</b>                                                                                                                                                                  | <b>246</b> |
| ANÁLISE COMPARATIVA DE ESTRATÉGIAS DE REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS - FLUXO DE MATERIAIS<br>R. Queirós                                                   |            | <b>PRÉMIOS ATRIBUÍDOS</b>                                                                                                                                                                  | <b>247</b> |
| PATOLOGIAS DE EDIFÍCIOS TOMBADOS: REABILITAÇÃO DO CONVENTO DAS MERCÊS<br>W. Carvalho, J. Almeida                                                     |            | <b>APÊNDICE DE FOTOGRAFIAS</b>                                                                                                                                                             | <b>248</b> |
| AVALIAÇÃO DO RISCO DE INCÊNDIO DE UMA HABITAÇÃO MULTIFAMILIAR PELO MÉTODO DE FRIM<br>A. Pires , C. Santos                                            |            |                                                                                                                                                                                            |            |
| RENASCER O ADOBE EM TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO<br>T. Ferreira, J. Pinto, C. Reis                                                                    |            |                                                                                                                                                                                            |            |

## PREFÁCIO

*“...o homem sonha, a obra nasce.”*

Fernando Pessoa

O Instituto Superior de Engenharia do Porto, em parceria com as Escolas do Ensino Superior Universitário e Politécnico, organizou o 1º Simpósio de Engenharia Civil (SEC 2021), que decorreu no dia 19 de maio de 2021, em formato híbrido.

O evento teve como principal objetivo a apresentação dos resultados dos trabalhos académicos de final de curso dos estudantes de Licenciaturas e Mestrados em Engenharia Civil, realizados no período entre 2018 e 2020. Além disso, pretendeu-se incentivar a troca de experiências, reflexão e discussão entre estudantes finalistas/recém-diplomados e as entidades empregadoras.

Pretendeu-se ainda com este evento promover uma forte mobilização e participação de estudantes na área da Engenharia Civil de todas as Escolas do Ensino Superior Universitário e Politécnico, e deste modo, dar visibilidade aos melhores trabalhos desenvolvidos em ambiente académico ou por meio de parcerias entre a academia e a indústria. Possibilitou-se aos representantes das empresas conhecer de perto os trabalhos desenvolvidos no âmbito dos 1º e 2º ciclos de estudos de Engenharia Civil.

No programa do evento participaram dois oradores convidados, com vasta experiência académica e de investigação em domínios da Engenharia Civil, um do lado da academia e outro do lado das empresas. Estes oradores partilharam a sua visão acerca das inovações e tecnologias emergentes nos seus domínios de conhecimento e que no futuro poderão ter impacto nas atividades dos profissionais de Engenharia Civil.

No evento estiveram presentes 28 Escolas de Engenharia de Portugal, representadas por 32 membros que constituíram a Comissão Organizadora e 28 membros que integraram a Comissão Científica.

Para participar no evento os estudantes submeteram um resumo alargado do trabalho que foi alvo de um processo de revisão pela Comissão Científica do SEC 2021 e publicados neste Livro de Atas.

O Livro de Atas compreende 97 resumos alargados distribuídos em 14 Áreas Temáticas, sendo 87 resumos de estudantes do Mestrado em Engenharia Civil e 10 da Licenciatura em Engenharia Civil. No dia do evento foram apresentados 69 trabalhos nas seguintes modalidades: 57 sob a forma de apresentação oral, 6 em vídeo e 6 com exibição em formato de poster.

O SEC 2021 contou ainda com o patrocínio de 10 empresas e com os apoios institucionais da Ordem dos Engenheiros e da Ordem dos Engenheiros Técnicos, 9 Unidades de Investigação, uma Organização Não Governamental e a Federação Nacional dos Estudantes de Engenharia Civil.

Foram atribuídos os seguintes prémios: Categoria Resumo Alargado - Mestrado (1º e 2º prémios), Categoria Resumo Alargado - Licenciatura (1º e 2º prémios), Categoria Apresentação (1º e 2º prémios) e ainda atribuída a distinção “Carreira Académica” a um Professor aposentado do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

O SEC 2021 resultou numa grande manifestação de entusiasmo por parte de todas as Escolas de Engenharia em Portugal. O elevado número de participações no evento evidenciou o interesse despertado e a preocupação em mostrar o que de melhor se faz em Portugal na área da Engenharia Civil e em cada Escola.

Porto, maio de 2021.

Os Editores.

ORGANIZAÇÃO

Comissão Organizadora Local

Diogo Ribeiro  
Maria da Fátima Portela  
Maria Rosário Oliveira  
Ricardo Santos  
Teresa Neto



Comissão Organizadora

Ana Bártoło  
Instituto Politécnico de Setúbal



Cristina Reis  
Universidade  
de Trás-os-Montes e Alto Douro



Carlos Chastre  
Universidade Nova de Lisboa



Diogo Ribeiro  
Instituto Superior  
de Engenharia do Porto



Carlos Oliveira  
Instituto Politécnico  
de Viana do Castelo



Elói Figueiredo  
Universidade Lusófona  
de Humanidades e Tecnologia



Celeste Almeida  
Universidade Fernando Pessoa



Fátima Farinha  
Universidade do Algarve



Cristina Costa  
Instituto Politécnico de Tomar



Fernanda Rodrigues  
Universidade de Aveiro



Cristina Machado  
Instituto Superior  
de Engenharia de Lisboa



Helena Bártoło  
Instituto Politécnico de Leiria



Isabel Martins  
Instituto Superior  
de Educação e Ciências



Nuno Melo  
Instituto Politécnico da Guarda



João Lanzinha  
Universidade da Beira Interior



Nuno Ramos  
Faculdade de Engenharia  
da Universidade do Porto



José Neves  
Instituto Superior Técnico



Nuno Correia dos Santosv  
Universidade Lusófona do Porto



Lígia Silva  
Universidade do Minho



Pedro Matias  
Academia Militar



Luís Filipe Jorge  
Instituto Politécnico  
de Castelo Branco



Raimundo Mendes Silva  
Faculdade de Ciências e Engenharia  
da Universidade de Coimbra



Luís Magalhães Pereira  
Academia da Força Aérea



Ricardo Santos  
Instituto Superior  
de Engenharia do Porto



Manuel Minhoto  
Instituto Politécnico de Bragança



Sérgio Lousada  
Universidade da Madeira



Manuel Pinto  
Instituto Superior  
Politécnico de Viseu



Silvino Capitão  
Instituto Superior  
de Engenharia de Coimbra



Maria da Fátima Portela  
Instituto Superior  
de Engenharia do Porto



Teresa Neto  
Instituto Superior  
de Engenharia do Porto



Maria João Barros  
Faculdade de Ciências e Tecnologia  
da Universidade dos Açores



Maria Rosário Oliveira  
Instituto Superior  
de Engenharia do Porto



ORGANIZAÇÃO

Comissão Científica

Ana Sofia da Silva Carreira  
Universidade do Algarve



Dinis Gardete  
Instituto Politécnico  
de Castelo Branco



Luís Carlos Silva  
Universidade Lusófona  
de Humanidades e Tecnologia



Paulo J. H. Mendes  
Instituto Superior  
de Engenharia de Lisboa



Anabela Mendes Moreira  
Instituto Politécnico de Tomar



Eva Barreira  
Faculdade de Engenharia  
da Universidade do Porto



Luís Filipe Sanches Fernandes  
Universidade de Trás-os-Montes  
e Alto Douro



Paulo José da Venda Oliveira  
Faculdade de Ciências e Engenharia  
da Universidade de Coimbra



André Furtado  
Universidade Lusófona do Porto



Joaquim José Oliveira Sousa  
Instituto Superior  
de Engenharia de Coimbra



Luís Magalhães Pereira  
Academia da Força Aérea



Ricardo Almeida  
Instituto Superior  
Politécnico de Viseu



António Perry da Câmara  
Academia Militar



Joaquim Macedo  
Universidade de Aveiro



Luís Manuel Coelho Guerreiro  
Instituto Superior Técnico



Rui Duarte Neves  
Instituto Politécnico de Setúbal



Bertha Santos  
Universidade da Beira Interior



José Carlos Costa Almeida  
Instituto Politécnico da Guarda



Manuel Teixeira Braz César  
Instituto Politécnico de Bragança



Rui Ramos  
Universidade do Minho



Carlos Manuel da Silva Félix  
Instituto Superior  
de Engenharia do Porto



José Manuel Ferreira da Silva  
Instituto Politécnico  
de Viana do Castelo



Maria João Barros  
Faculdade de Ciências e Tecnologia  
da Universidade dos Açores



Vítor Silva  
Universidade Fernando Pessoa



Corneliu Cismasiu  
Universidade Nova de Lisboa



José Manuel Mendes Delgado  
Instituto Superior  
de Educação e Ciências



Patrícia Escórcio  
Universidade da Madeira



APOIOS  
Institucionais

Ordens Profissionais



Unidades de Investigação



Federação Nacional de Estudantes de Engenharia Civil

Organizações Não-Governamentais



APOIOS  
Patrocinadores

Empresas



STRUCTURAL  
RESEARCH



TEMA 01

# **ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS, AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS**

## TRANSIÇÕES URBANAS, UM CONTRIBUTO À DESCARBONIZAÇÃO

Andriolli, Ana Claudia<sup>1</sup>, Silva, Lúcia Torres<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Civil. Universidade do Minho. acandriolli@gmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Civil. Universidade do Minho. lsilva@civil.uminho.pt

**Palavras-chave:** descarbonização de cidades, laboratórios vivos, métodos multicritério

**Área Temática 01**

**Apresentação oral**

### 1. INTRODUÇÃO

A nível global, as cidades são responsáveis por 70% das emissões de dióxido de carbono, sendo este o principal gás com efeito de estufa (GEE) de origem antropogénica [1]. Para se atingir as metas estabelecidas no acordo de Paris de limitar o aquecimento global a 1,5° C, é fundamental implementar estratégias e testar inovações que permitam fazer a transição das cidades para um modelo urbano com baixa emissão carbónica, sem pôr em causa o desenvolvimento económico e social das mesmas.

Em termos de descarbonização de cidades, os ativos de alto custo de implementação e de longa vida útil como edifícios, transportes, infraestruturas de água e energia são os mais relevantes, dado o potencial de descarbonização ou o impacto que o uso de opções não sustentáveis pode causar [2]. No entanto, os maiores obstáculos para que os investimentos de baixo carbono cresçam ao ritmo necessário para atingir as metas de redução propostas são os custos de implementação, que em geral são mais altos que as soluções tradicionais, e o receio de que os resultados obtidos não façam jus ao valor investido [1]. Nesse sentido, muitos governos locais, a partir de parcerias público-privadas, têm utilizado laboratórios vivos em zonas urbanas como forma de testar, cocriar e validar inovações que possam contribuir na redução da pegada carbónica, isto é, na quantidade de GEE produzidos direta e indiretamente, e ao mesmo tempo estimular o crescimento económico [3,4]

A partir do estudo de caso do Laboratório Vivo para Descarbonização (LVD) BUILD, situado em Braga, e através dos dados obtidos na implementação das intervenções propostas, o presente estudo teve como objetivo desenvolver uma metodologia multicritério para avaliar a descarbonização alcançada pelo BUILD e auxiliar nas futuras tomadas de decisão da Câmara Municipal, sobre quais medidas devem ser alargadas a outras freguesias, em busca da neutralidade carbónica da cidade.

### 2. METODOLOGIA

O processo de análise de decisão tem como objetivo proporcionar uma visão holística, além de ajudar a estruturar e simplificar a tomada de uma decisão complexa. Quando não é possível buscar uma solução ótima para a questão, pode-se lançar mão das análises multicritério. Nelas, aspetos qualitativos e quantitativos são considerados e exploram-se diversas hipóteses de combinação de critérios, no sentido de desenvolver cenários de avaliação, em busca de uma solução que envolva os vários critérios e pontos de vista em questão [5].

Na metodologia desenvolvida, as intervenções realizadas no LVD foram consideradas como indicadores de descarbonização, sendo agrupadas em três critérios: mobilidade, edificado e vias públicas, por serem estes os setores de atuação do projeto.

Tabela 1 - Grade de avaliação dos Indicadores

| Resultado                                | Nota de avaliação | Classificação |
|------------------------------------------|-------------------|---------------|
| Atingiu 100% ou mais da meta prevista    | 5                 | Muito bom     |
| Atingiu entre 75% e 99% da meta prevista | 4                 | Bom           |
| Atingiu entre 50% e 74% da meta prevista | 3                 | Médio         |
| Atingiu entre 25% e 49% da meta prevista | 2                 | Fraco         |
| Atingiu menos de 25% da meta prevista    | 1                 | Muito fraco   |

De acordo com a disponibilidade de dados, cada indicador foi comparado com os cenários de referência e metas estabelecidas no plano inicial do projeto [6], e avaliado através da grade de avaliação apresentada na **Tabela 1**. Sempre que necessário, procedeu-se à normalização e ponderação de sub-indicadores. Ao final, estabeleceram-se cenários de agregação dos critérios utilizando-se diferentes ponderações dos vários critérios e indicadores. Em todos os critérios considerou-se o indicador Pessoas, a fim de avaliar o impacto da comunidade local na descarbonização.

### 3. ESTUDO DE CASO

A área escolhida para o LVD BUILD é um dos pontos de maior congestionamento automóvel na cidade de Braga. Essa grande afluência é reflexo de um conjunto de fatores, nomeadamente do número de escolas situadas na envolvente, da proximidade ao centro da cidade e ao primeiro anel de expansão da malha urbana, e à presença de áreas residenciais, de interesse comercial e serviços.

Estudos prévios mostraram que muitos dos veículos que passam pela zona nas horas de ponta, não a tem como destino. Trata-se de encarregados de educação que optam pelo uso de veículos privados para levar e buscar seus educandos, um hábito comum em muitas cidades.

Nesse sentido, as intervenções para descarbonização focaram no setor de Mobilidade, através da implementação de um projeto de autocarro escolar para 6 escolas e em medidas complementares como faixa exclusiva para autocarros, pilaretes para inibir estacionamento abusivo e áreas exclusivas de paragem de até 1 minuto para encarregados de educação. No setor de Vias Públicas, procurou-se melhorar a eficiência energética da iluminação pública e aumentar a segurança nos atravessamentos. Por fim, no setor de Edificado, visou-se a melhoria da eficiência energética e hídrica de edifícios. No que compete à população (residentes e comunidade escolar), foram realizadas ações de acordo com o público alvo, buscando uma maior sensibilização sobre o tema e o engajamento no projeto.

### 4. RESULTADOS E CONCLUSÕES

A aplicação da metodologia proposta permitiu desenvolver cenários com ponderação igual entre indicadores e critérios, bem como analisar o desempenho global do projeto quando um dos três critérios (Mobilidade, Vias Públicas e Edificado) é considerado o mais relevante. Dadas as limitações em dados que permitissem avaliar o indicador Pessoas para os critérios Vias Públicas e Edificado, considerou-se ainda o cenário de exclusão desse indicador e ponderação igual entre os demais indicadores e critérios.

Em todos os cenários a descarbonização gerada pelo BUILD obteve avaliação “Médio” ou “Bom”. Ao comparar o desempenho das intervenções realizadas no projeto, observa-se que aquelas que tiveram melhor avaliação foram “Iluminação Pública Eficiente e Inteligente” e “Melhoria da Eficiência Hídrica em Edifícios”, ambas tendo atingido ou superado a meta estabelecida.

No entanto, ressalta-se que o fato de serem melhor avaliadas não significa dizer que foram as que removeram ou que deixaram de produzir maior quantidade de GEE. Isso porque, a metodologia proposta analisa o resultado em função da meta prevista, o que faz sentido diante de experimentos (intervenções) que tem escalas diferentes de atuação.

### 5. REFERÊNCIAS

- [1] Gomez Echeverri, L.: Investing for rapid decarbonization in cities. Curr. Opini. Environ. Sustain. Vol.30, pp.42-51, 2018.
- [2] IPCC, Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the 5th Assess. Report of the Intergov. Panel Clim. Change. Cambridge, UK and New York, USA, 2014.
- [3] Evans, J., Karvonen, A. “Give Me a Laboratory and I Will Lower Your Carbon Footprint!” - Urban Lab. and the Gov. of Low-Carbon Futures. Int. Jour. Urban and Reg. Res., Vol.38(2), pp.413–430, 2014.
- [4] Voytenko, Y. et al. Urban living labs for sustainability and low carbon cities in Europe: Towards a research agenda. Journal of Cleaner Production, Vol.123, pp.45–54, 2016.
- [5] Ramos, R., Mendes, J. Avaliação da aptidão do solo para localização industrial: o caso de Valença. Revista Engenharia Civil (REC), Vol.10, pp.7–29, 2001.
- [6] CM Braga. Plano de Implementação do Braga Urban Innovation Laboratory Demonstrator, 2017.

## DESAFIO PARA A ADAPTAÇÃO ÀS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NO DIMENSIONAMENTO DE PASSAGENS HIDRÁULICAS

André Sarmento<sup>1</sup>; Luís Fernandes<sup>2</sup>; Mário Gonzalez Pereira<sup>3</sup>; Luís da Silva<sup>4</sup>; Paulo Barreto<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Egis Road Operation Portugal. andre.sarmento@egisportugal.pt

<sup>2</sup> CITAB - Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. lfilipe@utad.pt

<sup>3</sup> CITAB - Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. gpereira@utad.pt

<sup>4</sup> Egis Road Operation Portugal. luis.silva@egisportugal.pt

<sup>5</sup> Egis Road Operation Portugal. paulo.barreto@egisportugal.pt

**Palavras-chave:** Alterações climáticas / Adaptação / Passagens hidráulicas / Gestão de ativos / Ciclo de vida / Precipitação extrema.

01

Apresentação oral

O dimensionamento de passagens hidráulicas, em Portugal baseia-se nas curvas de intensidade-duração-frequência (IDF), em conformidade com o Decreto-Regulamentar n.º 23/95 de 23 de agosto (DR 23/95). Os valores dos parâmetros das curvas IDF são definidos pelo DR 23/95, o qual determina três regiões pluviométricas. Estes valores servem para a determinação da intensidade de precipitação utilizada no dimensionamento de órgãos de drenagem. A variabilidade da distribuição espaço-temporal da precipitação analisada nas últimas décadas não demonstra sustentar as três regiões definidas pelo DR 23/95, que tem sido utilizado no pressuposto da estacionariedade do regime de precipitação. As alterações climáticas projetadas para o futuro, mostram que as características da precipitação irão sofrer alterações, principalmente em termos de intensidade e frequência dos eventos extremos de precipitação. Estes cenários indicam que as características dimensionais das estruturas de órgão de drenagem existente possam a estar ou a vir a estar desajustadas.

A principal contribuição deste estudo é a avaliação do impacto das alterações climáticas nos parâmetros e a definição de novas curvas IDF. Após o tratamento e correção dos dados, foi possível quantificar e avaliar as alterações no regime de precipitação intensa, onde foram calculados novos valores dos parâmetros das curvas IDF. Estes novos valores foram utilizados no dimensionamento de duas PH localizadas em três pontos correspondentes a cada uma das diferentes regiões definidas pelo DR 23/95. Consequentemente, avaliou-se o impacto que as alterações climáticas expectáveis irão provocar no valor da altura da lâmina de água na secção de cada PH, e ainda verificar se as obras realizadas no passado poderão apresentar deficiências de dimensionamento no futuro próximo, bem como perceber como deverão ser avaliados os parâmetros climáticos para o dimensionamento de obras futuras.

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que existe uma grande variabilidade espacial para Portugal, mostrando falhas no uso das três regiões pluviométricas preconizadas na legislação Portuguesa vigente. Desta forma concluiu-se que as alterações climáticas poderão ter um impacto não desprezável, tanto no dimensionamento de órgãos de drenagem, como também nas infraestruturas atualmente existentes.

## AFERIÇÃO DA COTA DE INUNDAÇÃO PLÚVIO-MARÍTIMA, NUM CENÁRIO DE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS, POSSÍVEIS MEDIDAS DE ATENUAÇÃO. O CASO DE ESTUDO DA MADALENA DO MAR.

João Pedro Gouveia<sup>1</sup>, Sérgio António Neves Lousada<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Faculdade de Ciências Exatas e Engenharia (FCEE), Departamento de Engenharia Civil e Geologia (DECG),  
Universidade da Madeira (UMa), Funchal, Portugal.  
joaogouveia@maximadinamica.pt, slousada@staff.uma.pt

**Palavras-chave:** Gestão Territorial, alterações climáticas, galgamentos oceânicos, proteção costeira.

01

Apresentação oral

### RESUMO

O Governo reconhece o ordenamento e a governança territorial como ferramentas essenciais num contexto que se revela de permanente mutação, em ciclos cada vez mais rápidos, alimentados por alterações demográficas, pelas transformações tecnológicas, económicas e sociais e pelos efeitos associados às alterações climáticas [1].

As soluções mais adequadas resultam frequentemente de uma combinação das três estratégias de adaptação (relocalização, acomodação e proteção) permitindo uma maior sustentabilidade das opções em termos sociais, económicos e ambientais. Ao analisar os desafios que existem no caminho para uma gestão integrada e sustentável da zona costeira é muito importante distinguir diferentes horizontes temporais [2].

Denote-se que na RAM (Região Autónoma da Madeira) acresce a importância de garantir a funcionalidade e ocupação das zonas costeiras, uma vez que a ocupação demográfica, concentra-se maioritariamente na Costa Sul. De acordo com os dados oficiais em vigor apurados pelo INE (Instituto Nacional de Estatística) nos Censos de 2011, em termos percentuais, representa cerca de 92% da população residente, motivo pelo qual o estudo realizado foi aplicado na costa suprarreferida [3]. Considerando a casuística efetuou-se numa primeira fase uma análise geoespacial da ocupação humana, seguida duma caracterização do clima marítimo.

Existem diversas propostas para as funções de distribuição teóricas, tendo-se escolhido a função de distribuição assintótica de máximos de Gumbel, para a variável aleatória  $x$  [4,5]. A qual é definida através da expressão (1):

$$p = P(x \leq X) = F(x) = e^{-e^{(x-a)/b}}, x \in ]-\infty, +\infty[. \quad (1)$$

Os resultados obtidos no presente estudo determinaram-se por via de 2 constantes basilares, a altura de onda significativa  $H_s$ , e o período de pico  $T_p$ , extraídos da função de Gumbel, com um período de retorno  $T_r$  de 585 anos. A cota de inundação foi estimada através de uma equação desenvolvida pelos autores do presente documento. Foi aplicada a 4 anos alvo compreendidos entre 2021 e 2500: É de frisar que a diferença percentual entre as cotas máxima e mínima, obtidas evidenciou um incremento de 31,25%, assim sendo, o aumento do nível das águas terá um maior peso num horizonte de 481 anos.

A figura 1 ilustra o resultado obtido através da análise do clima marítimo em águas profundas.



**Figura 1.** Cota de inundação plúvio-marítima estimada para o ano de 2500.

**Tabela 1.** Determinação das Cotas de Inundação em função da subida do nível das águas.

| Dados de Partida                                 |                        |              |
|--------------------------------------------------|------------------------|--------------|
| Maré astronómica (Ma)                            | Ma (m)                 | 2,8          |
| Maré meteorológica (Mm)                          | Mm (m)                 | 0,5          |
| T <sub>p</sub> (Período de Pico)                 | T <sub>p</sub> (s)     | 15           |
| H <sub>s</sub> (Altura de onda significativa)    | H <sub>s</sub> (m)     | 15,7         |
| Eh20- (Elevação da água do mar em função do ano) | Eh20-2046 (m)          | 0,38         |
| g (aceleração gravítica no planeta terra)        | g (m.s <sup>-2</sup> ) | 9,81         |
| Resultados                                       |                        |              |
| CIM (Cota de Inundação Plúvio-Marítima) em 2021  | <b>CIM 2021 (m)</b>    | <b>14,32</b> |
| CIM (Cota de Inundação Plúvio-Marítima) em 2046  | <b>CIM 2046 (m)</b>    | <b>14,70</b> |
| CIM (Cota de Inundação Plúvio-Marítima) em 2081  | <b>CIM 2081 (m)</b>    | <b>15,14</b> |
| CIM (Cota de Inundação Plúvio-Marítima) em 2500  | <b>CIM 2500 (m)</b>    | <b>20,95</b> |

Por fim, com base nos resultados obtidos na Tabela 1, é sugerida a execução de quebra-mares submersos preferencialmente recifes artificiais com o intuito de contribuir, para atenuar os impactos ambientais e contribuir para uma melhor fluidez paisagística à superfície. Todavia, a longo prazo a ondulação incidente irá apresentar alturas superiores, e as soluções mencionadas *a priori*, devem ser colmatadas, com paramentos verticais na costa, com flexão (para barlar) no seu coroamento.

- [1] CNT - Comissão Nacional do Território, *PDM GO Boas práticas para os Planos Diretores Municipais*, Versão 0 | dezembro 2020.
- [2] Grupo de Trabalho do Litoral, *Gestão da Zona Costeira: O Desafio da Mudança*, ISBN 978-989-99962-1-2, 2018.
- [3] Gouveia, J.P., Lousada, S.A.N., Castanho, R. A., Naranjo, J., Ordenamento Territorial num Cenário de Alterações Climáticas: Aferição da Cota de Inundação Pluvio-Marítima para a Praia da Madalena do Mar - Ilha da Madeira, Congresso Luso-Extremadurense de Ciência e Tecnologia, 2019.
- [4] R. Silva, C. Coelho, F. Veloso-Gomes & F. Taveira-Pinto, A importância de alguns parâmetros hidromorfológicos em estudos de modelação das zonas costeiras, Jornadas de Hidráulica Recursos Hídricos e Ambiente, FEUP, 2008.
- [5] Carvalho, M.M., Capitão, R.P., Abreu, F.V. e Sobral, J.T. (1990). *Ajustamento Gráfico de Distribuições. Nato POWAVES, Sub-projecto A*, Instituto Hidrográfico, L.N.E.C, Portugal, 67 pp.

TEMA 02

# APLICAÇÕES EM GEOTECNIA

## ESTUDO DO CARREGAMENTO UNIAXIAL DA AREIA DE COIMBRA DE JUSANTE EM CONDIÇÕES DE DEFORMAÇÃO RADIAL NULA

Fonseca, M.<sup>1,\*</sup>, Araújo Santos<sup>2</sup>, L. M., Rodrigues, C.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Dep. de Engenharia Civil. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. marianadafonseca@sapo.pt

<sup>2</sup> Dep. de Engenharia Civil. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. lmsantos@isec.pt

<sup>3</sup> Dep. de Engenharia Civil. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. carlosre@isec.pt

\* Endereço atual: CECOLAB - Collaborative Laboratory Towards Circular Economy.  
mariana.fonseca@cecolab.pt

**Palavras-chave:** areia de Coimbra, ensaio edométrico, carregamento uniaxial, variação volumétrica.

**Código da Área Temática 02**

**Poster**

**1. ENQUADRAMENTO** - A areia de Coimbra é uma areia artificial extraída dos depósitos aluvionares existentes nas margens do rio Mondego, constituindo o solo de fundação das estruturas situadas nessa região, sendo uma referência nacional no estudo de solos granulares devido à sua suscetibilidade à liquefação, cujo fenómeno foi documentado em consequência do sismo de 1755 em Lisboa [1]. O presente trabalho incide no estudo da areia de Coimbra de jusante sob carregamento uniaxial em condições de deformação radial nula e na análise da influência dos seguintes parâmetros: i) densidade relativa; ii) método de preparação de amostras; iii) tensão efetiva. Os ensaios foram realizados através da adaptação de ensaios clássicos de compressibilidade de solos, com recurso ao equipamento edométrico.

## 2. MATERIAL E TÉCNICAS EXPERIMENTAIS

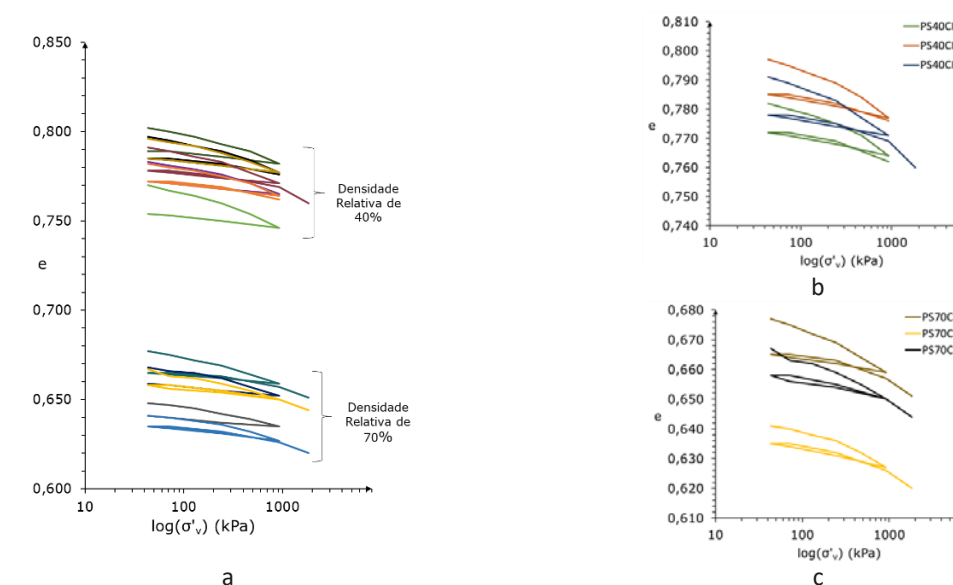
A areia de Coimbra de jusante (também designada de Lote 2), é uma areia artificial e uniforme correspondente a uma fração granulometria dos depósitos aluvionares nas margens do Rio Mondego, na Figueira da Foz, cujas dimensões variam entre 0,425 mm e 0,150 mm. A densidade das partículas sólidas é 2,64 e os índices de vazios máximo e mínimo são, respetivamente, 0,954 e 0,536 [2].

A resposta da areia de Coimbra sob carregamento uniaxial em condições de deformação radial nula foi estudada com recurso ao equipamento edométrico. No presente estudo foram produzidas amostras através de três técnicas distintas a fim de replicar processos de deposição diferentes: i) técnica de deposição gravitacional em meio seco ou “pluviação” seca, ii) sedimentação em água; iii) técnica de compactação húmida. As amostras foram preparadas com densidades relativas de 40 e 70 % e foram atingidas tensões efetivas superiores a 7 MPa [2].

## 3. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Os resultados da areia de Coimbra de jusante preparada por “pluviação” seca evidenciam uma influência da densidade relativa das amostras – Figura 1. Amostras com uma densidade relativa inicial de 40 % têm índices de compressibilidade ( $C_c$ ) entre 0,014 e 0,018, enquanto as amostras de 70 % têm índices entre 0,010 e 0,014. Amostras mais densas têm uma resposta mais rígida devido ao menor índice de vazios inicial. Na fase de carregamento, a areia sofre uma deformação permanente com rearranjo das partículas e uma alteração da estrutura inicial, impedindo a recuperação do índice de vazios inicial após descarga. Nesta fase, não se verifica uma influência da densidade relativa. Este comportamento indica que na fase de carregamento se desenvolve uma estrutura especial e comum que culmina no Estado Crítico para grandes deformações [3]. Na Figura 1 b) e c) é notório que a areia de Coimbra tem uma rigidez superior face ao primeiro carregamento. No segundo carregamento, a deformação é inferior até ser igualada a tensão efetiva vertical já aplicada à amostra. Nesta fase, a areia de Coimbra sofre apenas deformações elásticas. Posteriormente, ao atingir a tensão efetiva vertical aplicada inicialmente ocorre uma mudança na trajetória da linha de compressão coincidindo

com a linha de compressão virgem, evidenciando o conceito de memória dos solos. Não se verifica influência da densidade relativa nos índices de recompressibilidade.



**Figura 1.** Carregamento uniaxial da areia de Coimbra de jusante preparada pela técnica de “pluviação” seca: a) em função da densidade relativa; b) densidade relativa de 40 %; c) densidade relativa de 70 %.

Os resultados evidenciam também uma variação do declive da linha de compressão virgem para uma tensão vertical de 1000 kPa, limiar até ao qual se assume que são mantidas as propriedades intrínsecas de areias e que correspondente ao início da tensão de cedência da areia. Comparando as várias técnicas de preparação de amostras, nas amostras com densidade relativa de 40 %, o menor índice de compressibilidade foi obtido para o método de sedimentação em água, entre 0,008 e 0,011, indicando que a areia saturada tem um comportamento mais rígido que a areia seca a baixos níveis de tensão. Os índices de compressibilidade das amostras preparadas pela técnica de compactação húmida e “pluviação” seca são idênticos, variando entre 0,014 e 0,017 e entre 0,014 e 0,018, respetivamente. Assim, as amostras preparadas por sedimentação em água apresentam uma estrutura mais estável. Idêntico comportamento é observado para amostras preparadas com uma densidade relativa inicial de 70 %. Por fim, os índices de expansibilidade determinados entre a tensão efetiva vertical de 7260,78 e 43,44 kPa variam entre 0,011 e 0,013, concluindo-se que não existe uma influência das condições iniciais da amostra.

## 3. CONCLUSÃO

A areia de Coimbra de jusante é influenciada pela densidade relativa e tensão aplicada na fase de carregamento, sendo a rigidez proporcional à densidade relativa. A técnica de preparação de amostras influencia igualmente a rigidez da resposta da areia, na fase de carga. Em descarga, a resposta obtida é muito semelhante, qualquer que seja o método de preparação ou a tensão vertical atingida.

## 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] C. Jorge and A. Vieira, “Avaliação do potencial de liquefação. Aplicação ao território português e à cidade de Setúbal,” in 6.º Congresso Nacional de Geotecnia, Lisboa, 1997, pp. 153–167.
- [2] M. P. da Fonseca, “Estudo da resposta da areia de coimbra sob carregamento uniaxial,” Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, IPC, 2017.
- [3] R. Verdugo and K. Ishihara, “The Steady State of Sandy Soils,” *Soils Found.* **32** (2): 81–91, 1996. doi: 10.3208/sandf.36.2\_81.

## CARACTERIZAÇÃO NO HCA DO COMPORTAMENTO DA AREIA DE HOSTUN

Ramos, R. C.<sup>1</sup>, Araújo Santos, L. M.<sup>2</sup>, Coelho, P. A. L. F.<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Civil. Universidade de Coimbra. ritamoseng@gmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Civil. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. lmsantos@isec.pt

<sup>3</sup> Departamento de Engenharia Civil. Universidade de Coimbra. pac@dec.uc.pt

**Palavras-chave:** ensaios no *hollow cylinder*, areia de Hostun, liquefação.

**Código da Área Temática:** 02

**Poster**

### 1. INTRODUÇÃO

A Universidade de Coimbra tem vindo a desenvolver trabalho experimental de caracterização do comportamento mecânico de diversas areias, entre as quais a areia de Hostun, uma areia francesa representativa do comportamento genérico de areias [1], com intuito de melhor compreender os vários fenómenos associados a problemas de liquefação. O presente estudo laboratorial distingue-se dos anteriores realizados sobre esta areia pelo facto dos dados obtidos resultarem de ensaios sobre amostras cilíndricas ocas, com uma densidade relativa de 40%, e cujas dimensões são 60Di:100Do:200H (mm). Para tal, os ensaios foram executados no *Hollow Cylinder Apparatus (HCA) Mark II* existente no Laboratório de Geotecnia da Universidade de Coimbra.

### 2. HOLLOW CYLINDER APPARATUS MARK II

O HCA Mark II da Universidade de Coimbra é um equipamento bastante completo, pois, além de permitir realizar ensaios de compressão e extensão com conhecimento das tensões principais, com medição e controlo da pressão de água nos poros tal como como o aparelho triaxial, possibilita também a realização de ensaios de torção em amostras, permitindo assim uma simulação mais rigorosa das condições *in situ*. No entanto a utilização do HCA acarreta um aumento da dificuldade na preparação de amostras, bem como na realização dos ensaios, já que as técnicas de preparação utilizadas e o controlo do equipamento são de elevada complexidade, quando comparados com os utilizados no aparelho triaxial.

### 3. ENSAIOS MONOTÓNICOS

Após a uniformização do processo de preparação de amostras e calibração de todos os instrumentos de medição globais e locais bem como do equipamento, procederam-se aos ensaios monotónicos em amostras soltas em condições drenadas e não drenadas para tensões efetivas iniciais de 100 kPa e 200 kPa.

Dos ensaios drenados verificou-se que as amostras apresentam uma fase de amolecimento por deformação, onde as amostras contraem devido ao rearranjo das partículas por imbricamento até atingirem o estado de transformação de fase. Para valores de deformação superiores, a areia estudada passa a apresentar um comportamento dilatante (endurecimento por deformação).

Os ensaios de corte sob condições não drenadas permitiram observar que, para pequenas deformações, ocorre o amolecimento por deformação, mas, para tensões de corte mais elevadas, as amostras apresentam um comportamento de endurecimento por deformação.

### 4. ENSAIOS CÍCLICOS

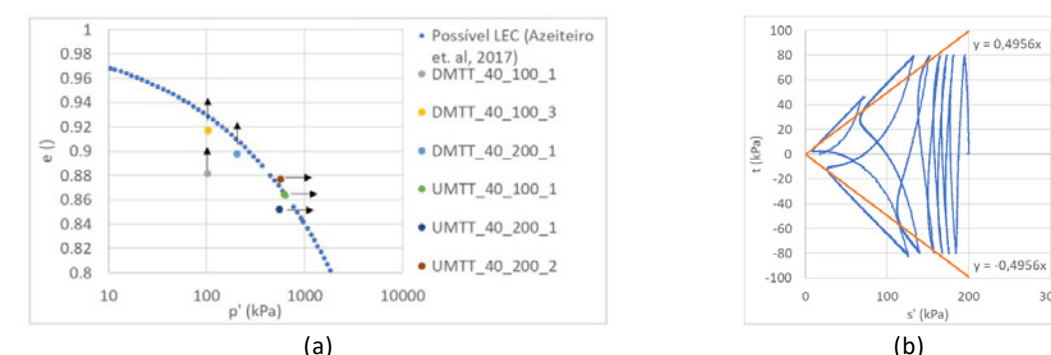
Realizaram-se 3 tipos de ensaios cíclicos: ensaio cíclico drenado para uma tensão efetiva de 100 kPa, ensaio cíclico não drenado para uma tensão efetiva de 200 kPa e, por fim, ensaio cíclico não

drenado com deformação radial nula e uma tensão efetiva de 200 kPa, todos eles para uma relação de tensões cíclicas de 0.40 e em condições de consolidação isotrópicas.

Para o primeiro ensaio verificou-se a existência de uma acumulação da extensão volumétrica que leva ao adensamento da amostra e ao consequente aumento da sua rigidez. Neste ensaio foram realizados 212 ciclos de carga, tendo sido interrompido pois seriam necessários milhares de ciclos para atingir grandes deformações.

O ensaio cíclico de corte não drenado necessitou apenas de 6 ciclos para se atingir a liquefação por mobilidade cíclica. No entanto foi possível verificar que a cada ciclo a tensão efetiva se reduz em consequência da geração de variações positivas de pressão de água nos poros a cada ciclo. Como era expectável, a rigidez diminui a cada ciclo enquanto o coeficiente de amortecimento aumenta. Por fim, comparando o resultado do ensaio não drenado com a projeção da LTF obtida pelos ensaios monotónicos não drenados, pode-se verificar que os resultados são coerentes.

Infelizmente, o último ensaio foi interrompido pelos alarmes do programa que previne que algum fenómeno danifique o equipamento, não tendo sido possível retirar conclusões relevantes.



**Figura 1** – Resultados dos ensaios sobre a areia Hostun: (a) Índice de vazios em função da tensão efetiva e possível LEC proposta por [2]; (b) Trajetória de tensões do ensaio cíclico não drenado (adaptado de [1]).

### 5. CONCLUSÕES

O procedimento desenvolvido para a preparação de amostras permitiu preparar amostras cilíndricas ocas uniformes, tendo o HCA demonstrado a sua versatilidade neste tipo de ensaios que ainda é ampliada pelo grande sistema de instrumentação. No entanto, este equipamento tem algumas limitações associadas, nomeadamente a forma como estão instalados os transdutores de deslocamento que limita o deslocamento angular da amostra, por exemplo. Contudo algumas limitações são contornáveis através da adaptação do equipamento ao ensaio que se pretende realizar. Conclui-se então que este equipamento apesar de ser muito complexo e de requerer uma preparação de amostras muito cuidada e demorada, é importantíssimo para um estudo mais rigoroso do comportamento dos solos.

### 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ramos, R. C., Caracterização no Hollow Cylinder Apparatus” do comportamento cíclico da areia de Hostun, Dissertação submetida à Universidade de Coimbra para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, na área de Especialização em Geotecnia, 2018.
- [2] Azeiteiro, R. J. N., Coelho, P. A. L. F., Taborda, D. M. G., Grazina, J. C. D. Critical state-based interpretation of the monotonic behaviour of Hostun Sand, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering ASCE, 2017.
- [3] Araújo Santos, L. M. Caracterização do comportamento mecânica da areia de Coimbra sob ações generalizadas. Tese submetida à Universidade de Coimbra para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil – ramo de Geotecnia pela Universidade de Coimbra, 2015.

TEMA 03

# **CONSTRUÇÃO 4.0, DIGITALIZAÇÃO E METODOLOGIA BIM**

## APLICAÇÃO DE BIM 7D E REALIDADE AUMENTADA EM FACILITY MANAGEMENT

António Miguel Arriaga de Tavares Pestana

Departamento de Engenharia Civil. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.  
miguelatpestanda@gmail.com

**Palavras-chave:** BIM, Realidade Aumentada, *Facility Management*, Otimização.

**Código da Área Temática:** 03

**Apresentação Oral**

### Introdução:

A aplicação de novas tecnologias com base na sensorização crescente e na IoT, tem vindo a revolucionar todos os âmbitos e aspetos da nossa vida, em muitos casos facilitando e agilizando o que foram em tempos, consideradas tarefas morosas e dispendiosas. A sétima dimensão de BIM tem como foco a gestão e manutenção.

Em *Facility Management* este avanço tem sido traduzido num enorme benefício para todas as partes envolvidas na gestão e operação de uma edificação, possibilitando a coordenação das atividades a realizar, facilitando a comunicação e cooperação entre equipas, agilizando a partilha de informação, que se pretende em tempo real. Assim, é possível otimizar as intervenções de manutenção, redesenhando planos de manutenção de equipamentos e sistemas, menos generalistas e mais focados no desempenho eficiente que se pretende atingir – zero falhas inesperadas – zero interrupções de serviço. A resolução de uma falha pode ser muito mais expedita, utilizando sensores, informatização na gestão de sinais e sistemas de controlo inteligente. A possibilidade de ligar a sensorização em tempo real fornecida pelo sistema de GTC com a informação disponível com o BIM 7D e a transmissão da mesma com RA (Realidade Aumentada) para o *end user* com a omnipresença da rede representa a quarta etapa. Desta forma a rede existe em *IoT*, o display de informação e inputs dados pelas vistorias dos equipamentos é fornecido pela RA num nível mais simples e a gestão de ambas seria feito por BIM 7D tendo em conta a abertura do mesmo às diferentes linguagens e compatibilidade entre todas as linguagens e sistemas, funcionando tanto como interface, mas também como pivot.

### Metodologia:

De forma a se conseguir analisar e quantificar a tese de melhoria, tendo em conta que a tecnologia não existia ainda, foi criado um *case study* teórico. Utilizando informação retirada de casos de intervenção reais, foram selecionados e quantificados alguns parâmetros comuns a todas as intervenções, nomeadamente: o valor de venda ao cliente, o custo estimado para execução, o preço de material, as horas estimadas e reais tanto de técnicos como de planeamento e orçamentação, lucro estimado e lucro real e a duração estimada e a duração real da intervenção. As intervenções selecionadas foram todas de carácter corretivo/curativo e de implementação de novos equipamentos por forma a representar, de igual forma, impacto tanto para o prestador de serviços como para o cliente final. As intervenções estudadas, foram executadas num edifício de

serviços com avançados sistemas de AVAC, Gestão Técnica Centralizada e sensorização, no decorrer de um estágio académico, acompanhando a empresa prestadora de serviço de manutenção das infraestruturas técnicas.

Criando, por meio estatístico, o caso genérico; foram também criados cenários “SE” de redução de horas. Comtemplando incrementos na ordem dos 25% a cada escalão, resultando assim em três cenários, redução de horas nas ordens de: 25% 50% e 75% respetivamente. Aplicou-se então ao caso genérico os cenários de redução, apenas na duração temporal do caso. A lógica que suporta esta decisão é a de ser o tempo a única variável que pode ser afetada com aumento de eficiência que a RA pode gerar, aumentando a eficiência de quem executa e planeia a intervenção. O aumento da eficiência implica a redução da duração o que por sua vez implica aumento de lucro e redução da duração do problema para o cliente, resultando numa situação de *win-win*.

### Conclusão:

Conforme antes mencionado, e tendo como base o caso genérico, no melhor cenário possível com uma redução de tempo de mão de obra na ordem dos 75%, obtém-se um aumento de lucro na ordem dos 27% face ao previsto, assumindo que a mão de obra terá um de 34% no valor de venda. Sendo este aumento de lucro progressivo não linear a par com a redução de tempo de mão de obra, e naturalmente a redução de tempo de intervenção é diretamente transposta como a vantagem para o cliente.

Foi também concluído que a poupança de tempo mais acentuada seria nas medidas corretivas e em novos projetos, pois são as situações que fogem á rotina habitual da equipa residente de manutenção, os ganhos de tempo poderiam ser alocados para outras tarefas ou novos projetos de implementação tecnológico ou alteração do edificado existente.

O grande ganho na utilização de BIM 7D com RA em Facility Management é tempo.

### Considerações finais:

Uma outra situação que poderia usufruir muito desta aplicação de RA em BIM seria a adaptação de novos técnicos nas instalações, existindo forma de visualmente transmitir a informação aos mesmos seria possível reduzir o desperdício de tempo inicial com as deslocações e com a procura tanto das áreas técnicas com os equipamentos presentes nas mesmas, ou seja, o tempo de adaptação á nova instalação passa a zero pois a informação necessária é disponibilizada imediatamente de forma automática.

## BIM COMO FERRAMENTA DE GESTÃO DA INFORMAÇÃO NAS AÇÕES DE INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO DE EDIFÍCIOS ANTIGOS

Carolina M. Rangel<sup>1</sup>, Ana Sofia Guimarães<sup>2</sup>, João P. Poças Martins<sup>3</sup>, Alexandre A. Costa<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Civil. FEUP. up201600640@fe.up.pt

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Civil. FEUP. anasofia@fe.up.pt

<sup>3</sup> Departamento de Engenharia Civil. FEUP. jppm@fe.up.pt

<sup>4</sup> NCREP. alexandre.costa@ncrep.pt

**Palavras-chave:** BIM, Gestão da informação, Reabilitação, Edifícios antigos.

**Código da Área Temática 03**

**Apresentação oral**

### 1. INTRODUÇÃO

No decorrer dos últimos anos além do crescimento nos trabalhos de reabilitação em edifícios antigos na Europa e em Portugal, o setor da construção tem passado por mudanças na gestão de informação dos seus processos. As diversas vantagens provenientes de uma adequada sistematização na troca de informação fazem com que a metodologia BIM (*Building Information Modelling*) gradualmente seja mais requisitada na gestão de projetos. Entretanto, relativamente à sua aplicação a projetos de reabilitação de edifícios existentes, o seu uso ainda é reduzido e pouco explorado [1].

De forma a investigar a aplicabilidade do BIM às ações de inspeção e diagnóstico nos projetos de reabilitação de edifícios antigos na NCREP, é desenvolvida uma metodologia de trabalho direcionada à gestão da informação coletada. Esta visa documentar anomalias e danos de edifícios existentes e de resultados dos ensaios *in situ* de forma sistemática e permitir o armazenamento dessa informação num modelo completo.

### 2. ESTRUTURA DO MÉTODO DE TRABALHO

No âmbito dos trabalhos de consultoria desenvolvidos pela empresa NCREP, as ações de inspeção e diagnóstico são complementares e indissociáveis. Na fase de inspeção é feito o levantamento e caracterização geométrica, do material da estrutura e dos elementos que a constituem, bem como é feito o mapeamento dos danos estruturais *in situ* com base numa visita ao edificado. O diagnóstico é realizado assente na informação fornecida pela investigação histórica e pela inspeção. O parecer técnico a respeito das soluções e estratégias de intervenção sustentadas, de ação mínima, efetivamente dirigida para a colmatação das debilidades das construções é apresentado num relatório juntamente com as peças desenhadas.

O sistema proposto baseia-se no armazenamento desta informação numa aplicação central. Os dados correspondentes aos ensaios realizados *in situ* são introduzidos em ficheiros de folhas Excel (Ficha de ensaio de resistógrafo, *ferroscan*, anomalias e danos, janela de sondagem). A partir deste documento qualquer dado previamente introduzido pode ser representado noutra aplicação. A informação é transposta com recurso a duas linguagens de programação (VBA e *Dynamo* para o *Autodesk Revit*), tornando-as compatíveis com os outros dois formatos (HTML e o *Autodesk Revit* respetivamente), sem que o seu sentido seja alterado ou interpretado de forma inadequada, evitando erros nos processos [2]. Por fim, a informação estará mutuamente armazenada, geometricamente e não-geometricamente (Figura 1).

Paralelamente, são reunidas num catálogo de estrutura similar 62 tipos de anomalias, na sua maioria de carácter estrutural, incidentes em elementos estruturais e construtivos, predominantemente em materiais de alvenaria de pedra e madeira, também englobando materiais como o betão armado e metais. O catálogo tem como função normalizar a representação das anomalias na ficha e no desenho.

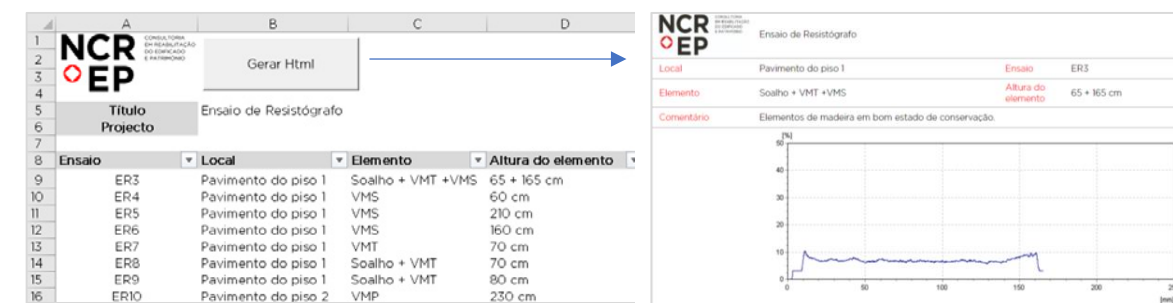


Figura 1. Geração do relatório automático a partir da Ficha tipo.

A representação gráfica do modelo do edifício é feita na aplicação de modelação *Revit Autodesk*. A localização das anomalias e pontos dos ensaios realizados nos elementos estruturais são indicadas por elementos de modelo (famílias de componente) criados para este fim (Figura 2). As informações são introduzidas no modelo de desenho de forma automática por meio de rotinas criadas na extensão *Dynamo*, no programa. As rotinas têm como base a importação dos dados introduzidos na folha de Excel da ficha do ensaio correspondente.

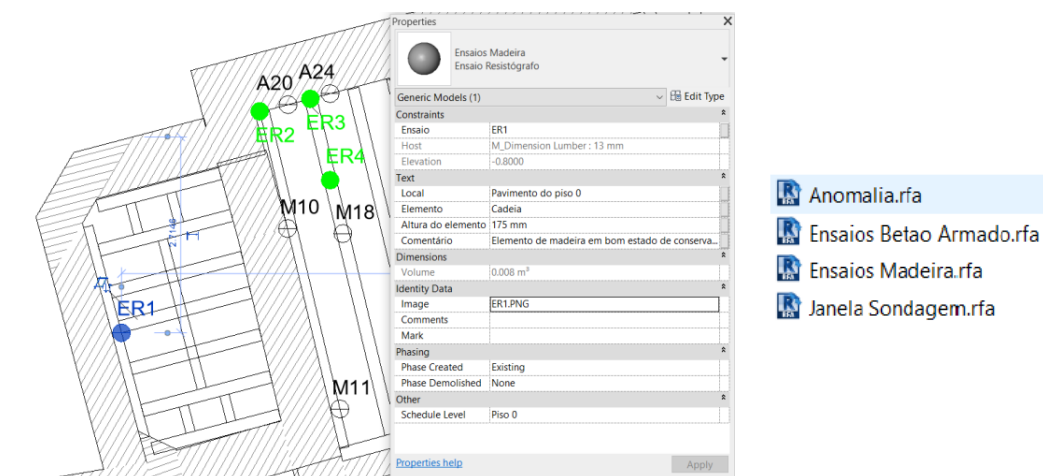


Figura 2. Representação do local e dos dados dos ensaios no modelo.

### 3. CONCLUSÕES

A adoção da metodologia constitui uma mais valia quanto à otimização da fase inicial dos projetos de Reabilitação, em particular das ações de Inspeção e Diagnóstico. A divisão em duas vertentes para armazenar a informação relativa aos dados dos ensaios e do apontamento das anomalias nos edifícios pode ser feito de forma independente. Entende-se que, quando o modelo do edifício for fornecido, a metodologia pode ser aplicada por completo permitindo um controle mais ajustado da informação atribuída ao mesmo. Este estudo constitui uma etapa inicial para que o BIM, em tantas outras vertentes, possa ser implementado e os benefícios a respeito desta metodologia possam ser amplificados dentro da empresa.

### 4. REFERÊNCIAS

- [1] Volk, R.; Stengel, J.; Schultmann, F., Building Information Modeling (BIM) for existing buildings - Literature review and future needs, *Automation in Construction*, Vol 38, pp.109-127,2014.
- [2] Rangel, C., Catalogação de materiais e anomalias típicas de edifícios antigos de alvenaria e madeira com recurso a BIM, *Dissertação de Mestrado*, pp.69-88, 2019.

## BIM-based LCA of seismic strengthening solutions for reinforced concrete precast buildings

Cátia Raposo<sup>1</sup>, Fernanda Rodrigues<sup>1</sup>, Hugo Rodrigues<sup>2</sup>

<sup>1</sup> RISCO, Civil Engineering Department, University of Aveiro, Aveiro, Portugal

<sup>2</sup> RISCO, School of Technology and Management, Polytechnic Institute of Leiria, Leiria, Portugal

**Keywords:** Life cycle assessment; Life cycle cost; Seismic strengthening; BIM.

03.

Poster

### 1. INTRODUCTION

This paper applies the LCA methodology in cooperation with BIM methodology in two case studies: the first refers to the construction and demolition (at the end of service life) of precast elements of a new building and the second refers to seismic reinforcement of a similar existent precast structure and its demolition. Furthermore, the LCC is also calculated in both situations to support decision making. The object of study is an industrial building located in the center of mainland Portugal and, resourcing BIM methodology the parametric buildings model (structural) was developed in Autodesk Revit (Tally), which was introduced the required data to evaluate the environmental performance of materials and construction processes, throughout their life cycle.

The main objectives are (1) determine the option with the lowest environmental impact and associated costs, and (2) to evaluate the integration of LCA in the BIM model.

### 2. CASE STUDY

#### 2.1 Building characterization

The building under study is a single-story industrial building with total gross area of 34 614.42 m<sup>2</sup> and consists in a structure with 189 beams, 131 columns and 144 panels, in reinforced and prestressed concrete. All the beams in the structure are connected with the columns by steel rods or threaded rods that emerge from the interior of columns. The structural design of the new industrial building it's according with the current seismic requirements standards.

It was considered an existing industrial building with the same geometric configuration. However, based on the analysis of 16 industrial design projects before the 90's, it was observed that the amount of steel and the section of the columns are smaller. Beyond that, there are not mechanical connections between beams and columns, which increases the risk of structural damage under an earthquake. Therefore, to ensure efficient seismic performance, this building needs to be strengthened.

### 3. DISCUSSION

#### 3.1 LCA of the new building and LCA of the existing building

After the building modelling, the materials were defined according with Tally's database. The distance from the factory to the construction site was defined (638 km) and the quantities of materials were automatically extracted from the BIM model to the LCA calculation software. Tally calculates the environmental impacts per m<sup>2</sup> of built area for each phase of the life cycle. After analyze 5 impacts category (smog formation, ozone depletion, global warming, eutrophication and acidification), it was

found that the category with the highest contribution is global warming and the phases with the highest impact are, respectively: production, construction and final disposal.

For the existing building, after a literature review based on the typical failures of this type of construction, the seismic reinforcement solution adopted [1] includes three types of steel connections: beam-beam connection, beam-column connection and panel-column connection.

Thereby, the materials were defined according with Tally database (except the diameter of the rods that was obtained based on real projects [2], [3]) and the distance between the construction site and the factory (100 km) was also introduced. It was found that the impact category with the highest contribution is global warming and the phase with the large impact is the production.

Finally, the results most significant reveal that for global warming the value obtained for the new building is 128.5 times higher than in the existing building and for smog formation, this value is 138.5 times higher than in the existing building. Thus, the alternative with the lowest environmental impact is the refurbishment of the existing building.

#### 3.2 LCC of the new building and LCC of the existing building

The costs of construction, demolition of precast elements and connections seismic reinforcement were calculated, and all the amounts include material, workforce and equipment costs.

With CYPE, the total execution cost (manufacturing, transport and assembly) of the columns, beams and panels was calculated, accounting a total cost of 901 412.04 €. To calculate the demolition costs CYPE was also used and the total cost of demolition of precast elements is 205 083.88 €. Therefore, considering the execution and demolition costs of precast elements in the new building these accounts 1 106 495.92 €.

For the existing building, taking into account the total cost of refurbishment with seismic reinforcement and demolition of precast elements these accounts 291 751.46 €.

Therefore, when comparing the costs of the new and the existing building, the costs of this one are 3.79 times lower than the costs of the new building.

### 4. CONCLUDING REMARKS

Relatively to Life Cycle Assessment, this study was conditionate by the lack of materials in the Tally database. In addition, the tool does not calculate the environmental impacts when the new and existing building are demolished, otherwise, the total environmental impacts would be higher than the results presented.

For the Life Cycle Cost, uncertainties were found between the costs of execution and demolition of precast elements and the seismic reinforcement costs, relatively to the real costs of each case. Indeed, in the case of demolition, how it is accomplished in different lifetimes, the inflation rate was not accounted because there are not projections for such a long useful life (50 years). Nevertheless, there is insufficient data to apply other economic indicators.

From the LCA and LCC analysis it can be concluded that the most advantageous alternative is the refurbishment of the existing building, because the environmental impacts and the costs are significantly reduced. In addition, the seismic reinforcement allows the recovery of the building functional performance and ensures higher durability with the safety of the structural elements.

### 5. REFERENCES

- [1] D. A. Bournas, P. Negro, and F. F. Taucer, "Performance of industrial buildings during the Emilia earthquakes in Northern Italy and recommendations for their strengthening," *Bull. Earthq. Eng.*, vol. 12, no. 5, pp. 2383–2404, 2014.
- [2] A. Arrigoni, C. T. S. Beckett, D. Ciancio, R. Pelosato, G. Dotelli, and A. C. Grillet, "Rammed Earth incorporating Recycled Concrete Aggregate: a sustainable, resistant and breathable construction solution," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 137, no. March, pp. 11–20, 2018.
- [3] Q.-B. Bui, T.-T. Bui, R. El-Nabouch, and D.-K. Thai, "Vertical Rods as a Seismic Reinforcement Technique for Rammed Earth Walls: An Assessment," *Adv. Civ. Eng.*, vol. 2019, pp. 1–12, 2019.

## GESTÃO DO PATRIMÓNIO EDIFICADO COM RECURSO AO BIM

Eliana Tavares<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Civil. Universidade de Aveiro. elianabatista@ua.pt

**Palavras-chave:** *Building Information Modeling* (BIM), Ciclo de Vida do Edifício, Gestão da Manutenção, Metodologia.

### 03. Construção 4.0, digitalização e metodologia BIM

Vídeo

#### A Metodologia BIM na Gestão e Manutenção de Edifícios

Ao longo do ciclo de vida de uma instalação, a grande maioria das despesas ocorre durante a fase de operação. As fases de projeto e construção têm um custo de cerca de 15% do valor total da obra, enquanto, a fase mais longa da vida útil de um edifício, a fase de operação, constitui aproximadamente 60% do valor total [1]. Um conjunto importante de atividades, durante esta fase, está associado à manutenção e à reparação de instalações [1]. A capacidade de manutenção é definida como a capacidade de alcançar o melhor desempenho ao longo da vida útil de uma instalação com um custo mínimo de ciclo de vida [2]. Atualmente, em grande parte dos edifícios, é feita uma manutenção relativa, uma prática ineficaz que pode custar de três a quatro vezes mais do que uma manutenção preventiva e planeada. Assim sendo, existe a necessidade de implementar, nos edifícios existentes, sistemas de manutenção com base no planeamento e na prevenção, ao invés de se reagir a falhas [1].

A grande vantagem da utilização do BIM na gestão da manutenção de edifícios é integrar a informação inerente a essas atividades, no modelo paramétrico do edifício, criando uma ligação entre a gestão de instalações e os dados do modelo geométrico. Da interação destes dois conceitos surge o BIM GE (Building Information Modeling na Gestão de Edifícios), uma forma eficaz de criar, gerir e manter a informação durante as várias fases da vida útil do edifício, como se esquematiza na Figura 1. Desta forma, todas as entidades e processos que integram o BIM devem estar permanentemente alinhados, interligados e atualizados, para resultar num processo de gestão fiável e eficaz [3].

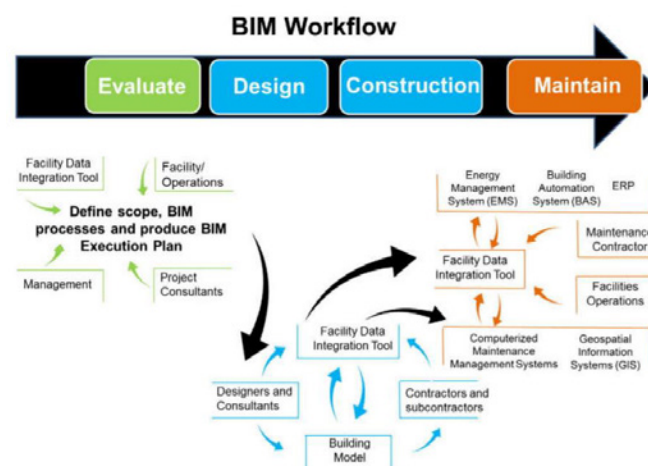


Figura 1. Projeto BIM na Gestão de Edifícios (Love, et al., 2014)

#### Caso prático – Aplicação da metodologia BIM

Apesar de ainda não ser um tema muito desenvolvido, a aplicação desta metodologia a edifícios existentes pode trazer inúmeras vantagens. Assim, com base num caso prático, pretende-se demonstrar as vantagens da criação de um modelo paramétrico para um edifício existente, bem como a sua utilidade ao longo do ciclo de vida no âmbito da gestão do edificado.

Para tal foi necessário, numa primeira fase, modelar o edifício no Software Autodesk Revit, com todas as características e propriedades dos elementos que o compõem. Posteriormente, com base na norma OmniClass efetuou-se a classificação dos espaços. Desenvolveu-se um plano de manutenção adequado ao edifício em estudo definindo os elementos fonte de manutenção (EFM), as ações de manutenção, a sua periodicidade, as datas da última e da próxima intervenção e o custo unitário das mesmas. Para que a informação do plano de manutenção fosse proveniente do modelo paramétrico foi necessário atribuir estes parâmetros às famílias de objectos que seriam alvo de manutenção. Por fim, preencheram-se esses parâmetros com a informação das ações de manutenção realizadas, as quais são extraídas através de tabelas como a que se apresenta na Figura 2.

| Autor Edifício | Data Natureza | Revisão     |      |                            |               |                             |       |
|----------------|---------------|-------------|------|----------------------------|---------------|-----------------------------|-------|
| EFM            | Designação    | Localização | Ação | Data da Última Intervenção | Periodicidade | Data da Próxima Intervenção | Custo |
|                |               |             |      |                            |               |                             |       |
|                |               |             |      |                            |               |                             |       |
|                |               |             |      |                            |               |                             |       |
|                |               |             |      |                            |               |                             |       |
|                |               |             |      |                            |               |                             |       |
|                |               |             |      |                            |               |                             |       |
|                |               |             |      |                            |               |                             |       |

Figura 2. Layout desenvolvido para o plano de manutenção

Para que o plano de manutenção fosse obtido a partir do modelo paramétrico de forma automática criaram-se rotinas informáticas recorrendo ao Dynamo BIM que funcionam de forma bi-direcional, ou seja, exportam a informação de manutenção dos elementos seleccionados para o plano de manutenção em Excel e importam a nova informação de manutenção do Excel para os elementos do modelo paramétrico (Figura 3).

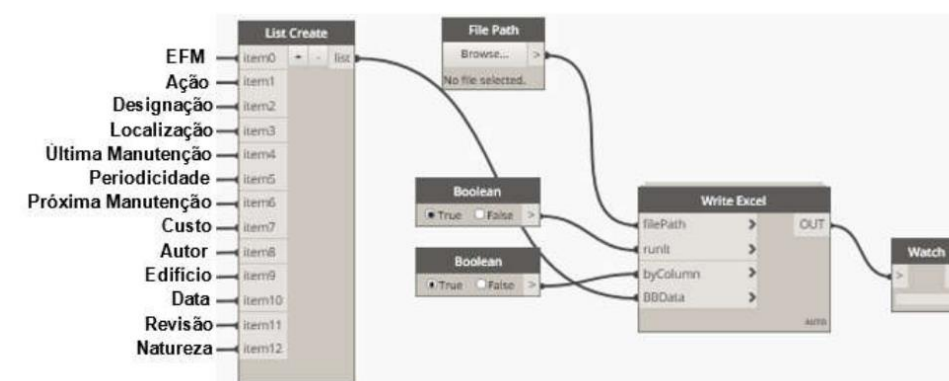


Figura 3. Excerto da rotina informática

- [1] Akcamete et al. (2010). Potential utilization of building information models for planning maintenance activities. Proceedings of the International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, (March 2015).
- [2] Becerik-Gerber, et al. (2012). Application areas and data requirements for BIM - Enabled facilities management. Journal of Construction Engineering and Management, 138(3), 431–442.
- [3] Carvalho, C. P. (2016). A metodologia BIM – building information modeling na gestão da manutenção das infraestruturas do Campus 2 do Instituto Politécnico de Leiria. Instituto Politécnico de Leiria.

## A APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DA METODOLOGIA LEAN NA DIREÇÃO DE UMA OBRA

Quelhas, J.

Departamento de Engenharia Civil. Instituto Superior de Engenharia do Porto. Mestrado em Engenharia Civil - 1151351@isep.ipp.pt

**Palavras-chave:** Construção, Lean, [Sala Obeya], Planeamento, [Last Planner System].

**Código da Área Temática:** 03

**Apresentação oral**

### 1. INTRODUÇÃO

O presente documento resulta do estágio desenvolvido em ambiente empresarial na Garcia, Garcia Design & Build S.A. (G&G).

#### 1.1 GARCIA, GARCIA DESIGN & BUILD S.A. vs KAIZEN INSTITUTE

De forma a responder às necessidades das obras, a G&G em parceria com o Kaizen Institute tem vindo a implementar nas mesmas o [Last Planner System] com recurso à metodologia [Controlo Visual da Obra]. Esta parceria tornou-se uma mais-valia para o desenvolvimento dos objetivos propostos para o estágio, pois resultou num contributo de definição dos processos a implementar tendo em vista uma eficaz aplicação do *Lean*, contribuindo para o melhoramento das técnicas propostas pelo Kaizen Institute.

### 2. CASOS DE ESTUDO

O estágio incidiu no acompanhamento de duas empreitadas: a primeira, em fase de acabamentos, Asprela Domus II, e a segunda, na fase de preparação da obra, Asprela Domus III.

#### 2.1. Asprela Domus II

O Asprela Domus II tinha em implementação a metodologia [Sala Lean] onde se integrava um [Checklist] por fração de habitação. De forma a colmatar a necessidade de controlar não só as habitações como as zonas comuns, criou-se um [Checklist] para as zonas comuns. Com recurso aos dois [Checklist] foi possível, antecipadamente, desbloquear os constrangimentos existentes e organizar as equipas com a finalidade de cumprir o planeamento estabelecido.

#### 2.2. Asprela Domus III

O Asprela Domus III, em fase de implantação da obra, foi possível participar em todos os momentos de preparação. Assim, os trabalhos iniciais passaram pela avaliação das condições do local e na implementação da [Sala Obeya], conforme as regras de [1].

Desta forma, aquando das reuniões semanais [Sala Obeya] era estabelecido, com o auxílio da informação afixada nos expositores existentes, a análise e discussão dos trabalhos da semana anterior, bem como prever os constrangimentos das semanas seguintes e determinar soluções para as evitar. Assim, em complemento à Ata de Reunião de Obra era apresentado o Plano Semanal e o Plano a Curto Prazo (três, quatro ou seis semanas), dependendo da facilidade de o planejar, de forma a comprometer os subempreiteiros no cumprimento dos prazos.

Face à dimensão da obra e com o claro objetivo de colmatar a necessidade constante de procurar a informação na [Sala Obeya] - metodologia [Kaizen], foi proposto a criação de um [Kaizen Digital] - folha Excel que permite reduzir o tempo de análise dos dados obtidos, visto ser possível aceder e atualizar o ficheiro em qualquer local da obra. No que integra o [Kaizen Digital], o Plano Semanal, Figura 1, é composto pelas durações das tarefas e, mesmo não sendo relevante para efeitos da sua análise, a inclusão da distribuição das tarefas pelos subempreiteiros permite informar-lhes os dias em que podem realizar as mesmas sem constrangimentos com os restantes subempreiteiros intervenientes na mesma área de trabalhos.

No fim de cada semana era implementado o balizamento do Plano Semanal: a tarefa era identificada como “Atrasada” sempre que, por motivos diversos, a mesma não tivesse iniciado – a razão desse impedimento era selecionada de uma lista de razões de incumprimento.

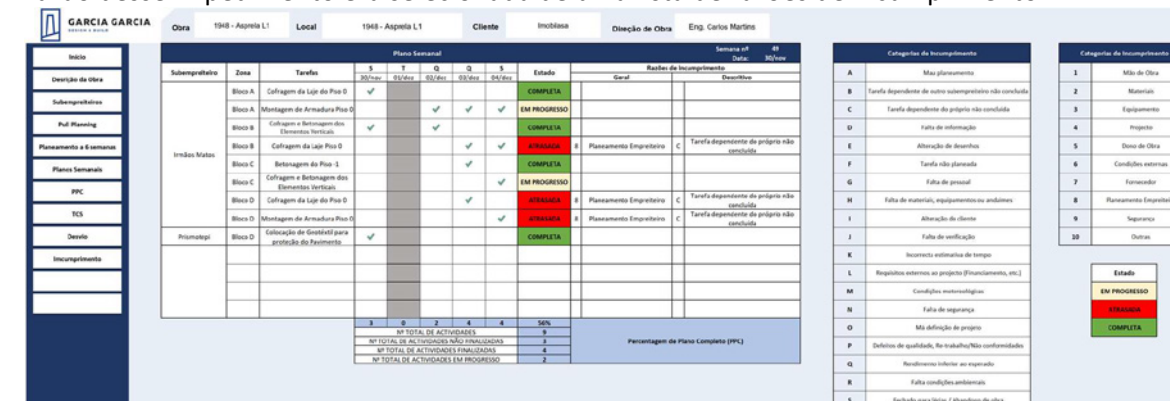


Figura 1 - Plano Semanal. (autor)

O Plano Semanal permitia, à posteriori, calcular a Percentagem de Plano Completo (PPC) e consequentemente a Taxa de Cumprimento Semanal (TCS), em todos os balizamentos realizados até ao fim da obra.

Com o recurso da folha [Kaizen Digital] e às medições realizadas no início da obra, foram criadas folhas de Registo e Controlo de Produção e Receção de Materiais. Esta ferramenta teve como finalidade auxiliar os Autos de Produção e de Faturação Mensal, uma vez que contém todas as datas e respetivas intervenções em cada elemento.

Como a obra estava na fase inicial, foi possível projetar a implantação do estaleiro e atentar às condicionantes da empreitada. Sendo o mote da G&G a “gestão mais eficiente”, foram aplicadas regras simples baseadas em metodologias como o [Controlo Visual] e o [5S], quer no estaleiro em geral, quer nas áreas comuns e na ferramentaria, contribuindo para a redução dos tempos de transporte, organização e segurança e, espera como resultado, menos desperdícios.

Para facilitar a preparação e o controlo dos trabalhos foi executada a modelação do edifício, com recurso ao software REVIT, bem como a inserção do esquema de implantação de negativos para a rede de drenagem pluvial. Com estes procedimentos de melhoria na execução da superestrutura, foi possível antever os constrangimentos e agilizar os processos de marcação dos negativos na estrutura, reduzindo, em larga escala, os desperdícios de tempo na implantação da estrutura e dos negativos para a rede de drenagem e pluvial, antevendo eventuais correções.

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A existência do [Checklist] – Apartamento e do [Checklist] - Zonas comuns permitiu a identificação das lacunas existentes, permitindo um melhor acompanhamento e controlo dos trabalhos realizados, garantindo o cumprimento dos prazos a que a Direção de Obra se propôs. A criação do [Kaizen Digital] e a sua implementação nas reuniões de obra facilitou os procedimentos de controlo e acompanhamento dos trabalhos, quando integrado com a metodologia *Lean*: [Sala Obeya]. A modelação em REVIT permitiu a antecipação de constrangimentos, quer a nível estrutural, quer das redes de drenagem e pluvial.

Em conclusão, o objetivo do acompanhamento das empreitadas com o recurso às metodologias *Lean* no âmbito da construção, e a sugestão das melhorias, foi alcançado. Com isto foram conseguidos melhores resultados na melhoria dos processos de Direção e Gestão das Obras, viabilizando a sua implementação noutros casos de estudo dentro da organização G&G.

### 4. REFERÊNCIAS

- [1] Kaizen Institute. (2019). *Norma Preenchimento da Sala Obeya*.
- [2] Poças, J., & Monteiro, A. (2011). *Building Information modeling-Funcionalidades e Aplicação*. FEUP
- [3] Rubio, J. (2019). *Lean Construction y la planificación colaborativa*. Consejo General de la Arquitectura Técnica de España.

## ANÁLISE DA COMPATIBILIDADE ENTRE PROJETOS DE ESPECIALIDADES COM RECURSO AO BIM

Ricardo Simões<sup>1</sup>, João Hormigo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Área Departamental de Engenharia Civil. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL).  
simoes.rja@gmail.com

<sup>2</sup> Área Departamental de Engenharia Civil. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL).  
joao.hormigo@edp.com

**Palavras-chave:** BIM, Revit, Navisworks, Compatibilização, Projeto.

### 03. Construção 4.0, digitalização e metodologia BIM

### Apresentação Oral

**1. RESUMO** - Neste Trabalho Final de Mestrado (TFM) é analisada, em âmbito académico e com recurso à metodologia BIM, a compatibilidade entre os projetos de nove especialidades de um edifício de serviços com cerca de 1544 m<sup>2</sup> de área bruta de construção, no concelho de Cascais, distrito de Lisboa [1].

**2. ENQUADRAMENTO** – O *Building Information Modeling* (BIM) surge em meados de 1970, através de *Charles M. Eastman*, com o propósito de revolucionar a indústria da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO). A grande inovação estava relacionada com a criação de modelos geométricos, aos quais era possível associar todo o tipo de informação, permitindo, através de processos colaborativos e dinâmicos, simular os diferentes ciclos de vida de um determinado empreendimento envolvendo todas as partes interessadas [2].

Uma das grandes vantagens desta metodologia, prende-se com o facto de utilizar modelos tridimensionais permitindo uma conceção de projetos dinâmica e mais detalhada, o que garante uma diminuição considerável de erros e omissões.

Apesar do BIM ser genericamente conhecido na indústria AECO, verifica-se ainda uma grande inércia à sua implementação em Portugal [3], sendo por esse motivo, ainda bastante comum a conceção de projetos segundo a metodologia tradicional, em *Computer-aided design* (CAD), baseada num conjunto de peças desenhadas elaboradas em duas dimensões.

Assim, através de um caso de estudo, com uma dimensão considerável e uma relativa complexidade, é analisada a compatibilidade entre os projetos de especialidades de maior relevância nesse empreendimento, de uma forma que não seria possível tendo por base a metodologia tradicional seguida na conceção desses mesmos projetos.

### 3. METODOLOGIA

**3.1 Modelação do edifício** - Tendo em consideração o objetivo do TFM, assim como a normalização aplicável, foi definido o LOD 200 como nível de desenvolvimento, representando graficamente todos os elementos das respetivas especialidades. Desta forma, a coordenação entre projetos é realizada com base nas características geométricas dos diferentes elementos, nomeadamente a sua volumetria e localização [3].

A modelação dos projetos foi realizada através do *Revit*, versão de 2017, respeitando ainda outras normas e diretrizes do BIM, nomeadamente o princípio dos modelos parciais. No total, foram criados dez modelos de acordo com a sua finalidade: Implantação, Arquitetura, Estabilidade, Águas Prediais, Águas Residuais Domésticas, Águas Pluviais, Segurança Contra Incêndio em Edifícios (SCIE), Gás Natural, Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) e Iluminação.

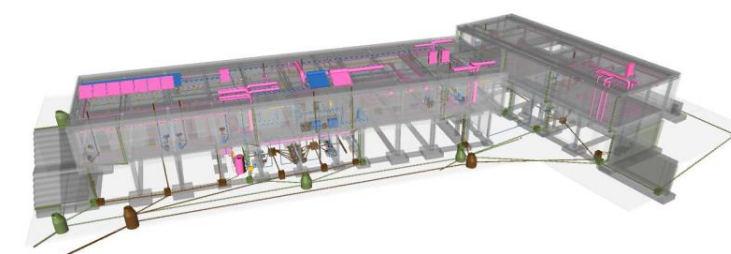


Figura 1. Modelo federado do empreendimento

**3.2 Estudo da compatibilidade entre projetos** – Em comparação com a metodologia tradicional, o BIM torna a coordenação e a compatibilização de projeto mais eficiente e minuciosa, dado que permite confrontar os modelos diretamente entre si, sem recorrer a processos exaustivos e suscetíveis de falhas que, de um modo geral, têm como objeto de estudo uma quantidade considerável de peças desenhadas.

Nesse sentido, foi utilizado o software *Navisworks*, versão 2017, de forma a identificar erros e omissões de projeto, quer visualmente através da navegação nos modelos, quer através da função *Clash Detective*, classificando posteriormente todas as incompatibilidades detetadas quanto à sua resolução.

**4. RESULTADOS** – A deteção de colisões foi realizada confrontando os modelos individualmente entre si, tendo-se realizado 37 testes que identificaram um total de 3680 colisões entre objetos. Destes, foi necessário proceder a uma triagem de forma a excluir erros de modelação e agrupadas as interseções entre um objeto de uma especialidade e diversos outros objetos de outra especialidade diferente. Como resultado desta seleção, foram identificadas 201 incompatibilidades, encontrando-se as mesmas discriminadas por especialidade no gráfico 1.

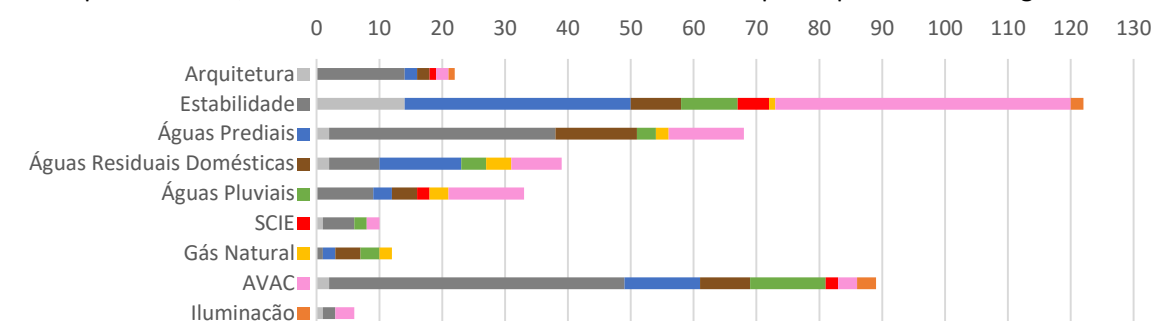


Gráfico 2. Quantificação das incompatibilidades identificadas entre especialidades.

**5. CONCLUSÕES** – Apesar de parte das incompatibilidades detetadas poderem vir a ser solucionadas adaptando a sua execução em obra, constatou-se que havia uma quantidade considerável que carece de alteração ou revisão de projeto. O que, não sendo identificado atempadamente provocará inevitavelmente um incumprimento no planeamento da obra previsto inicialmente, tanto a nível de custos, como de calendarização.

De um modo geral, as incompatibilidades detetadas seriam evitadas ainda em fase de projeto, caso fosse adotada a metodologia BIM, uma vez que durante a elaboração dos respetivos modelos, é possível relacioná-los de modo a definir as melhores soluções técnicas e construtivas com vista à compatibilidade entre as diferentes especialidades, desde a fase embrionária da sua conceção.

### 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Câmara Municipal de Cascais. Proc.º 24/EOP/DCOP/2016 – Empreitada de construção da sede do Parede Futebol Clube
- [2] CT197. O que é o BIM? Agosto de 2016. Disponível em: <http://www.ct197.pt/index.php/homepage/o-que-e-o-bim>. Data de acesso: Fev/2021
- [3] American Institution of Architects. Division of Facilities Construction and Management, G202 – Project Building Information Modeling Protocol Form, 2013.

## “METODOLOGIA BIM APLICADA A GESTÃO DE ATIVOS”

Svetlana João<sup>1</sup>, João Hormigo<sup>2</sup>, Maria João Falcão<sup>3</sup>, Paula Couto<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, ISEL. Svetlana\_marilia@hotmail.com

<sup>2</sup> Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, ISEL. Joao.hormigo@edp.pt

<sup>3</sup> Laboratório Nacional de Engenharia Civil, LNEC. mjoaofalcao@lnec.pt

<sup>4</sup> Laboratório Nacional de Engenharia Civil, LNEC. pcouto@lnec.pt

**Palavras-chave:** BIM, Metodologia BIM, Gestão de Ativos e COBie.

**Código da Área Temática:**

03. Construção 4.0, digitalização e metodologia BIM.

**Apresentação oral**

### 1. ESPECIFICAÇÕES GERAIS

Com esse resumo alargado pretendo apresentar o trabalho final de mestrado, trabalho que teve como objetivo implementar numa Unidade Operativa Laboratorial de Ensaios Hidráulicos (UOLEH) a Gestão de Ativos com o auxílio da metodologia BIM. A referida unidade foi modelada em BIM com a informação e detalhe necessários aos requisitos para a implementação de um sistema de Gestão de Ativos, com base nas Normas ISO 55000. No âmbito do estudo foi analisado o estado atual das práticas de uma gestão de ativos nas instalações laboratoriais, por forma a identificar a posição da organização em relação aos requisitos das normas. Para finalizar, o estudo apresenta um método utilizando o Construction Operations Building Information Exchange (COBie) que interliga a Gestão de Ativos e a metodologia BIM e também demonstra as vantagens da metodologia BIM aplicada à Gestão de Ativos.

### 2. Caso de Estudo – Plano de Gestão de Ativos

Para atingir os objetivos traçados da implementação de um sistema de gestão de ativos utilizando a metodologia BIM na unidade operativa laboratorial para ensaios hidráulicos (UOLEH) desenvolveu-se uma “Proposta de Modelo de Gestão de Ativos para o Caso de Estudo”. O conjunto de processos do modelo foi elaborado de acordo com as normas ISO 55000 e o ciclo PDCA (ciclo de Deming).

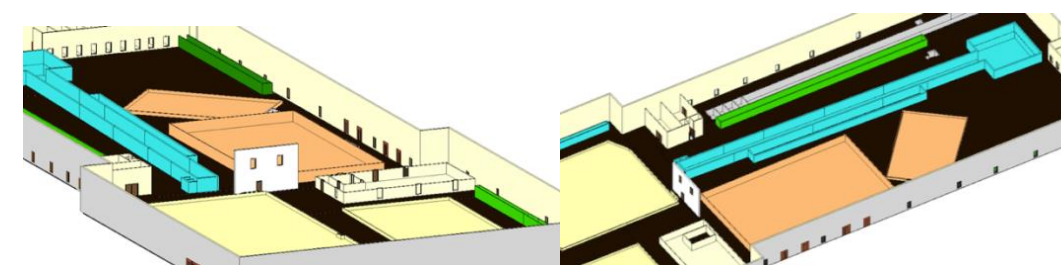
*Proposta de Modelo de Gestão de Ativos para o Caso de Estudo:*

- Definição da estratégia e requisitos (Plan)** - Nesta etapa foram definidos os objetivos estratégicos, o que se pretende atingir com as atividades de gestão de ativos da UOLEH. Sendo que os objetivos foram sustentabilidade social, sustentabilidade da gestão do serviço, sustentabilidade ambiental.
- Plano de gestão de ativos (Do)** – Nesta segunda etapa agrupou-se um conjunto de informação para implementação do Plano de Gestão de Ativos, centralizado no Modelo Abrangente e Integrado de Gestão de Ativos Industriais (MAIGAI) [1] e nas atividades de manutenção na UOLEH. Este modelo tem como finalidade aplicar as Normas ISO 55001 e propor uma metodologia aplicável em instalações de ensaios hidráulicos. Sendo considerados como elementos principais para um sistema de ativos na UOLEH: i) Gestão do Negócio, ii) engenharia, iii) operação e manutenção; iv) gestor de ativos.
- Avaliação de desempenho (Check)** – Numa fase seguinte procede-se à monitorização da eficiência do sistema de gestão de ativos e do desempenho desta atividade na UOLEH, para que se possam identificar, por processos detalhados através da análise SWOT (Strengths - Forças, Weaknesses - Fraqueza, Opportunities - Oportunidades, Threats - Ameaças) e o Grau de Maturidade, e implementar, posteriormente, melhorias e/ou correções onde forem necessárias (Plano de Ação). Para a avaliação do grau de maturidade foram realizadas 29 perguntas para cada um dos 27 requisitos da ISO 55001, elaboradas pela IAM, 2014. O grau de maturidade que se obteve foi o nível “2” (Desenvolvimento).

- Plano de ação (Act ou Action)** - No plano de ação trabalhou-se para que na ocorrência de uma não conformidade ou um incidente nos ativos, na gestão de ativos ou no sistema de gestão de ativos na UOLEH fossem realizadas determinadas ações: i) tomar medidas para controlar e corrigir; ii) lidar com as consequências; iii) avaliar as necessidades de ações para eliminar as causas dos incidentes, de modo a que não se repita ou não ocorra; iv) determinar as causas da não conformidade ou incidente; v) determinar a existência de não conformidades similares ou da suscetibilidade de virem a ocorrer.

### 3. Caso de Estudo - Modelação em BIM e Exportação ao COBie

No âmbito do presente trabalho foram modeladas apenas as especialidades de Arquitetura e MEP da UOLEH, sendo a especialidade de estrutura excluída porque os seus componentes não precisam de manutenção frequente e inspeções regulares. Para aplicação da metodologia BIM na Gestão de Ativos, foi escolhido o programa BIM - Revit 2018, criado pela Autodesk, e o Plug-in para ligação com a Gestão de Ativos foi o COBie. Primeiro, criou-se o modelo de Arquitetura e MEP no Revit, de seguida adicionou-se toda a informação necessária, tais como: equipamentos, tipos, localização, características, entre outros. De seguida, exportou-se toda a informação nas folhas de calculo (COBie). Deste modo, concretiza-se com maior facilidade a Gestão de Ativos da instalação UOLEH. O COBie inclui dezanove folhas de trabalho que são: contactos, documentos, ativos, pisos, tipos, espaços, componentes, zonas, sistemas, tarefas, recurso, reserva, atributos, coordenadas, edição e lista de seleção.



**Figura 1.** Modelo de Arquitetura da Instalação.

| A          | B          | C          | D          | E          | F          | G          | H          | I          | J          | K          | L          | M          | N          | O          |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Area       | Category   | Category   | Category   | Category   | Category   | Category   | Category   | Category   | Category   | Category   | Category   | Category   | Category   | Category   |
| Doors_M_1  | Doors_M_1  | Doors_M_1  | Doors_M_1  | Doors_M_1  | Doors_M_1  | Doors_M_1  | Doors_M_1  | Doors_M_1  | Doors_M_1  | Doors_M_1  | Doors_M_1  | Doors_M_1  | Doors_M_1  | Doors_M_1  |
| Doors_M_2  | Doors_M_2  | Doors_M_2  | Doors_M_2  | Doors_M_2  | Doors_M_2  | Doors_M_2  | Doors_M_2  | Doors_M_2  | Doors_M_2  | Doors_M_2  | Doors_M_2  | Doors_M_2  | Doors_M_2  | Doors_M_2  |
| Doors_M_3  | Doors_M_3  | Doors_M_3  | Doors_M_3  | Doors_M_3  | Doors_M_3  | Doors_M_3  | Doors_M_3  | Doors_M_3  | Doors_M_3  | Doors_M_3  | Doors_M_3  | Doors_M_3  | Doors_M_3  | Doors_M_3  |
| Doors_M_4  | Doors_M_4  | Doors_M_4  | Doors_M_4  | Doors_M_4  | Doors_M_4  | Doors_M_4  | Doors_M_4  | Doors_M_4  | Doors_M_4  | Doors_M_4  | Doors_M_4  | Doors_M_4  | Doors_M_4  | Doors_M_4  |
| Doors_M_5  | Doors_M_5  | Doors_M_5  | Doors_M_5  | Doors_M_5  | Doors_M_5  | Doors_M_5  | Doors_M_5  | Doors_M_5  | Doors_M_5  | Doors_M_5  | Doors_M_5  | Doors_M_5  | Doors_M_5  | Doors_M_5  |
| Doors_M_6  | Doors_M_6  | Doors_M_6  | Doors_M_6  | Doors_M_6  | Doors_M_6  | Doors_M_6  | Doors_M_6  | Doors_M_6  | Doors_M_6  | Doors_M_6  | Doors_M_6  | Doors_M_6  | Doors_M_6  | Doors_M_6  |
| Doors_M_7  | Doors_M_7  | Doors_M_7  | Doors_M_7  | Doors_M_7  | Doors_M_7  | Doors_M_7  | Doors_M_7  | Doors_M_7  | Doors_M_7  | Doors_M_7  | Doors_M_7  | Doors_M_7  | Doors_M_7  | Doors_M_7  |
| Doors_M_8  | Doors_M_8  | Doors_M_8  | Doors_M_8  | Doors_M_8  | Doors_M_8  | Doors_M_8  | Doors_M_8  | Doors_M_8  | Doors_M_8  | Doors_M_8  | Doors_M_8  | Doors_M_8  | Doors_M_8  | Doors_M_8  |
| Doors_M_9  | Doors_M_9  | Doors_M_9  | Doors_M_9  | Doors_M_9  | Doors_M_9  | Doors_M_9  | Doors_M_9  | Doors_M_9  | Doors_M_9  | Doors_M_9  | Doors_M_9  | Doors_M_9  | Doors_M_9  | Doors_M_9  |
| Doors_M_10 | Doors_M_10 | Doors_M_10 | Doors_M_10 | Doors_M_10 | Doors_M_10 | Doors_M_10 | Doors_M_10 | Doors_M_10 | Doors_M_10 | Doors_M_10 | Doors_M_10 | Doors_M_10 | Doors_M_10 | Doors_M_10 |
| Doors_M_11 | Doors_M_11 | Doors_M_11 | Doors_M_11 | Doors_M_11 | Doors_M_11 | Doors_M_11 | Doors_M_11 | Doors_M_11 | Doors_M_11 | Doors_M_11 | Doors_M_11 | Doors_M_11 | Doors_M_11 | Doors_M_11 |
| Doors_M_12 | Doors_M_12 | Doors_M_12 | Doors_M_12 | Doors_M_12 | Doors_M_12 | Doors_M_12 | Doors_M_12 | Doors_M_12 | Doors_M_12 | Doors_M_12 | Doors_M_12 | Doors_M_12 | Doors_M_12 | Doors_M_12 |
| Doors_M_13 | Doors_M_13 | Doors_M_13 | Doors_M_13 | Doors_M_13 | Doors_M_13 | Doors_M_13 | Doors_M_13 | Doors_M_13 | Doors_M_13 | Doors_M_13 | Doors_M_13 | Doors_M_13 | Doors_M_13 | Doors_M_13 |
| Doors_M_14 | Doors_M_14 | Doors_M_14 | Doors_M_14 | Doors_M_14 | Doors_M_14 | Doors_M_14 | Doors_M_14 | Doors_M_14 | Doors_M_14 | Doors_M_14 | Doors_M_14 | Doors_M_14 | Doors_M_14 | Doors_M_14 |
| Doors_M_15 | Doors_M_15 | Doors_M_15 | Doors_M_15 | Doors_M_15 | Doors_M_15 | Doors_M_15 | Doors_M_15 | Doors_M_15 | Doors_M_15 | Doors_M_15 | Doors_M_15 | Doors_M_15 | Doors_M_15 | Doors_M_15 |
| Doors_M_16 | Doors_M_16 | Doors_M_16 | Doors_M_16 | Doors_M_16 | Doors_M_16 | Doors_M_16 | Doors_M_16 | Doors_M_16 | Doors_M_16 | Doors_M_16 | Doors_M_16 | Doors_M_16 | Doors_M_16 | Doors_M_16 |
| Doors_M_17 | Doors_M_17 | Doors_M_17 | Doors_M_17 | Doors_M_17 | Doors_M_17 | Doors_M_17 | Doors_M_17 | Doors_M_17 | Doors_M_17 | Doors_M_17 | Doors_M_17 | Doors_M_17 | Doors_M_17 | Doors_M_17 |
| Doors_M_18 | Doors_M_18 | Doors_M_18 | Doors_M_18 | Doors_M_18 | Doors_M_18 | Doors_M_18 | Doors_M_18 | Doors_M_18 | Doors_M_18 | Doors_M_18 | Doors_M_18 | Doors_M_18 | Doors_M_18 | Doors_M_18 |
| Doors_M_19 | Doors_M_19 | Doors_M_19 | Doors_M_19 | Doors_M_19 | Doors_M_19 | Doors_M_19 | Doors_M_19 | Doors_M_19 | Doors_M_19 | Doors_M_19 | Doors_M_19 | Doors_M_19 | Doors_M_19 | Doors_M_19 |
| Doors_M_20 | Doors_M_20 | Doors_M_20 | Doors_M_20 | Doors_M_20 | Doors_M_20 | Doors_M_20 | Doors_M_20 | Doors_M_20 | Doors_M_20 | Doors_M_20 | Doors_M_20 | Doors_M_20 | Doors_M_20 | Doors_M_20 |
| Doors_M_21 | Doors_M_21 | Doors_M_21 | Doors_M_21 | Doors_M_21 | Doors_M_21 | Doors_M_21 | Doors_M_21 | Doors_M_21 | Doors_M_21 | Doors_M_21 | Doors_M_21 | Doors_M_21 | Doors_M_21 | Doors_M_21 |
| Doors_M_22 | Doors_M_22 | Doors_M_22 | Doors_M_22 | Doors_M_22 | Doors_M_22 | Doors_M_22 | Doors_M_22 | Doors_M_22 | Doors_M_22 | Doors_M_22 | Doors_M_22 | Doors_M_22 | Doors_M_22 | Doors_M_22 |
| Doors_M_23 | Doors_M_23 | Doors_M_23 | Doors_M_23 | Doors_M_23 | Doors_M_23 | Doors_M_23 | Doors_M_23 | Doors_M_23 | Doors_M_23 | Doors_M_23 | Doors_M_23 | Doors_M_23 | Doors_M_23 | Doors_M_23 |
| Doors_M_24 | Doors_M_24 | Doors_M_24 | Doors_M_24 | Doors_M_24 | Doors_M_24 | Doors_M_24 | Doors_M_24 | Doors_M_24 | Doors_M_24 | Doors_M_24 | Doors_M_24 | Doors_M_24 | Doors_M_24 | Doors_M_24 |
| Doors_M_25 | Doors_M_25 | Doors_M_25 | Doors_M_25 | Doors_M_25 | Doors_M_25 | Doors_M_25 | Doors_M_25 | Doors_M_25 | Doors_M_25 | Doors_M_25 | Doors_M_25 | Doors_M_25 | Doors_M_25 | Doors_M_25 |
| Doors_M_26 | Doors_M_26 | Doors_M_26 | Doors_M_26 | Doors_M_26 | Doors_M_26 | Doors_M_26 | Doors_M_26 | Doors_M_26 | Doors_M_26 | Doors_M_26 | Doors_M_26 | Doors_M_26 | Doors_M_26 | Doors_M_26 |
| Doors_M_27 | Doors_M_27 | Doors_M_27 | Doors_M_27 | Doors_M_27 | Doors_M_27 | Doors_M_27 | Doors_M_27 | Doors_M_27 | Doors_M_27 | Doors_M_27 | Doors_M_27 | Doors_M_27 | Doors_M_27 | Doors_M_27 |
| Doors_M_28 | Doors_M_28 | Doors_M_28 | Doors_M_28 | Doors_M_28 | Doors_M_28 | Doors_M_28 | Doors_M_28 | Doors_M_28 | Doors_M_28 | Doors_M_28 | Doors_M_28 | Doors_M_28 | Doors_M_28 | Doors_M_28 |
| Doors_M_29 | Doors_M_29 | Doors_M_29 | Doors_M_29 | Doors_M_29 | Doors_M_29 | Doors_M_29 | Doors_M_29 | Doors_M_29 | Doors_M_29 | Doors_M_29 | Doors_M_29 | Doors_M_29 | Doors_M_29 | Doors_M_29 |
| Doors_M_30 | Doors_M_30 | Doors_M_30 | Doors_M_30 | Doors_M_30 | Doors_M_30 | Doors_M_30 | Doors_M_30 | Doors_M_30 | Doors_M_30 | Doors_M_30 | Doors_M_30 | Doors_M_30 | Doors_M_30 | Doors_M_30 |
| Doors_M_31 | Doors_M_31 | Doors_M_31 | Doors_M_31 | Doors_M_31 | Doors_M_31 | Doors_M_31 | Doors_M_31 | Doors_M_31 | Doors_M_31 | Doors_M_31 | Doors_M_31 | Doors_M_31 | Doors_M_31 | Doors_M_31 |
| Doors_M_32 | Doors_M_32 | Doors_M_32 | Doors_M_32 | Doors_M_32 | Doors_M_32 | Doors_M_32 | Doors_M_32 | Doors_M_32 | Doors_M_32 | Doors_M_32 | Doors_M_32 | Doors_M_32 | Doors_M_32 | Doors_M_32 |
| Doors_M_33 | Doors_M_33 | Doors_M_33 | Doors_M_33 | Doors_M_33 | Doors_M_33 | Doors_M_33 | Doors_M_33 | Doors_M_33 | Doors_M_33 | Doors_M_33 | Doors_M_33 | Doors_M_33 | Doors_M_33 | Doors_M_33 |
| Doors_M_34 | Doors_M_34 | Doors_M_34 | Doors_M_34 | Doors_M_34 | Doors_M_34 | Doors_M_34 | Doors_M_34 | Doors_M_34 | Doors_M_34 | Doors_M_34 | Doors_M_34 | Doors_M_34 | Doors_M_34 | Doors_M_34 |
| Doors_M_35 | Doors_M_35 | Doors_M_35 | Doors_M_35 | Doors_M_35 | Doors_M_35 | Doors_M_35 | Doors_M_35 | Doors_M_35 | Doors_M_35 | Doors_M_35 | Doors_M_35 | Doors_M_35 | Doors_M_35 | Doors_M_35 |
| Doors_M_36 | Doors_M_36 | Doors_M_36 | Doors_M_36 | Doors_M_36 | Doors_M_36 | Doors_M_36 | Doors_M_36 | Doors_M_36 | Doors_M_36 | Doors_M_36 | Doors_M_36 | Doors_M_36 | Doors_M_36 | Doors_M_36 |
| Doors_M_37 | Doors_M_37 | Doors_M_37 | Doors_M_37 | Doors_M_37 | Doors_M_37 | Doors_M_37 | Doors_M_37 | Doors_M_37 | Doors_M_37 | Doors_M_37 | Doors_M_37 | Doors_M_37 | Doors_M_37 | Doors_M_37 |
| Doors_M_38 | Doors_M_38 | Doors_M_38 | Doors_M_38 | Doors_M_38 | Doors_M_38 | Doors_M_38 | Doors_M_38 | Doors_M_38 | Doors_M_38 | Doors_M_38 | Doors_M_38 | Doors_M_38 | Doors_M_38 | Doors_M_38 |
| Doors_M_39 | Doors_M_39 | Doors_M_39 | Doors_M_39 | Doors_M_39 | Doors_M_39 | Doors_M_39 | Doors_M_39 | Doors_M_39 | Doors_M_39 | Doors_M_39 | Doors_M_39 | Doors_M_39 | Doors_M_39 | Doors_M_39 |
| Doors_M_40 | Doors_M_40 | Doors_M_40 | Doors_M_40 | Doors_M_40 | Doors_M_40 | Doors_M_40 | Doors_M_40 | Doors_M_40 | Doors_M_40 | Doors_M_40 | Doors_M_40 | Doors_M_40 | Doors_M_40 | Doors_M_40 |
| Doors_M_41 | Doors_M_41 | Doors_M_41 | Doors_M_41 | Doors_M_41 | Doors_M_41 | Doors_M_41 | Doors_M_41 | Doors_M_41 | Doors_M_41 | Doors_M_41 | Doors_M_41 | Doors_M_41 |            |            |

## APLICAÇÕES DE REALIDADE VIRTUAL EM COORDENAÇÃO DE PROJETO DE ENGENHARIA CIVIL

Leopoldo Sousa<sup>1</sup>, Diogo Ribeiro<sup>2</sup>, Rui Gavina<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ISEP, Porto. 1161511@isep.ipp.pt

<sup>2</sup> ISEP/ISEPBIM, CONSTRUCT-LESE, Porto. drr@isep.ipp.pt

<sup>3</sup> VN2R – Engineering Innovation Consulting, Lda, Porto. rui.gavina@vn2r.pt

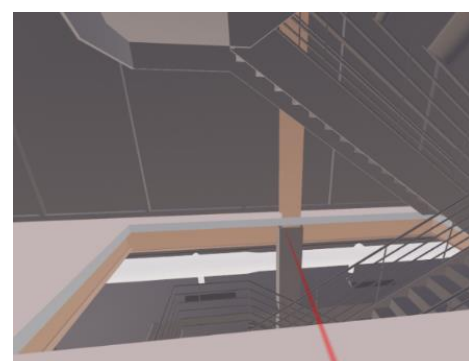
**Palavras-chave:** Realidade Virtual, Coordenação de Projeto, *Building Information Modeling*.

### 03. Construção 4.0, digitalização e metodologia BIM

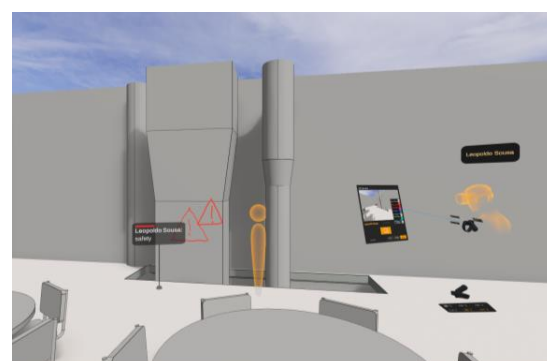
Apresentação oral

**1. Introdução** – Nos dias de hoje as aplicações de Realidade Virtual têm vindo a ser exploradas com sucesso na coordenação de projeto, permitindo aos intervenientes a visualização dos empreendimentos em ambiente virtual imersivo, com benefícios no que toca à sua compreensão visual e espacial, e acompanhamento nas várias fases do ciclo de vida. Neste âmbito, a Realidade Virtual (RV) surge como uma técnica complementar ao uso da metodologia *Building Information Modeling* (BIM), sobretudo como forma de agilizar a interação entre os diversos intervenientes e melhorando a deteção, interpretação e comunicação de incompatibilidades, sobretudo as de cariz funcional, e que não são facilmente detetáveis utilizando as tecnologias correntes.

**2. Realidade Virtual em Coordenação de Projeto** – Realidade Virtual pode ser definida como um ambiente tridimensional gerado em computador na qual o utilizador integra-se no ambiente gerado ou é imerso nesse ambiente, podendo explorar e interagir com os elementos nele inseridos. No setor AECO, a RV origina uma representação espaço-visual de um modelo projetado digitalmente com os metadados e parâmetros associados. A metodologia BIM tem sido preponderante na coordenação de projeto de um empreendimento apesar de alguma ineficiência quanto a incompatibilidades de cariz funcional [1]. Através da metodologia BIM muitas das incompatibilidades, erros e omissões são detetados automaticamente. A RV funciona como uma ferramenta complementar na deteção de não conformidades de cariz funcional através de uma sensação geral de desconforto pela experiência do utilizador (Figura 1).



**Figura 1.** Deteção da ausência de guardas de segurança em caixa de escadas



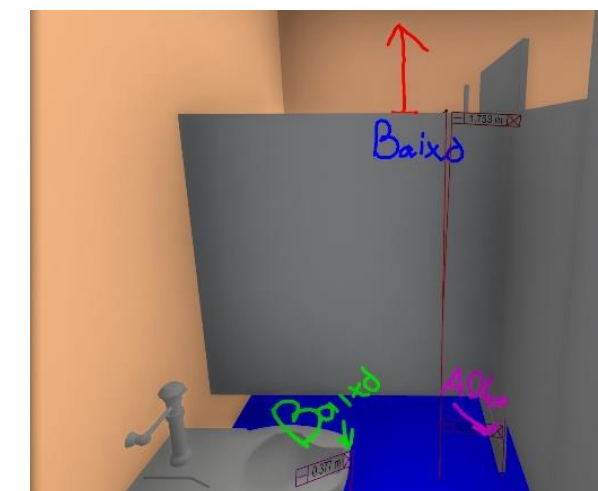
**Figura 2.** Discussão de uma não conformidade em ambiente colaborativo

As reuniões em colaboração remota apresentam dificuldades comunicacionais acrescidas, cujas debilidades se têm tornado evidentes no decorrer da recente situação pandémica. A RV apresenta também vantagens nesse âmbito, através da visualização e comunicação destas incompatibilidades com maior realismo. Os registos e documentação, essenciais para o

desempenho em coordenação [2], são características essenciais nos *softwares* de RV quando realizados em ambiente virtual imersivo. Os meios de registo e documentação são: fotografias, comentários ou representações gráficas (*markups*) conforme representado na Figura 2. A experiência pessoal simulando o ponto de vista do utilizador geram empatia relativamente a outros modos de visualização. Tal foi experienciado, simulando o percurso de um paciente de cadeira de rodas num hospital, conforme ilustrado nas Figuras 3 e 4.



**Figura 3.** Simulação da utilização de uma instalação sanitária



**Figura 4.** Medição e anotação de dimensões inadequadas

**3. Perspetivas e Utilização de Realidade Virtual no setor AECO** – Com vista a compreender o estado de implementação e prospeção da tecnologia, foi realizado um inquérito *online* com participação de 89 profissionais do setor de 21 países. Através da análise cruzada dos dados, concluiu-se que a RV é considerada pelos profissionais como uma potencial mais-valia e que a Coordenação de Projeto é uma das áreas onde a sua influência será superior. De acordo com as necessidades profissionais no âmbito de Coordenação de Projeto, foram definidos os principais requisitos para os *softwares* de RV. Após essa definição, procedendo a uma experimentação empírica, foram analisadas as interfaces do utilizador e acessibilidades de utilização. Essa análise foi realizada utilizando vários *softwares* disponíveis no mercado sendo resumidas as principais suas funcionalidades numa matriz de correlação.

**4. Conclusões** – No presente trabalho ficou demonstrado que a RV é uma tecnologia que permite otimizar processos colaborativos, detetar incompatibilidades e omissões, além de melhorar a comunicação entre os intervenientes do projeto. A implementação desta tecnologia em ambiente profissional está a ser impulsionada pela aceitação dos profissionais do setor AECO, juntamente com a crescente oferta do mercado nas mais recentes soluções de *software* e *hardware*.

### 5. Referências Bibliográficas

- [1] Anderson, A., Dossick, C., Azari, R., Taylor, J., Hartmann, T., Mahalingham, A. (2014). Exploring BIMs as Avatars: Using 3D Virtual Worlds to Improve Collaboration with Models. ASCE Construction Research Congress
- [2] Alaloul, W., Liew, M., Zawawi, N. (2016). Identification of coordination factors affecting building projects performance. Alexandria Engineering Journal, 55(3): 2689-2698.
- [3] Sousa, L., Cabral, R., Gavina, R., Ribeiro, D., Carvalho, V. (2020). Aplicações de Realidade Virtual em Coordenação de Projeto de Engenharia Civil. PtBIM: 3º Congresso Português de Building Information Modelling, 773-784.
- [4] Sousa, L., Ribeiro, D., Gavina, R. (2020). Aplicações de Realidade Virtual em Coordenação de Projeto de Engenharia Civil.

TEMA 04

# ESTRUTURAS, SEGURANÇA E ENGENHARIA SÍSMICA

## AVALIAÇÃO E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS NO CONTEXTO DA NP EN 1998-3:2017

Bruno Tomás<sup>1</sup>, João M. C. Estêvão<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Civil. Universidade do Algarve. bruno.tomas-1@sapo.pt

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Civil. Universidade do Algarve. jestevao@ualg.pt

**Palavras-chave:** avaliação sísmica, análise não linear, betão armado, alvenaria estrutural.

04.

Apresentação oral

### 1. INTRODUÇÃO

Esta dissertação de mestrado foi realizada no contexto do projeto PERSISTAH, cujo principal objetivo consistia na avaliação da segurança sísmica das escolas do 1º ciclo do ensino básico das regiões do Algarve (Portugal) e Huelva (Espanha), propondo soluções de reforço para os edifícios escolares que apresentassem um pior desempenho sísmico. Assim sendo, foram analisadas múltiplas tipologias de escolas constituídas por alvenaria estrutural, as quais abrangem a maioria dos edifícios escolares da região, e, para além disso, também foi feita a avaliação e o reforço de um edifício de betão armado. Para a engenharia civil, é fundamental ter uma adequada caracterização de todos os fatores que interferem com o comportamento das estruturas, sendo de especial relevância as ações sísmicas a que as mesmas são sujeitas. Para dar resposta a este problema, foi recentemente implementada a NP EN 1998-1:2010 (EC8-1) [1], o qual redefine o zonamento sísmico, aumentando os valores espectrais das ações sísmicas na região do Algarve, que é a região com maior valor de cálculo da ação sísmica para um período de retorno de 475 anos ( $ag_R=2.5 \text{ m/s}^2$  para o sismo tipo 1, por comparação com o norte do país, com  $ag_R=0.35 \text{ m/s}^2$ , por exemplo). Conjuntamente com a NP EN 1998-3:2017 (EC8-3) [2], cria-se um grande desafio técnico, especialmente para as construções escolares, uma vez que, para além de a ação sísmica ser majorada neste tipo de construções (com o coeficiente de importância), estas ainda têm de verificar os três estados limites de limitação de danos (DL), danos severos (SD) e de colapso iminente (NC), ao passo que as construções de menor importância apenas têm de verificar a segurança para o estado limite SD.

### 2. DESENVOLVIMENTO

Com o objetivo de avaliar e propor soluções de reabilitação sísmica de estruturas de betão armado e de alvenaria estrutural, foram realizadas diversas análises estáticas não lineares (pushover). As curvas de capacidade resultantes destas análises possibilitaram a identificação da percentagem da ação associada a cada estado limite, permitindo aferir se os mesmos são ou não cumpridos.

Os exemplos que foram escolhidos para serem estudados correspondem a dois edifícios escolares, um constituído por um sistema porticado de betão armado, que foi localizado em Faro para efeitos do estudo, e o outro, de alvenaria estrutural, que foi selecionado para ser alvo da execução de um conjunto de medidas de reforço sísmico, e está localizado em Brancanes, Olhão.

#### 2.1. Betão armado.

O edifício de betão armado estudado foi projetado em 1981, de acordo com a legislação da altura. Com o auxílio do software Seismostruct, e considerando as dimensão e materiais apresentados em projeto, foram realizadas análises sísmicas não lineares, estáticas e dinâmicas. Observou-se que a estrutura não verifica os níveis de segurança que estão associados aos diversos estados limites (EL). Por esse motivo, foram testadas seis soluções de reforço sísmico da estrutura. Uma através da adição de uma parede resistente de betão armado, duas através do encamisamento de pilares (com betão

armado e com materiais compósitos), e três através da adição de contraventamentos metálicos com configurações distintas [3]. Cada uma das soluções foi otimizada até que fosse possível verificar a segurança em relação aos diversos EL, com base em múltiplas análises *pushover*.

#### 2.2. Alvenaria estrutural.

Para além de outras tipologias de escolas analisadas no contexto do projeto PERSISTAH [4], a escola primária que foi apresentada detalhadamente foi a escola primária de Brancanes, que pertence à terceira fase do “Plano dos Centenários” e é da autoria do arquiteto Fernando Peres. Esta escola foi selecionada como caso de estudo, tendo sido depois executadas algumas medidas de reforço sísmico [5]. Trata-se de uma pequena escola rural com paredes constituídas por alvenaria estrutural, com pedra calcária da região algarvia, com uma laje de esteira de betão armado. Foi utilizado o software Tremuri para analisar o comportamento estrutural deste edifício. Relativamente às características mecânicas dos materiais, foram adotados os valores médios das normas italianas, que são semelhantes aos obtidos em ensaios *in situ*, anteriormente realizados em edifícios semelhantes da região. Analisando as curvas de capacidade desta estrutura, verificou-se que apenas cumpria o estado limite DL. Uma vez que a estrutura já apresentava um travamento horizontal das paredes, devido à existência da laje de betão armado, foi executada uma medida de reforço que consistiu no encamisamento das paredes de alvenaria com duas camadas de argamassa (pré doseada e à base de cal) com fibras, armadas com rede de fibra de carbono, devidamente ligadas por conetores de inox.

### 3. Conclusão

Todas as soluções de reforço estrutural estudadas para os edifícios de betão armado mostraram ser viáveis. Contudo, a solução que mais evidenciou o aumento da ductilidade foi o encamisamento. Ficou evidente que a segurança de edifícios escolares de betão armado com pilares de secções transversais robustas, fortemente armados longitudinalmente mas com uma armadura mínima de cintagem, poderão ser condicionados pela resistência ao corte.

A solução de reforço, que foi executada no edifício de alvenaria estrutural, melhora o comportamento global da estrutura. Contudo, não foi possível confirmar, numericamente, que é suficiente para garantir os níveis de segurança necessários, designadamente para o estado limite NC, face à inexistência de valores fiáveis para o nível de resistência deste tipo de solução de reforço.

### 4. Referências Bibliográficas

- [1] IPQ - NP EN 1998-1. Eurocódigo 8: Projeto de estruturas para resistência aos sismos. Parte 1: Regras gerais, ações sísmicas e regras para edifícios. Instituto Português da Qualidade, Caparica, Portugal. (2010).
- [2] IPQ - NP EN 1998-3. Eurocódigo 8: Projeto de estruturas para resistência aos sismos. Parte 3: Avaliação e reabilitação de edifícios. Instituto Português da Qualidade, Caparica, Portugal. (2017).
- [3] Tomás, Bruno; Barreto, Vítor; Estêvão, João M.C. (2019). Avaliação da viabilidade da utilização de elementos de contraventamento em aço como medida de reforço sísmico de escolas existentes no Algarve. XII Congresso de Construção Metálica e Mista, Coimbra, 547-553.
- [4] Tomás, Bruno Alexandre Cardoso; Estêvão, João M. C. (2019). Segurança sísmica de escolas do plano dos centenários existentes no Algarve: caso de estudo. XII Encontro Nacional de Riscos. Risco Sísmico. Aprender com o passado, Faro, p. 50.
- [5] Estêvão, João M. C.; Bruno Tomás; Roberto Laranja; Alfredo Braga (2021). Seismic retrofitting of an existing masonry school building: a case study in Algarve. International Conference on Automation Innovation in Construction (CIAC 2019), Leiria, 349-355.

## ESTUDO DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DA PONTE MILITAR MABEY & JOHNSON – SOLUÇÕES PARA AUMENTAR A CAPACIDADE DE CARGA E O COMPRIMENTO DE MONTAGEM

E. Osório<sup>1</sup>, J. Pedro<sup>2</sup>, P. Matias<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Academia Militar. osorio.ems@gnr.pt

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia civil, Arquitetura e Georrecursos; ICIST. Instituto Superior Técnico.  
jose.oliveira.pedro@ist.utl.pt

<sup>3</sup> Centro de Competências para a Proteção de Infraestruturas; CINAMIL. Academia Militar.  
matias.psg@exercito.pt

**Palavras-chave:** Ponte Logística Militar, Ponte Mabey, Análise Estrutural, Lançamento Incremental  
Estruturas, Segurança e Engenharia Sísmica Apresentação Oral

**1. INTRODUÇÃO** – O principal objetivo deste trabalho é, tendo em consideração as limitações da capacidade de carga da atual ponte Mabey, arranjar uma solução de reforço que aumente a capacidade de carga bem como o comprimento de montagem da ponte.

**2. PONTE MABEY** – Possui uma conceção baseada na ponte militar Bailey, porém, com altura longitudinal mais reduzida e perfis mais leves, devido à melhoria da qualidade do aço. A sua configuração consiste, basicamente, em 2 planos verticais de treliças ligados por um plano horizontal perpendicular de carlingas. Os planos de treliças podem ser constituídos desde 1 a 3 treliças dispostas em paralelo, denominando-se de configuração simples, dupla e tripla sucessivamente. Tanto nas cordas superiores como inferiores podem ser adicionadas barras suplementares de forma a aumentar a capacidade resistente da ponte (Figura 1).

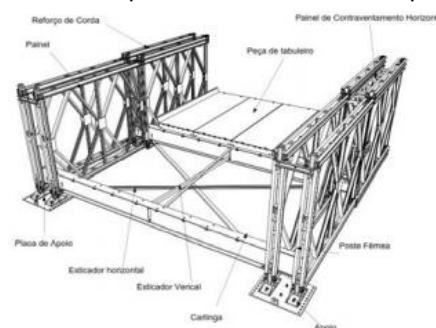


Figura 1. Esquema-tipo da Ponte Mabey. Adaptado de Mabey Bridge (2017)

**3. AÇÕES CONSIDERADAS** – Visto ser uma ponte utilizada para fins militares e para apoio à população civil, importa verificar a ponte tendo em conta as normas dos Eurocódigos e as normas estabelecidas pela NATO.

**4. VERIFICAÇÃO ESTRUTURAL DA PONTE** – De forma a aumentar o comprimento de montagem da ponte optou-se por considerar um apoio de continuidade a ligar dois vãos de igual comprimento com 57.91 m cada.

**4.1 Sobrecargas civis** – Verifica-se apenas se for considerada a passagem de viaturas ligeiras simultaneamente, isto é, 2.5 kN/m<sup>2</sup>. Caso seja isolada não deve ultrapassar as 60 toneladas.

**4.2 Sobrecargas militares** – Verifica-se considerando a passagem de uma viatura, isoladamente, com massa máxima de 60 toneladas correspondente a um MLC70.

**4. VERIFICAÇÃO ESTRUTURAL COM ALTERAÇÕES À PONTE EXISTENTE** – Tendo-se testado várias possíveis soluções de reforço, de forma a verificar as sobrecargas tanto civis como militares, chegou-se a uma solução final que consiste em: duplicar os reforços das cordas, tanto na corda superior como inferior (a vermelho na Figura 2), colocar chapas metálicas de 10 mm nas diagonais dos módulos de extremidade e nos cinco módulos para ambos os lados relativamente ao apoio intermédio (a verde na Figura 2).

As ligações devem ser alteradas de parafusos M24 cl 8.8 para M24 cl 10.9 entre a corda e o reforço da corda (círculos a preto da Figura 2).



Figura 2. Reforços/alterações representadas num painel-tipo

**5. MONTAGEM** – O processo de montagem das pontes militares é, na maior parte das vezes, realizado através do lançamento incremental (Figura 3), no qual vários painéis vão sendo acoplados e lançados através de apoios rolantes até chegar à margem contrária ao lançamento. Sendo esta fase considerada como uma das fases mais críticas estudou-se a segurança, do lançamento da solução encontrada, tendo-se aferido que, para verificar a segurança ao ELU, é necessário ter um apoio em cada plano vertical de treliças.



Figura 3. Lançamento incremental da solução no modelo SAP

**6. CONSIDERAÇÕES FINAIS:** - Considerando um apoio de continuidade, sem efetuar qualquer tipo de alteração na configuração dos módulos, não são verificadas as sobrecargas civis nem militares. No entanto, algumas alterações geométricas, nomeadamente, o acréscimo de um reforço-corda, a alteração das secções de algumas diagonais, através do acréscimo de chapas de aço de 10 mm e a mudança da classe dos parafusos para a classe imediatamente acima, verifica ambas as sobrecargas civis como sobrecargas militares. A verificação da segurança durante o lançamento apenas é garantida se forem utilizados apoios em todos os planos de treliças.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Mabey Bridge Limited, Logistic Support Bridge: General Manual, 2014.
- [2] Pereira, R.M., Comportamento Estrutural de Pontes Logísticas do tipo Mabey do Exército Português, Universidade de Lisboa, 2015.

## STRUCTURAL DESIGN OF TRANSFER STRUCTURE

Gonçalo Ribeiro<sup>1</sup>, João Almeida<sup>2</sup>, Paulo Silva Lobo<sup>3</sup>

<sup>1</sup> University of Lisbon - Instituto Superior Técnico, Lisbon, Portugal. goncalo.x.ribeiro@gmail.com

<sup>2</sup> DECivil, University of Lisbon - Instituto Superior Técnico, Lisbon, Portugal. jalmeida@civil.ist.utl.pt

<sup>3</sup> University of Madeira - Faculdade de Ciências Exatas e da Engenharia, Funchal, Portugal. plobo@uma.pt

**Keywords:** transfer structure; transfer girder; transfer truss; transfer plate;

**Código área temática:** 04

**Apresentação oral**

### 1. INTRODUCTION

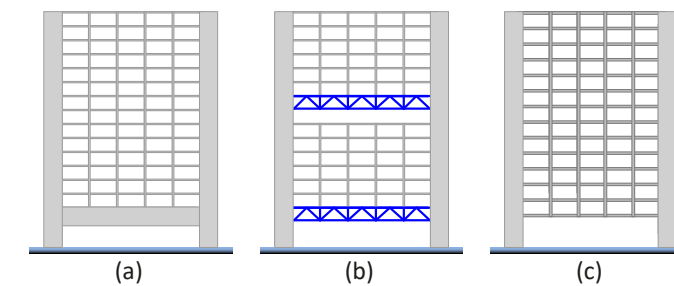
Functional, aesthetic, or planning needs predicate changes and discontinuities in the vertical load-bearing system of a building. These demands are often outside the boundaries of normal commercial development and create special and interesting engineering problems that are usually solved with some form of transfer structure.

Transfer structures provide a means of redirecting gravity loadings when a vertical supporting member has to be interrupted and a direct load path to the foundations is not possible. There are several reasons for which discontinuities in the supporting system are desired. For example, mixed-use high-rise buildings that provide for two or more types of occupancies require a different arrangement of the supporting structure for each functionality. In densely populated cities, large column-free spaces for lobbies or shopping areas are also required at the lower levels of tall buildings, and the construction almost invariably involves working within severe site constraints. Moreover, the unused spaces above existing activities and structures (air rights) have become attractive development sites in city centres and other areas where space is at a premium.

The position of the transfer structure in a building's elevation may be influenced by various factors such as architectural constraints, the location of the mechanical plants, and construction speed and economy. Low-level TSs simplify the construction process – they can be built using normal techniques and the superstructure is supported on the transfer structure right from the beginning. On the other hand, the construction of transfer structures at the top of the building or at intermediate levels usually requires significant temporary works. TSs are usually composed of massive concrete or steel elements that occupy a lot of space and might not appropriately fit within a typical floor of a building. Therefore, it is usual to integrate these structures in the mechanical plant, making the least intrusion into usable spaces. Most modern tall buildings have sophisticated mechanical and electrical installations and, in general, the building is divided into several vertical zones, each served by its own mechanical plant. This means that the choice of the type and position of transfer structures throughout the building might not only be dictated by structural concerns but also has to be integrated with the building services.

The choice between a single-storey transfer structure and a multitier transfer system also depends on factors usually unrelated with structural efficiency. The position and number of the mechanical plants, the construction method associated with each alternative and even architectural preferences are often important issues that the engineer must take into account when conceiving the transfer system. For example, in the case of a multitier transfer structure, benefits may arise from the simultaneous construction on more than one floor, as each vertical zone (that is, a stack of floors supported on each transfer level) is independent of the others.

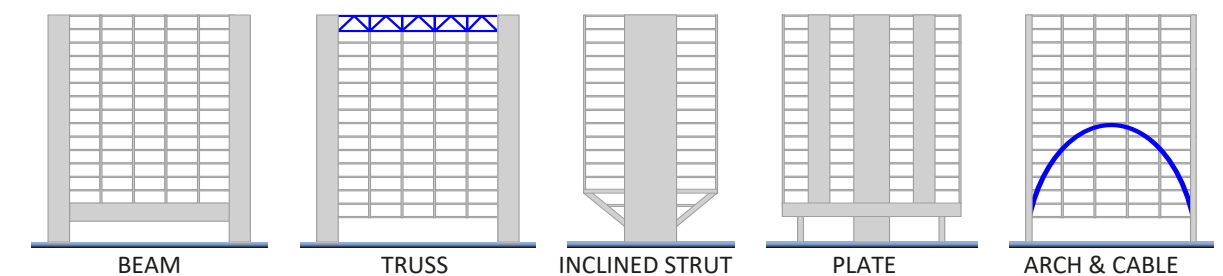
The possibilities for the configuration of the transfer structure are so wide that it may be positioned at a single level or, on the other hand, every floor can be part of the transfer system. Figure 1 illustrates this as (a) represents a building with a single-floor transfer structure at a low level, (b) shows the same building with two transfer floors, and, in (c), the structural frame manages to gradually transfer the loads from all the floors to the supports.



**Figure 1.** (a) Single-story transfer structure; (b) Multi-tier transfer structure; (c) Structural frame transfer system.

### 2. TYPES OF TRANSFER STRUCTURES

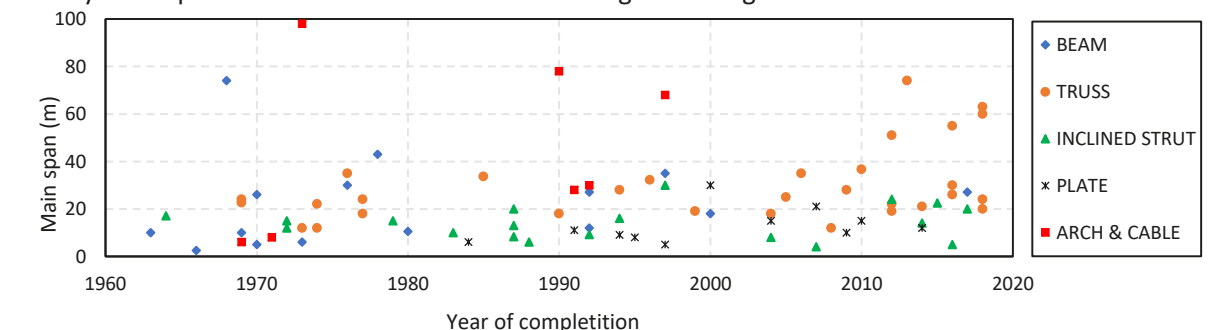
Extensive research on buildings with TSs all over the world was performed. Based on more than 100 examples that were analyzed [9], a rational typology of existing transfer structures was developed based on their structural system. The majority of the transfer structures can be rationalized into five generic forms. These are the BEAM, TRUSS, INCLINED STRUT, PLATE, and ARCH & CABLE, which are illustrated in simplified form in Figure 2. In most of these groups, all the three main structural materials – reinforced concrete (RC), prestressed concrete and steel – may be considered, as well as composite schemes.



**Figure 2.** Types of transfer structures.

The evolution of transfer structures over time is represented in Figure 3. From the analysis of this Figure, it is noteworthy that some types of transfer structures were more popular in past decades and others are currently more widely employed. For example, most of the buildings within the BEAM type were built in the 1960s and '70s and there is only one representative example from recent years. In contrast, buildings using the TRUSS system are increasingly more common, and the majority of the examples shown are subsequent to 1990. Examples of the ARCH & CABLE type are relatively scarce, but there is no recent application of this system, and the INCLINED STRUT and PLATE types do not appear to be more common in any specific time period. It is clear that the ARCH & CABLE schemes are particularly suitable to achieve long span transfers.

Furthermore, the overall most common type of transfer structure is the TRUSS and, judging by the past two decades, it seems that this scheme is going to prevail over the other types of transfer structures in the near future, and reaching for bigger spans. Also, TRUSS transfer systems almost always incorporate steel elements, either in all-steel schemes or composite ones. This means that the use of structural steel in transfer structures is increasingly more common, as this material is many times preferred over concrete due to its higher strength-to-area ratio.



**Figure 3.** Year of completion and main span for several buildings with global TSs (note: for cantilevered TSs, the adopted span was twice the cantilever length for a better comparison with normal span TSs).

## AVALIAÇÃO SÍSMICA DE EDIFÍCIOS EXISTENTES SEGUNDO O EUROCÓDIGO 8 COM VISTA À REABILITAÇÃO – SISTEMATIZAÇÃO DE PROCEDIMENTOS E APLICAÇÃO

L. Carvalho<sup>1</sup>, A. Arêde<sup>2</sup>, A. Furtado<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.  
up201802951@fe.up.pt

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.  
aarede@fe.up.pt

<sup>3</sup>Departamento de Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.  
afurtado@fe.up.pt

**Palavras-chave:** avaliação e reabilitação sísmica, edifícios existentes, Eurocódigo 8 - parte 3, avaliação da segurança sísmica.

**Código da Área Temática:** 04

**Apresentação oral**

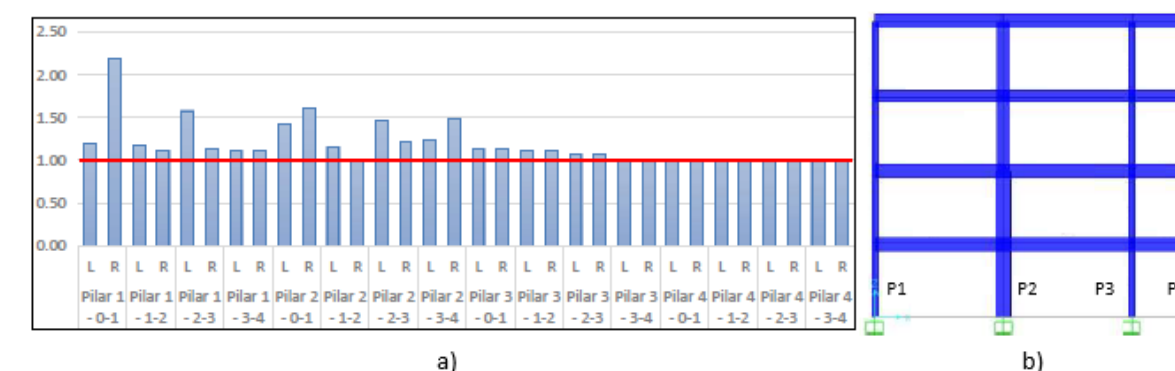
**1. INTRODUÇÃO** – O sismo é uma das ações mais importantes que uma estrutura pode experienciar durante o seu ciclo de vida e essa questão causa uma maior importância quando trata-se de edifícios antigos, que em sua generalidade não foram efetivamente concebidos e dimensionados de acordo com os regulamentos mais atuais e exigentes para resistir a estas ações. Neste contexto e com base na crescente necessidade de desenvolver ferramentas que permitam auxiliar os projetistas na avaliação da vulnerabilidade sísmica de edifícios, este trabalho visa propor um guião orientador para a avaliação sísmica de estruturas existentes de betão armado, trazendo os pontos relevantes e fundamentais da engenharia sísmica de forma sistematizada, de fácil e coesiva aplicação. Esta metodologia foi validada e aplicada a um edifício existente.

**2. DESCRIÇÃO DO TRABALHO** – Para a efetivação do objetivo proposto, o trabalho desenvolveu-se em três etapas principais. A primeira etapa diz respeito a caracterização e sistematização de procedimentos necessários para uma avaliação sísmica de edifícios existentes de betão armado, a segunda etapa aborda a elaboração e validação de uma folha de cálculo de apoio às verificações de segurança e a terceira etapa diz respeito à aplicação prática do que se desenvolveu nos passos anteriores. Essas três etapas serão abordadas com maior detalhe nas restantes secções deste trabalho.

**3. SISTEMATIZAÇÃO DE PROCEDIMENTOS** – Nesta primeira etapa foi elaborada uma sequência de procedimentos com clarificação de conceitos, parâmetros e estratégias de cálculo para uma avaliação sísmica, seguindo um fluxo de cálculo que aborda os seguintes aspetos: Requisitos de desempenho; condições de terreno e ação sísmica; informação para avaliação estrutural (nível de conhecimento); avaliação estrutural (métodos de análise) e verificação de segurança.

**4. FOLHA DE CÁLCULO PARA APOIO ÀS VERIFICAÇÕES DE SEGURANÇA** – Para uma maior produtividade e automatização na avaliação de segurança sísmica de uma estrutura existente, foi elaborada uma folha de cálculo capaz de extrair dados de uma análise sísmica (com recurso ao programa Matlab [1]) provenientes de um programa de cálculo, sendo possível determinar de forma automática a exigência sísmica (D) nos elementos estruturais, bem como a sua capacidade (C), seguido da verificação  $D < C$  que averigua se a estrutura cumpre ou não a segurança estrutural. Para validar e garantir a devida fiabilidade dos resultados, a folha de cálculo foi submetida a

comparações com os resultados fornecidos pelo programa SeismoStruct [2], utilizando como exemplo um simples caso de estudo (Fig. 1 (b)). Um exemplo desta validação encontra-se ilustrada na Fig. 1 (a), podendo ser observado o quociente dos valores da capacidade da rotação da corda entre o SeismoStruct [2] e a folha de cálculo.



**Figura 1.** a) Quociente dos valores da capacidade da rotação da corda; b) Pórtico ICONS

Procurou-se então refinar a folha de cálculo proposta, colocando em prática os três métodos de análise preconizados no Eurocódigo 8 - Parte 3 [3], bem como os três estados limites de dano que uma estrutura pode sofrer, seguindo à risca todas as recomendações da norma.

**5. CASO DE ESTUDO** – Por fim, a terceira etapa teve como objetivo avaliar a segurança sísmica de um edifício existente, dimensionado com regulamentos anteriores aos regulamentos com exigência da consideração da ação sísmica. Colocou-se em prática a metodologia implementada para a avaliação de segurança sísmica elaborada na primeira etapa, utilizando a respetiva folha de cálculo para apoio às verificações de segurança elaborada e validada na segunda etapa.

**6. CONCLUSÕES** – Fez-se necessário efetuar a sistematização de procedimentos pelo facto dos atuais regulamentos não serem totalmente objetivos e de fácil compreensão e aplicação pelos projetistas; as normas também não contemplam todas as informações necessárias para que, somente com a sua consulta, seja possível realizar uma avaliação e verificação de segurança sísmica. A sistematização de procedimentos elaborada na primeira etapa foi colocada em prática nos dois casos de estudos apresentados no decorrer do trabalho e pode-se constatar que houve uma grande objetividade nas etapas necessárias a se efetuar em uma avaliação de segurança sísmica e contempla toda a teoria de base para realizá-la. Relativamente à elaboração da folha de cálculo, houve um trabalho árduo para incluir a verificação de segurança de forma a cobrir todos os métodos de análises bem como a verificação de todos os estados limites abordados pelo Eurocódigo 8, isto porque, cada método de análise possui suas particularidades e cada estado limite apresenta uma abordagem diferente de verificação, conduzindo a programação de inúmeras expressões para cobrir todas as possibilidades de uma avaliação de segurança sísmica. A validação da folha de cálculo comprovou que os resultados obtidos são fiáveis, tanto para os valores da exigência como da capacidade, mostrando ser uma ferramenta muito útil, prática e fiável para apoio às verificações de segurança de edifícios existentes de acordo com o Eurocódigo 8 - Parte 3.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MathWorks (2020). Matlab\_R2020a - A computer programme for analyze data, develop algorithms, and create mathematical models. <http://www.mathworks.com/>, 2020;
- [2] SeismoSoft (2020). SeismoStruct - A computer programme for static and dynamic nonlinear analysis of framed structures. <http://www.seismosoft.com/>, 2020.
- [3] CEN (Comité Européen de Normalização) (2017). Eurocódigo 8 - Projeto de estruturas para resistência aos sismos - Parte 3: Avaliação e reabilitação de edifícios. CEN, Bruxelas.

## FUNDAÇÕES INDIRETAS DE PONTES MODULARES –SOLUÇÕES DE EXECUÇÃO ACELERADA

M. Passos<sup>1</sup>, A. Pinto<sup>2</sup>, A. André<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Academia Militar. Dissertação de Mestrado em Engenharia Militar. passos.macmf@exercito.pt

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Georrecursos. Instituto Superior Técnico. alexandrepinto@tecnico.ulisboa.pt

<sup>3</sup> Engenheiro de Estruturas na Empresa BERD. antonio.andre@protecna.pt

**Palavras-chave:** pontes modulares, microestaca TRM, processo construtivo, estudo numérico

Estruturas, segurança e engenharia sísmica

Apresentação Digital

**1. INTRODUÇÃO:** As pontes modulares são soluções eficientes para unir dois pontos que estão separados por um obstáculo. A montagem das pontes modulares é do “tipo lego”, não necessitando de mão-de-obra especializada, e permite configurar a ponte para um determinado vão ou uma determinada carga.

Geralmente, estruturas como pontes modulares, são apenas suportadas por encontros superficiais, sempre que possível. Estes encontros são compostos por um bloco de betão assentes diretamente no terreno. Esta forma de montagem poderá provocar assentamentos devido à falta de conhecimentos do solo. Na **figura 1** está representado um encontro superficial de uma ponte modular do tipo Bailey. (André, 2016)



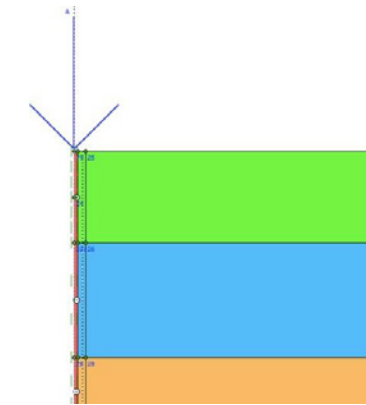
**Figura 1** - Encontro superficial de uma ponte modular do tipo Bailey.

Assim sendo, esta dissertação prende-se em propor uma solução de fundação profunda eficiente, que seja compatível com as exigências deste tipo de obra e que facilite o dimensionamento e montagem.

**2. MICROESTACAS TRM APLICADAS EM PONTES MODULARES** - Para pontes modulares, uma solução de microestaca TRM é eficiente, principalmente ao nível da rapidez do processo construtivo. As microestacas TRM são constituídas por ferro fundido dúctil e posteriormente injetadas com microbetão. O ferro fundido dúctil é utilizado devido à sua elevada resistência química e mecânica e o microbetão para oferecer maior resistência à compressão. O processo construtivo pode ser pelo método de cravação por via seca ou por via húmida, distinguindo-se estes dois pela sequência da injeção do microbetão. (Caetano, 2014)

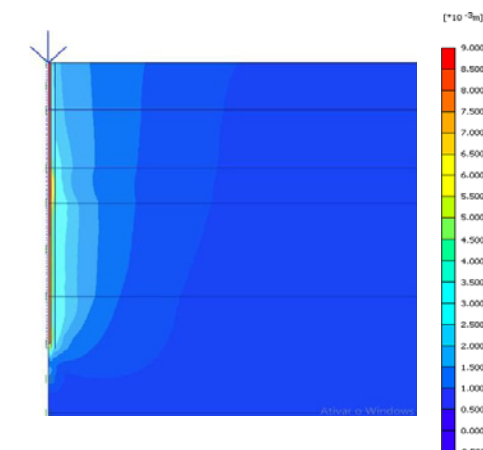
**3. DEFINIÇÃO DO MODELO DE ANÁLISE (PLAXIS 2D)** - Para um solo de fracas condições, foi considerado um caso de estudo para aplicação da solução microestaca TRM na ponte MB60 da BERD. A partir do software *Plaxis 2D* foi possível estimar o comportamento de uma microestaca de 170 mm de diâmetro, em função das cargas da ponte MB60 fornecidas pela BERD. Na **figura 2** encontra-se o modelo de elementos finitos desenvolvido em software.

## Fundações Indiretas de Pontes Modulares – Soluções de Execução Acelerada



**Figura 2** - Modelo de elementos finitos.

Os resultados obtidos para a solução proposta estão explanados na seguinte ilustração (**figura 3**), onde se pode analisar os assentamentos da solução no caso de estudo e as verificações impostas pelo EC7 e pela empresa BERD.



**Figura 3** - Diagrama de deformação para o ELS

Assim sendo, verifica-se que o assentamento obtido no software corresponde a um valor expectável (8,8 mm). No que respeita aos valores máximos admitidos pelo EC7 e pela empresa BERD, o valor do assentamento para a carga ELS é admissível.

- Deslocamento vertical máximo (EC7)

$$d_{v,max} = H \times \frac{1}{1000} = 12 \times \frac{1}{1000} = 0,012 = 12 \text{ mm} > 8,8 \text{ mm} \quad (1)$$

- Deslocamento vertical máximo (BERD)

$$d_{v,max} = 10 \text{ mm} > 8,8 \text{ mm} \quad (2)$$

**4. CONSIDERAÇÕES FINAIS** - Como conclusão, os objetivos da dissertação foram alcançados pois, podemos admitir que a solução de fundação profunda por microestaca TRM é uma solução eficiente para uma estrutura como uma ponte modular. O processo construtivo vai ao encontro dos critérios exigidos e a sua capacidade estrutural vai ao encontro do pretendido.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] André, A. (2016). *Estudo da Aplicação de Pré-Esforço Orgânico em Pontes Provisórias*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [2] Caetano, M. (2014). *Igreja Nossa Senhora dos Navegantes, Parque das Nações : Fundações Indiretas por Microestacas Cravadas*. Instituto Superior Técnico. Lisboa.

## AVALIAÇÃO DA COORDENAÇÃO DE SEGURANÇA EM OBRA – CASO DE ESTUDO

Maria Eduarda Pessoa Brito de Souza<sup>1</sup>, Carlos Oliveira<sup>2</sup>, José Ferreira da Silva<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Grupo Disciplinar de Engenharia. ESTG-IPVC.mariasouza@ipvc.pt

<sup>2</sup>Grupo Disciplinar de Engenharia. ESTG-IPVC.carlosoli@estg.ipvc.pt

<sup>3</sup>Grupo Disciplinar de Engenharia. ESTG-IPVC.jsilva@estg.ipvc.pt

**Palavras-chave:** Plano de Segurança e Saúde, Desenvolvimento do PSS, Amianto, Coordenação de Segurança.

### Código da Área Temática 04

### Apresentação oral

#### 1. RESUMO

Um dos setores económicos responsáveis pelo impulso da economia nacional é o setor da construção. Este setor possui a característica de ser o medidor do aquecimento ou arrefecimento da economia do país, pois se este estiver em fase positiva a economia está em ascensão, por outro lado se o setor estiver numa fase negativa a economia está em recessão. Do mesmo modo, é um forte gerador de emprego para a população e dessa forma contribui para a evolução da economia. Ademais, possui elevado grau de importância devido a este fornecer infraestruturas públicas e privadas essenciais[1], [2].

Apesar do sector da construção ser o impulsionador da economia, apresenta uma grande problemática que são os altos índices de sinistralidade laboral, conforme divulgado pelo Gabinete de Estratégia e Planeamento (2019). Isto pode ser reflexo da falta de qualificação dos trabalhadores que atuam nesta área [4], assim como por exercerem as suas atividades laborais em ambiente insalubre e de modo arriscado [5]. Podem ser atribuídas várias causas aos acidentes de trabalho na construção, sendo as mais significativas as relacionadas com a gestão da prevenção, organização do trabalho, proteção e sinalização, organização do espaço de trabalho ou fatores individuais [6]. A construção é um dos sectores prioritários no estabelecimento de medidas preventivas, como a formação, a sensibilização e a avaliação [6].

Num esforço de diminuir os riscos inerentes à construção, com enfoque nos princípios gerais de prevenção e com base nas Diretivas Europeias, a Legislação Portuguesa criou uma série de medidas para interromper determinados procedimentos, através do Decreto-Lei nº 155/95 de 1 de julho, da qual posteriormente foi revogado pelo Decreto-Lei 273/2003, de 29 de outubro. Com este regime legal, previu-se uma linha de responsabilidades entre todos os intervenientes, clarificando as funções do coordenador de segurança em projeto e obra, como também a exigência da elaboração de um Plano de Segurança e Saúde (PSS) em obras que se enquadrem nos riscos especiais definidos no regime legal em questão [7]. A elaboração do PSS tem como principal objetivo estabelecer linhas orientadoras para a gestão da segurança e saúde no trabalho. Neste contexto, o documento deve identificar e avaliar os riscos em matéria de segurança e saúde nas diversas fases do empreendimento, e orientar as respetivas medidas preventivas que devem ser adotadas, sendo este iniciado em fase de projeto e desenvolvido em fase de obra [8].

Outra problemática envolvendo o sector da construção são a ocorrência de doenças ocupacionais nos trabalhadores pelo contato com materiais contendo amianto. O amianto é a designação comercial utilizada para a variedade fibrosa de seis minerais metamórficos de ocorrência natural [9]. Devido às suas propriedades, o amianto teve, no passado, numerosas aplicações nomeadamente na indústria da construção, encontrando-se presente em diversos tipos de materiais [10]. As fibras de amianto são agentes cancerígenos, sendo então necessário evitar a exposição a qualquer tipo de fibra de amianto. Em regra geral, as doenças associadas ao amianto são devidas à exposição laboral em que houve inalação de fibras respiráveis [9]. Em Portugal, para a remoção de materiais contendo amianto, deve ser cumprido o Decreto-Lei nº

266/2007 de 24 de julho relativo à proteção sanitária dos trabalhadores contra os riscos de exposição ao amianto durante o trabalho.

O caso de estudo que se apresenta foi realizado no âmbito da elaboração da dissertação intitulada avaliação da coordenação de segurança em obra – caso de estudo, a qual refere-se à obra de reabilitação da cobertura contendo amianto de um edifício escolar e teve enfoque na verificação das condições de Segurança, Higiene e Saúde dos trabalhadores. Tal foi conseguido através de ferramentas utilizadas pelos Coordenadores de Segurança para realizar umas das suas responsabilidades, que consiste na validação técnica do Plano de Segurança e Saúde (PSS) e na verificação do cumprimento do Desenvolvimento Plano de Segurança e Saúde (DPSS) em obra. Salienta se, que houve a verificação das condições de segurança na realização da atividade de remoção da cobertura de fibrocimento contendo amianto.

Tais condições de verificações foram conseguidas através das seguintes ferramentas:

- Elaboração de um checklist para verificar a estrutura do Plano de Segurança em Saúde em fase de projeto, verificando todos os itens do mesmo e sintetizando-o de forma a verificar se poderia ser validado;
- Elaboração de checklist com base no Plano de Trabalho com Riscos Especiais (PTRE) do amianto, de forma a verificar se estava a ser cumprido os requisitos de segurança exigido no documento, por parte de quem estava a executar a atividade. Posteriormente, foi desenvolvida uma avaliação de riscos com os resultados da análise de forma a hierarquizar as anomalias encontradas;
- Elaboração de checklist para verificação das condições de instalação e utilização dos estaleiros, andaimes e gruas. Posteriormente, desenvolveu-se as respetivas avaliações de riscos de forma a hierarquizar as anomalias encontradas;
- Elaboração de um registo de anomalias e não conformidades identificadas na obra através de visitas de inspeção;

Com estas verificações, constatou-se que apesar de existir o PSS houve muitas falhas no desenvolvimento do mesmo por parte da entidade executante, mesmo existindo a presença de um Técnico de Segurança. Verificou-se, assim, a importância do papel do Coordenador de Segurança em Obra na parte de fiscalizar o cumprimento do DPSS, sendo importante o cumprimento do PSS, pois este é o principal meio para garantir a promoção da segurança e saúde dos trabalhadores no estaleiro.

#### REFERÊNCIAS

- [1] M. I. Baganha, J. C. Marques, and P. Góis, “O Sector da Construção Civil e Obras Públicas em Portugal: 1990-2000,” 2002.
- [2] T. Romão, “Evolução do Sector da Construção em Portugal: Aplicação do Modelo Structure - Conduct - Performance,” pp. 1–80, 2015.
- [3] Gabinete de Estratégia e Planeamento (GEP), “Coleção Estatística: Acidentes de Trabalho 2017,” Lisboa, 2019.
- [4] A. A. R. da Silva, “Segurança no trabalho na construção civil: uma revisão bibliográfica,” 2015.
- [5] J. A. D. M. Medeiros and C. L. P. Rodrigues, *A existência de riscos na indústria da Construção Civil e sua relação com o saber operário*. Paraíba, 2009.
- [6] C. Reis, C. Oliveira, E. Carpinteiro, P. Braga, J. A. F. O. Correia, and J. F. Silva, “Risk Analysis in the Execution of the Águas Santas Tunnel,” 2018.
- [7] R. A. Saldanha and L. M. Gonelha, *Segurança, higiene e saúde no trabalho: em estaleiros de construção: Decreto-lei nº 273-03, de 29 de Outubro: anotado e comentado*. Lisboa: Associação Forum Mercados Públicos, 2006.
- [8] D. Pinto and C. Reis, “Análise de Planos de Segurança e Saúde ( Analysis of Health and Safety plans ),” *Int. Symp. Occup. Saf. Hyg. - SHO 2012*, vol. 1, p. Pag. 348 a 350, 2012.
- [9] C. M. Reis, S. Novais, P. Silva, and C. Oliveira, “Asbestos application in construction,” *Occup. Saf. Hyg. IV*, pp. 555–559, 2016.
- [10] CARIT, “Guia de boas práticas para prevenir ou minimizar os riscos decorrentes do amianto em trabalhos que envolvam ou possam envolver amianto.” 2006.

## FLAT SLABS WITH DIFFERENT LONGITUDINAL REINFORCEMENT RATIOS UNDER HORIZONTAL CYCLIC LOADING

Mariana Rossi<sup>1</sup>, Brisid Isufi<sup>2</sup>, António Pinho Ramos<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Civil Engineering. Universidade NOVA de Lisboa. m.rossi@campus.fct.unl.pt

<sup>2</sup>Department of Civil Engineering. Universidade NOVA de Lisboa. b.isufi@campus.fct.unl.pt

<sup>3</sup>Department of Civil Engineering. Universidade NOVA de Lisboa. ampr@fct.unl.pt

**Keywords:** flat slab, punching shear, flexural reinforcement, horizontal cyclic loads.

0.4

Apresentação oral

**1. INTRODUCTION** - This paper studies the behavior of flat slabs under constant gravity load combined with horizontal cyclic displacements. The experimental campaign was conducted at DEC/FCT/UNL with the main focus of studying the influence of flexural reinforcement on the seismic response of flat slab structures. This experimental campaign follows previous researches developed also at DEC/FCT/UNL, that focused on different parameters such as Gravity Shear Ratio (GSR) and punching shear reinforcement [1,2].

## 2. EXPERIMENTAL CAMPAIGN

**2.1 Description of the specimens** - Three flat slab-column connections were tested, two with a flexural reinforcement ratio of  $\rho=0,64\%$  and a third specimen with  $\rho=1,34\%$ . One of the specimens with  $\rho=0,64\%$  (C-SSR5-L) was reinforced with studs around the column as punching shear reinforcement. The shear reinforcement used in the shear-reinforced specimen was the same as in C-SSR5a, C-SSR5b and C-SSR5c described in [2], consisting of five rows of studs distributed in three lines on each side of the column. All three specimens had overall dimensions of  $4,15 \times 1,85 \times 0,15 \text{ m}^3$  and a centered steel column of section area  $0,25 \times 0,25 \text{ m}^2$  and a total height of 2m, 1m above and 1m below the slab.

For all specimens, the Gravity Shear Ratio (GSR), which is the ratio between the gravity load ( $V_g$ ) and the shear resistance ( $V_0$ ) calculated according to EC2 [3], was around 55%. Table 1 displays some characteristic regarding each flat slab-column connection: effective depth ( $d$ ), concrete compressive strength ( $f_{cm}$ ), shear resistance, gravity load and GSR.

**Table 1.** Characteristics of all three specimens

| Specimen | $d$ (mm) | $f_{cm}$ (MPa) | $V_0$ (kN) | $V_g$ (kN) | GSR (%) |
|----------|----------|----------------|------------|------------|---------|
| C-Ref-L  | 117      | No             | 284        | 165        | 58,1    |
| C-SSR5-L | 117      | Yes            | 324        | 182        | 56,0    |
| C-Ref-H  | 118      | No             | 399        | 219        | 54,9    |

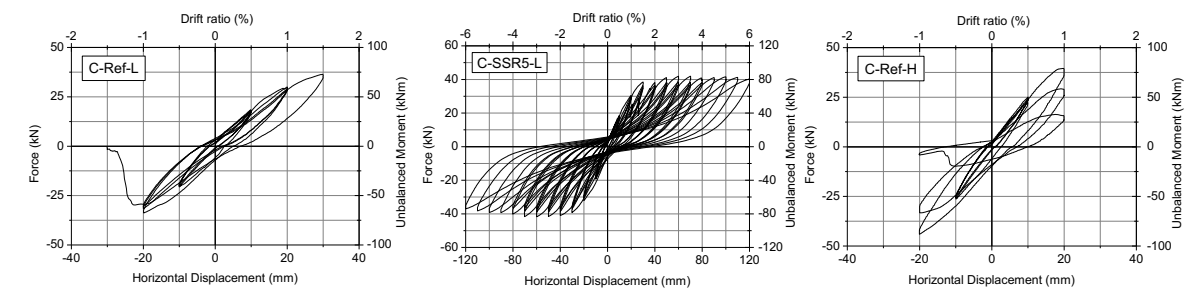
**2.2 Test setup** - The test setup used here was the same used in previous experimental campaigns developed at DEC/FCT/UNL. The setup is fixed to the laboratory floor and allows equal vertical displacements at both North and South borders; equal magnitude shear forces, bending moments and rotations at North and South edges; and mobility of the inflection point along the N-S direction. The vertical load was applied through four hydraulic jacks and load cells connected to steel beams that distributed the load to eight load points on the top surface of the slab. Horizontal displacements were applied to the top end of the column through a mechanical actuator instrumented with a load cell and a displacement transducer. For more details regarding the test setup please refer to [1]. Displacement

## Flat Slabs with Different Longitudinal Reinforcement Ratios Under Horizontal Cyclic Loading

transducers were positioned along the top surface of the specimens to measure vertical deflections during the experimental campaign and in some longitudinal bars and studs (for specimen C-SSR5-L) strain gauges were installed before the casting of the slabs.

The test protocol consisted in applying the gravity load and gradually increasing it until reaching the target value displayed in Table 1. Gravity load was kept constant and horizontal cyclic displacements were applied to the top end of the column with steps of 0,5% drift ratio and three repetitions.

**3. RESULTS** - The two specimens with no shear reinforcement (C-Ref-L and C-Ref-H) failed in punching. C-Ref-L failed during the second half of the first 1,5% drift cycle and C-Ref-H failed during the last cycle of 1,0% drift. Failure of these two specimens was characterized by a sudden loss of horizontal force (see figure 1, different scales were used for clarity). With the use of studs, specimen C-SSR5-L supported higher forces than C-Ref-L and did not fail in punching, the test was stopped after the 6,0% drift ratio (a very high value for real structures) due to limitations of the test setup.



**Figure 1.** Hysteretic diagrams

Test results showed that C-Ref-L and C-SSR5-L behaved similarly regarding forces and vertical displacements until failure of the first specimen. The higher flexural reinforcement ratio added to C-Ref-H resulted in a more rigid specimen, with smaller vertical displacements and supporting higher horizontal forces. There was a faster deterioration of specimen C-Ref-H during the test, but the damage in all specimens was increased with the application of higher horizontal displacements and repetition of drift cycles.

**4. CONCLUSIONS** - The use of studs as shear reinforcement improved the ultimate drift capacity of C-SSR5-L, preventing punching shear failure through the entire test whereas the similar specimen (C-Ref-L) failed in punching near a drift of 1,5%.

Even though the ultimate drift capacity of the two specimens without shear reinforcement was comparable, a faster deterioration, but smaller vertical displacements, were noticed with the increase of flexural reinforcement in C-Ref-H while maintaining GSR approximately the same.

The repetition and increase of reversed cyclic horizontal displacements caused stiffness deterioration of the flat-slab column connections, with the first cycle of each drift ratio causing more damage.

## REFERENCES

- [1] Almeida, A. F. O., Inácio, M. M. G., Lúcio, V. J. G., Ramos, A. P. Punching behavior of RC flat slabs under reversed horizontal cyclic loading. 2016. Engineering Structures 117: pp. 204-219.
- [2] Isufi, B. Ramos, A. P., Lúcio, V. Reversed horizontal cyclic loading tests of flat slab specimens with studs as shear reinforcement. 2019. Structural concrete 20: pp. 330-347.
- [3] NP EN 1992-1-1. Eurocódigo 2 – Projeto de Estruturas de Betão Armado: Regras gerais e regras para edifícios. 2010.

## VIBRAÇÕES INDUZIDAS POR PEÕES EM ESCADAS METÁLICAS

Pedro Andrade<sup>1</sup>, José Santos<sup>2</sup>, Patrícia Escórcio<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Engenheiro Civil. Universidade da Madeira. pedromgandrade@gmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Civil e Geologia. Universidade da Madeira. jmmnsantos@uma.pt

**Palavras-chave:** Vibrações, escadas metálicas, métodos numéricos, pré-dimensionamento.

Código da Área Temática – 04

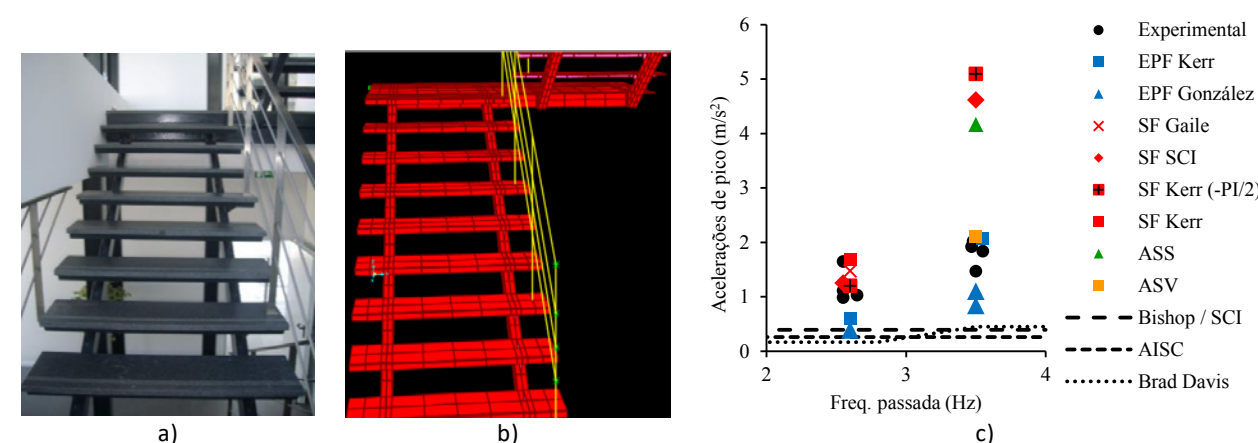
Apresentação oral

**1. ENQUADRAMENTO TEMÁTICO** – O dimensionamento de escadas metálicas leves, esbeltas e com longos vãos a cargas estáticas é relativamente conhecido e controlável, contudo, evitar a sua suscetibilidade a vibrações indesejáveis, é frequentemente um desafio complexo, sendo um tópico ainda em desenvolvimento [1-6]. As escadas apresentam dois tipos de comportamento dinâmico, em que as escadas de baixa frequência (EBF) respondem em ressonância e as escadas de elevada frequência (EEF) respondem impulsivamente. Adicionalmente, as vibrações podem ser globais, em que a escada move-se integralmente como um todo, ou locais, em que o comportamento dos degraus é praticamente independente do resto da escada, devido à reduzida rigidez de rotação na ligação entre estes dois elementos [1-3, 5]. A quantificação das vibrações induzidas por peões pode ser realizada através de diferentes métodos: *i)* funções de carga obtidas em plataformas de força (EPF), *ii)* Séries de Fourier (SF), *iii)* Análise *Steady-State* (ASS), *iv)* Avaliação Simplificada de Vibrações (ASV) e *v)* Impulso Efetivo (apenas aplicável em EEF) [1-6]. O efeito de grupo, apesar de consideravelmente superior ao efeito individual, é diretamente obtido apenas através de alguns dos métodos numéricos existentes (EPF e SF), sendo necessário recorrer a coeficientes de amplificação ao aplicar os restantes [6]. Na dissertação desenvolvida [7] pretendeu-se melhor compreender o fenómeno associado às vibrações de escadas metálicas flexíveis, com o intuito de disponibilizar aos projetistas ferramentas que impeçam futuras construções passíveis de um comportamento dinâmico inadequado. Neste sentido, foram estudadas duas escadas metálicas, ambas situadas em edifícios públicos na ilha da Madeira, Portugal, sendo que uma consistia em uma EBF (13,9Hz) e apresentava um fenómeno de vibrações globais, enquanto a outra consistia em uma EEF (24Hz), tendo um comportamento local.

**2. APLICAÇÃO DE MÉTODOS NUMÉRICOS E PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE DEGRAUS** – As duas escadas metálicas foram sujeitas a uma bateria de ensaios experimentais, procedendo-se primeiramente à sua identificação modal e posteriormente medindo-se as vibrações provocadas por um peão isolado e um grupo de peões, em subidas e descidas com diferentes frequências de passada. Após a sua realização, foram calculadas as vibrações através dos métodos numéricos referidos, sendo comparadas com as experimentais e com os limites admissíveis propostos por diferentes regulamentos e autores.

Na **Figura 1** encontra-se representado um exemplo das vibrações obtidas para a descida na escada EBF. Verificou-se que as vibrações experimentais medidas na referida escada eram claramente superiores aos limites propostos, tal evidenciando a relevância do dimensionamento deste tipo de estruturas fora da gama de frequências excitáveis pelos peões, evitando assim efeitos ressonantes. No que respeita aos diferentes métodos numéricos aplicados, observou-se que através dos métodos EPF e ASV foi possível, em geral, prever vibrações próximas das medidas experimentalmente. No sentido oposto, mediante a aplicação dos métodos SF e ASS, na maioria dos casos obtiveram-se vibrações sobrestimadas, sobretudo para 3,5Hz, em que excederam grandemente as vibrações experimentais, tendo-se demonstrado e fundamentado porque tal sucede.

Tendo em conta o nível vibrações observado em ambas as escadas metálicas, significativamente superior aos limites propostos, diferentes medidas de reforço foram propostas visando melhorar o seu comportamento em serviço e diminuir o desconforto dos peões [5-7].



**Figura 1.** Vibrações globais: a) escada real; b) modelo em EF; c) comparação dos picos de aceleração.

Os degraus são normalmente elementos esbeltos e com massa reduzida, tendo tendência a originar vibrações impulsivas elevadas. De modo a ultrapassar uma limitação na bibliografia referente a este assunto, como resultado da análise da escada EEF, foi desenvolvido um método de pré-dimensionamento muito simples, que foi publicado na revista *Engineering Structures* [1].

**3. CONCLUSÕES** – Considerando o objetivo inicial deste trabalho, um procedimento de aplicação para cada um dos diferentes métodos numéricos foi proposto para ser utilizado numa fase de projeto, prevendo-se as suas principais limitações. Tendo-se, por exemplo, sugerido valores de coeficientes de ajustamento nos métodos com tendência a sobrestimar as vibrações [7]. Um novo valor foi também referido para a fronteira entre EBF e EEF, devido à atual inexistência para escadas, tal determinando o método a selecionar e, consequentemente, o procedimento de dimensionamento [1, 2]. Na aferição do efeito de grupo, sugere-se valores de coeficientes de amplificação num determinado intervalo, possibilitando a sua quantificação através dos métodos numéricos em que não se consegue diretamente [7].

Por último, deve-se realçar que o método de pré-dimensionamento desenvolvido poderá ser empregue em degraus com qualquer frequência fundamental, em qualquer material e comprimento de degraus entre 1 e 3 m, evitando também o surgimento de respostas em ressonância. Ao aplicar o mesmo na escada EEF, verificou-se que seria relativamente acessível impedir vibrações excessivas nos degraus e com custos reduzidos [1].

## 4. REFERÊNCIAS

- [1] Santos J, Andrade P, Escórcio P. Pre-design of laterally supported stair steps. *Engineering Structures*; Vol. 182. pp. 51-61, 2019.
- [2] Andrade P, Santos J, Escórcio P. Application of the Effective Impulse Approach to Stairs. *Procedia Structural Integrity*. Vol.5. p. 1318-25, 2017.
- [3] Andrade P, Santos J, Escórcio P. Numerical methods to predict vibration serviceability on high frequency stairs. *Journal of Physics: Conference Series* 1777 012061: 2021.
- [4] Andrade P, Santos J, Escórcio P. Direct Integration Methods versus Modal Superposition Method, on Predicting Staircases Vibrations. *Procedia Structural Integrity*. Vol.28. pp. 279–86, 2020.
- [5] Andrade P, Santos J, Maia L. Reinforcement Measures to Reduce the Human Induced Vibrations on Stair Steps - A Case Study. *Procedia Structural Integrity*. Vol. 5. pp. 1310-17, 2017.
- [6] Andrade P, Santos J, Maia L. Improvement of Staircases Vibration Serviceability to Human Ergonomics: A Case Study. *Procedia Structural Integrity*. Vol.28. pp. 287-94, 2020.
- [7] Andrade P. Vibrações em Escadas Metálicas Induzidas por Peões. MSc. thesis. Madeira, Portugal: University of Madeira; 2017.

## ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE BARRAGENS DE BETÃO SUJEITAS A VIBRAÇÕES PROVOCADAS POR DESMONTE DO MACIÇO ROCHOSO COM RECURSO A EXPLOSIVO

Ricardo Fonseca<sup>1</sup>, Jorge Gomes<sup>2</sup>, José Lemos<sup>3</sup>, Ricardo Resende<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Marinha - Direção de Infraestruturas. arsenio.fonseca@marinha.pt

<sup>2</sup> Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). jgomes@lnec.pt

<sup>3</sup> Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). vlemos@lnec.pt

<sup>4</sup> Instituto Universitário de Lisboa (ISCTE-IUL), ISTAL-IUL. jrpre@iscte-iul.pt

**Palavras-chave:** Barragens, Explosivos, Análise Dinâmica, Modelação numérica.

**Área Temática:** 04

**Apresentação oral**

### 1. INTRODUÇÃO

O Programa Nacional de Barragens com Elevado Potencial Hidroelétrico tem sido uma das respostas às diretivas da União Europeia, para aproveitamento dos recursos hídricos, aumento da produção de energias renováveis e diminuição das emissões de gases nocivos, construindo novas barragens, realizando reforços de potência e obras de reabilitação em barragens em funcionamento. As obras de reabilitação compreendem, entre outras, a construção de novos órgãos hidráulicos, nomeadamente, descarregadores complementares de cheias (DCC), para os quais, em algumas situações, recorre-se à utilização de explosivos como método para o desmonte da rocha existente. Tendo sido já realizados alguns trabalhos sobre propagação de vibrações em maciços rochosos [1], surge a necessidade de aprofundar o estudo dos efeitos nas barragens de betão sujeitas a vibrações provocadas pelo uso de explosivos a curta distância.

### 2. EFEITOS DO DESMONTE COM RECURSO À UTILIZAÇÃO DE EXPLOSIVOS

De acordo com a Norma Portuguesa (NP) 2074:1983<sup>1</sup> “Avaliação da influência em construções de vibrações provocadas por explosões ou solicitações similares”, sempre que existam atividades geradoras de vibrações, nomeadamente explosões, é obrigatório monitorizar as estruturas, avaliando as velocidade induzidas para que não ocorram danos nas estruturas. Os valores máximos de velocidade de vibração admissíveis são determinados através da expressão seguinte:

$$v_r = \alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot 10 \text{ [mm/s]} \quad (1)$$

onde os símbolos têm os seguintes significados:

- $\alpha$  – constante dependente do tipo de solo de fundação;
- $\beta$  – constante dependente do tipo de construção;
- $\gamma$  – número médio de solicitações diárias.

### 3. CASO DE ESTUDO

#### 3.1 Monitorização

A concretização deste estudo teve como base de simulação a barragem de Salamonde, situada no rio Cávado entre os distritos de Vila Relá e Braga no norte de Portugal, cuja intervenção sobre a responsabilidade da Energias de Portugal (EDP), incluiu a construção do DCC [2]. No decorrer das operações de desmonte de rocha com o recurso a explosivos, a EDP, solicitou ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil o acompanhamento na monitorização das vibrações de acordo com a NP 2074:1983 [3].

#### 3.2 Modelo Numérico

A malha com a definição da barragem, das juntas de contração e do maciço de fundação foi

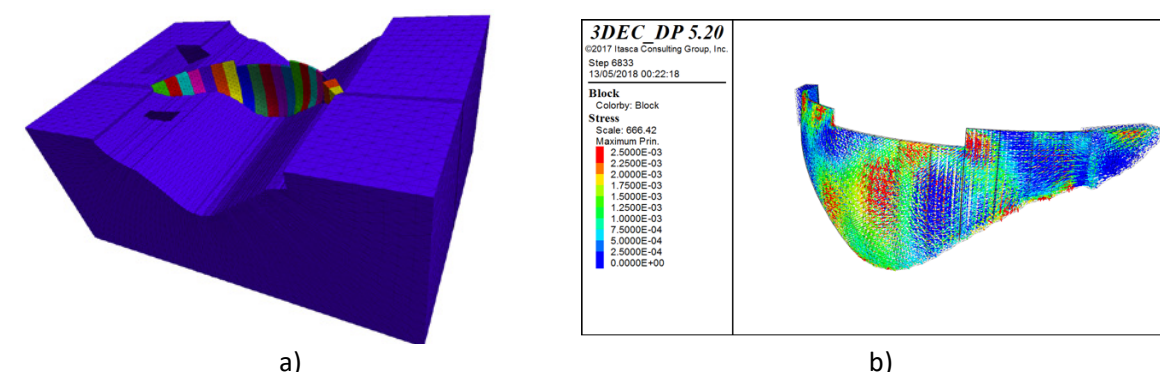
<sup>1</sup> Existe uma nova versão da norma (NP2074:2015), no entanto, as obras que deram origem ao presente estudo foram efetuadas antes de 2015, pelo que ao abrigo da norma de 1983.

### Modelação do maciço rochoso para avaliação do comportamento de barragens de betão sujeitas a vibrações explosivas

concebida a partir dos elementos de projeto, originando um modelo de elementos discretos, resolvido através do 3DEC (Figura 1a), com os blocos discretizados por uma malha de elementos finitos tridimensionais de 20 pontos nodais, com uma dimensão em planta de 440 x 290 metros. As propriedades adotadas no material do modelo tiveram por base os valores utilizados no controle de segurança da barragem acrescidos de cerca de 50% devido à natureza impulsiva da ação da explosão. A simulação da explosão foi materializada através da aplicação de uma força impulsiva, determinada a partir da quantidade e do tipo de explosivo usado, com base numa formulação desenvolvida por Hustrulid [4].

### 3.3 Resultados

Foram simuladas as pegadas mais representativas do trabalho de desmonte de rocha realizado que pudessem afetar mais a estrutura da barragem. Na Figura 1b, apresenta-se um aspeto do acréscimo das tensões principais no corpo da barragem devido a execução de uma pega a cerca de 30 m do encontro da barragem. Foram também comparados os valores de velocidades obtidos no modelo numérico com os valores observados durante a execução dos trabalhos de desmonte de rocha que tiveram uma excelente aproximação.



**Figura 1** – Vista: a) modelo numérico da barragem e maciço de fundação; b) aspeto geral das tensões principais no corpo da barragem devido a uma pega a cerca de 30 m do encontro.

### 4. CONCLUSÕES

Foi desenvolvimento de um modelo numérico híbrido descontínuo de elementos discretos e elementos finitos, com uma nova abordagem para a simulação de explosões, através da aplicação de um impulso de força em que é considerada a quantidade de carga explosiva instantânea utilizada. Considera-se que o modelo numérico conseguiu reproduzir bem as condições reais de propagação de vibrações, através da comparação dos valores de velocidade obtidos numérica e experimentalmente. Para as pegadas simuladas foi obtido um acréscimo de tensão máxima de cerca de 60 kPa para o efeito das explosões.

### REFERÊNCIAS

- [1] Resende, R. (2010). An Investigation of Stress Wave Propagation Through Rock Joints and Rock Masses. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [2] EDP (2010a). Barragem de Salamonde. Descarregador de Cheias Complementar. Projeto.
- [3] LNEC. (2012). Acompanhamento e controlo das vibrações durante as escavações do maciço rochoso com recurso a explosivos. Relatório Técnico (Confidencial). Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa, Portugal.
- [4] Hustrulid, W. A. (1999). Blasting Principles for Open Pit Mining, Volume 1 General Design Concepts. Colorado, E.U.A.: Taylor & Francis Group, LCC.
- [5] Fonseca, R. (2018). Estudo do comportamento de barragens de betão sujeitas a vibrações provocadas por desmonte do maciço rochoso com recurso a explosivos. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

## COMPORTAMENTO À FLEXÃO DE VIGAS DE BETÃO ECO-EFICIENTES E DE ULTRA-ELEVADA DURABILIDADE

Ricardo Martins<sup>1</sup>

Orientadores: Ricardo do Carmo<sup>2</sup>, Hugo Costa<sup>3</sup>, Eduardo Júlio<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Instituto Politécnico de Coimbra-ISEC, DECivil, Coimbra, Portugal. ricardo.martins@isec.pt

<sup>2</sup> Instituto Politécnico de Coimbra-ISEC, Coimbra, Portugal; CERIS, IST, Lisboa. carmo@isec.pt

<sup>3</sup> Instituto Politécnico de Coimbra-ISEC, Coimbra, Portugal; CERIS, IST, Lisboa. hcosta@isec.pt

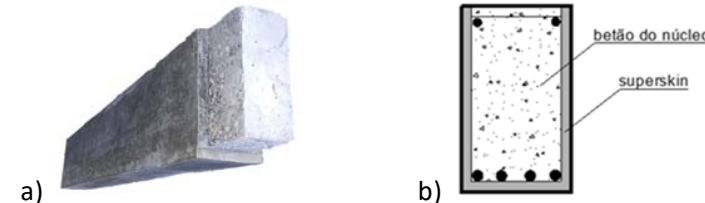
<sup>4</sup> Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, DECivil, Lisboa, Portugal. ejulio@civil.ist.utl.pt

**Palavras-chave:** Betão, durabilidade, eco-eficiência, resistência à flexão.

### 04. Estruturas, segurança e engenharia sísmica

### Apresentação oral

**1. CONCEITO E OBJETIVOS** - O principal objetivo deste trabalho foi explorar, do ponto de vista estrutural, o conceito inovador de *superskin*, desenvolvido no âmbito do projeto “*Intelligent Super Skin – Enhanced Durability for Concrete Members*” [1], e consiste na utilização de betões de ultra-elevada durabilidade apenas na camada de recobrimento dos elementos estruturais, sendo o núcleo constituído por um betão com menor desempenho, neste caso um betão com baixa dosagem de cimento. Com esta aplicação diferenciada da dosagem de cimento consegue-se produzir uma solução mais eco-eficiente porque não é necessário consumir grandes quantidades de cimento para aumentar a durabilidade das estruturas [2, 3]. Este tipo de solução estrutural pode ser explorada tanto numa perspetiva de pré-fabricação, como de reabilitação de elementos já existentes (Figura 1). Esta tese focou-se na caracterização do comportamento à flexão de vigas produzidas com diferentes taxas de armadura longitudinal.



**Figura 1.** Exemplo de um elemento com superskin: a) perspetiva de uma viga; b) corte transversal.

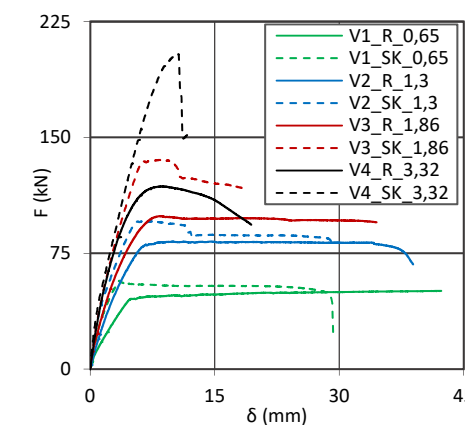
**2. PROGRAMA EXPERIMENTAL** – Foram utilizados dois betões no estudo: (i) um betão com baixa dosagem de cimento (*LBC*) para o núcleo das vigas; e (ii) um betão de ultra-elevada durabilidade (*UHDC*), reforçado com fibras de aço, para o recobrimento com 20 mm. As principais propriedades mecânicas destes dois betões foram devidamente avaliadas. Foram produzidas e ensaiadas oito vigas com 1.5 m e secção 0.12x0.24 m<sup>2</sup>, com quatro taxas de armadura longitudinal de tração diferentes ( $\rho = 0.65\%$ , 1.30%, 1.86% e 3.32%) de modo a avaliar a influência da *superskin* em vigas com roturas dúcteis e frágeis. Os elementos foram divididos em duas séries: (a) quatro elementos produzidos apenas com *LBC*, usados como referência (R); e (b) quatro vigas com o núcleo em *LBC* e o recobrimento em *UHDC* (SK). Cada viga foi ensaiada à flexão, com carga aplicada a meio vão e foi utilizada toda a instrumentação necessária para medição das reações de apoio e deslocamentos (Figura 2).



**Figura 2.** Ensaio de uma viga com *superskin* e instrumentação.

## Comportamento à flexão de vigas de betão eco-eficientes e de ultra-elevada durabilidade

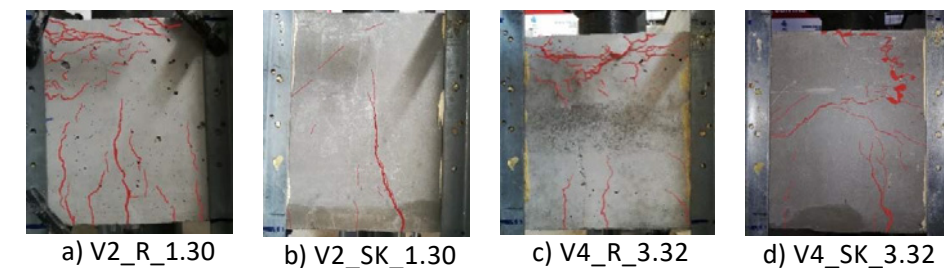
**3. RESULTADOS E DISCUSSÃO** – Através da relação entre a carga aplicada a meio vão e o deslocamento vertical nessa secção,  $F-\delta$  (Figura 3), foi possível verificar que a utilização da *superskin* permitiu o aumento substancial da capacidade resistente das vigas, e esse incremento de resistência aumenta também com a taxa de armadura de tração, verificando-se um aumento percentual de 73% para a maior taxa de armadura ( $\rho = 3.32\%$ ). Foram determinados os valores dos momentos fletores máximos (experimentais e teóricos), bem como a rigidez à flexão, comprovando de forma mais fundamentada e quantitativa que a aplicação da *superskin* aumenta a resistência e a rigidez à flexão, comparativamente com as respetivas vigas de referência (Tabela 1). Recorrendo à análise visual do padrão de fendilhação, observou-se que as vigas com recobrimento em *UHDC* ficaram menos danificadas, com menor destacamento de betão na zona comprimida, o que significa que a *superskin* proporciona um efeito de confinamento ao betão do núcleo. As vigas com *superskin* apresentaram uma distribuição mais concentrada de fendas na zona central e uma maior abertura da fenda principal numa fase próxima da rotura (Figura 4).



**Tabela 1.** Momentos fletores e rigidez das vigas.

| Viga       | $M_{teo}$<br>kN.m | $M_{máx}$<br>kN.m | $EI_{I,teo}$<br>kN.m <sup>2</sup> | $EI_{II,teo}$<br>kN.m <sup>2</sup> | $EI_{II,exp}$<br>kN.m <sup>2</sup> |
|------------|-------------------|-------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| V1_R_0.65  | 14.4              | 17.7              | 4369                              | 885                                | 775                                |
| V1_SK_0.65 | 23.4              | 20.0              | 5034                              | 889                                | 1200                               |
| V2_R_1.30  | 25.8              | 28.9              | 4478                              | 1321                               | 1378                               |
| V2_SK_1.30 | 35.6              | 33.6              | 5168                              | 1430                               | 1938                               |
| V3_R_1.86  | 34.8              | 34.7              | 4596                              | 1822                               | 1662                               |
| V3_SK_1.86 | 44.6              | 47.4              | 5240                              | 1731                               | 1453                               |
| V4_R_3.32  | 38.9              | 41.4              | 4688                              | 2675                               | 1928                               |
| V4_SK_3.32 | 60.7              | 71.4              | 5413                              | 2622                               | 1941                               |

**Figura 3.** Relação carga-deslocamento,  $F-\delta$ .



**Figura 4.** Padrão de fendilhação para o valor de carga máxima.

Com base no trabalho experimental realizado é possível afirmar que as vigas com *superskin* têm claramente maior resistência e rigidez à flexão, relativamente às vigas correntes, além do aumento da durabilidade previamente identificado. Este trabalho é contributo para o desenvolvimento de soluções estruturais mais sustentáveis e duráveis.

### REFERÊNCIAS

- [1] Ghafari, E., Costa, H., Júlio, E., Portugal, A., Durães, L. Effect of supplementary cementitious materials on autogenous shrinkage of ultra-high performance concrete. *Construction and Building Materials*, Vol. 127, pp. 43-48, 2016
- [2] Martins, R., Carmo, R., Costa, H., Júlio, E. Flexural behavior of eco-efficient and ultra-high durability concrete beams. *Construction and Building Materials*, vol. 236, 2020.
- [3] Martins, R., Carmo, R., Costa, H., Júlio, E., Cordeiro, T., Almeida, V. Interface role in composite RC beams with a light-weight concrete core and an ultra high-durability concrete skin. *Engineering Structures*, vol. 228, 2020

## COMPORTAMENTO DE FACHADAS ENVIDRAÇADAS SOB A AÇÃO DE EXPLOSÕES – DESENVOLVIMENTO DE UMA SOLUÇÃO DE PROTEÇÃO

R. Rita<sup>1</sup>, J. Pedro<sup>2</sup>, P. Matias<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Centro de Competências para a Proteção de Infraestruturas. Academia Militar. rita.rjl@exercito.pt

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Georrecursos; Ceris. Instituto Superior Técnico. jose.oliveira.pedro@tecnico.ulisboa.pt

<sup>3</sup> Centro de Competências para a Proteção de Infraestruturas; CINAMIL. Academia Militar. matias.pjsg@exercito.pt

**Palavras-chave:** Sistemas de proteção; Fachadas envidraçadas; Sistemas de fixação; Metamateriais. Estruturas, segurança e engenharia sísmica **Apresentação Oral**

**1. INTRODUÇÃO:** O principal objetivo deste trabalho é o estudo de dissipadores de energia com características mecânicas diferentes, inseridos na mesma estrutura de fixação da fachada de vidro e sujeitos à mesma ação de explosão.

**2. AÇÃO DE EXPLOSÃO:** Uma explosão é definida como uma libertação rápida de energia em grande escala [1]. A propagação da onda de choque descreve-se em função de um escalár designado de distância reduzida  $Z$ , cuja expressão é dada na Equação (1).  $R$  corresponde à distância entre a carga e a superfície em estudo e  $W$  é a massa de explosivo. A partir de  $Z$  é possível obter a totalidade do perfil de pressões de uma explosão, através das equações de Kinney e Graham [2].

$$Z \left[ m/kg^{\frac{1}{3}} \right] = \frac{R}{\sqrt[3]{W}} \quad (1)$$

### 3. TECNOLOGIA DE FACHADAS ENVIDRAÇADAS

**3.1 Envidraçados:** De acordo com o método de fabrico têm-se 4 tipos de vidro: *float*, recozido, temperado e termoendurecido. Relativamente à sua utilização em fachadas, o vidro pode ser: monolítico, laminado e isolante.

**3.2 Sistemas de fixação de envidraçados:** Segue-se um diagrama sumário dos sistemas de fixação e dos seus vários tipos (Figura 1):

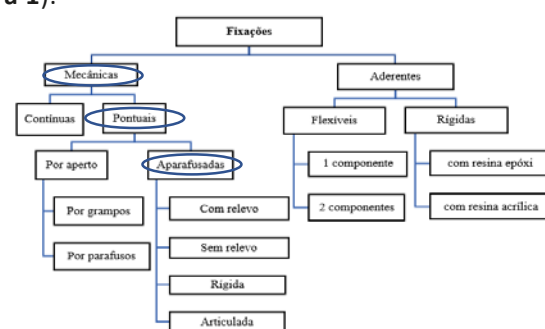


Figura 1. Sistemas de fixação.

### 4. CASO DE ESTUDO

**4.1. Descrição:** O caso de estudo consiste numa fachada (Figura 2) constituída por 3 colunas IPE200 com 3m de altura e espaçadas de 2m (encastradas na base e apoiadas no topo), que suportam dois painéis de vidro laminado temperado 3x2m<sup>2</sup> e 17.52mm de espessura. A carga de 10kg de TNT encontra-se a 5m de distância da face do vidro e a 1,5m de altura do solo.

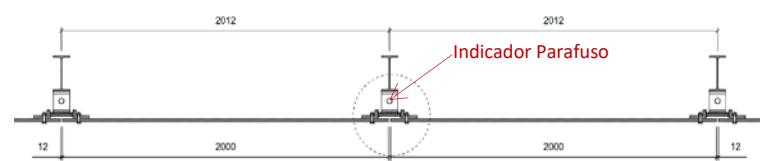


Figura 2. Vista superior da estrutura modelada.

### 4.2. Estudo do dissipador

Foi modelado um dissipador em metamaterial de PETg com as características apresentadas abaixo (Figura 3 e Figura 4).

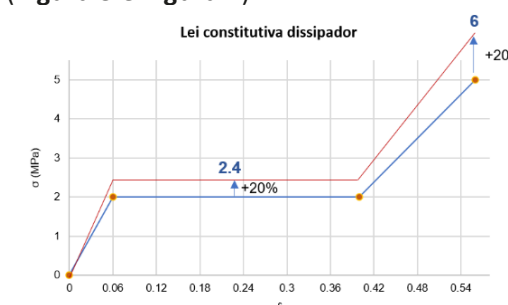


Figura 3. Lei constitutiva do dissipador.

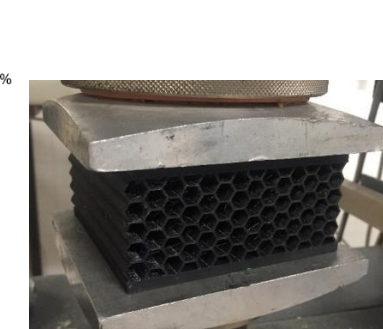


Figura 4. Dissipador com estrutura celular hexagonal (100x100x50).



Figura 5. Estrutura de suporte modelada.

### 4.3 Interpretação de resultados

Um dos principais indicadores da carga que passa para a estrutura é o esforço axial e de corte nos Parafusos 1, ao longo da fachada (topo, meia altura e base) (Figura 2 e Figura 5). Foram comparados os resultados de um modelo sem dissipador e de outro com dissipador. De um modelo para outro (Figura 6 e Figura 7) continua a existir um pico de força elevado, nomeadamente de corte nos parafusos, que corresponde à fase em que o máximo de pressão incidente atinge o vidro que posteriormente transmite à estrutura. Continua a dar-se uma plastificação localizada devido à flexão do suporte. Verifica-se que a chapa que une as duas chapas quinadas plastifica totalmente e que a onda de choque é transmitida de uma forma mais controlada. O vidro no modelo com dissipador, apresenta semelhante padrão de rotura, sofrendo uma curvatura maior entre a fixação de topo e a de meia altura, do que a que apresentava no modelo de referência. Isto deve-se ao facto de o sistema de fixação com o dissipador ser menos rígido e não dificultar tanto os deslocamentos verticais.

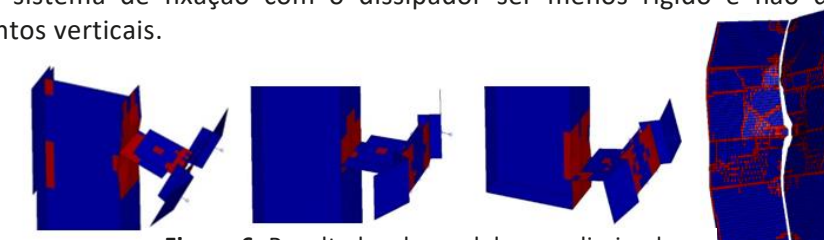


Figura 6. Resultados do modelo sem dissipador.

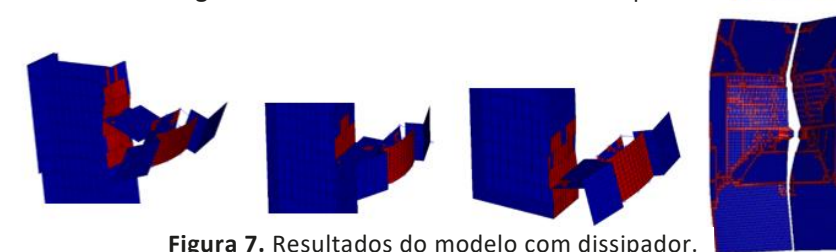


Figura 7. Resultados do modelo com dissipador.

**5. CONSIDERAÇÕES FINAIS:** Com vista a diminuir a curvatura dos painéis seria necessário utilizar um dissipador com melhores propriedades mecânicas ou condições de apoio diferentes para os painéis, nomeadamente colocar apoios contínuos em vez de apoio discretos. Foi registada uma clara formação do *Mach stem* devido à reflexão com o solo, dado que a fachada recebeu maior impacto na zona entre o apoio inferior e o de meia altura. Verificou-se um certo amortecimento utilizando o dissipador entre os painéis de vidro e a estrutura principal. No entanto, considera-se necessário estudar um metamaterial com propriedades diversas, dado que o material utilizado não teve um amortecimento que seria expectável.

### 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] T. Ngo, P. Mendis, A. Gupta, e J. Ramsay, «Blast Loading and Blast Effects on Structures - An Overview», *Eletronic J. Struct. Eng.*, n. janeiro, pp. 76–91, 2007.
- [2] G. Kinney e K. Graham, *Explosive shocks in air*. NY: Springer Science + Business Media, LLC, 1985.

## PROJETO DE ESTRUTURAS E FUNDAÇÕES DE UM PAVILHÃO MULTIUSOS

Rafael Vasques<sup>1</sup>, Ana Rita Gião<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Civil. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. a38111@alunos.isel.pt

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Civil. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. ana.giao@isel.pt

**Palavras-chave:** projeto de estruturas, análise sísmica, eurocódigos.

04

**Apresentação oral**

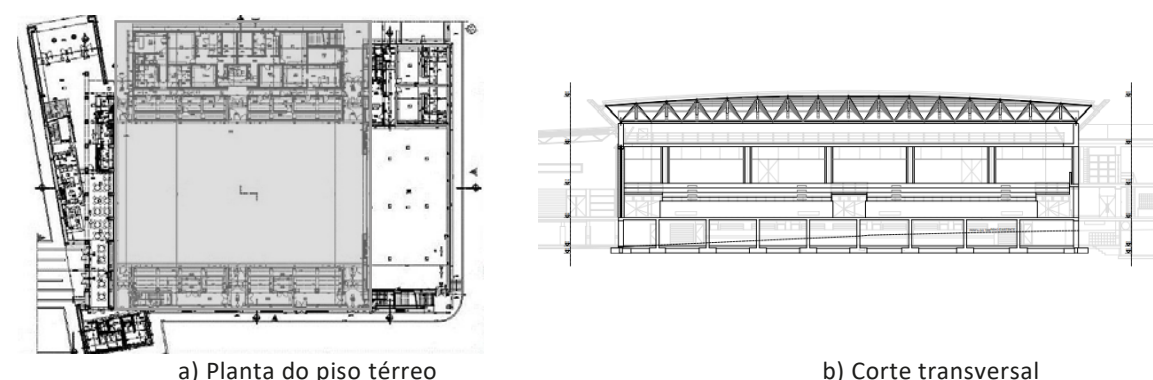
**1. ENQUADRAMENTO** O presente artigo refere-se a um trabalho final de mestrado cujo objetivo foi a realização de um projeto de estruturas e fundações de um pavilhão multiusos.

O Pavilhão localiza-se em Carcavelos, no concelho de Cascais e possui uma área de implantação de cerca de 3370m<sup>2</sup>. O edifício, que constitui um pavilhão multiusos, apresenta dois corpos, articulados entre si, capazes de acolher eventos culturais e desportivos, sendo que as suas instalações permitem a prática de diversas modalidades desportivas, bem como a capacidade de acomodar 650 pessoas nas bancadas. A sua estrutura é em betão armado onde assenta uma cobertura metálica.

Inserido no âmbito da área de especialização de estruturas, o trabalho envolveu as várias fases de um projeto, desde a conceção estrutural, dimensionamento e pormenorização dos elementos estruturais. O projeto da estrutura foi elaborado recorrendo ao programa de cálculo automático SAP2000 e de acordo com as normas europeias constituídas pelos Eurocódigos [1]-[4].

## 2. METODOLOGIA

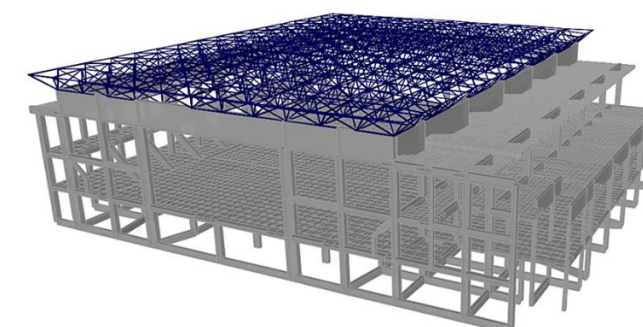
A conceção da estrutura envolve a definição da solução estrutural que teve como princípio base respeitar todas as condicionantes do projeto, garantido a segurança e um adequado desempenho estrutural. Para o pavilhão, optou-se por uma estrutura de betão armado em lajes fungiformes ao nível do pavimento da cave, apoiada em muros de suporte. Ao nível do piso térreo, destacam-se dois blocos em estrutura porticada em betão armado, correspondentes às zonas das bancadas e balneários – ver Figura 1 a). A uma altura correspondente a dois pisos, os blocos são ligados através de dois pórticos. As bancadas do campo de jogos são em elementos de betão pré-fabricado, apoiando-se em vigas em forma de escada. A cobertura que assenta na estrutura de betão armado é constituída por uma estrutura metálica triangulada em perfis tubulares circulares e nós de ligação esféricos – ver Figura 1 b).



a) Planta do piso térreo b) Corte transversal  
**Figura 1.** Planta do piso 0 do pavilhão multiusos (a) e Corte Transversal (b)

Nas bases de projeto consta a definição dos materiais a adotar, as ações afetas à estrutura e das combinações de ações de acordo com o EC0 para os vários Estados Limite e os critérios gerais de dimensionamento de acordo com os Eurocódigos. As ações condicionantes foram a ação sísmica para a estrutura de betão armado e a ação do vento para a cobertura metálica.

A modelação da estrutura foi efetuada recorrendo a um programa de cálculo automático de elementos finitos, procurando-se simular o comportamento da estrutura – Figura 2. Concebido o modelo e definindo todos os parâmetros referentes ao estudo da ação dos sismos, procedeu-se a uma análise sísmica por espectro de resposta.



**Figura 2.** Modelação da estrutura do pavilhão em SAP2000.

O dimensionamento de estruturas com comportamento adequado aos efeitos da ação sísmica é efetuado de forma a garantir que as estruturas têm capacidade de deformação e não ocorrem roturas frágeis, dando preferência a comportamentos estruturais dúcteis. Segue-se o dimensionamento dos elementos estruturais com base nos critérios gerais de dimensionamento e a consequente pormenorização e produção das peças desenhadas essenciais à execução da obra.

## 3. CONCLUSÕES

O objetivo principal do presente trabalho foi executar um projeto de estruturas do pavilhão multiusos. Entende-se que a modelação da estrutura é um processo moroso exigindo um elevado espírito crítico por parte do projetista, assim como, a interpretação das diretrizes dos Eurocódigos deve ser efetuada de forma cuidada. De facto, os conceitos preconizados no EC8, como o dimensionamento por avaliação da capacidade real, que possibilitam tirar partido da capacidade de dissipação de energia da estrutura através da exploração da ductilidade, traduzem-se em processos complexos de difícil implementação. A aplicação destes procedimentos em casos de estudo é essencial para a validação e implementação dos Eurocódigos Estruturais, dada a iminente entrada em vigor dos mesmos (conforme Despacho Normativo n.º 21/2019).

## REFERÊNCIAS

- [1] NP EN 1990:2009 – Eurocódigo 0 – “Bases para o projeto de estruturas”. Instituto Português da Qualidade.
- [2] NP EN 1992-1-1:2010 – Eurocódigo 2 – “Projeto de estruturas de betão – Regras gerais e regras para edifícios”. Instituto Português da Qualidade.
- [3] NP EN 1993-1-1:2010. Eurocódigo 3 – Projeto de Estruturas de Aço – Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios. Instituto Português da Qualidade.
- [4] NP EN 1998-1:2010 – Eurocódigo 8 – “Projeto de estruturas resistentes aos sismos – Parte 1: Regras gerais, ações sísmicas e regras para edifícios”. Instituto Português da Qualidade.

## A SEGURANÇA NA OBRA DE REABILITAÇÃO DA PONTE DE CAVEZ SOBRE O RIO TÂMEGA

Felipe S. Meretti<sup>1</sup>, Cristina Reis<sup>1</sup>, João J. F. Baptista<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal, email: felipe\_meretti@hotmail.com,

<sup>1</sup> Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal, crisreis@utad.pt

<sup>2</sup> Infraestruturas de Portugal, email: joao.baptista@infraestruturasdeportugal.pt

**Palavras-chave:** Reabilitação, segurança, riscos, prevenção.

**Código da Área Temática 04**

**Apresentação oral**

**1. INTRODUÇÃO** - A reabilitação de edifícios e de pontes antigas é uma atividade muito frequente, que inclui torres, casas, pontes e monumentos antigos. A segurança e a prevenção devem ser uma preocupação fundamental nesta área. Portanto, este artigo, elaborado com a colaboração da Infraestruturas de Portugal, mostrou a importância da segurança e da proteção dos trabalhadores e como eles foram executados na reabilitação da Ponte de Cavez. Segundo Appleton, a reabilitação é uma forma de proteger e garantir a usabilidade e a herança histórica, adaptando-se aos requisitos contemporâneos de segurança [1].

A Ponte Cavez, definida como objeto de estudo, é situada no distrito de Braga e é uma ponte sobre o rio Tâmega - importante limite entre o distrito de Braga e o distrito de Vila Real [2]. Foi construída durante o século XIII para permitir o transporte de suprimentos e pessoas importantes da época. Além de um plano de reabilitação que garante a segurança e desempenho, existia uma grande preocupação em manter a arquitetura e características principais como os cinco arcos e as grandes pedras estruturais, por exemplo [3].

**2. METODOLOGIA** - Este artigo teve como objetivo analisar a reabilitação de uma ponte tanto na perspectiva preventiva quanto na segurança. A metodologia utilizada teve início com visitas técnicas à obra e, posteriormente, incluiu a avaliação dos riscos e das medidas preventivas de acordo com a legislação portuguesa, nomeadamente o Decreto-Lei nº. 273/2003 de 29 de outubro referente às condições de segurança e de saúde no trabalho em estaleiros temporários ou móveis [4]. Embora existam muitos métodos de avaliação de riscos semelhantes, como o utilizado por Eliana Carpinteiro [5], optou-se por manter o utilizado pelas Infraestruturas de Portugal. O primeiro passo da metodologia foi a definição do método de intervenção mais eficiente, o desempenho estrutural e a identificação de todos os possíveis acidentes que poderiam ocorrer. Na segunda fase, a metodologia aplicada na intervenção na Ponte Cavez utilizou a determinação e quantificação de diferentes níveis de Probabilidade (P) e Gravidade (G) de acordo com o Plano Específico de Monitorização e Prevenção (SPMP) para definir as medidas preventivas:

**Tabela 1.** Quantificação e caracterização dos graus de Probabilidade e de Gravidade

| GRAU | PROBABILIDADE              | GRAVIDADE                         |
|------|----------------------------|-----------------------------------|
| 1    | Raramente ocorre           | Praticamente não existe danos     |
| 2    | Ocorre esporadicamente     | Os danos são ligeiros             |
| 3    | Ocorre muitas vezes        | Os danos gerados são graves       |
| 4    | Ocorre a maioria das vezes | Os danos gerados são muito graves |

Como  $NR = P \times G$ , sendo NR o Nível de Risco, tem se:

**Tabela 2.** Quantificação de graus de probabilidade e gravidade

|           |   | Probabilidade |   |    |    |
|-----------|---|---------------|---|----|----|
|           |   | 1             | 2 | 3  | 4  |
| Gravidade | 1 | 1             | 2 | 3  | 4  |
|           | 2 | 2             | 4 | 6  | 8  |
|           | 3 | 3             | 6 | 9  | 12 |
|           | 4 | 4             | 8 | 12 | 16 |

Então:

**Tabela 3.** Critérios de avaliação do nível de risco

| NÍVEL DE RISCO | SIGNIFICADO | INTERVENÇÃO                                    |
|----------------|-------------|------------------------------------------------|
| 12-16          | Intolerável | Correção urgente                               |
| 6-9            | Importante  | Corrigir e adotar medidas de controlo          |
| 3-4            | Moderado    | Implementar medidas de controlo                |
| 1-2            | Aceitável   | Não é necessária uma intervenção a curto prazo |

Posto isto, cada um dos riscos foram individualmente classificados de acordo com a sua probabilidade e gravidade [6].

**3. CONCLUSÃO** - Com base nos estudos realizados sobre a caracterização e análise da problemática e do processo de reabilitação da Ponte Cavez, focado na prevenção de acidentes durante a intervenção, viu-se que as obras de reabilitação foram de extrema importância porque, ao mesmo tempo que aperfeiçoaram a rigidez estrutural, cumpriram com o compromisso de preservar a importância e a beleza do monumento histórico. E além disso, a segurança e a saúde dos trabalhadores do estaleiro foram e devem ser prioridade, a fim de manter o melhor desempenho da obra. Conjuntamente, com base no Decreto-Lei nº. 273/2003 de 29 de outubro, é possível saber quais são as consequências de um trabalho não preventivo, evitando-as no planeamento de toda a operação e tomando todas as medidas necessárias.

## 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Appleton, J.: Reabilitação de Edifícios: princípios e práticas, [http://www.ordemengenheiros.pt/fotos/dossier\\_artigo/japleton\\_1452865970545a07405d43c.pdf](http://www.ordemengenheiros.pt/fotos/dossier_artigo/japleton_1452865970545a07405d43c.pdf), last accessed 2019/02/23.
- [2] Município de Cabeceiras de Basto Homepage.: Freguesia de Cavez, <https://cabeceirasdebasto.pt/concelho-freguesias-cavez>, last accessed 2019/02/26.
- [3] Coias, V. - Reabilitação Estrutural de Edifícios Antigos - Alvenaria, Madeira - Técnicas pouco intrusivas. Ed. Argumentum & Gecorpa, Lisbon, Portugal (2007).
- [4] Roque, J. C. A.: Reabilitação estrutural de paredes antigas de alvenaria, Doctoral dissertation, Universidade do Minho (2002).
- [5] Carpinteiro, L., Reis, C.M., Paula, S., Correia, J., Ferreira, J., Oliveira, C.: Risk analysis in the execution of the Aguas Santas tunnel, Occupational Safety and Hygiene V, pp. 595 – 600 (2018).
- [6] Meretti, FS.: A segurança na obra de reabilitação da Ponte de Cavez sobre o Rio Tâmega, Portugal (2019).

TEMA 05

# **GESTÃO DE ATIVOS E RISCO NA CONSTRUÇÃO**

## RISCOS DECORRENTES DO AMIANTO EM CONTEXTO DE TRABALHO

Catarina Pinto<sup>1</sup>, Carlos Oliveira<sup>2</sup>, José Ferreira da Silva<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Grupo Disciplinar de Engenharia. ESTG-IPVC.anacatarinamelopinto@gmail.com

<sup>2</sup>Grupo Disciplinar de Engenharia. ESTG-IPVC.carlosoli@estg.ipvc.pt

<sup>3</sup>Grupo Disciplinar de Engenharia. ESTG-IPVC.jsilva@estg.ipvc.pt

**Palavras-chave:** Amianto, Reabilitação e Coordenação de Segurança.

**Código da Área Temática 05**

**Apresentação oral**

### 1. OBJETIVO E METODOLOGIA

O mundo do trabalho, apresenta elevados níveis de competitividade, tendo as empresas de eliminar qualquer efeito prejudicial à produção. Será o caso dos acidentes de trabalho e das doenças profissionais que trazem custos elevados e uma diminuição da produção bem como efeitos negativos na imagem do setor produtivo e, em particular, da empresa em questão. Assim a legislação evoluiu também no sentido de aumentar a segurança e a saúde no trabalho e de defender o trabalhador em caso de acidente ou doença profissional.

De uma atuação pontual e reparadora (só se atua quando ocorre um problema) passou-se a uma atuação global e preventiva (atuação antes que aconteça algum problema através de um planeamento adequado). Assim hoje em dia faz-se uma avaliação intensiva e exaustiva dos riscos inerentes a cada empresa, a cada atividade, permitindo uma melhoria das características físicas, mentais e sociais dos trabalhadores. As Atividades principais do serviço de segurança e de saúde no trabalho têm este objetivo de prever e avaliar os riscos inerentes a uma atividade específica e atuar na prevenção de acidentes e das doenças profissionais.

Neste trabalho propõe-se elaborar toda a documentação para reconhecimento das competências e autorização dos trabalhos de recolha de materiais contendo amianto (MCA) pela Autoridade para as Condições no Trabalho, conforme Artigo 24º do Decreto-Lei nº 266/2007 de 24 de julho.

### 2. MATERIAIS CONTENDO AMIANTO

O amianto é considerado o mais importante agente tóxico cancerígeno presente nos locais de trabalho em Portugal e na maioria dos países, uma vez que a exposição às suas fibras pode causar doenças graves como cancro de pulmão, mesotelioma e asbestose.

### 3. SERVIÇOS DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO

Ao longo dos anos tem-se produzido uma mudança na abordagem da proteção da segurança e da saúde dos trabalhadores. Assim hoje em dia faz-se uma avaliação intensiva e exaustiva dos riscos inerentes a cada empresa, a cada atividade e para diferentes postos de trabalho, permitindo uma melhoria das necessidades físicas, mentais e sociais dos trabalhadores e também um maior rendimento profissional. O regime jurídico da promoção da segurança e saúde no trabalho (RJPST) impõe o funcionamento do serviço de segurança e saúde no trabalho para cada empresa de acordo com a sua atividade. Nos termos da Lei n.º 102/2009, de 10 de setembro alterada pela Lei nº 3/2014 de 28-01-2014 que aprova RJPST, nos seus art. 73º A e 73ºB, são definidos os objetivos e as atividades da equipa de segurança e saúde numa empresa.

### 4. OBRAS DE REMOÇÃO DE MATERIAIS CONTENDO AMIANTO

A ocorrência de acidentes de trabalho e de doenças profissionais constituem fortes indicadores da existência de disfunções nos locais de trabalho. Nas obras de remoção de materiais contendo amianto deverá ser feita uma avaliação de riscos de forma a prever e evitar o acidente de trabalho – como uma queda em altura - e também o risco de exposição ao amianto que poderá ter por consequência uma futura doença profissional. O Decreto-Lei n.º 266/2007 determina a proteção sanitária dos trabalhadores contra os riscos de exposição ao amianto durante o trabalho.

### 5. CASO DE ESTUDO

O edifício escolar foi construído na década de 80 e é constituído por três pavilhões com salas de aula e um edifício central constituído por polivalente, refeitório, biblioteca e serviços administrativos. A obra de remodelação a levar a efeito prevê a remoção prévia da cobertura em fibrocimento para posterior substituição por “chapa sandwich” numa área de 3497 m<sup>2</sup>. A altura dos edifícios aproximada será de 4 metros nos pavilhões e 6 metros no polivalente. A cobertura em fibrocimento tem uma inclinação mínima e apresenta-se sobre uma laje de teto aligeirada. Os trabalhos de remoção serão feitos pelo exterior, e os trabalhadores poderão movimentar-se sobre esta laje enquanto executam os trabalhos. Prevê-se a utilização de arnês de segurança nos limites da laje onde não houver platibanda.

Os trabalhos a realizar serão:

- Trabalhos preparatórios/Montagem/ Sinalização/Delimitação do Estaleiro de Apoio;
- Identificação da eventual existência de chapas de fibrocimento muito degradadas, fissuradas, fendilhadas ou partidas. Aplicação de um aglutinante adequado para o amianto com a finalidade de evitar a libertação de poeiras;
- Iniciar o desmonte das chapas de fibrocimento pelo ponto mais elevado da cobertura, isto é, em sentido contrário ao da sua aplicação. Utilização de meios manuais ou de baixa rotação com dispositivos de captação de poeiras incorporados para descavar as chapas de fibrocimento.
- Aspirar, com aspirador dotado de filtro absoluto, as zonas de fixação e recolher grampos e anilhas num saco apropriado;
- Retirar cuidadosamente a chapa de fibrocimento sobre o porta-paletes da máquina multifunções, de forma a ser transportada para o piso térreo, em segurança para as áreas de depósito/carga;
- Confinamento/envolvimento em película apropriada, sinalização e movimentação mecânica das paletes com telhas de fibrocimento removidas até ao local de armazenamento temporário; Carga, e transporte a aterro sanitário autorizada para a receção de resíduos MCA.
- Trabalhos de aspiração/ finalização/limpeza;

### 6. CONCLUSÕES DO TRABALHO

A aprovação do plano de trabalhos e o reconhecimento das competências para os realizar é efetuada por meio de requerimento entregue na Autoridade para as Condições do Trabalho de acordo com o art. 24º do Decreto-Lei n.º 266/2007 de 24 de julho.

Neste estudo pretendeu-se fazer o enquadramento e elaborar a documentação necessária para este procedimento bem como a checklist para a sua verificação.

### 7. REFERÊNCIAS

- [1] A. A. R. da Silva, “Segurança no trabalho na construção civil: uma revisão bibliográfica,” 2015.
- [2] C. Reis, C. Oliveira, E. Carpinteiro, P. Braga, J. A. F. O. Correia, and J. F. Silva, “Risk Analysis in the Execution of the Águas Santas Tunnel,” 2018.
- [3] R. A. Saldanha and L. M. Gonelha, *Segurança, higiene e saúde no trabalho: em estaleiros de construção: Decreto-lei nº 273-03, de 29 de Outubro: anotado e comentado*. Lisboa: Associação Forum Mercados Públicos, 2006.
- [4] D. Pinto and C. Reis, “Análise de Planos de Segurança e Saúde ( Analysis of Health and Safety plans ),” *Int. Symp. Occup. Saf. Hyg. - SHO 2012*, vol. 1, p. Pag. 348 a 350, 2012.
- [5] C. M. Reis, S. Novais, P. Silva, and C. Oliveira, “Asbestos application in construction,” *Occup. Saf. Hyg. IV*, pp. 555–559, 2016.
- [6] CARIT, “Guia de boas práticas para prevenir ou minimizar os riscos decorrentes do amianto em trabalhos que envolvam ou possam envolver amianto.” 2006.
- [7] Decreto-Lei nº 266/2007 de 24 de julho, relativa à proteção sanitária dos trabalhadores contra os riscos de exposição ao amianto durante o trabalho.

## SEGURANÇA E SAÚDE EM OBRAS SUBTERRÂNEAS – TÚNEL DE ADUÇÃO DE GOUVÃES

Helena Ribeiro<sup>1</sup>, Cristina Reis<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal, email: helenaribeiro85@sapo.pt,

<sup>1</sup> Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal, crisreis@utad.pt

**Palavras-chave:** Escavação, segurança, riscos, prevenção.

**Código da Área Temática 05**

**Apresentação oral**

**1. INTRODUÇÃO** - As obras subterrâneas integram-se no setor da construção, sendo uma área específica em que tem existido uma fase de evidente desenvolvimento e grandes mudanças [1], com bastantes investimentos financeiros [2], e que está a aumentar de volume [3] e de importância no desenvolvimento das cidades [4]. Além disso, as mudanças e desafios institucionais, empresariais e conjunturais influenciam o setor de formas que ultrapassam em muito os conceitos de ordem técnica.

Decidir qual o método de escavação subterrânea a utilizar é delicado e deve ser minucioso, sob pena de os resultados obtidos poderem ter graves efeitos sobre os trabalhadores e o público, com consequentes efeitos financeiros e logísticos. Naturalmente, o método selecionado deverá permitir construir o túnel permitindo um pico de produção nas condições mais favoráveis, sendo simultaneamente capaz de gerir as piores condições com riscos toleráveis [4]. Embora a determinação do método mais adequado para a escavação seja um dilema antigo, uma escolha bem ponderada revela-se crucial para a obtenção de resultados satisfatórios, em termos de produção, segurança, qualidade e ambiente [5].

Olhando mais para a questão da gestão de riscos, a seleção de um método adequado pode ser agora considerada como uma primeira resposta aos riscos inicialmente identificados [6]. Assim, quando se lida com a escolha do método de escavação, tal como se considera o comprimento ou a secção transversal do túnel, é importante considerar o impacto da ocorrência de um acidente de trabalho ou do surgimento de uma doença profissional [7], de modo a que a segurança e saúde dos trabalhadores seja sempre salvaguardada [8]. Ao longo dos anos, os métodos sofreram grandes avanços tecnológicos, que melhoraram as condições de segurança e saúde na sua utilização.

Não é demais afirmar que uma escolha incorreta do método a usar irá levar ao aumento do risco de ocorrência de acidentes de trabalho (AT) e de surgimento de doenças profissionais (DP), com os impactos temporais, financeiros e logísticos associados [9].

**2. METODOLOGIA** - O presente documento refere-se ao Plano de Escavação e sustimento primário de túneis de adução bem como à Escavação e Contenção da Chaminé de Equilíbrio, destina-se, fundamentalmente à identificação dos riscos e planificação das medidas preventivas a adotar no conjunto de trabalhos a serem desenvolvidos neste âmbito, de forma a dar cumprimento integral ao Artigo 11º do Decreto-Lei nº. 273/2003 de 29 de outubro, referente às condições de segurança e de saúde no trabalho em estaleiros temporários ou móveis [4]. Embora existam muitos métodos de avaliação de riscos semelhantes [20], optou-se por manter o utilizado em obra pelo Consorcio Mota-Engil, Acciona, Edivisa.

**3. CONCLUSÃO** - Com base nos estudos realizados sobre a caracterização e análise da problemática e do processo de escavação e sustenimento primário do Túnel de Adução de Gouvães, focado na

prevenção de acidentes, concluiu-se que é possível saber quais são as consequências de um trabalho não preventivo, evitando-as no planeamento de toda a operação e tomando todas as medidas necessárias.

## 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1.] Tender, M., Couto, J. (2017). Study on prevention implementation in tunnels construction: Marão Tunnel's (Portugal) singularities Revista de la Construcción, 16, 2, pp. 262-273. DOI: 10.1590/0370-44672016700151.
- [2.] Tender, M., Couto, J. (2016). Analysis of health and safety risks in underground excavations—identification and evaluation by experts. International Journal of Control Theory and Applications, 9, 6, pp. 2957-2964.
- [3.] Ritter, S., Einstein, H., Galler, R. (2013). Planning the handling of tunnel excavation material - A process of decision making under uncertainty. Tunnelling and Underground Space Technology, 33, pp. 193-201. DOI: 10.1016/j.tust.2012.08.009.
- [4.] Tender, M., Couto, J. (2016). "Safety and Health" as a criterion in the choice of tunneling method. Occupational Safety and Hygiene IV. Arezes et al (ed), pp. 153-157, CRC Press/Balkema: Londres, Inglaterra.
- [5.] Eskesen, S. (2015). Keynote lecture. SEE Tunnel: promoting tunnelling in SEE Region. Kolic, D. (ed), pp. 5, Hubitg: Dubrovnik, Croácia.
- [6.] Spencer, S. (2015). Mobilising Latin America. Tunnels and Tunneling, March 2015, pp.
- [7.] Kaliampakos, D., Benardos, A., Mavrikos, A. (2016). A review on the economics of underground space utilization. Tunnelling and Underground Space Technology, 55, pp. 236-244. DOI: 10.1016/j.tust.2015.10.022.
- [8.] Girmscheid, G., Schexnayder, C. (2001). Drill and Blast Tunneling Practices. Practice periodical on structural design and construction 7, 3, pp. 125-133.

## GESTÃO DA SEGURANÇA E SAÚDE NA OBRA DA MINA DE MATEUS

Henrique Cunha<sup>1</sup>, Cristina Reis<sup>1</sup>, Tiago Pinto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal, email: jhenrique@cm-vilareal.pt,

<sup>1</sup> Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal, crisreis@utad.pt

<sup>1</sup> Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal, tiago@utad.pt

**Palavras-chave:** Escavação, segurança, riscos, prevenção.

**Código da Área Temática 05**

**Apresentação oral**

**1. INTRODUÇÃO** - A Gestão da Segurança e Saúde em obra é importante para que se minimize os riscos de acidente em qualquer tipo de obra. Neste trabalho a obra em estudo é a Mina de Mateus, trata-se de uma nascente de água, datada de 1938, como está inscrito na boca de saída da mina, e segundo informação fornecida pela Junta de Freguesia tem um caudal permanente e contínuo durante todo o ano da ordem dos 187 l/min, o que representa um valor significativo.

Após uma visita técnica constatou-se que a situação de instabilização se encontra contígua a duas habitações e ao alinhamento da mina. Este desmoronamento de terras apresentava cerca de 3,0 m de diâmetro e atingia uma profundidade de cerca de 5,0 m, sendo visíveis as fundações das habitações, que se encontravam em consola. Foram estudadas várias alternativas para a reparação da mina em função do risco associado à estabilidade das habitações, tendo sido proposta uma solução que consistiu na reconstrução da mina com manilhas de betão, a uma distância de 10,0 m das habitações afetadas pelo desmoronamento de terras, com três caixas de visita e preenchimento da mina existente com betão. A escavação para a reconstrução da mina será feita a céu-aberto. Enchimento com betão do vazio detetado, provocado pelo desmoronamento de terras. Tendo esta sido a solução que em termos de riscos de execução da obra, que menos acarreta problemas para a segurança da obra. Outra das preocupações tidas em consideração pela coordenação de segurança em obra foi a aplicação dos princípios gerais de prevenção.

**2. METODOLOGIA** – Foram contemplados todos os princípios gerais de prevenção nesta obra. Apresentando apenas um exemplo de um deles. Esta primeira atitude preventiva deve ter lugar não só na fase de laboração, mas também na fase de conceção e projeto. Ora toda esta ação só é possível num quadro de competências de gestão desenvolvidas e de integração da prevenção nos momentos decisivos do projeto e do planeamento. No trabalho da construção este princípio tem particular aplicação na atividade desenvolvida em torno do empreendimento antes da abertura do estaleiro, nomeadamente no âmbito dos processos relacionados com a elaboração do projeto, bem como com a definição do programa de trabalhos e com a elaboração do projeto do estaleiro. Na fase de execução a eliminação dos riscos deve ser uma preocupação constante no âmbito das ações de planeamento das operações e de verificação das condições de execução dos trabalhos, seja ao nível dos condicionalismos existentes, seja ao nível dos métodos e processos de trabalho e das condições de utilização dos equipamentos, materiais e produtos utilizados. Sabendo que o trabalho da construção é considerado uma atividade eminentemente perigosa, mas muitos dos riscos podem ser evitados. Por exemplo: para evitar riscos de soterramento, por desabamento da camara de ventilação existente, foi previsto em projeto uma solução de contenção provisória da mesma, por forma a garantir a

estabilidade da estrutura durante a realização da ligação do novo alinhamento da mina ao existente. Esta solução de contenção provisória foi do tipo muro de Berlim com instalação de 4 perfis metálicos com altura mínima de 12,0 m, para garantir o encastramento dos mesmos, conforme se pode observar na figura 1.



**Figura 1.** Contenção provisória.

O soterramento constitui a causa mais comum de morte na construção civil em Portugal. As causas incluem trabalho em valas sem qualquer tipo de entivação ou taludes com inclinações inadequadas ao tipo de solo. É possível reduzir os riscos através da utilização de entivação e delimitação da obra.

**3. CONCLUSÃO** – Com o decorrer do acompanhamento da obra da Mina de Mateus pode-se concluir que um dos grandes fatores que realmente podem estimular as ações de segurança no trabalho, com vista a diminuir / evitar acidente de trabalho, é apostar na formação/informação dos trabalhadores e na valorização dos princípios gerais de prevenção consagrados na Lei 102/2009 alterada pela Lei 3/2014. A formação/informação dos trabalhadores assume extrema importância, pois só se consegue por em prática os princípios gerais de prevenção, através deste mecanismo. Aliás nesta obra para minimizar os riscos em obra, aplicaram-se os princípios gerais de prevenção e mudou-se o projeto a fim de eliminar os riscos na origem. As empresas devem apostar na formação/informação dos seus trabalhadores com o objetivo de os sensibilizar quanto à questão da saúde e segurança, na redução dos acidentes de trabalho na minimização dos riscos, e na redução de doenças profissionais. Estas medidas são fundamentais quando existe o intento de manter um ambiente de trabalho saudável e seguro. No trabalho de reparação da “Mina De Mateus”, a abertura de valas e colocação de manilhas, a prevenção dos riscos profissionais implica a análise e avaliação dos riscos.

## 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1.] Cabral, F.; Roxo, F. (1996)- Construção Civil e Obras Públicas: A Coordenação da segurança. Lisboa: Ed. IDICT.
- [2.] Cabrito, A. (2002) - Construção. A Aplicação dos Princípios Gerais da Prevenção na Fase de Projeto. Lisboa: ISHST.
- [3.] Facts 15, (2010); Prevenção de Acidentes de Trabalho na Construção Civil. Ed. Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho, Bilbao.

## GESTÃO DE ATIVOS APLICADA A INFRAESTRUTURAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA – AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE CAPTAÇÕES DE ÁGUA

Joana Soares<sup>1</sup>, Lígia B. Ramos<sup>2</sup>, Jaime Gabriel Silva<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto Superior de Engenharia do Porto. 1151307@isep.ipp.pt

<sup>2</sup> Direção de Gestão de Ativos e Engenharia - Águas do Douro e Paiva, S.A. ligiaramos@adp.pt

<sup>3</sup> Instituto Superior de Engenharia do Porto | Águas do Douro e Paiva, S.A. jgs@isep.ipp.pt

**Palavras-chave** - Captações de água, Gestão de Ativos, Avaliação do desempenho, Análise de Risco.

### 5 Gestão de Ativos e risco na construção

### Apresentação oral

#### RESUMO

A água é um elemento essencial à vida. Sendo um recurso renovável apenas uma parte dela é facilmente acessível, tornando-se importante geri-la de uma forma racional e sustentável.<sup>[1]</sup>

As captações de água estão sujeitas a uma vulnerabilidade que pode afetar todo um sistema de abastecimento. Questões relacionadas com a qualidade ou quantidade da água na origem, ou a ambas em simultâneo, e o funcionamento das infraestruturas podem mesmo torná-lo inoperacional.<sup>[2]</sup> Este trabalho foca-se na aplicação da Gestão de Ativos às captações de água da empresa Águas do Douro e Paiva (AdDP).

#### 1. ENQUADRAMENTO

A tese de mestrado<sup>[3]</sup> teve como intuito implementar ferramentas do sistema de Gestão de Ativos (GA) da AdDP, já aplicadas noutras tipologias de ativos, ao caso das oito captações de água da empresa, com vista a suportar a tomada de decisão sobre investimentos futuros fundamentada na avaliação do desempenho e do risco de falha dessas origens de água. A AdDP tem como missão a exploração e gestão do sistema multimunicipal de abastecimento de água do sul do grande Porto. O sistema abrange a captação, o tratamento e o abastecimento de água para consumo público a 1,6 milhões de habitantes residentes nos 20 municípios acionistas, abrangendo uma área de 2.715 km<sup>2</sup>. (Fig. 1)

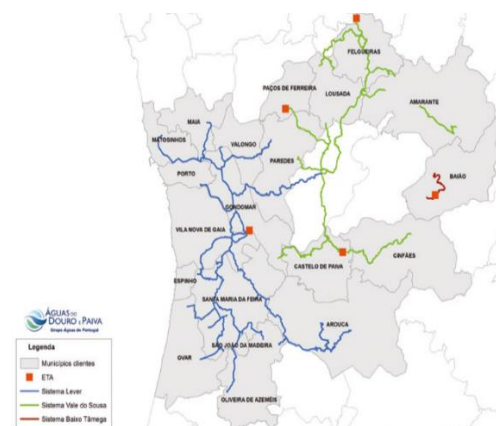


Figura 1. Sistema de abastecimento da AdDP

#### 2. METODOLOGIA

A GA endereça o planeamento dos investimentos, que deve contemplar a gestão do risco, já que tem o objetivo de repor ou melhorar o desempenho do sistema e seus componentes.<sup>[4]</sup> Assim, avaliou-se o desempenho das captações de água, numa primeira fase, procedendo-se à recolha de informações relativas ao modo de conceção e funcionamento das captações, seguida pela realização de um Relatório e Ficha de Avaliação (RFA) para cada uma das captações, onde foram recolhidas informações relevantes sobre o seu desempenho, estado ou condição e segurança. Esta avaliação permitiu perceber se o funcionamento das infraestruturas em análise apresentava ou não paragens não planeadas e quais os principais problemas existentes, de forma a detetar potenciais riscos. Em seguida e tendo por base a informação dos RFA's, passou-se para a apreciação quantificada do risco, obtendo-se o nível de risco por ativo, com base na funcionalidade (ou probabilidade de falha) e na criticidade (ou consequência da falha) de cada captação. A avaliação do nível de risco permitiu mapear os ativos em duas matrizes de risco: uma para a construção civil e outra para o equipamento.

#### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos nos RFA e as matrizes de risco, estão representados na figura 2:

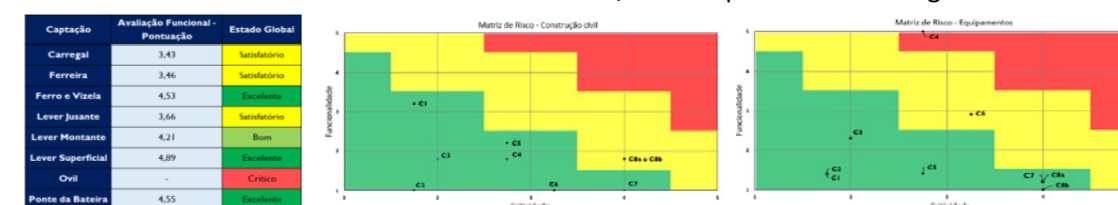


Figura 2. Avaliação funcional e matrizes de risco determinadas.

Esta representação permite-nos identificar:

- as captações mais críticas e cujo risco é mais elevado, sendo que nestes casos, por exemplo, os ativos devem ser submetidos a planos de reabilitação/substituição/ação corretiva no curto prazo;
- as captações que se encontram dentro de um nível de risco aceitável, controlado através das medidas implementadas ou cujas necessidades de intervenção podem ser previstas a médio/longo prazo.

Esta análise tem como objetivo apoiar a tomada de decisão com base nos resultados obtidos nestas matrizes. A decisão relativa aos investimentos necessários é efetuada com base na informação que consta nos RFA e alicerçada no nível de risco, permitindo uma tomada de decisão fundamentada e suportada em critérios objetivos, cuja definição contou com a participação das diferentes áreas da empresa. Essa atuação transversal à organização é um aspeto essencial da GA.<sup>[5]</sup>

O trabalho, também, sistematizou a informação dos perímetros de proteção das oito captações, para maximizar o conhecimento infraestrutural, requisito de base da GA, e garantir que se monitorizará continuamente a relação das características das origens com as decisões sobre os ativos<sup>[2]</sup>.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

##### 4.1. Conclusões

As entidades gestoras devem adotar políticas e práticas adequadas de GA, de forma a tornar mais assertiva e justificada a tomada de decisão, relacionada com orçamentos e planos de investimento, bem como gerir os ativos infraestruturais de modo mais eficiente e sustentável. Uma adequada política de GA contribui para: assegurar níveis de desempenho fixados, garantir visão de longo prazo, aumentar a sustentabilidade no uso de água e energia, gerir os riscos do serviço, otimizar o retorno do investimento, melhorar a eficiência do investimento e da operação, entre outros. Com este trabalho, o sistema de GA da empresa passou a cobrir todas as suas tipologias de ativos.

##### 4.2. Potencialidades de desenvolvimentos futuros

As captações são responsáveis pela introdução de água nos sistemas. Por isso, o estudo da vulnerabilidade das origens de água é importante, para caminharmos no sentido de atingir, numa visão integrada e de longo prazo, esses objetivos.<sup>[2]</sup> Concluiu-se que, futuramente, se deverá incluir, na análise de risco, parâmetros que possam ter em consideração problemas relativos à quantidade e qualidade das massas de água e a acidentes repentinos.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Marques, José; Sousa, Joaquim- Hidráulica urbana- Sistemas de Abastecimento de água e de Drenagem de águas residuais. 2ª Edição. Coimbra: 2009. 978-989-26-0013-0.
- [2] Ferreira, J, et al.- Proteção das Origens Superficiais e Subterrâneas nos Sistemas de Abastecimento de água: Guia técnico nº 11. Instituto Regulador de Águas e Resíduos, Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa: 2009. 978-989-95392-6-6.
- [3] Soares, Joana – Gestão de Ativos Aplicada a Infraestruturas de Abastecimento de Água – Caso Prático: Avaliação do Desempenho das Captações de Água da AdDP, dissertação apresentada para efeitos de obtenção do grau de mestre em engenharia civil, ISEP, Porto, 2020.
- [4] Alegre, H., Covas, D. – Gestão Patrimonial de Infra-estruturas de Abastecimento de Água; uma abordagem centrada na reabilitação, Guia Técnico nº 16. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, Instituto Superior Técnico, LNEC. Lisboa: 2010. 978-989-8360-04-5.
- [5] Azevedo, Celso- La Gestion D'Actifs. 1ª Edição. França: Afnor Éditions, 2018. 978-2-12-465665-3.

## ESTUDO DOS ACIDENTES DE TRABALHO NO SETOR DA CONSTRUÇÃO EM PORTUGAL

P. Bastos<sup>1</sup>,

<sup>1</sup> Engenharia Civil. Universidade Fernando Pessoa. pedrobastosengenharia@gmail.com

**Palavras-chave:** construção civil, segurança e saúde no trabalho, prevenção, acidentes de trabalho.

**Código da Área Temática – 05**

**Apresentação oral**

**1. Introdução** – Neste estudo pretende-se abordar a temática da segurança e saúde no trabalho, no setor da Construção Civil, em Portugal. A escolha deste tema prende-se com a necessidade de se contribuir para a sensibilização de uma «cultura de prevenção», nesta área. Sendo a Construção Civil um setor com forte incidência de sinistralidade laboral e apresentando, ainda, uma elevada taxa de mortalidade, urge recolher informação que permita caracterizar os acidentes de trabalho, principalmente aqueles que ocorrem com maior frequência. Por outro lado é fundamental interpretar o significado dos dados estatísticos que são difundidos pelas entidades competentes sobre esses mesmos acidentes de trabalho.

**2. Materiais e métodos** - Este trabalho foi desenvolvido a partir de pesquisas quantitativas de cariz documental, com base em dados recolhidos de fontes oficiais. A informação referente à população empregada foi obtida a partir da Federação Portuguesa da Indústria da Construção e Obras Públicas (FEPICOP). O levantamento estatístico sobre os acidentes de trabalho teve como fonte o Gabinete de Estratégia e Planeamento (GEP). Os elementos adquiridos possibilitaram a análise e a compilação de informação relativa aos acidentes de trabalho no setor da Construção Civil, em Portugal, no período compreendido entre 2008 e 2015.

**3. Resultados e discussão** – O setor da Construção Civil é uma área fortemente empregadora que compreende um conjunto de atividades de alto risco, sendo do conhecimento geral que possui uma mão de obra instável e de baixa qualificação quando comparada com outros setores económicos [1]. Segundo a FEPICOP, entre 2008 e 2014, verificou-se uma diminuição da população empregada no Setor da Construção Civil, observando-se apenas um ligeiro aumento em 2015, como é possível constatar na tabela 1.

**Tabela 1** - População empregada no Setor da Construção segundo a FEPICOP (2011, 2014, 2015, 2016)

| 2008   | 2009   | 2010   | 2011   | 2012   | 2013   | 2014   | 2015   | Variação<br>2008/2015 (%) |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------------------|
| 555100 | 505600 | 482500 | 440300 | 357200 | 300500 | 275800 | 277500 | -50                       |

Por sua vez, na tabela 2, estão quantificados o número de acidentes não mortais e número de acidentes mortais que ocorreram no setor da Construção Civil, com base nos dados do Gep.

**Tabela 2** - Acidentes de trabalho não mortais e mortais no setor da Construção (2008/2015)

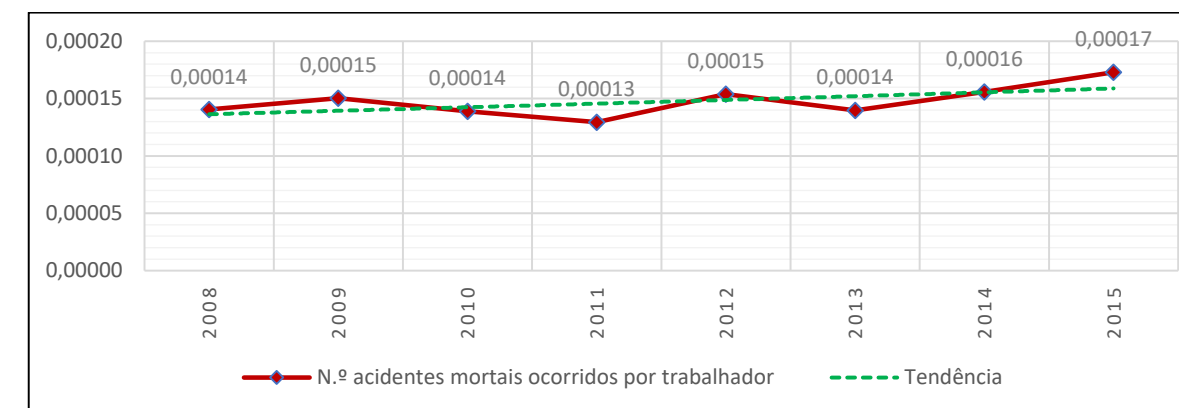
| Acidentes de Trabalho | 2008  | 2009  | 2010  | 2011  | 2012  | 2013  | 2014  | 2015  |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Não Mortais           | 46946 | 45042 | 44237 | 38515 | 28038 | 26393 | 27266 | 28539 |
| Mortais               | 78    | 76    | 67    | 57    | 55    | 42    | 43    | 48    |

A análise da tabela 2 permite verificar a existência de um decréscimo do número de acidentes de

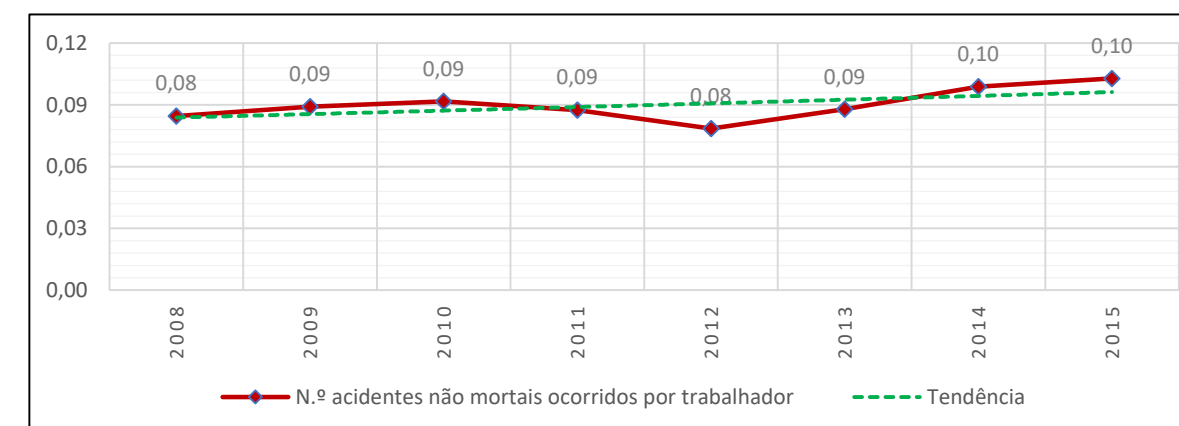
trabalho, com a exceção dos anos de 2014 e 2015. Similarmente, o número de empregados no setor da Construção também diminuiu cronologicamente, ocorrendo um ligeiro aumento em 2015, como é possível observar-se na tabela 1.

Os dados absolutos dos acidentes de trabalho poderão induzir a interpretações que eventualmente não correspondam à realidade. Impera, pois, realizar-se uma investigação, em termos relativos, isto é, analisar o número de acidentes de trabalho em função do número de trabalhadores. [2]

As figuras 1 e 2 demonstram que o número de acidentes de trabalho, por trabalhador e em cada ano, ultrapassa em 2015 o valor que se obteve em 2008. Esta ocorrência acontece tanto nos acidentes mortais como nos acidentes não mortais.



**Figura 1.** Acidentes de trabalho mortais ocorridos por trabalhador e por ano no setor da Construção



**Figura 2.** Acidentes de trabalho não mortais ocorridos por trabalhador e por ano no setor da Construção

**4. Conclusões** - A partir da interpretação dos dados estatísticos sobre os acidentes de trabalho, no Setor da Construção, parece ser pertinente a utilização de análises estatísticas da sinistralidade laboral a partir de abordagens relativas. A leitura dos acidentes em termos absolutos poderá induzir a conclusões erróneas e que se afastam da realidade. De acordo com este modelo é-se induzido a reconhecer que o número de acidentes de trabalho tem vindo a decrescer ao longo do tempo. Mas tal afirmação não levou em linha de conta um conjunto de outras variáveis que se interrelacionam, pelo que não pode ser interpretada de uma forma isolada. Na verdade, o que se confirma é que o número de trabalhadores do Setor da Construção também tem vindo a baixar, o que permite uma outra leitura dos dados publicados. Defende-se com este estudo que ao se efetuar o cruzamento entre o número de acidentes e o de trabalhadores, em cada ano, se assinala, efetivamente, um aumento da sinistralidade, contrariando o paradigma de uma leitura meramente absoluta.

**5. Referências** - [1] Romão, T. (2015). Evolução do Sector da Construção em Portugal – Aplicação do Modelo Structure-Conduct-Performance. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Lisboa, IST.

[2] Bastos, P. (2017). Estudo dos Acidentes de Trabalho no setor da Construção Civil em Portugal. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Porto, UFP.

TEMA 06

# INDUSTRIALIZAÇÃO E TECNOLOGIAS CONSTRUTIVAS

## ANÁLISE EXPERIMENTAL DE LIGAÇÕES PILAR-PILAR EM BETÃO PRÉ-FABRICADO

David Martins<sup>1</sup>, Válder Lúcio<sup>2</sup>, Sueli Souza<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Concremat - Prefabricação e Obras Gerais, SA.

<sup>2</sup> CERIS, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa; Portugal. vjgl@fct.unl.pt

<sup>3</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Londrina; Brasil. suelisoza@utfpr.edu.br.

**Palavras-chave:** Estruturas pré-fabricadas de betão armado; Ligação pilar-pilar;

**06. Industrialização e tecnologias construtivas**

**Apresentação oral**

### 1. INTRODUÇÃO

As ligações entre elementos de estruturas pré-fabricadas têm uma importância fundamental no comportamento destas estruturas. Em alguns tipos de estruturas pré-fabricadas, como edifícios altos e torres de suporte de turbinas eólicas, importa estudar as ligações pilar-pilar. No presente trabalho foram estudadas quatro ligações S1, S2, S3 e S4 [1].

As ligações dos modelos S1 e S2 foram asseguradas através de um sistema misto de ligações aparafusadas, que auxilia a montagem dos troços de pilar, e ligações de continuidade com varões salientes num dos elementos e inseridos em bainhas no outro. A ligação no primeiro modelo foi executada com uma junta de 50 mm de espessura preenchida com argamassa, enquanto no segundo esta foi reduzida a uma espessura mínima, injetada com resina epoxi. A ligação do terceiro modelo (S3) foi executada a partir de varões salientes e bainhas, e também com junta com espessura praticamente nula. No último modelo (S4), a ligação foi assegurada apenas com um sistema de ligação aparafusada e com junta de 50 mm de espessura.

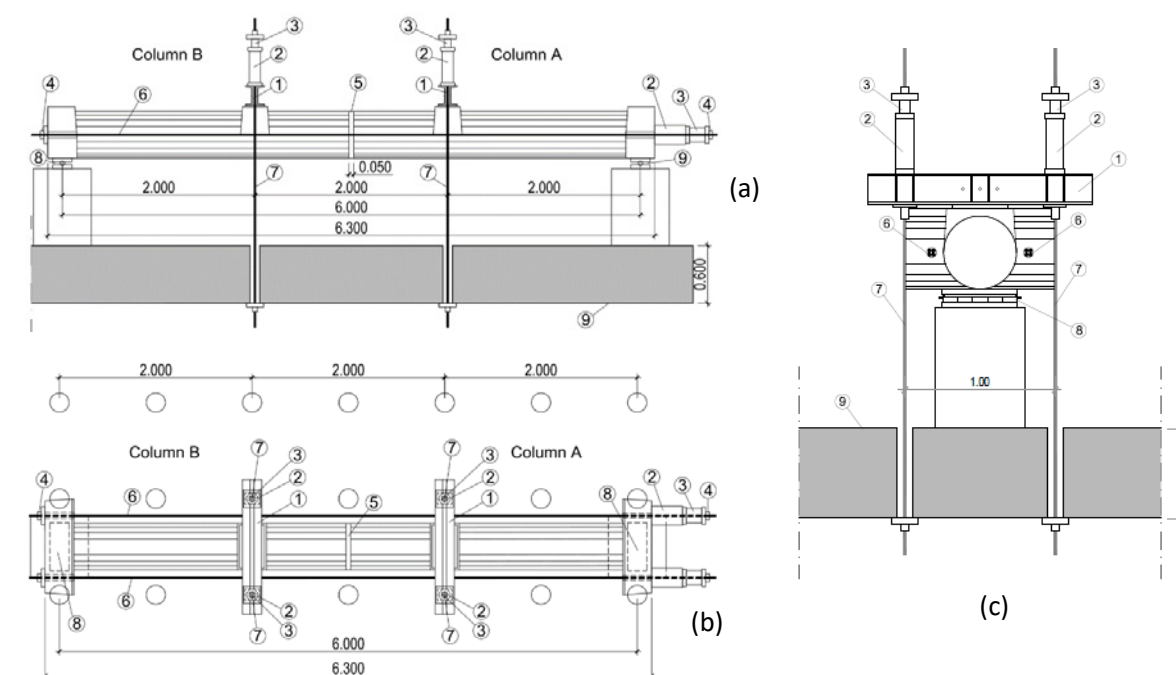
### 2. TRABALHO EXPERIMENTAL

Os modelos para ensaio das ligações consistiram em dois troços de pilar, com um comprimento total de 6.30 m, ensaiados na posição horizontal e sujeitos a uma força de compressão axial e a forças transversais aplicadas a terços do vão, ficando a ligação sujeita a flexão composta com compressão (Figura 1), sendo o carregamento transversal monotónico e aplicado com compressão axial constante.

### 3. RESULTADOS E CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos neste estudo, o uso deste tipo de conexões é perfeitamente aceitável e seguro. No caso das ligações aparafusadas, o posicionamento das cintas na zona de junta de ligação deve ser realizado com cuidado para evitar a encurvatura dos varões roscados, evitando a rotura da ligação do modelo S2. No caso do modelo S3, com varões salientes e bainhas, e com junta nula, a injeção da calda de cimento na bainha e os comprimentos das bainhas devem ser realizados com cuidado e devidamente dimensionados. Nesse tipo de ligação, o ideal seria a utilização de varões salientes nos dois troços de pilar.

Com base nos resultados, pode-se concluir também que o modelo S3, com 12 varões de aço salientes, tem uma resistência semelhante à da ligação do modelo S4 com 6 ligações aparafusadas. No entanto, a rotura do modelo S3 ocorreu devido à falta de resina numa das faces da coluna na junta (Figura 2) e no modelo S4 a rotura deveu-se à encurvatura dos varões roscados da ligação (Figura 3).



Legenda: 1 – Perfil metálico; 2 – Macaco hidráulico; 3 – Célula de carga (CC.); 4 – Cabeças de ancoragem; 5 – Junta de ligação; 6 – Cordões de pré-esforço; 7 – Varões de aço; 8 – Apoio simples deslizante; 9 – Laje do piso do laboratório com 0,60 m de espessura;

**Figura 1.** Esquema de ensaio: Vista lateral (a); Planta (b); Corte transversal (c)



**Figura 2.** Aspecto do modelo S3 na rutura (à esquerda); Aspecto do modelo S4 na rutura (à direita)

### REFERÊNCIA

- [1] Martins, D.; Precast concrete truss towers to support wind energy generators - experimental analysis of column to column connections; Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil – Perfil Estruturas; Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa, 2018.

## RECONHECIMENTO DE PADRÕES ESTRUTURAIS E CONSTRUTIVOS NAS PONTES DA CASA EIFFEL

Nuno Nunes<sup>1</sup>, Elói Figueiredo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mestre em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias (ULHT), Lisboa. nnaires@gmail.com

<sup>2</sup> Professor Associado, Faculdade de Engenharia da ULHT, Lisboa. eloi.figueiredo@ulusofona.pt

**Palavras-chave:** pontes metálicas, Gustave Eiffel, soluções estruturais, reconhecimento de padrões.

06

Apresentação oral

### 1. ENQUADRAMENTO

Gustave Eiffel nasceu em 15 de dezembro de 1832 em Dijon, França. Engenheiro químico de formação, mas que assinava os projetos como “Engenheiro Construtor”, teve o mérito de criar estruturas que definem o local onde foram implantadas e que são conhecidas em todo o mundo como referências estruturais, patrimoniais e culturais [1,2] tais como: a Torre Eiffel - símbolo de Paris e que lhe deu a alcunha de “Mágico do Ferro” [2], a estrutura metálica da Estátua da Liberdade - símbolo de Nova Iorque, e a Ponte Maria Pia - símbolo incontornável na paisagem do Porto e, provavelmente, uma das pontes metálicas que mais impulsionou a carreira de Gustave Eiffel.

A Casa Eiffel, nome pelo qual é conhecida a empresa de Gustave Eiffel, teve um papel muito relevante na construção de pontes metálicas em Portugal nas décadas de 70, 80 e 90 do século XIX [3], aquando da implantação da rede ferroviária nacional. Com base em pesquisa bibliográfica e nos registos oficiais do Arquivo Técnico da Infraestruturas de Portugal [4], a Casa Eiffel deverá ter construído 27 pontes [5] com vão superior a 20 m, localizadas, quase todas, a norte do rio Tejo, ao longo de várias linhas ferroviárias: Linha do Minho (4), Linha do Norte (6), Linha do Douro (2), Linha da Beira Alta (2), Linha da Beira Baixa (1), Linha de Sintra (3) e Ramal de Cáceres (2). As pontes eram metálicas e de uso ferroviário, sendo a Ponte de Viana do Castelo a única com uso misto rodoviário e pedonal. Cerca de 56% das pontes foram construídas na década de 80. Ao nível da extensão, 64% das pontes tinham mais de 100 m, 32% mais de 200 m e 12% mais de 300 m. Das pontes construídas, 85% já foram substituídas e apenas três encontram-se em serviço, nomeadamente a Ponte da Praia que foi reafectada à rodovia, a Ponte de Viana do Castelo na Linha do Minho e a Ponte do Alviela, na Linha do Norte. A Ponte Maria Pia está atualmente desativada, existindo projetos para o seu reaproveitamento em contexto de mobilidade urbana.

Perante um património tão extenso, este trabalho faz um reconhecimento de padrões estruturais e construtivos das pontes realizadas pela Casa Eiffel em Portugal.

### 2. PADRÕES ESTRUTURAIS E CONSTRUTIVOS

#### 2.1 Métodos de dimensionamento e reconhecimento de padrões

O ferro pudelado, obtido em alto-forno foi o principal material usado na construção das pontes da Casa Eiffel, apresentando um aspeto heterogéneo, anisotrópico e de rotura frágil. Assim, obrigou ao aparecimento de novos métodos de dimensionamento e de pressupostos considerados em fase de projeto, tais como: i) dimensionamento dos banzos e da alma das vigas principais em forma de treliça de modo a resistirem aos momentos fletores e ao esforço transversal, respetivamente; ii) os momentos fletores eram obtidos através da alternância de cargas nos vários tabuleiros, em pontes com três ou mais tramos; iii) a definição de uma secção base para as vigas principais, cujos banzos eram reforçados com chapas adicionais em função dos momentos fletores atuantes; iv) as carlingas e as longarinas eram dimensionadas para as locomotivas mais restritivas a utilizar em serviço na própria linha em consideração; e v) o coeficiente de trabalho (tensão admissível na terminologia atual) para o ferro pudelado era de 6 kg/mm<sup>2</sup> (60 MPa).

Em termos de reconhecimento de padrões estruturais, as pontes apresentavam: i) treliças metálicas do tipo Cruz da Santo André (rótula simples) ou rótula múltipla em geral para tramos intermédios superiores a 50 m (Figura 1); ii) razão entre vãos, dos tramos extremos e os intermédios, entre 0,72 e 0,92; iii) esbelteza, que estabelece a relação entre o vão e a altura das vigas principais, entre 8 e 11; e iv) priorização da compensação dos momentos negativos dos tramos extremos e dos tramos intermédios, sendo quase sempre adotadas estruturas simétricas.

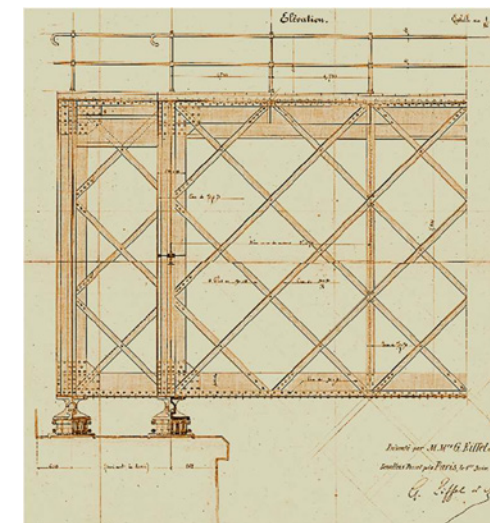


Figura 1. Pormenor das vigas principais da Ponte sobre o Rio Cávado, em Barcelos [4]

#### 2.2 Soluções construtivas

Em termos de soluções construtivas de vários elementos estruturais, destacam-se: i) a realização e aperfeiçoamento da técnica de construção de fundações de pilares através de caixões de ar comprimido; ii) o sistema de ancoragem dos pilares metálicos às fundações, através de um sistema de tirantes que descia pela alvenaria e amarravam em sommieres de ferro nas fundações; iii) a posição do tabuleiro, relativamente às vigas principais, dependia, de um modo geral, do vão, podendo estar situado na parte superior, intermédia e inferior; iv) 55% dos pilares eram metálicos e os restantes 45% em alvenaria, sendo que a escolha do tipo de pilares dependia do obstáculo a ultrapassar, nomeadamente, pilares em alvenaria quando em contacto com água e metálicos quando eram relativamente altos e esbeltos; v) os pilares metálicos contraventados, formando estruturas tubulares treliçadas; vi) a garantia da drenagem interior dos encontros, quando vazados; e vii) a aplicação do sistema de construção dos tabuleiros por lançamento.

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido aos desafios levantados nas obras realizadas pela Casa Eiffel, os projetos implementados acarretaram o desenvolvimento de novas soluções estruturais, fomentando a introdução de novos materiais e a implementação de processos construtivos inovadores, que se traduziram na execução das obras de um modo mais célere e seguro, sendo alguns desses processos ainda utilizados nos dias de hoje. Assim, Gustave Eiffel foi, para além de um engenheiro-construtor emblemático, um grande gestor e um inovador insaciável, cuja obra ficará para sempre ligada ao nascimento da ferrovia e das estruturas metálicas em Portugal.

- [1] D. I. Harvie, EIFFEL, The Genius Who Reinvented Himself, Stroud, Gloucestershire: The History Press, 2004.
- [2] H. Azevedo, “Biografia Gustave Eiffel. O mágico do ferro,” Engenharia e Vida, vol. 04, pp. 80-83, Julho / Agosto 2004.
- [3] F. Q. Abragão, “Os Homens da Ponte Maria Pia,” Boletim da C.P., nº 283, p. 2 a 6, 1953.
- [4] Arquivo Técnico da Infraestruturas de Portugal S.A., 2018.
- [5] N. Nunes, Reconhecimento de padrões estruturais, construtivos e materiais nas pontes da Casa Eiffel em Portugal, Lisboa: Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, ULHT, 2018.

TEMA 07

# **INFRAESTRUTURAS DE TRANSPORTES (RODOVIA, FERROVIA, PORTOS E AEROPORTOS)**

## AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DA INFRAESTRUTURA PEDONAL PARA PROMOÇÃO DA MOBILIDADE SUAVE EM CIDADES DE ENCOSTA

André Nogueira<sup>1</sup>, Bertha Santos<sup>2</sup>, Jorge Gonçalves<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura. Universidade da Beira Interior. andre.nogueira@ubi.pt

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura. Universidade da Beira Interior. bsantos@ubi.pt

<sup>3</sup> Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura. Universidade da Beira Interior. jorge@ubi.pt

**Palavras-chave:** mobilidade urbana, infraestrutura pedonal, análise multicritério espacial, cidades de encosta.

**Infraestruturas de Transportes**

**Apresentação oral**

### 1. INTRODUÇÃO

A situação de emergência climática e ambiental que se vive atualmente, em conjunto com o crescente congestionamento rodoviário dos centros urbanos, faz com que a mobilidade e a sua sustentabilidade sejam uma prioridade das políticas de transportes atuais. Torna-se assim indispensável alterar o comportamento dos cidadãos para o uso de modos suaves nas suas deslocações, como o modo pedonal, conciliando-o, se necessário, com outros modos de transporte sustentáveis. Para que esta alteração efetivamente aconteça, é necessário dotar as cidades de alternativas viáveis ao automóvel, nomeadamente através da oferta de infraestruturas pedonais de qualidade, adaptadas às necessidades das pessoas e às características específicas das cidades, aspetos particularmente importantes em cidades de encosta, onde a deslocação a pé requer um esforço adicional.

### 2. OBJETIVO E METODOLOGIA

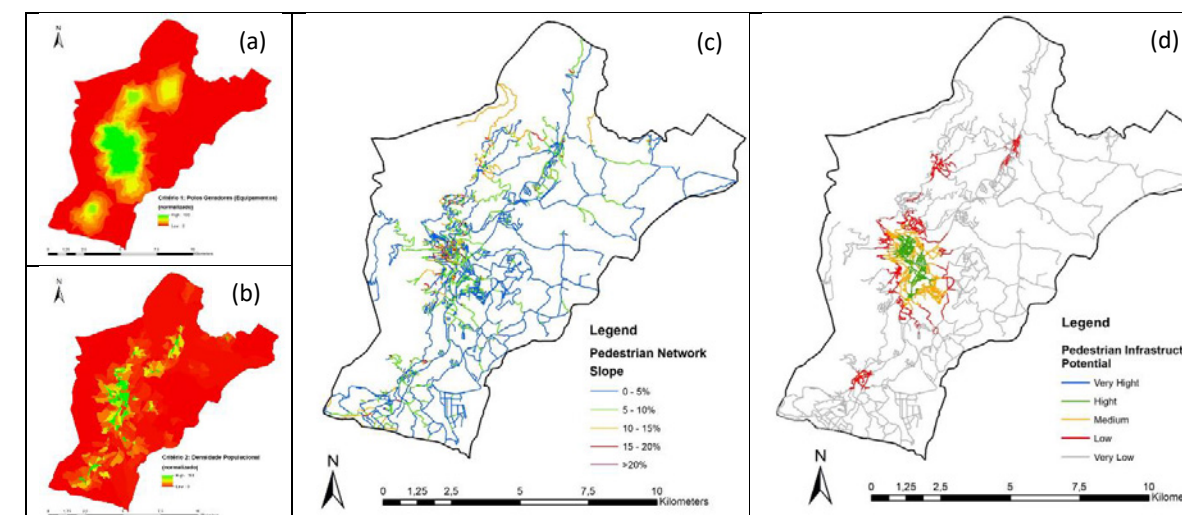
Tendo em conta o exposto, o trabalho apresentado pretende contribuir para a promoção da mobilidade suave em cidades de encosta através da criação de um instrumento de apoio à avaliação do potencial da infraestrutura pedonal existente. Para o efeito são consideradas como variáveis explicativas a localização relativamente aos polos geradores de viagens, a densidade populacional e características da rede pedonal, com particular destaque para a inclinação longitudinal dos percursos. A consideração da inclinação permite uma definição mais realista das áreas de influência dos polos geradores, atendendo ao seu impacto em percursos fisicamente mais exigentes. Estas variáveis são avaliadas com recurso a um conjunto de ferramentas de análise espacial e de redes, disponíveis nos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e combinadas numa análise multicritério para obtenção de uma medida do potencial da infraestrutura pedonal (ver Anexo I).

### 3. CASO DE ESTUDO

O instrumento proposto foi validado através da sua aplicação a um caso de estudo, o perímetro urbano da cidade de encosta da Covilhã. A análise multicritério foi efetuada para 3 combinações de pesos das variáveis polos geradores (PG) e densidade populacional (DP), resultando em três mapas de potencial da infraestrutura pedonal. O resultado obtido para a combinação 70% PG e 30% DP, considerada a mais representativa para o caso estudado, é apresentado no mapa (d) da Figura 1.

### 4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos é possível concluir que a variável com maior efeito no potencial da infraestrutura pedonal é a localização dos polos geradores de viagens, influenciada pela inclinação dos percursos. O instrumento permitiu também identificar as principais áreas de expansão da cidade, correspondendo aos locais que apresentam atualmente um bom potencial pedonal, mas valores ainda relativamente baixos de densidade populacional. A identificação das áreas com elevado potencial pedonal possibilita a definição de prioridades de intervenção no espaço público, apoiando uma melhor afetação dos recursos humanos e financeiros das autoridades responsáveis pelo espaço urbano, o que potencia o aumento do uso do modo pedonal como meio de deslocação.

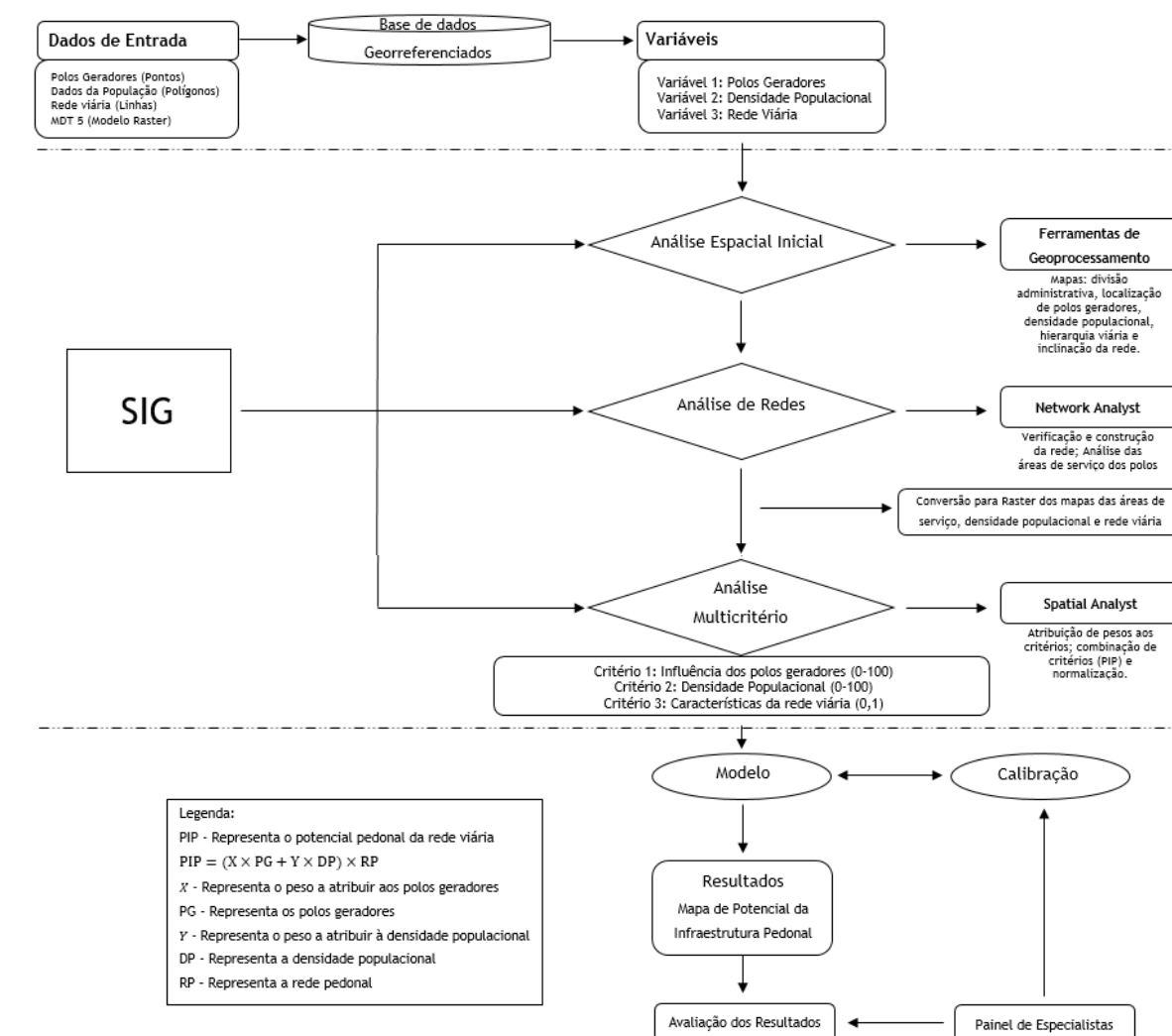


**Figura 1.** Resultados obtidos para os critérios 1 e 2: Polos Geradores (a) e Densidade Populacional (b). Mapa da inclinação da rede pedonal (c). Mapa do Potencial da Infraestrutura Pedonal (PIP) (d) [1].

### 5. BIBLIOGRAFIA

[1] Nogueira, A., Avaliação do potencial da infraestrutura pedonal para promoção da mobilidade suave em cidades de encosta, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2020.

**ANEXO I:** Metodologia adotada para avaliação do potencial da infraestrutura pedonal (PIP)



## ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE COMBOIOS NA PONTE FERROVIÁRIA DE ALTA VELOCIDADE SOBRE O RIO VOLGA SOB AÇÃO DE VENTOS LATERAIS EXTREMOS

D. Barbosa<sup>1</sup>, P. A. Montenegro<sup>2</sup>, R. Calçada<sup>3</sup>

<sup>1</sup> CONSTRUCT – LESE. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. dfbarbosa@fe.up.pt

<sup>2</sup> CONSTRUCT – LESE. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. pares@fe.up.pt

<sup>3</sup> CONSTRUCT – LESE. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. ruiabc@fe.up.pt

**Palavras-chave:** análise dinâmica, ventos cruzados, alta velocidade ferroviária, segurança de circulação.

### 07. Infraestruturas de transportes

Poster

#### 1. INTRODUÇÃO

Nesta dissertação de mestrado foi desenvolvido um estudo sobre segurança de circulação de um comboio de alta velocidade, a circular sobre uma ponte submetida a ventos cruzados de elevada intensidade. O caso de estudo baseou-se numa ponte ferroviária localizada sobre o Rio Volga pertencente à futura linha de alta velocidade que liga as cidades Russas de Moscovo e Kazan.

#### 2. METODOLOGIA INTERAÇÃO VEÍCULO-ESTRUTURA

A análise de segurança de circulação foi levada a cabo com recurso a uma metodologia de interação veículo-estrutura baseada no método direto inicialmente desenvolvido para ter em conta apenas a interação vertical[1]. Mais tarde, a metodologia foi melhorada de forma a possibilitar a análise da dinâmica lateral do sistema veículo-estrutura[2]. Esta ferramenta numérica, desenvolvida em MATLAB®[3] e denominada VSI – *Vehicle Structure Interaction Analysis*, assenta numa formulação de contacto roda-carril dividida em três problemas fundamentais: 1) contacto geométrico, no qual é utilizado um algoritmo de busca para detetar a posição dos pontos de contacto; 2) contacto normal, que consiste na determinação das forças de contacto normais; e 3) contacto tangencial, no qual são calculadas as forças tangenciais desenvolvidas devido ao atrito de rolamento entre as superfícies em contacto.

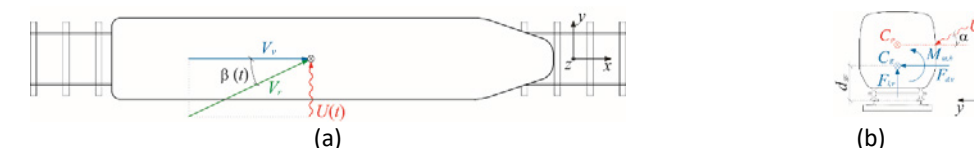
#### 3. MODELAÇÃO DO VENTO TURBULENTO

A velocidade do vento pode ser formulada como uma função temporal constituída por duas componentes, uma média ( $\bar{U}$ ) e outra turbulenta ( $u$ ). A velocidade média é calculada através de dados meteorológicos recolhidos no local. A componente turbulenta do vento é estabelecida tendo por base parâmetros estatísticos como, a distribuição de probabilidade, o espectro de potência e funções de correlação cruzada [4]. Assim, a história temporal da componente turbulenta da velocidade do vento na direção lateral ao movimento do comboio foi gerada de forma aleatória com base na no espectro de Kaimal através da seguinte equação:

$$u(t) = \sqrt{2} \sum_{i=1}^N \sqrt{R_u(f_i)} \Delta f \cos(2\pi f_i t + \theta_i) \quad (1)$$

onde  $R_u$  representa a função de densidade espectral de potência,  $N$  é o número de intervalos  $\Delta f$  de frequências considerado no espectro,  $f_i$  é a frequência (Hz),  $t$  é o tempo (s),  $\Delta f$  representa o incremento de frequências (Hz) e  $\theta_i$  é o ângulo de fase aleatório, compreendido no intervalo  $[0, 2\pi]$ . Para estruturas com uma dimensão considerável, é primordial gerar não apenas uma série temporal, mas sim várias, correlacionadas entre si, no espaço. Assim, são geradas histórias temporais  $u_i(t)$  em vários pontos de geração de vento ao longo da estrutura distanciados de  $\Delta L$ , de forma a que, à medida que o comboio passa por eles, se interpole a respetiva velocidade de vento sentida pelo comboio.

A velocidade do vento em relação à velocidade do comboio ( $V_r$ ) é a resultante entre a velocidade de circulação ( $V_p$ ) e a velocidade do vento aplicada no veículo ( $U_v$ ) na direção perpendicular ao centro de pressão do comboio ( $C_p$ ), tal como se ilustra na Figura 1.



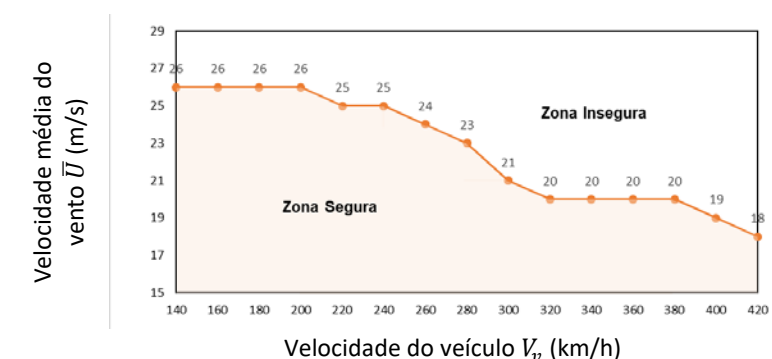
**Figura 1.** Forças do vento e vetores de velocidade do vento que atuam no veículo: (a) planta e (b) corte[5].

#### 4. ANÁLISE DE SEGURANÇA DE CIRCULAÇÃO

Considerando o caso de estudo, o vento foi modelado com base em gerações estocásticas de perfis de velocidade de vento, tomando assim em consideração a componente flutuante do mesmo. As análises dinâmicas foram efetuadas para velocidade de circulação entre os 140 km/h e os 420 km/h, com intervalos de 20 km/h, e para diversas velocidades de vento.

Antes de avaliar a segurança de circulação, foi ainda avaliada a resposta da ponte e do veículo para diversos cenários. Em particular, no que diz respeito ao veículo, foram analisadas as respostas laterais e verticais ao nível dos diversos componentes do mesmo, nomeadamente no eixo, bogie e caixa.

A análise de segurança de circulação do comboio face a ventos cruzados foi levada a cabo com base no critério de descarga proposto na Norma Europeia EN14067-6 [6]. O estudo incidiu assim na determinação das velocidades críticas de vento para as quais o comboio poderia circular sobre a ponte sem pôr em risco a sua segurança. A Figura 2 ilustra o gráfico de segurança face a ventos cruzados, onde se pode concluir que, para velocidades de circulação típicas em linhas de alta velocidade, na gama dos 300 km/h, o comboio teria de diminuir a sua velocidade se o vento lateral atingisse velocidades médias na ordem dos 20 m/s, o que corresponde a velocidades de pico de, aproximadamente, 28 m/s, considerando a intensidade de turbulência existente ao nível do tabuleiro localizado a 50 m de altura.



**Figura 2.** Gráfico de segurança de circulação.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Neves, S., et al., *A direct method for analyzing the nonlinear vehicle–structure interaction*. 2014. **69**: p. 83-89.
- [2] Montenegro, P., et al., *Wheel–rail contact formulation for analyzing the lateral train–structure dynamic interaction*. 2015. **152**: p. 200-214.
- [3] MATLAB, V.J.T.M.I., Natick, MA, USA, *9.4. 0 (R2018a)*. 2018.
- [4] Montenegro, P., et al., *Dynamic effects on a train-bridge system caused by stochastically generated turbulent wind fields*. 2020. **211**: p. 110430.
- [5] Barbosa, D.F.R., *Análise de Estabilidade de Comboios na Ponte Ferroviária de Alta Velocidade Sobre o Rio Volga Sob a Ação de Ventos Laterais Extremos*. 2019.
- [6] EN, B.J.L.B.S.I., *14067-6. Railway applications–aerodynamics part 6: requirements and test procedures for cross wind assessment*. 2010.

## CONTRIBUIÇÃO PARA A APLICAÇÃO DO MACOPAV NA CONCEPÇÃO EXPEDITA DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS FLEXÍVEIS

E. Ferreira<sup>1</sup>, M. Minhoto<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Msc Engenharia da Construção ESTIG, Instituto Politécnico de Bragança. eduardo\_bnf@hotmail.com

<sup>2</sup> Construções Cíveis e Planeamento. ESTIG, Instituto Politécnico de Bragança. minhoto@ipb.pt

**Palavras-chave:** Pavimentos rodoviários flexíveis, Dimensionamento; MACOPAV; Métodos Expeditos.

**07. Infraestruturas de transportes (rodovia, ferrovia,  
portos e aeroportos).**

**Vídeo**

### OBJETIVO

Os sistemas de transporte apresentam uma grande importância no crescimento económico das nações, pois o seu maior objetivo é o de promover o movimento de pessoas e mercadorias com segurança, economia e conforto, visando aumentar a atividade económica e o desenvolvimento [1]. Neste contexto surge uma constante necessidade de promover a melhoria da qualidade das rodovias e a consequente ampliação do conjunto de infraestruturas de transportes. Desta maneira, pretende-se com este trabalho efetuar uma análise detalhada do método simplificado e expedito proposto pelas Infraestruturas de Portugal (ex-JAE) (1995), denominado como MACOPAV, propondo o refinamento das soluções atualmente enquadradas naquele método, por comparação ao método empírico-mecanicista da SHELL (1978), com a finalidade de estabelecer uma melhor relação entre as variáveis utilizadas no MACOPAV e apresentar estruturas otimizadas e bem caracterizadas em termos de espessuras e composição das respectivas camadas.

### METODOLOGIA

Para este estudo, foram realizadas diversas abordagens e análises detalhadas a partir do método empírico-mecanicista proposto pela SHELL (1978) com a finalidade de estabelecer uma melhor relação entre as variáveis utilizadas e as soluções obtidas pelo MACOPAV, utilizando como parâmetro principal de avaliação, a vida útil do pavimento, expressa em número de eixos-padrão (NEP) para as diferentes espessuras e materiais propostos pelo manual. As avaliações do comportamento das diversas estruturas-solução são realizadas a partir de simulações obtidas no *software* Jpav 1.1, através do cálculo das extensões de compressão no topo do leito do pavimento e da extensão de tração nas camadas betuminosas (adimensional) e posterior classificação dos modos de ruína, sendo eles: deformação permanente e fendilhamento por fadiga.

### ANÁLISE DE RESULTADOS

A partir deste estudo é possível concluir que o comportamento das estruturas de pavimentos flexíveis é dependente de uma série de fatores que atuam em cadeia, fato pelo qual se torna complexo avaliar a integridade das estruturas ao longo de sua vida útil.

Para compor os resultados finais, foram avaliadas e selecionadas as soluções estruturais otimizadas, em termos de melhor desempenho estrutural e as opções mais económicas, para cada caso de dimensionamento abordado no MACOPAV, como pode ser analisado na Tabela 1. Os resultados também são apresentados em forma de catálogo de estruturas para facilitar a interpretação das soluções encontradas. Devido a grande quantidade de simulações realizadas, adotou-se uma nomenclatura padrão de identificação baseada em três critérios de dimensionamento do MACOPAV: Classe de Tráfego “T”, Classe de Fundação “F” e Ábaco de Dimensionamento “A”. Desta maneira, a nomenclatura geral é representada por “TiFjAk”. Os índices “i”, “j” e “k” representam números de identificação das variáveis do manual, no qual:  $[1 \leq i \leq 6]$ ;  $[1 \leq j \leq 4]$ ;  $[1 \leq k \leq 3]$ . Ao final da nomenclatura são acrescentados caracteres compreendidos de “a” a “zzz” para ordenar as soluções.

**Tabela 1.** Síntese dos resultados dos dimensionamentos [2].

| Classe de Tráfego | Classe de Fundação | Estrutura mais resistente |              |          | Estrutura com melhor custo- benefício |              |          |
|-------------------|--------------------|---------------------------|--------------|----------|---------------------------------------|--------------|----------|
|                   |                    | Nome da Estrutura         | Preço (€/m²) | NEP      | Nome da Estrutura                     | Preço (€/m²) | NEP      |
| T1                | F2                 | T1F2A3a                   | 36,55        | 1,49E+08 | T1F2A3tt                              | 31,59        | 1,46E+08 |
|                   | F3                 | T1F3A3a                   | 31,75        | 1,59E+08 | T1F3A3jj                              | 27,10        | 1,59E+08 |
|                   | F4                 | T1F4A1a                   | 37,05        | 1,19E+08 | T1F4A1tt                              | 32,09        | 1,19E+08 |
| T2                | F2                 | T2F2A3a                   | 34,15        | 1,08E+08 | T2F2A3tt                              | 32,29        | 1,07E+08 |
|                   | F3                 | T2F3A3a                   | 29,35        | 1,13E+08 | T2F3A3l                               | 27,80        | 1,13E+08 |
|                   | F4                 | T2F4A1a                   | 34,65        | 7,03E+07 | T2F4A1jj                              | 30,00        | 6,82E+07 |
| T3                | F2                 | T3F2A3a                   | 30,55        | 6,46E+07 | T3F2A3z                               | 29,00        | 6,43E+07 |
|                   | F3                 | T3F3A3a                   | 25,74        | 6,75E+07 | T3F3A3b                               | 24,20        | 6,60E+07 |
|                   | F4                 | T3F4A1a                   | 32,25        | 5,61E+07 | T3F4A1p                               | 30,70        | 5,59E+07 |
| T4                | F2                 | T4F2A3a                   | 26,95        | 3,76E+05 | T4F2A3b                               | 25,40        | 3,75E+07 |
|                   | F3                 | T4F3A3a                   | 22,15        | 3,71E+07 | T4F3A3a                               | 22,15        | 3,71E+07 |
|                   | F4                 | T4F4A2a                   | 28,64        | 1,76E+07 | T4F4A2b                               | 25,55        | 1,74E+07 |
| T5                | F2                 | T5F2A3a                   | 22,15        | 1,73E+07 | T5F2A3a                               | 22,15        | 1,73E+07 |
|                   | F3                 | T5F3A3a                   | 17,35        | 1,68E+07 | T5F3A3b                               | 14,87        | 1,65E+07 |
|                   | F4                 | T5F4A1a                   | 25,05        | 7,03E+06 | T5F4A1a                               | 25,05        | 7,03E+06 |
| T6                | F2                 | T6F2A3a                   | 17,35        | 9,57E+06 | T6F2A3b                               | 14,87        | 9,41E+06 |
|                   | F3                 | T6F3A3a                   | 10,99        | 7,18E+06 | T6F3A3a                               | 10,99        | 7,18E+06 |
|                   | F4                 | T6F4A1a                   | 15,99        | 2,26E+06 | T6F4A1a                               | 15,99        | 2,26E+06 |

### CONCLUSÕES

No âmbito dum trabalho de dissertação, desenvolveu-se uma contribuição para um melhor entendimento do comportamento das estruturas de pavimentos flexíveis dimensionadas a partir do método expedito MACOPAV, além de contribuir com a obtenção de soluções estruturais de pavimentos mais detalhadas, em termos de espessuras, a partir das que são preconizadas pelo manual, de forma a melhorar a interpretação e tomada de decisão em situações práticas da sua utilização. Sendo assim, os resultados expostos no trabalho [2], em formato de catálogo de soluções, permitem a possibilidade de encontrar estruturas mais refinadas para cada dimensionamento, proporcionando uma economia de materiais e uma otimização da vida útil de projeto.

### REFERÊNCIAS

- [1] Zanchetta, F. **Aquisição de Dados Sobre a Condição dos Pavimentos Visando a Implementação de Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos**. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos. 2005.
- [2] Ferreira, E. **Contribuição para a Aplicação do MACOPAV na Concepção Expedita de Pavimentos Rodoviários Flexíveis**. Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Bragança, Instituto Politécnico de Bragança. 2019.
- [3] Picado-Santos, L. **Método de Dimensionamento da SHELL para Pavimentos Rodoviários Flexíveis (adaptação às condições portuguesas)**. Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade de Coimbra. Coimbra. 1993.

## AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA DE PONTES EM BETÃO DA REDE VIÁRIA NACIONAL SUJEITAS AO CARREGAMENTO DE VEÍCULOS MILITARES

Eduardo Miguel Antunes Filipe<sup>1</sup>, António José da Silva Costa<sup>2</sup>, Pedro José da Silva Gonçalves Matias<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Academia Militar. Instituto Superior Técnico. filipe.ema@exercito.pt

<sup>2</sup> Instituto Superior Técnico. Universidade de Lisboa. antonio.silva.costa@tecnico.ulisboa.pt

<sup>3</sup> Academia Militar. Exército Português. matias.pjsg@exercito.pt

**Palavras-chave:** pontes em betão, sobrecargas regulamentares, sobrecarga militar, avaliação de segurança

Infraestruturas de transportes (rodovia)

Apresentação digital (oral)

**Resumo:** As atividades militares realizadas em âmbito de contexto operacional por parte do Exército Português exigem, frequentemente, a utilização de estruturas existentes na rede viária nacional, designadamente pontes e viadutos. Estas estruturas encontram-se dimensionadas de acordo com a regulamentação de ações associada à época na qual se realizou o respetivo projeto, pelo que importa avaliar se as normas regulamentares utilizadas no dimensionamento garantem a segurança da estrutura para uma utilização militar.

### 1. CLASSIFICAÇÃO DE CARGA MILITAR

A regulamentação NATO relativa ao sistema MLC considera 32 veículos hipotéticos, sendo estes igualmente repartidos entre viaturas de rodas e de lagartas. De modo a realizar a classificação de um veículo militar é necessário calcular os esforços máximos que este produz relativamente aos vários comprimentos de vão associados a uma configuração simplesmente apoiada, por forma a traçar as curvas associadas ao sistema MLC. [1] De uma forma geral, pode assumir-se para a avaliação global da generalidade das pontes os seguintes coeficientes parciais de segurança, sendo que a carga variável diz respeito ao carregamento dos veículos militares, cuja definição se baseia no sistema MLC: [2]

- Cargas permanentes:  $\gamma_G = 1,20$
- Cargas variáveis (MLC):  $\gamma_Q = 1,35$

### 2. ANÁLISE GLOBAL

Realizou-se uma análise simplificada dos efeitos produzidos pelas diferentes ações associadas aos regulamentos utilizados em projetos de estruturas de pontes ao longo das últimas décadas. Considerou-se uma faixa de rodagem composta por duas vias de 3,50 metros e duas bermas de 1,0 metros. A comparação será realizada em termos de esforço global atuante em tramos de tabuleiro com diferentes vãos, sendo que o esforço global considerado diz respeito ao momento fletor total. Esta abordagem simples permite, numa primeira análise, verificar se existem deficiências em termos da resistência do tabuleiro de obras dimensionadas de acordo com os diferentes regulamentos, tratando-se assim dos designados efeitos gerais das sobrecargas. Relativamente à circulação de viaturas militares, considera-se o carregamento associado a veículos de lagartas da classe 70 (63,50 t) e veículos de rodas da classe 100 (104,30 t).

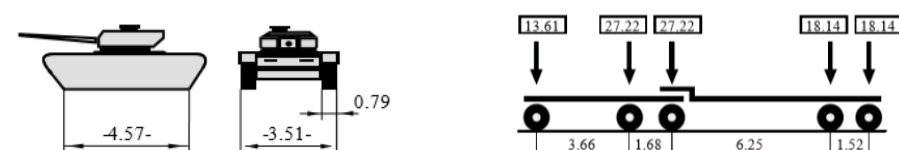


Figura 1. Características dos veículos de lagartas e de rodas [2]

Define-se uma via reservada para circulação exclusiva de viaturas militares, sendo que as restantes vias se encontram sujeitas ao carregamento dos veículos tipo previstos no Eurocódigo 1, nomeadamente o veículo tipo 2 e o veículo tipo 3, bem como a atuação da respetiva sobrecarga uniforme. Verifica-se que as pontes cujo projeto diz respeito à regulamentação antiga apresentam uma menor tendência para originar problemas de segurança estrutural quando sujeitas a carregamentos militares.

### 3. CASO DE ESTUDO – VIADUTO SOBRE O RIO DE MOUROS

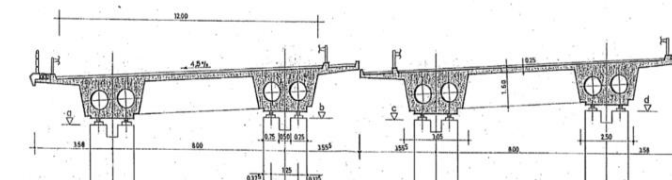


Figura 2. Desenho de projeto da estrutura do tabuleiro em laje nervurada (corte transversal)

Apresentam-se seguidamente os esforços de flexão nas secções a meio vão e de apoio do tramo central do tabuleiro para a combinação fundamental de ações, de modo a verificar a segurança para o Estado Limite Último de Flexão.

Tabela 1. Esforços de flexão no apoio e a meio vão do tramo central do tabuleiro

| Combinação fundamental [KNm] |       | 1983 (VT) | 1983 (SCU+SCL) | SC militar |
|------------------------------|-------|-----------|----------------|------------|
|                              | ½ vão | 15311,5   | 18443,1        | 24241,5    |
|                              | Apoio | -18395,3  | -23214,6       | -21803,5   |

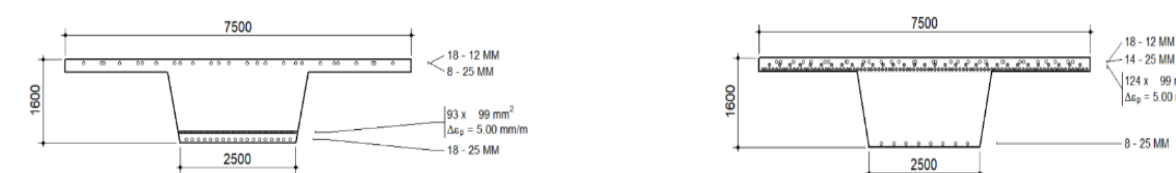


Figura 3. Modelação das secções de ½ vão (esq.) e de apoio (dir.)

Deste modo, resultam os seguintes valores relativamente ao momento fletor resistente:

- Secção a meio vão:  $M_{Rd} = 22\,772\text{ KNm}$
- Secção do apoio:  $M_{Rd} = -25\,648\text{ KNm}$

Verifica-se que na secção do apoio o momento resistente é superior ao momento atuante e na secção a meio vão o esforço de flexão atuante é superior à respetiva capacidade resistente, pelo que se conclui que a estrutura do tabuleiro não verifica a segurança relativamente ao Estado Limite Último de Flexão.

### 4. CONCLUSÕES

Deste modo, o tráfego militar deve ser condicionado ou reservado, por forma a evitar o risco de colapso da estrutura ou a ocorrência de danos permanentes na mesma. Nestas situações, a circulação de viaturas militares deve realizar-se a uma velocidade moderada, no centro da faixa de rodagem, devendo encontrar-se apenas um veículo em cada vão estruturalmente independente.

### REFERÊNCIAS

- [1] R. Lenner, M. Keuser & M. Sykora, Safety Concept and Partial Factors for Bridge Assessment under Military Loading, Advances in Military Technology, vol. 9, n. 2, Germany, 2014
- [2] NATO Standard (2017) AEP-3.12.1.5, Military Load Classification of Bridges, Ferries, Rafts and Vehicles, Edition A, Version 1

## AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E DE AUTORREGENERAÇÃO DE MISTURAS BETUMINOSAS COM REJUVENESCEDORES ENCAPSULADOS

Gonçalo Moura Pereira<sup>1</sup>, Rui Baltazar Micaelo<sup>2</sup>, Ana Cristina Freire<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Dep. Eng. Civil – NOVA School of Science and Technology | FCT NOVA – g.pereira@campus.fct.unl.pt

<sup>2</sup> Dep. Eng. Civil – NOVA School of Science and Technology | FCT NOVA – ruilbm@fct.unl.pt

<sup>3</sup> Dep. de Transportes – Laboratório Nacional de Engenharia Civil – acfreire@lnec.pt

**Palavras-chave:** Autorregeneração; Mistura betuminosa; Microencapsulação; Óleo de girassol.

**Código da Área Temática**

07

**Apresentação oral**

### Resumo

A vida útil de um pavimento rodoviário é dependente de muitos fatores, sendo os mais importantes a seleção de materiais resistentes e adequados às condições de tráfego e ambientais a que vão estar submetidos, e o cumprimento de um plano de manutenção programado e eficaz. No caso das misturas betuminosas, que constituem a maioria destes pavimentos, o seu comportamento pode ser melhorado com a utilização de betumes modificados, os quais possuem características distintas em termos de reologia, adesão, resistência ao envelhecimento, entre outras [1].

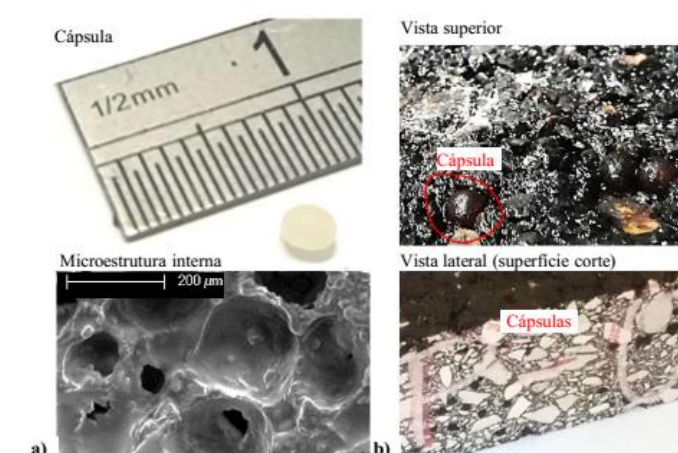
Uma abordagem diferente e promissora, tendo em vista a extensão do período de vida útil do pavimento compreende a otimização da capacidade de autorregeneração dos materiais betuminosos, por via da adição de rejuvenescedores encapsulados à sua constituição. A investigação realizada até ao presente permitiu identificar o mecanismo de rejuvenescimento do betume utilizando esta técnica [2]. Contudo, ainda não foi desenvolvida uma formulação de misturas betuminosas com o tipo de cápsulas que optimize o seu desempenho global.

Este estudo [3, 4] pretendeu investigar o efeito da adição de cápsulas de alginato de cálcio, com óleo de girassol, nas propriedades mecânicas e de autorregeneração de uma mistura betuminosa a quente convencional. O plano experimental incluiu a caracterização das cápsulas, a produção de provetes com cápsulas, a simulação do envelhecimento dos provetes e a caracterização do comportamento destes relativamente à rigidez, fadiga e deformação permanente.

As cápsulas de alginato de cálcio, apresentadas na Figura 1, são aproximadamente esféricas, com um diâmetro médio de 2,8 mm. A análise termogravimétrica das cápsulas, para avaliação da perda de massa em função do aumento de temperatura, registou uma perda de massa de 1,7% a 100 °C, devido à perda de água, e de 3,8% a 6,6% para as temperaturas usuais de produção de misturas betuminosas (160 a 200 °C). A resistência mecânica das cápsulas, avaliada em ensaio de compressão uniaxial, apresentou um valor médio de 33,0 N. Estas propriedades são superiores a outras cápsulas similares [2], concluindo-se que as cápsulas têm a capacidade de resistir às operações de produção e compactação de uma mistura betuminosa.

A mistura betuminosa utilizada no estudo foi uma mistura convencional, tipo AC 20 base 35/50, composta por 95,3% de agregados calcários (20% da fração 12/20 mm; 28% de 4/12 mm; 49% de 0/4 mm; 3% de fíler) e 4,7% de betume. Esta mistura foi produzida com incorporação de cápsulas seguinte: 0% (referência); 0,5%; 0,75% e 1%, da massa total da MB. As cápsulas, à temperatura ambiente, foram introduzidas na misturadora após a mistura da fração mineral e betume, e compactada com compactador laboratorial de rolo.

A rigidez e a resistência à fadiga foram avaliadas segundo o ensaio de flexão em quatro pontos, a uma temperatura de 20 °C, e a resistência às deformações permanentes, pelo ensaio *wheel tracking*, a uma temperatura de 60 °C. Como o objetivo da adição das cápsulas é o de promover a autorregeneração da mistura betuminosa após alguns anos de serviço, foi efetuada uma simulação de envelhecimento (5 dias a uma temperatura de 85 °C, em estufa ventilada), antes do primeiro ensaio de fadiga.



**Figura 1.** a) Cápsulas de alginato de cálcio contendo óleo de girassol; b) cápsulas na mistura betuminosa

De forma diferente, a avaliação da resistência às deformações permanentes, foi feita em condições de pós construção, dado que estas condições de ensaio são mais desfavoráveis, ou seja, as cápsulas podem libertar mais facilmente o óleo do seu interior. Após a indução do dano nos ensaios e para permitir a ação do óleo regenerador na mistura betuminosa, foi realizado um repouso de 5 dias a 20 °C entre ensaios. Relativamente à rigidez, esta foi avaliada em todas as fases consideradas (pós construção, pós envelhecimento e pós dano e período de regeneração). Os resultados demonstraram que a rigidez da mistura betuminosa é afetada pela adição das cápsulas. Em fase de pós construção, esta redução foi menor do que o observado em estudos anteriores, sendo explicado com a maior resistência mecânica das cápsulas utilizadas. O envelhecimento provocou um aumento deste parâmetro entre 26% e 47% e diminuiu a diferença entre os provetes com cápsulas e os de referência. Adicionalmente, foi verificado um maior aumento da rigidez para frequências mais baixas (ex.: dosagem de 0,75% com aumento de 52% a 1 Hz, 31% a 4 Hz e 16% a 30 Hz). Em fase de pós carregamento e após período de repouso, foi verificado claramente que ocorreu libertação de óleo das cápsulas, pois, o módulo de rigidez diminuiu mais nos provetes com cápsulas (entre 28% e 34%) do que nos provetes de referência, com uma diminuição de 17%. Contudo, na avaliação da resistência à fadiga, a adição de cápsulas não provocou uma melhoria neste parâmetro pois, em ambas as fases de ensaio, foram apresentados resultados semelhantes entre as diferentes dosagens testadas. Tal, revela que o carregamento causado foi, porventura, demasiado elevado para ser regenerável com as cápsulas. Relativamente à resistência à deformação permanente, em fase de pós construção, a adição de cápsulas teve um efeito reduzido. Contudo, em fase de pós repouso, as cápsulas demonstraram contribuir para uma melhoria deste parâmetro, com reduções entre 94,7% e 141,9% do WTS<sub>AIR</sub>, face aos provetes de referência, com uma redução de 16,7%.

### Referências

- [1] Hunter RN, Shelf A, Read J (2015) The Shell Bitumen handbook. ICE Publishing, London.
- [2] Al-Mansoori T, Micaelo R, Artamendi I, Norambuena-Contreras J, Garcia A (2017) Microcapsules for self-healing of asphalt mixture without compromising mechanical performance. Constr Build Mater 155:1091–1100. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.137>.
- [3] Pereira G. (2019) Avaliação das propriedades mecânicas e de autorregeneração de misturas betuminosas com rejuvenescedores encapsulados, Tese de Mestrado, NOVA School of Science and Technology | FCT NOVA, Almada.
- [4] Micaelo R, Freire AC, Pereira G (2020) Asphalt self-healing with encapsulated rejuvenators: effect of calcium-alginate capsules on stiffness, fatigue and rutting properties. Mater Struct 53:20. <https://doi.org/10.1617/s11527-020-1453-7>.

## VALIDAÇÃO DE UM MÉTODO INDIRETO DE AUSCULTAÇÃO DE DEGRADAÇÕES PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS

Ianca T. Feitosa<sup>1</sup>, Bertha Santos<sup>1</sup>, Pedro G. Almeida<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura. Universidade da Beira Interior. [ianca.feitosa@ubi.pt](mailto:ianca.feitosa@ubi.pt). [bsantos@ubi.pt](mailto:bsantos@ubi.pt). [galmeida@ubi.pt](mailto:galmeida@ubi.pt).

**Palavras-chave:** sistema de gestão de pavimentos aeroportuários (SGPA), métodos de auscultação de pavimentos, degradações superficiais de pavimentos, comparação estatística.

**Infraestruturas de Transportes**

**Apresentação oral**

### 1. INTRODUÇÃO E OBJETIVO

O bom desempenho de um sistema de gestão de pavimentos aeroportuários (SGPA) depende sobretudo de uma base de dados consistente que possua uma quantidade e qualidade adequada de dados, quer relativos à estrutura quer ao estado dos pavimentos aeroportuários. A escolha do método de auscultação de pavimentos a utilizar, para garantir uma recolha eficaz de dados com qualidade que suportam a avaliação do estado do pavimento, é de fundamental importância para o sucesso do SGPA. Tendo em conta o exposto, o estudo tem como objetivo contribuir para melhorar o desempenho da componente “Avaliação do estado dos pavimentos” dos SGPA através da validação de um sistema de levantamento indireto com recurso a veículo equipado, de baixo custo, que permite que os dados de degradação da superfície do pavimento sejam recolhidos rapidamente. Trata-se de um aspeto particularmente importante do SGPA, uma vez que a partir dos dados recolhidos é possível avaliar o estado dos pavimentos e definir estratégias de intervenção.

### 2. METODOLOGIA

Para atingir o objetivo proposto são analisados estatisticamente os dados recolhidos para uma amostra dum pavimento (obtida de acordo com a norma ASTM D5340-12 [1]) obtidos por dois métodos de auscultação de pavimentos aeroportuários: a pé e com recurso a veículo equipado com dispositivos de varrimento laser e de captação e gravação de dados de imagem e de georreferenciação. A análise estatística de comparação é efetuada para as variáveis tipo, densidade e níveis de gravidade das degradações superficiais identificadas no pavimento, assim como para os valores do índice *Pavement Condition Index* (PCI) [1] obtidos por unidade de amostra inspecionada.

### 3. CASO DE ESTUDO

Os dados relativos ao estado do pavimento utilizados na análise foram recolhidos em 2016 pelo método tradicional a pé e em veículo equipado proposto (método indireto) na pista principal do Aeroporto Internacional Amílcar Cabral AIAC, localizado na Ilha do Sal, Cabo Verde [2] (Figura 1). O estudo estatístico compreendeu a análise da normalidade das variáveis selecionadas e, tendo em conta os resultados desse teste, a análise comparativa através dos testes estatísticos T-test (amostras com distribuição normal) e Wilcoxon (amostras com distribuição não-normal) (Tabela 1). Os p-value obtidos nos testes de normalidade indicam que, em geral, os dados das degradações superficiais apresentam uma distribuição não-normal e os valores de PCI uma distribuição normal. A maioria dos valores das densidades para todos os tipos de degradações identificados e respetivos níveis de gravidade foram validados ( $p\text{-value} > 0,05$ ) pelo teste de Wilcoxon, com exceção de três casos. De acordo com os resultados obtidos no T-test (média estatística) e F-test (variância) é possível concluir que o uso do método inovador em veículo equipado para efetuar o levantamento das degradações superficiais do pavimento não interferiu no resultado do PCI ( $p\text{-value} > 0,05$ ).

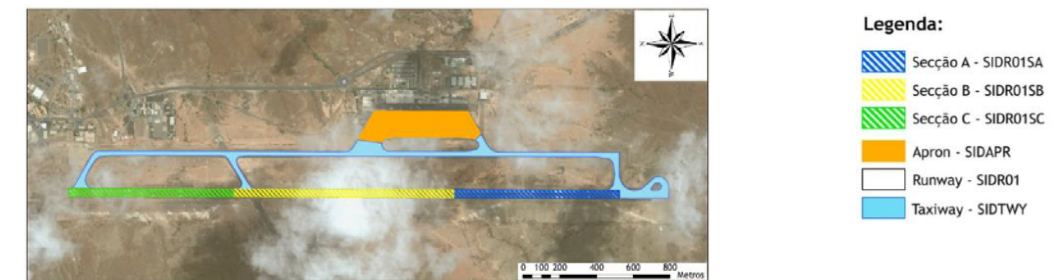


Figura 1. Segmentação da pista principal do Aeroporto Internacional Amílcar Cabral [2].

Tabela 1. Resultados dos testes de Wilcoxon, T-test e F-test [3].

| Variável                                                           | Teste de Wilcoxon<br><i>p-value</i> |       |       | T-test<br><i>p-value</i> | F-test<br><i>p-value</i> |
|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------|-------|--------------------------|--------------------------|
|                                                                    | Baixo                               | Médio | Alto  |                          |                          |
| Pele de Crocodilo                                                  | 0,068                               | 0,657 | 0,317 | Não aplicável            | Não aplicável            |
| Reparações e cortes técnicos                                       | 0,012                               | 0,011 | 0,076 |                          |                          |
| Desagregação superficial do agregado                               | 0,068                               | 0,861 | 0,640 |                          |                          |
| Desagregação superficial do mástico em misturas betuminosas densas | 0,114                               | 0,122 | 0,008 |                          |                          |
| PCI                                                                | 0,273                               |       |       | 0,4025                   | 0,3372                   |

### 4. CONCLUSÕES

A análise dos resultados dos testes evidenciou dois aspetos que precisam ser aprimorados no sistema proposto: a qualidade das imagens capturadas para identificar degradações com nível de gravidade baixo e o treinamento do inspetor para alocação adequada dos níveis de gravidade durante a análise das imagens. Apesar das limitações identificadas, diferenças estatisticamente não significativas entre os conjuntos de resultados validaram o método indireto proposto, resultando em vantagens significativas em relação à quantidade de área de pavimento inspecionada (maior), tempo de inspeção (menor), custo da recolha de dados, processamento e visualização de resultados (em um SIG), possibilidade de reavaliação dos dados (possível no método indireto) e controle de qualidade na identificação e medição das degradações. Tendo em conta os resultados obtidos foi ainda realizado um estudo exploratório com o protótipo melhorado, visando superar as dificuldades encontradas através da substituição da câmara de vídeo por outra com maior qualidade de imagem e da adição de uma segunda câmara para registro de pequenas deformações e da rugosidade da superfície do pavimento, tendo-se alcançado uma melhoria nos resultados obtidos (Figura 2). Como trabalho futuro propõe-se a validação do sistema melhorado a uma escala maior.

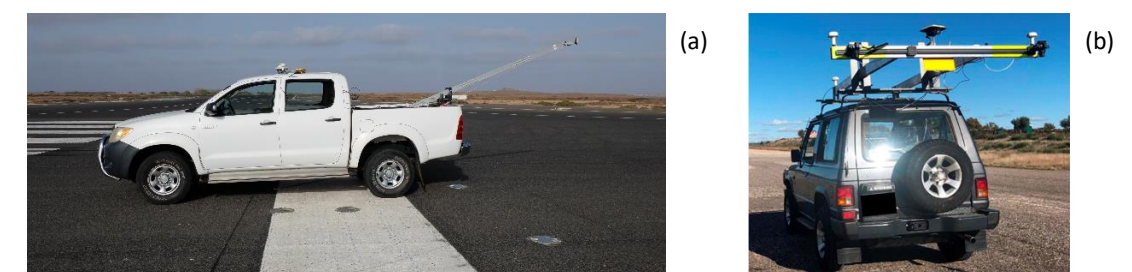


Figura 2. Veículo equipado com protótipo inicial (a) e melhorado (b).

### 5. REFERÊNCIAS

- [1] American Society for Testing and Materials, D5340-12, Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys, pp. 1-54, 2012.
- [2] Lima, D., Sistema de gestão de pavimentos aeroportuários para Cabo Verde, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2016.
- [3] Feitosa, I., Validação de um método indireto de auscultação de degradações para avaliação da qualidade de pavimentos aeroportuários, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2020.

## CONCEÇÃO DE REDES RODOVIÁRIAS EM ZONAS DE 30 KM/H

João Serra Ferreira<sup>1</sup>, Sandra Vieira Gomes<sup>2</sup>, Simona Fontul<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Civil. FCT/UNL. jms.ferreira@campus.fct.unl.pt

<sup>2</sup> Departamento de Transportes. LNEC. sandravieira@lnec.pt

<sup>3</sup> Departamento de Transportes. LNEC. simona@lnec.pt

**Palavras-chave:** Zona 30, Segurança Rodoviária, Arruamentos Urbanos, Sistema Seguro.

**Código da Área Temática – 07**

**Apresentação oral**

### INTRODUÇÃO

A conceção tradicional do ambiente rodoviário em zonas urbanas tem dado primazia ao espaço destinado ao tráfego automóvel, disponibilizando pouco espaço para os restantes utentes. A alteração do paradigma da mobilidade que vivemos atualmente tem invertido esta tendência, com uma crescente priorização de espaço para os utentes vulneráveis. A conceção deste espaço deve no entanto ser efetuada de forma a garantir a segurança, a atratividade e a funcionalidade do espaço urbano, permitindo a fruição confortável desse espaço por todos os utentes. Neste contexto, as Zonas 30 podem ser vistas como soluções eficazes para alcançar esses objectivos.

Neste resumo é apresentado o trabalho desenvolvido no âmbito de uma dissertação de mestrado sobre a conceção de redes rodoviárias em zonas de 30 km/h, no qual são apresentadas recomendações de soluções geométricas para estas áreas que assentam no conceito de estrada autoexplicativa e nos princípios do Sistema Seguro.

### DEFINIÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE ZONAS 30

O conceito de Zona 30 constitui uma solução de conceção de arruamentos urbanos que pode ser aplicado a uma rua ou conjunto de ruas de um espaço público delimitado, onde os veículos circulam à velocidade máxima de 30km/h. As entradas e saídas desta zona devem ser devidamente identificadas através de sinalização e medidas de engenharia e no interior todo o espaço é organizado, ao nível de desenho urbano, em função do limite máximo de velocidade permitida.

O dimensionamento de uma Zona 30 deve assentar no princípio geral da segregação do espaço destinado à circulação de veículos motorizados e não motorizados, do destinado à caminhada de peões.

As velocidades baixas praticadas numa Zona 30 são conseguidas através de [1]:

- Construção de medidas de engenharia que limitem fisicamente a aceleração;
- Sinalização vertical e horizontal que impõe velocidade máxima de circulação;
- Pressão social dos utentes mais vulneráveis (peões e ciclistas) das áreas urbanas.

São diversos os benefícios que as Zonas 30 aportam para o espaço urbano:

- Aumentam os níveis de segurança, uma vez que diminuindo o volume de tráfego e limitando a velocidade máxima a 30 km/h, resultará numa diminuição do número e da gravidade dos acidentes, dissuadindo ainda o tráfego de atravessamento;
- Requalificam o espaço urbano, planeando ruas atrativas e funcionais, incentivando os modos suaves de circulação e o convívio;
- Promovem a qualidade ambiental urbana, promovendo os modos suaves de circulação e diminuindo a primazia atribuída ao tráfego motorizado;
- Constituem um instrumento flexível, capaz de se adaptarem a diferentes contextos [2];
- Possibilidade de abranger áreas de diferentes dimensões e usos de solos;
- Aplicáveis na transformação de locais já existentes ou em fase de planeamento [3].

Embora a Zona 30 seja um conceito difundido por toda a Europa, com aplicações que remontam a algumas décadas em países como a Holanda, Inglaterra, França, Bélgica, Áustria, Espanha, Alemanha, entre outros, em Portugal o número de aplicações de Zonas 30 continua a ser muito reduzido. Ao nível nacional constata-se apenas que este conceito está previsto nos Planos de

Mobilidade de vários municípios e na recente revisão do Código da Estrada, com a introdução dos novos sinais G4a-Zona 30 km/h (na entrada) e G10-Fim de Zona 30 km/h (na saída) respeitantes a Zona 30 (ver Figura 1), não existindo ainda qualquer legislação específica sobre a aplicação do mesmo.



Figura 1 – Sinais de início e fim de Zona 30 (G4a e G10, respetivamente) [4]

No âmbito dos objectivos do trabalho desenvolvidos, inclui-se a contribuição para um melhor conhecimento do conceito e de quais as características do ambiente rodoviário que mais se adequam ao mesmo. Para tal, foi analisada a experiência em outros países onde este conceito de acalmia de tráfego tem vindo a ser implementado com grande sucesso, quer ao nível da redução da sinistralidade quer ao nível do aumento da qualidade de vida sentida por todos os utentes do espaço público.

Foi também elaborado um compêndio das medidas de engenharia mais adequadas para Zonas 30, tendo em conta o nível hierárquico da rede viária em que se inserem, designadamente:

- zonas de fronteira;
- alinhamentos verticais
  - Lombas, passagens para peões elevadas e plataformas elevadas, interseções elevadas e pré-avisos;
- alinhamentos horizontais
  - Gincanas, desalinhamento de interseções, estrangulamentos, rotundas, fecho total ou parcial de ruas ao trânsito e marcação e tratamentos do pavimento.

Foi efetuada uma aplicação prática a uma Zona 30 já implementada, como exemplo da potencial utilidade da compilação de soluções geométricas elaborada. Neste âmbito foram identificados vários problemas, tanto ao nível do excesso de velocidade, como da concentração de acidentes e da má conceção do ambiente rodoviário, que estiveram na base da escolha de soluções de conceção alternativas.

A eficácia deste tipo de soluções de conceção do ambiente rodoviário sustenta a recomendação de difusão do conceito em mais localidades a fim de reduzir sinistralidade que aí se observa. Para este efeito importa divulgar as boas práticas para a sua conceção, para o qual este estudo deu a sua contribuição.

### BIBLIOGRAFIA

- [1] Cardoso, J.L., Recomendações para definição e sinalização de limites de velocidade máxima, Lisboa, Prevenção Rodoviária Portuguesa, ISBN978-972-98080-4-3, 2010.
- [2] Silva, Ana Basto, et al., Manual de apoio à implementação de zonas 30, ANSR, 2019.
- [3] Silva, A.B e Seco, A., Zonas 30 e de Coexistência - Conceitos e Disposições Técnicas, Coimbra, 2016.
- [4] ANSR, Entrada em vigor de Novos Sinais de Trânsito, 2020.

**1º SIMPÓSIO ENGENHARIA CIVIL**  
**1º SIMPÓSIO ENGENHARIA CIVIL**  
**19.05.2021**

**AValiação do Comportamento de Misturas Betuminosas do Tipo Stone Mastic Asphalt, Incorporando Fibras Celulósicas Revestidas com Cera Poliolefínica**

Patrícia Salvador<sup>1</sup>, Luís Quaresma<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Faculdade de Engenharia, Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias

<sup>1</sup>patricia.o.salvador@hotmail.com, <sup>2</sup>lp648@ulusofona.pt

**Palavras-chave:** Stone Mastic Asphalt (SMA); fibras celulósicas; cera poliolefínica; desempenho.

**07. Infraestruturas de transportes (rodovia, ferrovia, portos e aeroportos)**

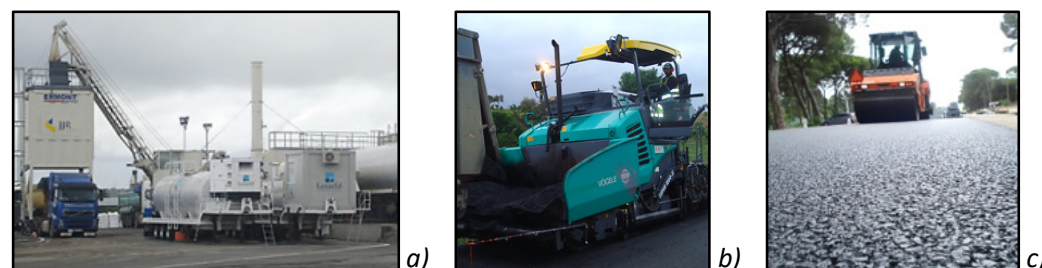
**Apresentação oral**

## 1. INTRODUÇÃO

As misturas betuminosas do tipo *Stone Mastic Asphalt* têm sido uma aposta crescente na pavimentação em Portugal, por proporcionarem ao pavimento uma maior durabilidade e um menor custo no ciclo de vida. Estas misturas apresentam uma composição de agregados de granulometria descontínua, com uma percentagem de betume relativamente elevada e com incorporação de aditivos estabilizadores, para mitigar o fenómeno do escorrimento do betume. Em Portugal, o Caderno de Encargos da Infraestruturas de Portugal apenas prevê a utilização de um tipo de estabilizador, as fibras de celulose revestidas com betume. Assim, com o objetivo de estudar e avaliar o comportamento de misturas betuminosas do tipo SMA incorporando fibras revestidas com cera poliolefínica, conduziu-se um estudo experimental com o intuito de analisar comparativamente os resultados obtidos com este material face aos resultados conhecidos para as misturas betuminosas do tipo SMA incorporando fibras celulósicas revestidas com betume. Este trabalho foi desenvolvido ao abrigo de um contrato com a empresa Ravago Chemicals, fornecedor das fibras celulósicas revestidas com cera, no âmbito de um protocolo de cooperação entre a Universidade Lusófona e a Infraestruturas de Portugal.

## 2. FORMULAÇÃO DAS MISTURAS SMA E PROCESSO CONSTRUTIVO

Numa fase inicial, a formulação da mistura SMA compreendeu a seleção e caracterização dos agregados e a definição da curva granulométrica. Posteriormente, com recurso ao método de formulação Marshall, determinou-se a percentagem “ótima” de betume a incorporar na mistura e, consequentemente, a quantidade de fibras celulósicas. Uma vez definida a fórmula de trabalho, procedeu-se à sua transposição para a central de fabrico, seguida da realização dos trechos experimentais, definindo-se a composição ponderal das misturas SMA a aplicar em obra [1]: 61,6% de brita 6/12mm, de natureza tipo gabro; 16,0% de pó 0/6mm, de natureza granítica; 8,5% de pó de pedra 0/4mm, de natureza calcária; 7,9% de filler comercial de natureza calcária; 6,0% de betume modificado com polímeros PMB45/80-65 e 0,35% de fibras celulósicas. Importa referir que, a totalidade da camada de desgaste aplicada na empreitada de beneficiação onde se insere este estudo foi realizada com mistura betuminosa SMA com incorporação de fibras celulósicas revestidas com betume, à exceção de um trecho com cerca de 350 m, que foi realizado com mistura betuminosa SMA com incorporação de fibras celulósicas revestidas com cera poliolefínica.



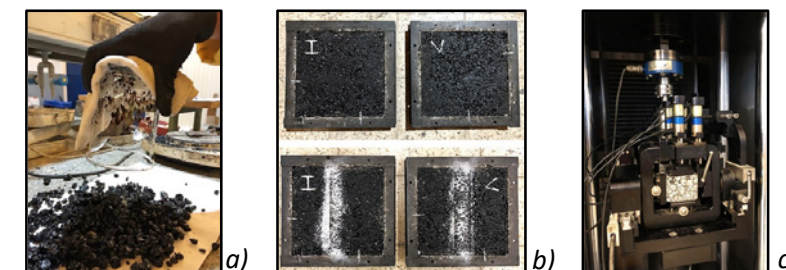
**Figura 1.** a) Central de fabrico b) pavimentadora e c) cilindro de rasto liso [1].

As misturas SMA estudadas apresentaram processos idênticos de formulação, a mesma composição ponderal e, comportamentos iguais nas fases de produção, transporte, espalhamento e compactação.

Aviação do Comportamento de Misturas Betuminosas do Tipo *Stone Mastic Asphalt*, Incorporando Fibras Celulósicas Revestidas com Cera Poliolefínica

## 3. AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES E DO DESEMPENHO DAS MISTURAS SMA

Para avaliação das propriedades das misturas SMA foram realizados ensaios de campo, tais como, macrotextura, pela técnica volumétrica da mancha de areia e microtextura, com recurso ao Pêndulo Britânico, e ensaios de laboratório, para avaliação do desempenho das misturas, particularmente, ensaio de *Schellenberg* para avaliação do escorrimento do ligante, ensaio de resistência à deformação permanente e ensaio de módulo de rigidez e resistência à fadiga, conforme se ilustra na Figura 2. Por fim, realizaram-se ensaios no âmbito da caracterização final do pavimento, entre eles, macrotextura, com recurso ao equipamento texturómetro laser e medição do coeficiente de atrito, com recurso ao equipamento SCRIM. Os resultados obtidos nos ensaios descritos são os apresentados na Tabela 1.



**Figura 2.** a) Ensaio de *Schellenberg*, b) lajetas de ensaio de deformação permanente e c) ensaio para avaliação do módulo de rigidez e resistência à fadiga [1].

**Tabela 1.** Valores médios obtidos nos ensaios realizados às misturas SMA em estudo [1].

|                                                        |                                                       | SMA com fibras revestidas com betume | SMA com fibras revestidas com cera poliolefínica |
|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Macrotextura pontual                                   | Textura, MTD (mm)                                     | 1,3                                  | 1,4                                              |
| Microtextura pontual                                   | PTV                                                   | 67                                   | 68                                               |
| Escorrimento do ligante                                | Material escorrido (%) para 0,30% fibras incorporadas | 0,18                                 | 0,23                                             |
| Resistência à deformação permanente (60°C)             | RD <sub>AIR</sub> (mm)                                | 1,31                                 | 1,48                                             |
|                                                        | WTS <sub>AIR</sub> (mm/10 <sup>3</sup> ciclos)        | 0,04                                 | 0,06                                             |
|                                                        | PRD <sub>AIR</sub> (%)                                | 2,61                                 | 2,96                                             |
| Módulo de rigidez e resistência à fadiga (20°C e 10Hz) | Módulo de rigidez, E (MPa)                            | 11707                                | 11885                                            |
|                                                        | Ângulo de Fase, δ (°)                                 | 22                                   | 22                                               |
|                                                        | E <sub>6</sub> (µm)                                   | 294                                  | 273                                              |
| Macrotextura contínuo                                  | Prof. textura, MPD (mm)                               | 1,2                                  | 1,1                                              |
| Medição atrito (SCRIM)                                 | Coef. atrito transversal, CAT                         | 0,49                                 | 0,51                                             |

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho desenvolvido possibilitou a apresentação das misturas betuminosas do tipo SMA com incorporação de fibras celulósicas revestidas com cera poliolefínica, permitindo concluir que, independentemente do tipo de revestimento das fibras celulósicas incorporadas nas misturas SMA, os procedimentos construtivos são idênticos, bem como são semelhantes os resultados das diversas propriedades avaliadas. Desta forma, foi possível qualificar as fibras celulósicas revestidas com cera poliolefínica como alternativa à utilização de fibras celulósicas revestidas com betume, tendo-se submetido uma proposta de alteração das Cláusulas Técnicas Especiais do C.E. atualmente utilizado pela Infraestruturas de Portugal, no sentido de se prever a utilização futura destas fibras.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Salvador, P. *Aviação do Comportamento de Misturas Betuminosas do Tipo Stone Mastic Asphalt, Incorporando Fibras Celulósicas Revestidas com Cera Poliolefínica*. Dissertação de Mestrado. Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, Lisboa, 2020.

## AVALIAÇÃO DE INFRAESTRUTURAS DE MOBILIDADE EM AMBIENTES URBANOS

Carlos Henrique de Brito Lima<sup>1</sup>, Manuel Joaquim da Costa Minhoto<sup>2</sup>, Jorge Ferreira Vaz<sup>3</sup>, Fernando Dácio de Almeida<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Instituto Politécnico de Bragança e Centro Universitário Christus (Dupla Diplomação).  
a42908@alunos.ipb.pt

<sup>2</sup> Instituto Politécnico de Bragança. minhoto@ipb.pt

<sup>3</sup> Instituto Politécnico de Bragança. jfv@ipb.pt

<sup>4</sup> Centro Universitário Christus. fernando.almeida@unichristus.edu.br

**Palavras-chave:** Aplicação computacional, Infraestruturas de mobilidade, Pavimentos flexíveis, Avaliação da qualidade.

07

Apresentação oral

### 1. RESUMO

As infraestruturas de mobilidade, que para este estudo são representadas pela rede viária urbana, rede pedonal e rede ciclável ou, em outras palavras, pavimentos rodoviários flexíveis, infraestruturas pedonais e infraestruturas cicláveis, vão se desgastando ao longo da sua vida útil, com a ação dos agentes ambientais e do tráfego, até atingir um patamar de degradação inaceitável, caso não sejam feitas manutenções e reparações atempadamente.

Assim, o objetivo principal do trabalho é contribuir para agilizar o processo entre a coleta de dados e a avaliação do estado de degradação da via, referente ao cálculo dos métodos abordados para as infraestruturas, através do desenvolvimento de uma aplicação computacional escrita em Visual Basic com utilização do Visual Studio Community 2019 da Microsoft. Desta forma, pode-se ter uma ideia de quando estas infraestruturas necessitarão de novas intervenções de conservação e reabilitação ou se elas estão adequadas para uso.

Nesse contexto, depois de se estabelecer as patologias e fatores a avaliar, os critérios de observação e os modelos de avaliação e classificação, realizaram-se observações visuais de um trecho de estrada urbana para comprovar a utilidade e adequabilidade da aplicação desenvolvida, efetuando comparações entre dois trechos (com 2 subtrechos cada). Com esta comparação, observaram-se diferentes níveis de qualidade que condizem com o detectado visualmente, permitindo concluir acerca da utilidade e adequabilidade da referida aplicação.

### 2. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS INFRAESTRUTURAS

Codificando os métodos avaliativos em Visual Basic gerou-se a aplicação computacional da Figura 1, que busca avaliar a qualidade referente à rede viária urbana, à rede pedonal e à rede ciclável.

Figura 1. Aplicação computacional para a rede viária urbana e para a rede ciclável. Adaptado de [1].

Para à rede viária urbana optou-se pela Equação 1, referente ao Índice de Qualidade [2], que se relaciona com a medição sendo executada visualmente (dividindo o IRI, International Roughness Index, pela metade e aumentando o peso que as características de superfície possuem).

$$IQ = 5 \times e^{-0,0002598 \times \frac{IRI}{2}} - 0,002139 \times R^2 - 0,1 \times (C + S + P)^{0,5} \quad (1)$$

**Equação 1.** Índice de Qualidade para medições visuais em loco.

Já para a rede pedonal [3] e a rede ciclável [4] foram utilizados os métodos de DIXON, que através de tabelas definem pontuações para características específicas dos trechos auscultados, esses valores são somados e nos retornam um Nível de Serviço para cada trecho.

### 3. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso teve como premissa a validação da utilização da aplicação desenvolvida em casos reais. Portanto, escolheram-se 2 trechos de via na cidade de Bragança (Portugal) para que se colocasse a aplicação a teste.

Nesse contexto, dividiram-se os 2 trechos em 4 subtrechos para que fosse perceptível a diferença da qualidade entre trechos e entre subtrechos, possibilitando maior margem para averiguar a adequabilidade da aplicação, referente aos pavimentos flexíveis, as estruturas pedonais e as estruturas cicláveis.

Sendo assim, representa-se na Figura 2 os valores retornados para os subtrechos auscultados dos pavimentos flexíveis.

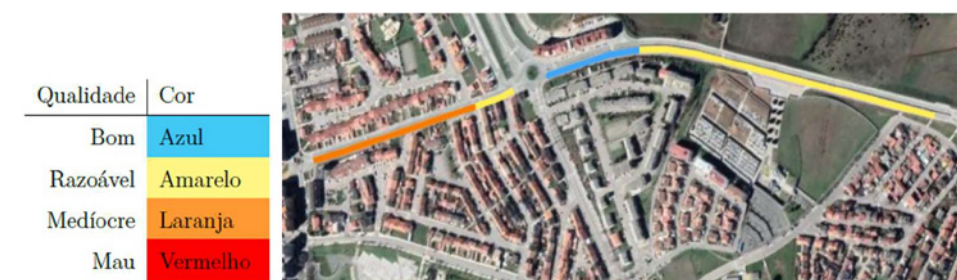


Figura 2. Avaliação da qualidade dos subtrechos dos trechos 1 e 2 da rede viária urbana [1].

### 4. CONCLUSÕES

No contexto de tudo que foi dito ao longo deste resumo, retratou-se a participação da avaliação da qualidade no âmbito da gestão rodoviária urbana, criou-se um manual de auscultação para a definição das degradações abordadas, produziu-se um guião de inspeção para orientar como devem ser realizadas as medições em campo, desenvolveu-se uma aplicação com a capacidade de avaliar o estado de conservação das redes viárias (pavimentos flexíveis), redes pedonais e redes cicláveis, em ambiente urbano, e testou-se a mesma em campo, para comprovar sua capacidade de avaliar trechos qualitativamente.

Dessa forma, desenvolveu-se uma aplicação com intuito de auxiliar a gestão rodoviária urbana na agilização do processo de avaliação da qualidade de trechos de vias urbanas, com enfoque em adiantar a chegada ao resultado final, que informa se a via está ou não com qualidade suficiente para funcionar sem manutenções e reparos, ou se está melhor ou pior em relação a outro trecho analisado, tendo-se concluído que a mesma é adequada para avaliação qualitativa de pavimentos rodoviários.

### 4. REFERÊNCIAS

- [1] C. H. de Brito Lima, Avaliação de Infraestruturas de mobilidade em ambientes urbanos, Dissertação de Mestrado, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança. 2020.
- [2] A. S. F. de Sousa Luz, Contribuição para a modelação do índice de qualidade na caracterização da rede rodoviária nacional, Dissertação de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa. 2011.
- [3] F. de Oliveira Aguiar, Análise de métodos para avaliação da qualidade de calçadas, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 2003.
- [4] F. B. Monteiro e V. B. G. Campos, Métodos de avaliação da qualidade dos espaços para ciclistas, Artigo Científico, Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Belo Horizonte. 2011.

## SIMULAÇÃO DO GALGAMENTO EM QUEBRA-MARES UTILIZANDO O MODELO NUMÉRICO SWASH

<sup>1</sup>João R. Gomes, <sup>2</sup>João A. Santos

<sup>1</sup>ISEL – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa. a35075@alunos.isel.pt

<sup>2</sup>ISEL – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa. jasantos@dec.isel.ipl.pt

**Palavras-chave:** SWASH, galgamentos, quebra-mar, modelo numérico.

**Código da Área Temática:** 07. Infraestruturas de transportes (rodovia, ferrovia, portos e aeroportos)

**Apresentação oral**

### 1. INTRODUÇÃO

O galgamento é a quantidade de lâmina de água, que passa por cima da cota e largura do coroamento de uma estrutura marítima proveniente de um espreadimento de uma onda e atinge a zona abrigada por essa estrutura marítima.

Este trabalho enquadra-se no projeto TO-Sealert cujo objetivo é desenvolver, implementar e validar ferramentas de previsão de galgamentos e delimitação da zona inundada. Neste âmbito pretende-se aplicar ferramentas numéricas capazes de simular e prever galgamentos no quebra-mar norte do porto de Peniche.

O objetivo último deste trabalho é aplicar um modelo numérico para simular galgamentos naquele quebra-mar. Pretende-se identificar as ondas capazes de causar galgamentos e estimar os caudais individuais associados a esses galgamentos.

### 2. MODELO NUMÉRICO

Neste trabalho utilizou-se o modelo numérico SWASH apresentado em [1]. Trata-se de uma ferramenta capaz de simular a propagação da agitação marítima ao longo de uma zona costeira qualquer, bem como a interação da agitação marítima com estruturas impermeáveis ou porosas, permitindo a caracterização da agitação marítima naquela zona e a avaliação do galgamento em estruturas marítimas.

Para confirmar a bondade das previsões das ferramentas numéricas é usual comparar os resultados das mesmas com medições realizadas em ensaios em modelo físico reduzido, nos quais as características da agitação marítima incidente são facilmente controladas. Num dos canais de ondas irregulares do LNEC realizaram-se ensaios reproduzindo um trecho do quebra-mar do porto da Ericeira [2]. Assim na validação da implementação do modelo SWASH comparar-se-á os resultados do mesmo na simulação da propagação de agitação marítima na geometria testada em modelo físico com as medições realizadas no referido modelo físico.

#### 2.1 Implementação do modelo

Na modelação, com o SWASH, da geometria do fundo implementada no modelo físico considerou-se uma discretização espacial de 0,01 m do domínio de cálculo cujo comprimento era 50 m. Do batedor, que corresponde à fronteira de entrada naquele domínio, até a aresta mais interior da superestrutura existe uma distância de 33,83 m. O espaço restante no domínio de cálculo foi utilizado para implementar um reservatório que recolhia o volume de água que ultrapassava aquela aresta, isto é o volume de água galgado.

No primeiro teste numérico considerou-se que o talude do quebra-mar era impermeável. Foram colocadas “sondas numéricas” para medir a elevação da superfície livre nas posições correspondentes às sondas B1, B2, S1 a S5 da Figura 1. Além disso, na aresta mais interior da

superestrutura foi colocada uma “sonda numérica” para medir o caudal que atravessa o plano vertical correspondente, isto é o caudal galgado instantaneamente.

Na fronteira “oeste”, a fronteira de entrada do domínio de cálculo, foi imposta a série temporal de elevação da superfície livre utilizada como objetivo do sistema de controlo do batedor do canal de ondas do LNEC. Testou-se a situação correspondente a um estado de agitação com  $H_s=0,16$  m e  $T_p=1,70$  s e um nível de maré que produzia uma profundidade máxima no canal de 0,58 m. Uma primeira verificação da coerência dos resultados fornecidos pelo SWASH consistiu em comparar a integral do caudal galgado ao longo de toda a duração da simulação numérica ( $7,25 \times 10^{-2}$  m<sup>3</sup>) com o volume armazenado no reservatório no final da simulação ( $7,20 \times 10^{-2}$  m<sup>3</sup>). Embora estes valores sejam coerentes entre si, se se levar em conta que a largura do descarregador no modelo físico era 0,80 m, o quociente do volume de água no reservatório de galgamento ( $1,39 \times 10^{-2}$  m<sup>3</sup>), no final do ensaio com o modelo físico, por aquela largura dá um valor muito diferente dos anteriores ( $1,74 \times 10^{-2}$  m<sup>3</sup>). Tal pode dever-se à simulação do manto poroso como uma superfície impermeável. Assim, o próximo passo consistirá em colocar em cima do núcleo impermeável uma camada porosa para simular o manto no domínio de cálculo. Já foi identificado em testes anteriores com o SWASH, referenciado em [3], problemas com a simulação da interação da agitação marítima com quebra-mares de taludes, isto é, estruturas com um núcleo quase impermeável sobre o qual assenta uma camada porosa. Em [4] é proposta uma abordagem para evitar esses problemas e que consiste num ajuste do coeficiente de rugosidade a partir de um formula empírica. Pretende-se agora averiguar se aquela abordagem ajustada para um manto de Acropodes é aplicável a um manto de tetrápodes como o existente na Ericeira e em Peniche.

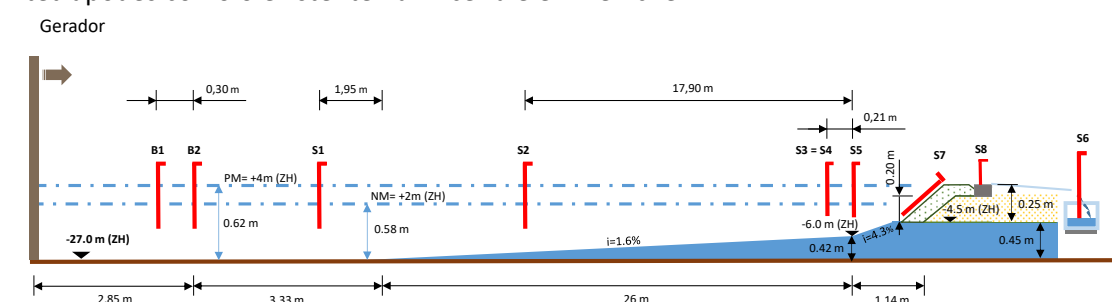


Figura 1. Esquema do modelo físico e do equipamento de medição no canal.

### 3. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado no âmbito dos projetos To-SEAlert – Galgamento e inundação em zonas costeiras e portuárias: Ferramentas para um sistema de previsão e alerta, planeamento de emergência e de gestão do risco, ref. PTDC/EAM-OCE/31207/2017 e BSafe4Sea - Controlo da Segurança de Quebra-mares através da Análise de um Sistema de Previsão e Apoio à Decisão, ref. PTDC/ECI-EGC/31090/2017, ambos financiados pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia.

### 4. REFERÊNCIAS

- [1] Zijlema, M., Stelling, G., Smit, P. SWASH: An operational public domain code for simulating wave fields and rapidly varied flows in coastal waters, Coast Eng., 58, 992-1012, 2011
- [2] Santos J., Lemos R., Fortes C., Neves M., Pinheiro L., Pinto M., Sanches C., Gueifão J., Zózimo A., Modelação Física da Resposta à Agitação Incidente de um Trecho do Quebra-mar do Porto da Ericeira, 15º Congresso da Água, 2021.
- [3] Martinés Pés, V. Applicability and Limitations of the SWASH Model to Predict Wave Overtopping. Master's Thesis, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, Spain, Delft University of Technology, Delft The Netherlands, July 2014.
- [4] Zhang, N., Zhang, Q., Wang K., Zou G., Jiang X., Yang A., Li Y., Numerical Simulation of Wave Overtopping on Breakwater with an Armor Layer of Accropode Using SWASH Model, Water, 12, 386, 2020.

## ANÁLISE ESTATÍSTICA DE ACIDENTES FERROVIÁRIOS

Nuno Tomaz<sup>1</sup>, Cristina Reis<sup>1</sup>, José Correia<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal. n.j.a.tomaz@gmail.com;  
crisreis@utad.pt

<sup>2</sup> Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal. jacorreia@inegi.up.pt

**Palavras-chave:** Acidentes ferroviários; Sistema ferroviário; Ferrovia; Comboio

**Código da Área Temática 07**

**Poster**

**1. INTRODUÇÃO** – O transporte ferroviário é um dos principais dinamizadores e impulsionadores económicos e de agregação do território [1]. Estatisticamente, é considerado o meio de transporte mais seguro de todos, porém, não está isento de riscos – existe um elevado risco de probabilidade de ocorrência de um processo/ação perigosa, que resulta em consequências sobre pessoas, bens materiais, ambiente ou sobre a logística e funcionalidade das vias de locomoção [2, 3]. Desse modo, torna-se pertinente investigar os motivos que levam à ocorrência de um acidente, determinando todas as suas causas, diretas e indiretas, com vista à identificação de medidas preventivas e corretivas. O intuito passa por caracterizar e estabelecer um padrão de ocorrências de acidentes em Portugal, de forma a retirar a aprendizagem necessária para a eficácia dos planos de segurança na prevenção e redução do número de acidentes em Portugal.

**2. OBJETIVOS** – Recolher e agrupar os dados significativos de acidentes ferroviários que ocorreram em Portugal entre 2006 e 2018, para que seja possível a realização de uma análise onde se identifiquem as principais tendências, relações e dependências entre as características dos vários acidentes. Deste modo, será possível estabelecer um cenário geral e um padrão na ocorrência de acidentes ferroviários em Portugal, para que seja possível identificar precauções e propor medidas de recomendação, com o intuito de:

- Diminuir a ocorrência de acidentes;
- Diminuir a gravidade e impactos dos acidentes;
- Melhorar as condições e processos de auxílio.

**3. METODOLOGIA** – De modo a alcançar os objetivos propostos – caracterização de ocorrências e/ou acidentes ferroviários em Portugal – será compilada uma base de dados das características dos mesmos, através da consulta dos Relatórios Anuais de Segurança Ferroviária (RASf), disponibilizados e elaborados pelo Instituto da Mobilidade e dos Transportes (IMT). A base de dados será analisada com recurso ao software SPSS, de forma a ser possível estabelecer relações entre as variáveis (características) em estudo. O período de análise definido foi de 2006 a 2018, de acordo com os RASf disponibilizados pelo IMT. Contudo, visto que a estrutura e informação dos mesmos foi alterada em 2010, duas análises distintas foram realizadas:

1. Levantamento simplificado dos acidentes entre 2006 e 2009;
  - 298 acidentes
2. Caracterização detalhada entre 2010 e 2018 (SPSS);
  - 331 acidentes
    - I. Análise univariada
    - II. Análise bivariada
      - a. Teste do Qui-Quadrado
      - b. Análise multivariada

**4. CONCLUSÕES** – Os resultados das análises mostram um maior número de ocorrências no

Inverno, frequentemente durante a manhã ou a tarde. A larga maioria envolve pessoas e metade provoca vítimas mortais. Os acidentes mais típicos são com pessoas causado por material circulante em movimento e em passagens de nível. A Linha do Norte regista o maior número de acidentes.

O teste do Qui-Quadrado permitiu analisar a dependência entre variáveis em estudo, cujo resultado se apresenta na Tabela 1.

É possível constatar que existe uma relação entre todas estas variáveis: trimestre do ano, gravidade do acidente, classificação do acidente e tipo de plano de emergência. De uma forma sintética, a grande maioria dos acidentes ferroviários, em todos os períodos do dia dividido, correspondem a ocorrências mortais que envolvem pessoas.

**Tabela 1.** Quadro resumo da análise bivariada

| Variáveis dependentes   |                                  |
|-------------------------|----------------------------------|
| Trimestre do ano        | Gravidade do acidente.           |
| Trimestre do ano        | Classificação do acidente        |
| Trimestre do ano        | Categoria do Plano de Emergência |
| Período do Dia Dividido | Gravidade do acidente            |
| Período do Dia Dividido | Acidente Com/Sem Pessoas         |
| Gravidade do acidente   | Classificação do acidente        |
| Gravidade do acidente   | Categoria do Plano de Emergência |
| Gravidade do acidente   | Acidente Com/Sem Pessoas         |

## REFERÊNCIAS

- [1] GPIAAF, “Gabinete de prevenção e investigação de acidentes ferroviários.” [Online]. Available: <http://www.gisaf.gov.pt/>.
- [2] G. de P. e I. de A. com A. e de A. Ferroviários, “GPIAAF - Transporte ferroviário.” [Online]. Available: <http://www.gisaf.gov.pt/?lnk=83b4d608-408d-41b6-96eb-4a1ddae3244f>. [Accessed: 10-May-2020].
- [3] J. L. Zhou and Y. Lei, “Paths between latent and active errors: Analysis of 407 railway accidents/incidents’ causes in China,” *Saf. Sci.*, vol. 110, pp. 47–58, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.ssci.2017.12.027.

## INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO DOS REVESTIMENTOS SUPERFICIAIS NO SEU DESEMPENHO

Leonel Silva<sup>1</sup>, Hugo Silva<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Civil. Universidade do Minho. leonelvalerio@hotmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Civil. Universidade do Minho. hugo@civil.uminho.pt

**Palavras-chave:** Revestimentos superficiais, emulsões asfálticas, características superficiais, reabilitação de pavimentos.

07

Apresentação oral

### 1. INTRODUÇÃO E OBJETIVO

As infraestruturas de transporte têm apresentado uma grande evolução de qualidade devido ao aumento das exigências tanto ao nível do seu dimensionamento como da sua utilização. Como resposta a essas exigências, foi necessário desenvolver novas técnicas de reabilitação funcional de pavimentos, que devem ser sustentáveis, de baixo custo e duráveis.

Os revestimentos superficiais são uma solução construtiva que teve uma enorme evolução ao longo dos últimos anos e que pode responder a essas necessidades, sendo uma alternativa ideal para estradas de baixo e médio volume de tráfego e para a reabilitação de pavimentos [1-2]. Estes revestimentos devem proporcionar uma camada superficial de pequena espessura, porém de alta resistência ao desgaste, impermeabilizar o pavimento, proteger a infraestrutura de transporte e proporcionar um pavimento com revestimento antiderrapante em estradas com reduzidos valores de atrito [3-4].

O objetivo deste trabalho foi estudar diferentes revestimentos superficiais, de modo a compreender de que forma o seu desempenho é influenciado pelo tipo de ligante, pela solução de revestimento utilizada (por exemplo, simples ou dupla) e pela aplicação por aspersão de uma solução diluída de emulsão sobre a camada de agregados.

### 2. METODOLOGIA DE ESTUDO

Neste trabalho foram avaliados e comparados doze revestimentos (seis simples e seis duplos) com e sem banho diluído. Estes foram compostos por agregados graníticos britados e por três ligantes diferentes (emulsões betuminosas simples ou modificada e um betume mole a quente). Os revestimentos superficiais foram aplicados sobre uma lajeta de betão para avaliar a possibilidade de usar esta solução na reabilitação de pavimentos rígidos.

Para avaliar as características funcionais dos revestimentos, neste estudo foram realizados ensaios de atrito com pêndulo britânico, e ensaios para medição da textura pelo método da mancha de areia ou pela medição da profundidade média do perfil (MPD ou *Mean Profile Depth*) com um equipamento laser. Em seguida, para avaliar o comportamento mecânico dos mesmos revestimentos foram realizados ensaios *pull-off* e Vialit. Finalmente, os revestimentos foram submetidos a desgaste com um equipamento de abrasão com rodas em tamanho real, um protótipo desenvolvido na Universidade do Minho (Figura 1), e a desagregação foi calculada pela perda de massa e pela alteração nos resultados de pêndulo e MPD antes e após o procedimento.

### 3. RESULTADOS E CONCLUSÃO

Ao analisar os resultados do trabalho desenvolvido foi possível concluir que os revestimentos superficiais estudados têm potencial para utilização na reabilitação de pavimentos rígidos. De uma

maneira geral, que os revestimentos duplos com banho diluído foram a melhor solução. Ademais, o uso do betume a quente proporcionou os melhores revestimentos, mas a sua aplicação deve ser atendida com relação à temperatura. Das duas emulsões estudadas, a emulsão modificada apresentou melhores resultados nos ensaios Vialit e de desgaste.

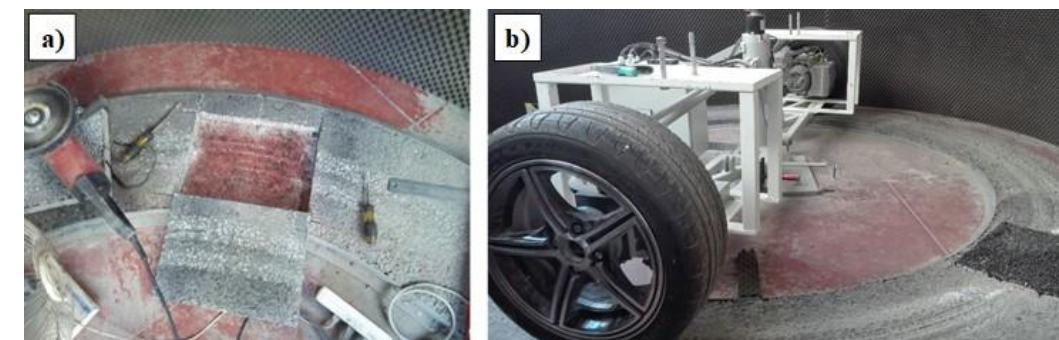


Figura 1: equipamento de abrasão da Universidade do Minho

Um ano depois de concluir o trabalho de investigação apresentado na Universidade do Minho, surgiu a oportunidade de realizar uma obra na qual se optou com sucesso por aplicar um revestimento superficial duplo com banho diluído em algumas avenidas da cidade de Venturosa – PE, Brasil (Figura 2). Além disso, essa dissertação deu origem a um artigo científico publicado na revista *Construction and Building Materials* [5].

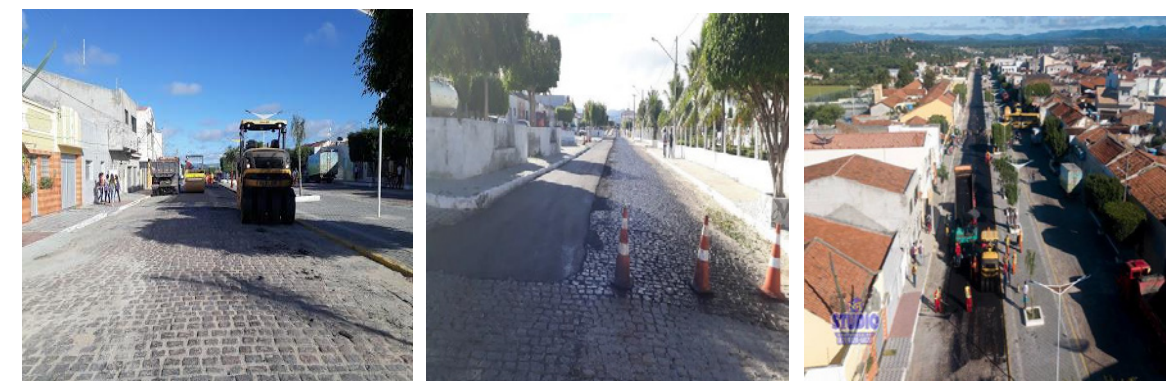


Figura 2: Aplicação revestimento superficial

### 4. REFERÊNCIAS

- [1] Epps, J.A. Innovative Asphalt Pavement Technology: Paving the Way for the World's Roadways, *Transp. Res. Rec.* Vol. 2673, pp. 1-16, 2005.
- [2] Dhakal, N., Elseifi, M.A., Zhang, Z. Mitigation strategies for reflection cracking in rehabilitated pavements – A synthesis, *Int. J. Pavement Res. Technol.*, Vol. 9, pp. 228–39, 2016.
- [3] Karasahin, M., Aktas, B., Gungor, A.G., Orhan, F., Gurer, C. Laboratory and In Situ Investigation of Chip Seal Surface Condition Improvement, *J. Perform. Constr. Facil.*, Vol. 29, 2015.
- [4] Buss, A., Guirgui, M., Gransberg, D. Chip seal aggregate evaluation and successful roads preservation, *Constr. Build. Mater.* Vol. 180, pp. 396–404, 2018.
- [5] Rocha Segundo, I., Silva, L., Palha, C., Freitas, E., Silva, H.M.R.D. Surface rehabilitation of Portland cement concrete (PCC) pavements using single or double surface dressings with soft bitumen, conventional or modified emulsions. *Construction and Building Materials*, Vol 281, 2021.

TEMA 08

# INFRAESTRUTURAS HIDRÁULICAS

## CARATERIZAÇÃO DA AGITAÇÃO MARÍTIMA NAS PROXIMIDADES DO QUEBRA-MAR NORTE DO PORTO DE PENICHE

A. Gomes<sup>1</sup>, P. Coelho<sup>2</sup>, J. A. Santos<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ISEL - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa. a41777@alunos.isel.pt

<sup>2</sup> ISEL - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa. a32799@alunos.isel.pt

<sup>3</sup> ISEL - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa. jasantos@dec.isel.ipl.pt

**Palavras-chave:** agitação marítima, GEV, porto de Peniche, SWAN.

Infraestruturas hidráulicas

Apresentação oral

### 1. INTRODUÇÃO

A natureza extremamente estocástica dos impactos das ondas nas estruturas de proteção contra a agitação marítima exige que as estatísticas dos estados marítimos nas suas proximidades sejam estabelecidas com precisão. A agitação marítima constitui o dado de base para a análise do desempenho do manto protetor e das respostas hidráulicas, nomeadamente, o galgamento e o espraçamento, em quebra-mares. A agitação marítima nas proximidades do porto de pesca de Peniche tem causado alterações não desprezáveis ao nível do talude exterior do quebra-mar norte e algumas ocorrências de galgamento do mesmo. Neste trabalho fez-se a caracterização da agitação marítima nas proximidades do quebra-mar norte de Peniche através da aplicação do modelo SWAN e a determinação das condições extremas de agitação marítima através do ajuste da função de distribuição de probabilidade Generalizada de Valores Extremos (GEV).

### 2. CARATERIZAÇÃO DA AGITAÇÃO MARÍTIMA

#### 2.1 Agitação Marítima ao Largo

A agitação marítima ao largo foi obtida com recurso a valores estimados com um modelo de reconstituição (*hindcast*), nomeadamente os disponibilizados no *Climate Data Store* [1], que fornece estimativas de parâmetros de agitação marítima de toda a costa europeia. Para obter os valores estimados na área/região em estudo, foi utilizado o *Climate Data Store Application Program Interface* (CDS API). O CDS API é um serviço baseado na linguagem de programação Python (2.7.x e 3), que permite o acesso às estimativas do CDS de uma determinada região. Os valores estimados da agitação marítima ao largo do porto de Peniche foram recolhidos cerca de 20 a 30 km do porto, no ponto de latitude 38.61 e longitude -9.36, com um código em Python. Foram extraídas as estimativas das alturas significativas das ondas ( $H_s$ ), respetivos períodos médios e de pico ( $T_m$  e  $T_p$ ) e direção (Dir), no período entre 1990 e 2009, de 3 em 3 horas.

#### 2.2 Aplicação do Modelo SWAN

O modelo SWAN [2] permitiu propagar a agitação marítima desde o largo até as proximidades do quebra-mar norte de Peniche. As simulações foram feitas em modo estacionário e a zona em estudo foi descrita com coordenadas cartesianas. O domínio de cálculo consistiu em três malhas regulares (retangulares e uniformes) encaixadas, que fazem um ângulo de 0° com os paralelos na zona de Peniche. A batimetria da zona em estudo foi obtida a partir de dados disponibilizados no portal EMODnet-Bathymetry [3] que fornece um serviço de visualização e download de um Modelo Digital do Terreno (MDT) em coordenadas geográficas/esféricas (latitude e longitude). A conversão das coordenadas esféricas em coordenadas cartesianas foi feita com um código Python. O regime de marés no porto de Peniche foi obtido a partir do pacote XTide no mesmo período que a agitação marítima. A

definição das condições de fronteira para o caso em estudo resume-se aos parâmetros de agitação marítima que se atribuí às fronteiras norte, oeste e sul do domínio de cálculo. Foi utilizado o espectro de JONSWAP para representar o espectro real das ondas e os parâmetros da agitação marítima e os níveis de maré foram fornecidos ao modelo por um ficheiro *batch* do Windows que copia os ficheiros de entrada tipo “.swn” (gerados com um código em VBA) e executa o SWAN para cada ano, desde 1990 até 2009, de 3 em 3 horas. Foram definidos três pontos, P1, P2, P3 na terceira malha encaixada, para extrair os resultados do SWAN. Na Tabela 1 apresentam-se os valores máximos anuais da  $H_s$ , do  $T_{m01}$  e da Dir, obtidos no ponto P1 no período considerado.

**Tabela 1.** Valores máximos anuais dos parâmetros de agitação marítima obtidos pelo SWAN no ponto P1.

| Ano  | $H_s$ (m) | $T_{m01}$ (s) | Dir (°) | Ano  | $H_s$ (m) | $T_{m01}$ (s) | Dir (°) |
|------|-----------|---------------|---------|------|-----------|---------------|---------|
| 1990 | 5.25      | 14.80         | 261     | 2000 | 6.11      | 15.57         | 260     |
| 1991 | 4.74      | 13.89         | 256     | 2001 | 6.45      | 11.12         | 236     |
| 1992 | 4.94      | 15.71         | 253     | 2002 | 4.79      | 14.50         | 276     |
| 1993 | 4.38      | 13.02         | 266     | 2003 | 4.69      | 13.68         | 297     |
| 1994 | 5.96      | 14.52         | 262     | 2004 | 5.75      | 13.84         | 307     |
| 1995 | 4.29      | 16.22         | 261     | 2005 | 4.53      | 11.85         | 323     |
| 1996 | 7.15      | 14.67         | 246     | 2006 | 4.95      | 11.55         | 295     |
| 1997 | 4.79      | 10.14         | 239     | 2007 | 4.82      | 9.52          | 246     |
| 1998 | 7.05      | 10.99         | 245     | 2008 | 5.22      | 12.07         | 292     |
| 1999 | 6.12      | 15.51         | 261     | 2009 | 5.40      | 13.80         | 315     |

### 2.3 Condições Extremas de Agitação Marítima

Os riscos associados às probabilidades de ocorrência de fenómenos extremos e suas respetivas consequências obrigam a prever, com o maior rigor possível, o regime de alturas significativas ( $H_s$ ) e respetivos períodos médios de energia ( $T_{m01}$ ) que podem ocorrer no futuro. Os valores das  $H_s$  correspondentes a determinados períodos de retorno (T) foram obtidos por ajuste da distribuição estatística Generalizada de Valores Extremos (GEV) à série de valores máximos anuais, através do código em R. Dada a não-independência estatística entre  $H_s$  e  $T_{m01}$ , este último não pode ser obtido por ajustamento de leis estatísticas à variável, pelo que o ajustamento foi feito à declividade da onda ( $s_{om}$ ) e o  $T_{m01}$  foi obtido pela expressão  $\sqrt{2\pi H_s / (g s_{om})}$ . Na Tabela 2 apresentam-se os valores de  $H_s$ ,  $s_{om}$  e o  $T_{m01}$  para T igual a 50 e 100 anos. Relativamente a direção das ondas, a condição extrema corresponde à Dir das maiores ondas.

**Tabela 2.** Regime de extremos dos parâmetros de agitação marítima obtidos pelo SWAN no ponto P1.

| T (anos) | $H_s$ (m) | $s_{om}$ (-) | $T_{m01}$ (s) | Dir (°) |
|----------|-----------|--------------|---------------|---------|
| 50       | 8.22      | 0.0433       | 11.02         | 246     |
| 100      | 9.11      | 0.0498       | 10.83         |         |

### 3. CONCLUSÕES

O estudo hidráulico do quebra-mar norte de Peniche deve ser feito mediante as duas condições descritas no presente documento, nomeadamente as condições de agitação marítima nas suas proximidades resultantes da propagação com o modelo SWAN e as condições de agitação marítima extremas prevista com o ajustamento da distribuição GEV.

### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CDS (2020). Climate Data Store. <https://cds.climate.copernicus.eu>.
- [2] Booij, N., Ris, R., and Holthuijsen, L. (1999). SWAN-A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation; J .Geoph. Research.
- [3] EMODnet-Bathymetry (2020). <http://www.emodnet-hydrography.eu>.

## QUANTIFICAÇÃO DA AFLUÊNCIA INDEVIDA DE ÁGUAS PLUVIAIS ÀS ETAR

D. Silva<sup>1</sup>, C. Vieira<sup>2</sup>, C. Matos<sup>3</sup>, I. Bentes<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Aluno do Mestrado em Engenharia Civil do Departamento de Engenharias, ECT, UTAD, [al70336@utad.eu](mailto:al70336@utad.eu)

<sup>2</sup> Ex aluno do Mestrado em Engenharia Civil do Departamento de Engenharias, ECT, UTAD

<sup>3</sup> Departamento de Engenharias, ECT, UTAD, CIMAR, [crismato@utad.pt](mailto:crismato@utad.pt)

<sup>4</sup> Departamento de Engenharias, ECT, UTAD, C-MADE, [ibentes@utad.pt](mailto:ibentes@utad.pt)

**Palavras Chave** – Afluências indevidas, Águas residuais, ETAR, Águas pluviais

**Código da Área Temática:** 08 Infraestruturas Hidráulicas

**Apresentação Oral**

### 1. INTRODUÇÃO

As redes de drenagem de águas residuais domésticas são dimensionadas para um caudal que contempla uma percentagem da água consumida acrescida de um caudal de infiltração, relacionado com a água existente no solo e que entra nos coletores pelas juntas. Quando chove, constata-se que o caudal afluente às Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) aumenta consideravelmente devido à entrada de águas pluviais nas redes. Esta situação é altamente indesejável pois, para além provocar um mau funcionamento hidráulico das redes, traz muitos outros problemas que vão desde a deterioração das infraestruturas, destruição do equilíbrio biológico dos sistemas de tratamento, poluição causada pela descarga das águas residuais sem tratamento em épocas de chuvas, entre outros. É, pois, da maior relevância o conhecimento dos caudais indesejáveis provenientes das águas pluviais, para o dimensionamento e a gestão dos sistemas de águas residuais.

Neste contexto, é objetivo deste trabalho utilizar a metodologia preconizada pela Environmental Protection Agency (EPA) [1][2] para determinar o volume e as origens da água afluente às ETAR, tendo-se feito uma aplicação à ETAR de Folhadela, em Vila Real.

### 2. METODOLOGIA

A metodologia aplicada e preconizada pela EPA [1], permite dividir e quantificar o caudal afluente total em quatro componentes distintas:

1. **Águas residuais (WW)**, que correspondem às águas residuais domésticas que entram na rede.
2. **Águas de infiltração subterrâneas (GWI)**, que correspondem às águas existentes no solo que entram na rede pelas juntas.
3. **Águas pluviais diretas (SWI)**, que correspondem às águas pluviais que entram diretamente nas redes pelas tampas das caixas de visita e pelas ligações indevidas, entre outras.
4. **Águas de infiltração induzida por chuva (RII)**, que correspondem às águas que se infiltram no solo após uma chuvada e entram na rede.

Para tal, é necessário conhecer o **caudal afluente total** através de um medidor de caudal.

É necessário conhecer o caudal correspondente a um **período em que não choveu (DWF)** que seja representativo da estação húmida e da estação seca, para poder calcular as GWI tendo em conta se o solo se encontra mais ou menos saturado, respetivamente. Nesse período em que não choveu, a água que circula na rede corresponde ao somatório das águas residuais (WW) com as águas de infiltração subterrâneas (GWI).

Considerando que no período noturno entre as 0 e as 6h o consumo é praticamente desprezável, ou seja, WW é praticamente zero, o caudal total registado nesse período correspondente a um intervalo de tempo em que não choveu (DWF) representa o valor médio do caudal das águas de infiltração subterrâneas (GWI).

A diferença entre o caudal diurno correspondente a um período que não choveu e o caudal noturno desse mesmo período corresponde ao caudal médio de águas residuais (WW).

Para quantificar as águas pluviais diretas (SWI) e as águas de infiltração induzida por chuva (RII), é necessário conhecer os registos de precipitação para saber quando começam e terminam os eventos pluviométricos bem como o hidrograma correspondente a esse intervalo de tempo. Neste trabalho não se vão considerar eventos pluviométricos posteriores que interfiram nos hidrogramas anteriores.

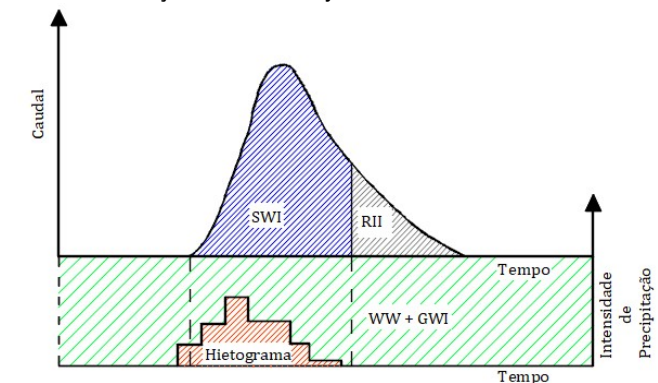
Assim, as águas pluviais diretas (SWI) correspondem aos caudais que entram rapidamente na rede quando começa um evento pluviométrico e terminam rapidamente quando cessa a chuvada. As águas de infiltração induzida por chuva (RII) podem ser quantificadas através do hidrograma considerando o instante em que termina o evento pluviométrico até se atingir de novo o caudal correspondente a um período em que não choveu (DWF), Figura 1.

Desta forma é possível quantificar volumes correspondentes a cada subdivisão feita do caudal total.

| 1

### QUANTIFICAÇÃO DA AFLUÊNCIA INDEVIDA DE ÁGUAS PLUVIAIS ÀS ETAR

O estudo foi realizado na ETAR de Folhadela, Vila Real, entre maio de 2014 e maio de 2015, tendo-se obtido o registo dos caudais totais afluentes, em contínuo (minuto a minuto), utilizando um medidor ultrassónico PCM 4, à entrada da ETAR. Foram utilizados dados de pluviosidade da Estação Meteorológica de Vila Real, localizada a cerca de 3 Km da ETAR, correspondentes ao mesmo período. Os caudais correspondentes a um período em que não choveu (DWF), representativos da estação húmida e da estação seca, foram obtidos respetivamente, a partir dos registos de caudal e pluviosidade de março de 2015 e de junho de 2014.



**Figura 1** – Esquema ilustrativo do processo de decomposição e quantificação do caudal afluente, baseado em [1]

### 3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Considerando a metodologia descrita foi possível quantificar GWI, WW e (SWI+RII). Nesta ETAR, só 21% da água que chega à ETAR é água residual doméstica sendo os restantes 79% volumes indesejáveis. No dimensionamento das redes e das ETAR tem-se em consideração WW e GWI e assim podemos constatar que 52% do caudal que aflui à ETAR se deve às águas pluviais que não foram tidos em consideração no dimensionamento.

Os períodos de precipitação foram identificados para selecionar os hidrogramas em tempo de chuva. Desta forma, é possível avaliar a influência dos eventos pluviométricos no caudal afluente à estação. Pressupunha-se que conhecidos os valores de DWF e os hidrogramas correspondentes aos diversos eventos pluviométricos facilmente se conseguiria determinar e separar SWI e RII, no entanto foram encontradas dificuldades na sua obtenção, apresentando-se os resultados incongruentes. Após um aturado estudo, e a análise de diversas hipóteses, concluiu-se que, para utilizar a metodologia descrita pela EPA [1][2], os dados pluviométricos a utilizar têm que ter registos em intervalos de tempo muito curtos. Há que ter muito cuidado na seleção dos caudais dos períodos em que não chove, representativos das estações húmidas e secas, sob pena de, ao utilizar o método, podermos obter caudais negativos em algumas situações em que os caudais afluentes sejam inferiores aos caudais considerados representativos das alturas em que não chove, tendo-se feito algumas propostas de alteração à metodologia preconizada pela EPA.

### 4. CONCLUSÕES

Neste estudo, foi utilizada a metodologia da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos [1][2] que, nas últimas décadas se tem dedicado a desenvolver estudos neste domínio, tendo-se concluído que:

- Utilizando a metodologia descrita foi possível a subdivisão da água afluente nas seguintes componentes: GWI, WW e SWI juntamente com RII.
- Só ¼ da água que afluiu à ETAR de Folhadela corresponde a água residual doméstica, ou seja, aquela que devia afluir à estação. A parcela de água devida à precipitação representou 52%, neste caso, o que obriga a repensar os materiais e processos construtivos das redes bem como a fiscalização para a deteção de ligações indevidas.
- O aumento dos caudais afluentes em períodos de chuva é notoriamente maior do que os calculados em períodos secos.
- Não foi possível, usando a metodologia e os dados obtidos, fazer uma separação entre SWI+RII, nesse sentido propuseram-se algumas alterações à metodologia e critérios a observar na obtenção dos dados.

### REFERÊNCIAS

[1].EPA, 1990. Rainfall Induced Infiltration into Sewer Systems: Report to Congress. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water.

[2].EPA, 2014. Guide for estimating infiltration and inflow. Environmental Protection Agency.

2 | D. Silva, C. Vieira

## AVALIAÇÃO E REABILITAÇÃO DE SISTEMAS PÚBLICOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA COM BASE NA GESTÃO PATRIMONIAL DE INFRAESTRUTURAS CASO DE ESTUDO DA QUINTA DO LAGO

João Caetano<sup>1</sup>, Rui Lança<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Civil. Universidade do Algarve. joaopedrocaetano@gmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Civil. Universidade do Algarve. rlanca@ualg.pt

**Palavras-chave:** reabilitação, infraestruturas, abastecimento de água, gestão patrimonial.

### 08. Infraestruturas hidráulicas

### Apresentação oral

#### 1. INTRODUÇÃO

Os sistemas urbanos de água são serviços essenciais ao bem-estar geral, à saúde pública e à segurança coletiva das populações, às atividades económicas e à proteção do ambiente, devendo pautar-se por princípios de universalidade no acesso, de continuidade e qualidade de serviço e de eficiência e equidade dos preços [1].

Com vista a enfrentar as questões relacionadas com o envelhecimento das infraestruturas existentes, alterações de procura face às previsões e regulamentação cada vez mais exigente, é pertinente que as Entidades Gestoras implementem sistemas de gestão patrimonial de infraestruturas, com o objetivo de promover as melhores práticas, de forma a preservar, manter e reabilitar o património infraestrutural e garantir que o nível do serviço prestado seja mantido no presente e assegure também as gerações futuras [2].

O estudo realizado, teve como objetivo a implementação de um sistema de gestão patrimonial de infraestruturas aplicado ao sistema de abastecimento de água da Quinta do Lago. Para efeitos de análise, recorreu-se a indicadores de desempenho e índices de desempenho técnico, para comparar a situação de referência com as alternativas propostas, afim de selecionar a alternativa que mais se coaduna com os objetivos de maximizar o desempenho e minimizar o custo e o risco [3].

Como resultado deste estudo, foram estabelecidas as prioridades de atuação e os tipos de soluções a adotar para a reabilitação das infraestruturas.

#### 2. DESENVOLVIMENTO

O sistema de abastecimento de água gerido pela Infraquinta, é constituído por uma rede de distribuição com 72,8 km de extensão, um reservatório com duas células e três estações elevatórias (EE). Analisando o ano de instalação das condutas de distribuição, é possível observar que estas infraestruturas foram construídas predominantemente na década de 1980.

O estudo desenvolvido possibilitou a criação de alternativas de intervenção no âmbito da gestão patrimonial de infraestruturas, ao nível da reabilitação, manutenção, operação e gestão de informação.

Através da análise dos consumos, é notório o efeito da sazonalidade, fenómeno este bem patente na Quinta do Lago. É também possível verificar que os maiores consumos ocorrem durante a noite, sendo o seu pico, sempre, por volta das 5 horas da manhã. Este facto acontece devido ao maior peso da parcela de consumo de água para a rega dos jardins privados em relação aos consumos domésticos.

Foi efetuada a avaliação da situação de referência para o cenário atual e posteriormente a avaliação para o cenário futuro, que considera as futuras expansões na rede que se encontram previstas no plano de desenvolvimento da Quinta do Lago. Neste cenário o consumo aumenta 15%

em relação ao cenário atual.

No que diz respeito à avaliação da situação de referência (configuração atual da infraestrutura), face aos acréscimos de solicitações de consumo considerados no cenário futuro, verifica-se que em termos de pressões mínimas não existem problemas relevantes. Em relação às pressões máximas e flutuação de pressões ao longo do dia, o desempenho médio é mais baixo, mas ainda assim considerado bom. Em termos de velocidades máximas são identificados problemas pontuais em duas condutas com velocidade de escoamento excessiva, o que origina perdas de carga elevadas e consequentemente, a altura manométrica da estação elevatória que pressuriza a zona funcional em causa está definida por forma a compensar as mesmas.

Para solucionar os problemas identificados nos parágrafos anteriores, foram analisados modos operacionais alternativos com base no cenário futuro, afim de permitir a comparação entre alternativas, tendo sido criadas duas alternativas de intervenção, Alternativa 1 e Alternativa 2.

A Alternativa 1 foi concebida através da realização de pequenas alterações na rede, em que o sistema passa de três EE e três zonas funcionais para duas EE e duas zonas funcionais. Isto consegue-se com a alteração do estado de seis válvulas e a construção de 300 m de uma nova conduta. Na Alternativa 1, verificam-se melhorias significativas no índice de flutuação de pressão, na percentagem de hidrantes com capacidade de fornecimento em situação de emergência, nas perdas reais por ramal, na ineficiência de utilização dos recursos hídricos, na energia em excesso por unidade de água que entra no sistema, no consumo específico de energia nas EE, na energia de bombeamento, no rácio de energia em excesso, no índice de desempenho associado à velocidade mínima e nos custos estimados em energia.

A Alternativa 2, para além das alterações introduzidas na Alternativa 1, considera os diâmetros da rede de distribuição dimensionados para o caudal de ponta de acordo com o critério do diâmetro económico [4] e a ligação de uma conduta da Câmara Municipal de Loulé à zona funcional 1. Como resultado, na Alternativa 2 otimiza-se a capacidade hidráulica e consegue-se uma poupança considerável de energia de bombagem e também a melhoria do índice de flutuação da pressão na rede.

A fase final deste estudo consistiu na definição das prioridades de reabilitação da infraestrutura para o período de atuação do plano tático de gestão patrimonial de infraestruturas, que abrange o período de 2016 a 2020. A hierarquização de intervenções foi idealizada por forma a que a rede se aproxime gradualmente da Alternativa 2.

#### 3. CONCLUSÃO

Tendo a total consciência de que é necessário enfrentar com racionalidade, eficácia e objetividade, os serviços urbanos de água, é unânime que estes têm que ter qualidade e sustentabilidade nos aspetos sociais, económicos e financeiros, afim de serem resilientes e seguros.

Sendo perceptível que a tomada de decisão não deve ser ditada apenas por aspetos económicos, é essencial considerar outros fatores, tais como a melhoria do nível de serviço e a melhoria da confiabilidade do sistema. No entanto, mesmo após a definição de indicadores de avaliação, o processo de decisão é ainda complexo, derivado à multiplicidade de opções existentes.

#### 4. REFERÊNCIAS

- [1] Alegre, H., Gestão patrimonial de infra-estruturas de abastecimento de água e de drenagem e tratamento de águas residuais, LNEC, 2008.
- [2] Alegre, H., Coelho, S., Covas, D., Almeida, M., Cardoso, A. A utility-tailored methodology for integrated asset management of urban water infrastructure. Water Science and Technology: Water Supply, 2013.
- [3] Alegre, H., Covas, D. Gestão patrimonial de infra-estruturas de abastecimento de água. Uma abordagem centrada na reabilitação. ERSAR/LNEC/IST, 2010.
- [4] Lencastre, A. Hidráulica geral. Edição do Autor, 1996.

## SISTEMAS VERDES DE DRENAGEM URBANA: AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO HIDRÁULICO DE CANTEIROS DE BIOFILTRAÇÃO

João P. Oliveira<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Civil. Escola de Engenharia da Universidade do Minho  
a79568@alunos.uminho.pt / jp.dias.oliveira@hotmail.com

**Palavras-chave:** sistemas verdes; regularização de hidrogramas; hidráulica da filtração; economia circular.

Código da Área Temática 08.

Apresentação oral

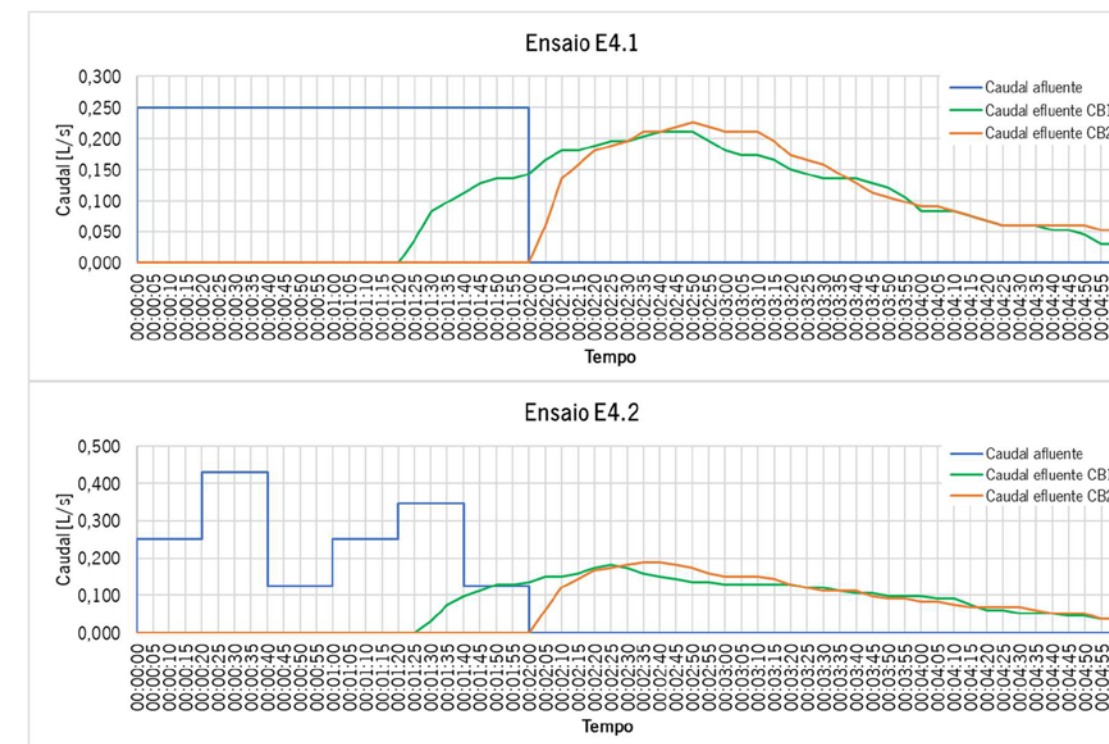
### 1. INTRODUÇÃO

O crescimento da população tem provocado um aumento e expansão dos aglomerados urbanos com graves consequências para o ambiente e para a drenagem urbana, decorrentes da impermeabilização crescente dos solos [1,2]. Além disso, aliada a essa impermeabilização, a perturbação das características hidrológicas naturais tende a diminuir os tempos de concentração das bacias hidrográficas e a aumentar os caudais de cheia [3].

Os sistemas de drenagem tradicionais (SDT) têm sido os mais utilizados pela sua eficácia e simplicidade no seu funcionamento. Contudo, são sistemas sem capacidade para se adaptarem a gamas de caudais superiores para os quais foram projetados. Isto agrava a frequência e o impacto nas inundações urbanas, devido aos efeitos das alterações climáticas, e aumenta a pressão exercida sobre os sistemas existentes [4]. Estes fatores demonstram a necessidade de inovação e melhoria da atual gestão das águas pluviais, sendo os sistemas verdes de drenagem urbana (SVDU) uma solução alternativa inovadora e eficaz na conceção de futuras redes de drenagem de águas pluviais e para a necessária adaptação e reabilitação das redes existentes, uma vez que o uso de SVDU aumenta a permeabilidade das superfícies urbanas e promove a regularização e o controlo dos hidrogramas relativos aos eventos de precipitação [2,5,6].

### 2. TRABALHO EXPERIMENTAL

Neste estudo realizou-se, não só uma recolha, tratamento e análise de informação relativa à conceção e funcionamento dos SVDU, identificando as suas vantagens e inconvenientes, como também foi concebida e executada uma instalação-piloto que simula o funcionamento de dois “canteiros de biofiltração” [6], com o objetivo principal de avaliar o comportamento hidráulico de dois meios porosos com tipologias distintas e com caudais correspondentes a eventos de precipitação plausíveis e previamente analisados através de uma análise estatística. Para o efeito, um dos meios porosos foi constituído por materiais granulares convencionais (tais como areia e brita), doravante designado por CB2, e o outro com materiais oriundos de alguns dos principais resíduos descartados no município de Guimarães (pontas de cigarro incorporadas em esferas de argila, cascas de ovos e desperdícios têxteis) [7] com o objetivo de potenciar e promover o conceito da economia circular em soluções alternativas e inovadoras, denominado, a partir deste momento, por CB1. Importa salientar que, em ambos os casos, os meios porosos foram cobertos com uma camada de substrato vegetal com relva. Os ensaios realizados foram elaborados de forma a testar 3 efeitos: o efeito da composição dos meios porosos (onde se ensaiou, camada a camada, o efeito da camada subsequente, em regime permanente e não permanente); o efeito da variação do caudal afluente (onde se ensaiaram diferentes caudais em regime permanente); e o efeito do regime de escoamento (onde se ensaiaram os regimes permanente e não permanente - que são comparáveis, uma vez que o caudal médio do regime não permanente é muito semelhante ao do regime permanente, 0,255L/s e 0,250L/s respetivamente). Na **Figura 1** estão representados os resultados de 2 dos 16 ensaios efetuados, onde se verifica, com clareza, o atraso provocado pelos meios porosos, a redução do pico de caudal e a regularização do hidrograma relativo ao escoamento em regime não permanente.



**Figura 1.** Resultados de dois ensaios nos dois meios porosos ensaiados

Os resultados obtidos nos dois meios porosos permitiram atestar a eficácia destes sistemas na regularização e controlo dos hidrogramas relativos aos eventos de precipitação utilizados nos ensaios, tendo sido obtida uma redução máxima do pico de caudal de 15,6% e atrasos na saída da água e no pico de cheia de 1 min e 15 s e de 2 min e 30 s, respetivamente, em relação à situação de referência. Além disso, pelo facto de os resultados terem sido semelhantes nos dois meios porosos testados, verifica-se que os materiais reaproveitados empregues são viáveis neste tipo de sistemas, tornando este conceito promissor.

### 3. REFERÊNCIAS

- [1] Chini, C. M., Canning, J. F., Schreiber, K. L., Peschel, J. M., & Stillwell, A. S. (2017). The green experiment: Cities, green stormwater infrastructure, and sustainability. *Sustainability* (Switzerland), 9(1), 1–21. <https://doi.org/10.3390/su9010105>
- [2] Hoang, L., & Fenner, R. A. (2016). System interactions of stormwater management using sustainable urban drainage systems and green infrastructure. *Urban Water Journal*, 13(7), 739–758. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2015.1036083>
- [3] Dong, X., Guo, H., & Zeng, S. (2017). Enhancing future resilience in urban drainage system: Green versus grey infrastructure. *Water Research*, 124, 280–289. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.07.038>
- [4] Odefey, J., Detwiler, S., Rousseau, K., Trice, A., Blackwell, R., O'Hara, K., ... Raviprakash, P. (2012). *Banking on Green*. Retrieved from [https://www.asla.org/uploadedFiles/CMS/Government\\_Affairs/Federal\\_Government\\_Affairs/Banking\\_on\\_Green\\_HighRes.pdf](https://www.asla.org/uploadedFiles/CMS/Government_Affairs/Federal_Government_Affairs/Banking_on_Green_HighRes.pdf)
- [5] Payne, E. G. I., Hatt, B. E., Deletić, A., Dobbie, M. F., McCarthy, D. T., & Chandrasena, G. I. (2015). *Adoption Guidelines for Stormwater Biofiltration Systems - Melbourne, Australia: Cooperative Research Centre for Water Sensitive Cities*.
- [6] National Association of City Transportation Officials. (2017). *Urban Street Stormwater Guide*. Island Press.
- [7] Sepúlveda, D., Loureiro, I., Vilarinho, C., & Carvalho, J. (2015). Municipal Waste Map: a Case Study of Guimarães, Portugal. *European Journal of Sustainable Development*, 5(3), 77–90.

## ANÁLISE DO RISCO DE CHEIAS NOS CONCELHOS DO FUNCHAL, MACHICO, RIBEIRA BRAVA E SÃO VICENTE – APLICAÇÃO DE BACIAS DE DETENÇÃO

Leonardo Bazilio Gonçalves<sup>1</sup>, Sérgio António Neves Lousada<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Faculdade de Ciências Exatas e Engenharia (FCEE), Departamento de Engenharia Civil e Geologia (DECG), Universidade da Madeira (UMa), Funchal, Portugal.  
leonardo.goncalves@staff.uma.pt, slousada@staff.uma.pt

**Palavras-chave:** escoamento superficial, gestão ambiental, hidrologia, inundações.

08

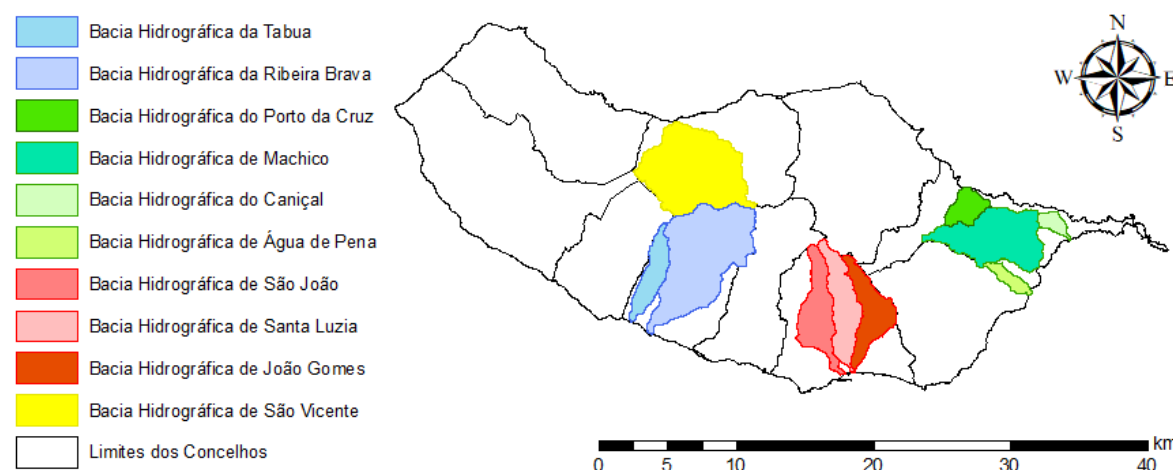
Apresentação oral

### RESUMO

Analizando o histórico de cheias na Ilha da Madeira, verifica-se que fenómenos anteriormente considerados raros tornaram-se cada vez mais frequentes, sendo estes, fomentados pelas mudanças climáticas globais e regionais [1, 2]. Neste sentido, torna-se necessário enfatizar que além da característica cíclica de variação climática atuante no planeta, as ações antrópicas contribuíram significativamente para o agravamento desta problemática, principalmente no que se refere às cheias em zonas urbanas. Este fenómeno ocorre devido ao crescimento não planeado das cidades, o que origina um aumento do índice de impermeabilização do solo, sendo este, o principal responsável pelo aumento do escoamento superficial e as consequentes inundações em centros urbanos [3, 4].

No aspeto geomorfológico, os cursos de água de uma bacia hidrográfica são os responsáveis por escoar todo volume de água superficial – i.e. não infiltrado – para um ponto em comum: a foz [4]. Portanto, torna-se fulcral a verificação das características destes canais – i.e. tipologia de canal, coeficiente de rugosidade, altura, largura, declividade e, principalmente, a capacidade de escoamento [1, 2], uma vez que é de suma importância assegurar que a foz possui a capacidade de escoar o volume de água superficial durante uma precipitação, sem transbordar.

Portanto, o presente estudo teve como objetivo principal efetuar uma análise de suscetibilidade às cheias das bacias hidrográficas de quatro concelhos da Ilha da Madeira, nomeadamente: Funchal, Machico, Ribeira Brava e São Vicente, conforme apresentado na Figura 1. Nota-se que a análise hidrológica foi feita através da Distribuição de Gumbel com tempo de retorno de 100 anos e, para a análise da capacidade de escoamento da foz, utilizou-se a equação de Manning-Strickler.



**Figura 1.** Bacias Hidrográficas dos Concelhos: Funchal, Machico, Ribeira Brava e São Vicente.

Posteriormente à determinação dos parâmetros, procedeu-se à análise da capacidade de escoamento da foz, de forma a verificar a propensão ao transbordo de acordo com o caudal de ponta de cheia expectável para as respetivas bacias hidrográficas. Nota-se que os dados geomorfológicos de cada uma das bacias hidrográficas foram obtidos através do *software ArcGIS*, após um extensivo processo de tratamento do ficheiro MDT fornecido pelo Laboratório Regional de Engenharia Civil (LREC). Portanto, verificada a incapacidade de escoamento do caudal precipitado estimado, foi dimensionada uma bacia de detenção pelo método do Hidrograma Triangular Simplificado para a regularização e controlo do escoamento, de forma a permitir que a foz funcione dentro da sua capacidade atual, conforme apresentado na Tabela 1. Como forma de estabelecer uma margem de segurança no processo de caracterização hidrológica e hidráulica das bacias hidrográficas, foi definido que o índice de “Fill Rate” (FR) não pode ser superior à 85% [5]. Portanto, para as bacias hidrográficas que originalmente possuem um índice de “Fill Rate” inferior ao limite estabelecido não foi necessário o dimensionamento do mecanismo de mitigação de impactos das cheias.

**Tabela 1.** Dimensionamento das Bacias de Detenção.

| Bacia Hidrográfica | Caudal Precipitado (m³/s) | Capacidade da Foz (m³/s) | FR (%) Antes | FR (%) Depois | Altura (m) | Largura (m) | Comprimento (m) |
|--------------------|---------------------------|--------------------------|--------------|---------------|------------|-------------|-----------------|
| São João           | 256,340                   | 218,946                  | 117%         | 54%           | 4,0        | 10,0        | 12370,0         |
| Santa Luzia        | 253,663                   | 218,946                  | 116%         | 54%           | 4,0        | 10,0        | 12254,0         |
| João Gomes         | 234,308                   | 218,946                  | 107%         | 54%           | 4,0        | 10,0        | 11509,0         |
| Machico            | 390,889                   | 358,512                  | 109%         | 59%           | 3,0        | 24,0        | 12071,0         |
| Caniçal            | 46,378                    | 218,946                  | 21%          | -             | -          | -           | -               |
| Porto da Cruz      | 144,713                   | 218,946                  | 66%          | -             | -          | -           | -               |
| Água de Pena       | 83,958                    | 218,946                  | 38%          | -             | -          | -           | -               |
| Ribeira Brava      | 594,760                   | 566,645                  | 105%         | 56%           | 4,5        | 20,0        | 14619,0         |
| Tabua              | 167,325                   | 140,359                  | 119%         | 59%           | 3,0        | 10,0        | 9272,0          |
| São Vicente        | 660,742                   | 608,172                  | 109%         | 61%           | 3,0        | 40,0        | 10813,0         |

Por fim, os resultados obtidos sugerem que o mecanismo de mitigação adotado satisfaz às necessidades hidrológicas e hidráulicas de cada uma das bacias hidrográficas problemáticas, além de apresentar uma considerável margem de otimização – e.g. verificação da taxa de infiltração do solo, melhoria do coeficiente de rugosidade, manutenção do sistema de drenagem urbana existe etc. – como forma de reduzir as dimensões necessárias para cada uma das bacias de detenção.

- [1] Gonçalves, L.B.; Lousada, S. A. N.; Lis, M., *A utilização da bacia de detenção para o controlo e regularização de caudais a jusante, sua sustentabilidade*. Espacios y Sociedades em Transformación, 1ª Ed., Pamplona: Thomson Reuters Aranzadi, v. VI, p. 505-518, 2020.
- [2] Gonçalves, L. B.; Rodrigues, W. T.; Curitiba, A. S.; Torres, H.; Lousada, S. A. N., *Utilização de bacias de detenção para mitigação de cheias em áreas urbanas*. Espacios y Sociedades em Transformación, 1ª Ed., Pamplona: Thomson Reuters Aranzadi, v. VI, p. 209-221, 2020.
- [3] Chow, V. T., *Applied Hydrology*. McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering. Chow, V. T.; Maidment, D. R.; Mays, L. W., IV Series. ISBN: 0 07-010810-2, 1988.
- [4] Lousada, S. A. N. & Camacho, R., *Hidrologia, recursos hídricos e ambiente - Aulas Teóricas*. Vol. I, ISBN 978-989-8805-33-1, Universidade da Madeira, 230 p, 2018.
- [5] Porto, R. L. & Filho, K. Z. & Tucci, C. E. M. & Bidone, F., *Drenagem Urbana. Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 2ª Edição. Editora da Universidade UFRGS, 1993.

## Implementation of Pump-as-Turbines as Energy Recovery Solutions within Water Distribution and Supply Systems

Manuel Perdigão

Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Georrecursos. Instituto Superior Técnico.  
manuel.perdigao@tecnico.ulisboa.pt

**Key-words:** water distribution system (WDS), water losses, pressure reducing valve (PRV), pump-as-turbines (PATs).

### 1. INTRODUCTION

Water distribution systems worldwide are characterized by significant levels of energy consumption and excessive amounts of water losses, which are caused primarily by the inadequate management of water utilities. In fact, the occurrence of ruptures and leakages within water networks is often associated with the poor regulation of water pressures, which significantly hinders the system's efficiency by requiring greater amounts of water and energy to provide the same level of service (Lambert et al., 2000).

This ineffective management exerts a tremendous pressure on available water and energy resources, whose preservation has become increasingly important to our present-day society and ecosystem. Indeed, the alarming consequences of climate change and the high rates of population growth can only aggravate the serious problem of water scarcity and further complexify the interconnectedness of water and energy in human activities (Hoff, 2011). Therefore, it is of the utmost importance to address the issue of water losses and energy waste in order to attain a sustainable development which does not compromise the quality of life of future generations.

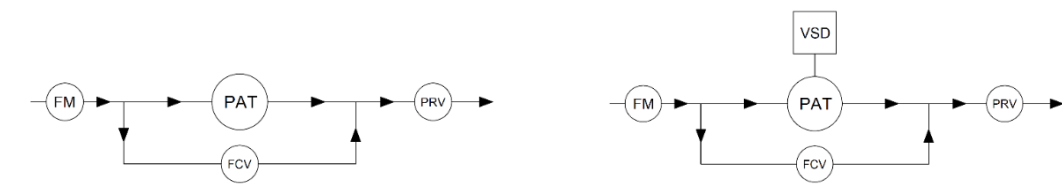
### 2. CASE STUDY

#### 2.1. PAT Implementation

A relatively recent approach to this problem is the implementation of a micro hydro power plant within the water distribution system itself, through the use of pump-as-turbines (PATs). By replacing valves originally intended to control water pressures in the network with PATs, energy can be generated from a clean source while pressure levels are kept within the established limits (Ramos et al., 1999).

In this dissertation, this alternative has been investigated for the case study of the Funchal water network, which presents optimal conditions for the implementation of this energy recovery method. Several pressure reducing valve (PRV) locations have been selected for the application of PATs, and different hydraulic and electrical configurations have been analyzed with the purpose of evaluating the economic feasibility of this investment – the Electric Regulation (ER) and No Regulation (NR) modes of operation. While the NR mode operates with the nominal rotational speed of the PAT, the ER mode enables the selection of the rotational speed which maximizes the energy production, with the aid of a variable speed drive (VSD) which controls

the frequency and voltage of the motor connected to the PAT. It is important to emphasize that two distinct variants of the ER mode were considered: fixed ER mode and variable ER mode. While the variable ER mode (also known as simply ER mode) continuously adjusts the PAT rotational speed according to the input flow rate, in the fixed ER mode the rotational speed remains constant and does not adjust itself to flow rate levels to optimize its energy production. The NR and ER configurations are displayed in figures 1 and 2.



**Figure 1.** NR configuration schemes (left); **Figure 2.** ER configuration scheme (right). FM (flow meter); PRV (pressure reducing valve); PAT (pump-as-turbine); FCV (flow control valve); VSD (variable speed drive).

#### 2.2. Conclusions

The energy production of both modes of operation was tested for 5 PAT models in 10 distinct PRV locations of Funchal water network for rotational speeds from 770 rpm to 3500 rpm over the course of 15 years. After performing an economic analysis for both battery and grid connection alternatives, the following conclusions were drawn:

- Variable rotational speed ER is preferable to fixed rotational speed ER since it generates slightly more power while their equipment cost is identical.
- The NR mode is not a worthwhile investment since its lack of versatility does not enable an adequate adaptation to constant fluctuating conditions, which is reflected on its limited energy output.
- Battery storage alternatives are not a viable option since they are incomparably more expensive than grid and local connections.
- Of all 50 new PRVs implemented in the WDS of Funchal, only 3 represented profitable investments for the implementation of PATs. Together they produce a total of 2063 MWh and their collective investment has an NPV of 38.851 €. Since these PRVs are supplied almost directly by major reservoirs, unlike most PRVs within the water network, it can be concluded that the implementation of PATs is economically viable only under very particular circumstances, where discharge and head drop values are exceptionally high.

### 3. REFERENCES

- [1] Lambert, A., & Hirner, W. (2000). Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures. *IWA the Blue Pages*.
- [2] Hoff, H. (2011). *Understanding the Nexus. Background Paper for the Bonn2011 Conference: The Water, Energy and Food Security Nexus*. Stockholm, Sweden: Stockholm Environment Institute (SEI).
- [3] Ramos, H., & Borga, A. (1999). Pumps as turbines: an unconventional solution to energy production. *Urban Water*. Available at: [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(00\)00016-9](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(00)00016-9)

TEMA 09

# **INOVAÇÃO E TENDÊNCIAS FUTURAS**

## DESIGN OF S690 SLENDER PLATE I-GIRDERS UNDER COMBINED SHEAR, BENDING AND COMPRESSION

Henrique Gonçalves Afonso

Instituto Superior Técnico. henrique.afonso@tecnico.ulisboa.pt

**Keywords:** N-M-V interaction, EN 1993-1-5, high strength steel S690, longitudinal stiffeners.

**Código da Área Temática:** 09. Inovação e tendências futuras

**Poster**

### 1. INTRODUCTION

Slender plate girders strengthened with transverse and longitudinal stiffeners have been increasingly used in the design of cable-stayed bridges in the past few years. However, the design of these structures may become a challenge to the most designers, once the cable-stayed bridge decks, supported by the slender plate I-girders, are subjected to high compression forces, apart from bending and shear that are commonly present in those structures. Thus, to ensure the safety of these steel I-girders, N-M-V interaction should be checked. Though, it has been proven that the formulations present in the current version of EN 1993-1-5 [1] does not give the best assessment of the real interaction of the forces. In that regard, recently Biscaya [2] studied the behaviour of unstiffened I-girders to the interaction of N-M-V stresses, developing expressions that proven to give better results than the current formulation given by EN 1993-1-5.

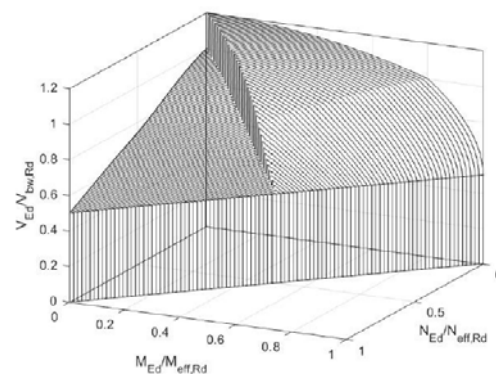


Figure 1: N-M-V interaction diagram given in EN 1993-1-5 [2]

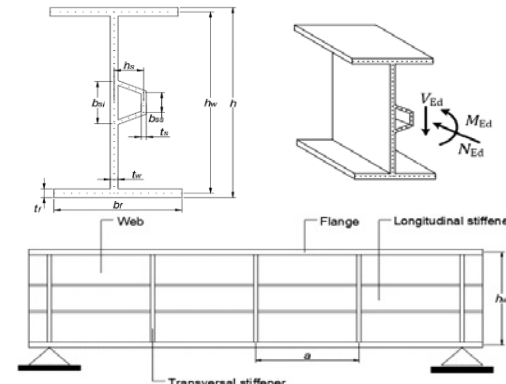


Figure 2: Design of S690 slender plate I-girders under combined shear, bending and compression

### 2. INVESTIGATED PARAMETER RANGE

The definition of the geometries that were considered in this analysis was made in such a way that accounted for a vast range of typical plate girders. A total of 20 cross-sections were selected using the following parameters:  $\frac{h_w}{t_w} = [80, 120, 160, 200, 240]$ ,  $\gamma = [25, 50]$  and  $\alpha = [1, 2]$ . To be able to assess the contribution of the flanges to increase the structural stability of the slender plates, 4 values were defined for the ratio of areas  $A_f/A_w = [0; 0,25; 0,50; 1]$ , with  $b_f = \sqrt{8 \times A_f}$  and  $t_f = \frac{b_f}{8}$ .

### 3. N-M-V INTERACTION FOLLOWING THE NEW BISCAYA PROPOSAL

Consider the following relations between the applied and resistance forces, accounting for the eccentricity due to local web buckling,  $e_N$ :  $\eta_{1,M} = \frac{M_{Ed} + N_{Ed} \cdot e_N}{M_{eff,Rd}}$ ,  $\bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}}$  and  $\eta_{1,N} = \frac{N_{Ed}}{N_{eff,Rd}}$ , which must be lower or equal to the unit. For an axial force  $N_{Ed} > 0$  and  $\bar{\eta}_3 \geq 0,5k$ , it must be ensured that:

$$\eta_{1,M} + \eta_{1,N} + \left(1 - \frac{M_{f,N,Rd}}{M_{eff,Rd}} - \eta_{1,N}\right) \left(\frac{2\bar{\eta}_3}{k} - 1\right)^\mu \leq 1, \quad \eta_{1,M} \geq \frac{M_{f,N,Rd}}{M_{eff,Rd}} \quad (1)$$

$$\bar{\eta}_3 \leq k + \frac{V_{bf,N,Rd}}{V_{bw,Rd}} \left[1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,N,Rd}}\right)^2\right], \quad \eta_{1,M} \geq \frac{M_{f,N,Rd}}{M_{eff,Rd}} \quad (2)$$

### 3.1. N-M-V interaction surface analysis

The final graphs associated with the results from Table 1 are presented in Figures 3 and 4, which show the behaviour observed for the different  $A_f/A_w$  ratios.

Table 1: N-M-V interaction according to the standard EN 1993-1-5 [2] and the Biscaya proposal [1]

| $\frac{R_{FEM}}{R_{PROPOSAL}}$ | avg   | std   | $N_{cases} < 1,0$ | $N_{cases} < 0,9$ | Mín.  | Máx.  |
|--------------------------------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------|-------|
| $A_f/A_w = 0$                  |       |       |                   |                   |       |       |
| EN 1993-1-5                    | 1,192 | 13,6% | 6,3%              | 0,2%              | 0,890 | 1,637 |
| PROPOSAL                       | 1,200 | 12,9% | 2,9%              | 0%                | 0,956 | 1,637 |
| $A_f/A_w = 0,25$               |       |       |                   |                   |       |       |
| EN 1993-1-5                    | 1,214 | 9,8%  | 1%                | 0%                | 0,908 | 1,550 |
| PROPOSAL                       | 1,190 | 8,3%  | 0,4%              | 0%                | 0,978 | 1,405 |
| $A_f/A_w = 0,50$               |       |       |                   |                   |       |       |
| EN 1993-1-5                    | 1,203 | 10,2% | 0,3%              | 0%                | 0,988 | 1,600 |
| PROPOSAL                       | 1,158 | 7,5%  | 0,7%              | 0%                | 0,968 | 1,393 |
| $A_f/A_w = 1$                  |       |       |                   |                   |       |       |
| EN 1993-1-5                    | 1,165 | 10,5% | 0,3%              | 0%                | 0,996 | 1,517 |
| PROPOSAL                       | 1,102 | 6,9%  | 5,4%              | 0%                | 0,930 | 1,314 |

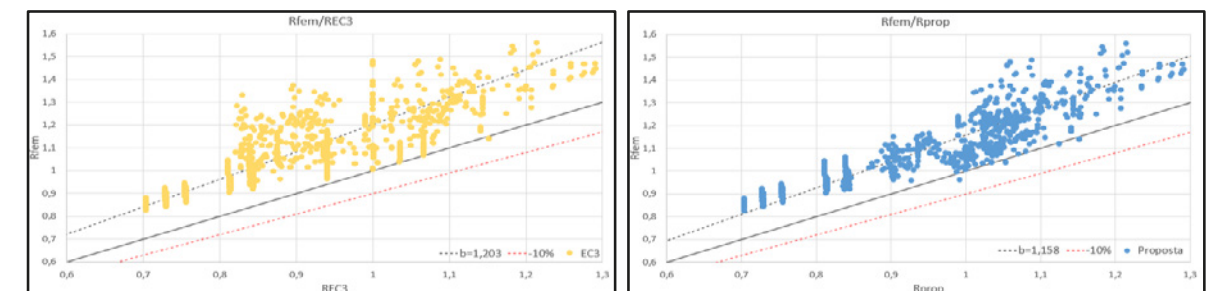


Figure 3:  $R_{FEM}/R_{EC3}$  and  $R_{FEM}/R_{PROPOSAL}$  for the ratio  $A_f/A_w = 0,50$

### 4. MAIN CONCLUSIONS

Comparing the data collected using the interaction equations suggested by the European standard and the new Biscaya proposal, the new N-M-V interaction equations prove to be more reliable from the point of view of the non-dispersion of results, being also more economical due to their lower conservatism. It is also confirmed that it is a calculation method transversal to the use, or not, of longitudinal stiffeners, one of the main aims of this investigation, validating the initial premise.

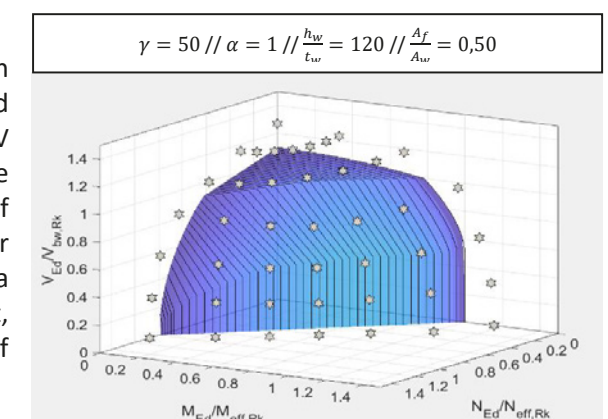


Figure 4: N-M-V interaction diagram given by the new Biscaya proposal

### REFERENCES

- [1] EN 1993-1-5 – Eurocode 3 – Design of Steel Structures – Part 1-5: Plated Structural elements, CEN, 2006.
- [2] A. Biscaya – Buckling resistance of steel plated girders considering M-V interaction with high compression forces, Instituto Superior Técnico, 2021, (in discussion).

## CONSTRUÇÃO PRÉ-FABRICADA COM PROPÓSITOS SUSTENTÁVEIS-CASO DE ESTUDO

Luis Filipe Silva Pereira, Pedro Delgado e António Curado

PROMETHEUS, Instituto Politécnico de viana do Castelo  
(lfsilvapereira@gmail.com; pdelgado@estg.ipv.pt; acurado@estg.ipv.pt)

**Palavras-chave:** espaço ecológico, transportável, multifuncional.

**Código da Área Temática 09**

**Apresentação oral**

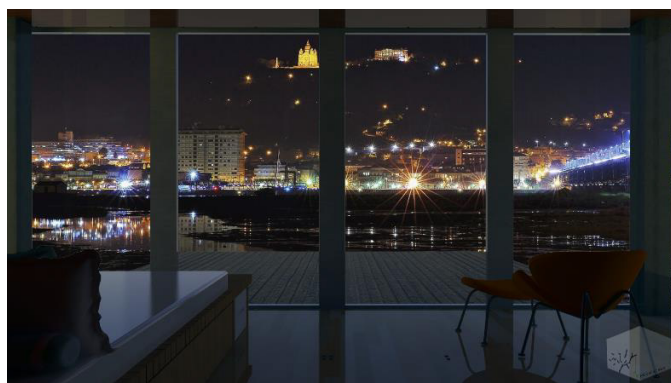
### RESUMO

A dissertação consiste no desenvolvimento do projeto de um edifício com preocupações ecológicas, transportável, multifuncional, com potencial de reconversão da sua imagem para fins turísticos e alojamento temporário, tanto para iniciativas publicas como privadas (Figura 1).



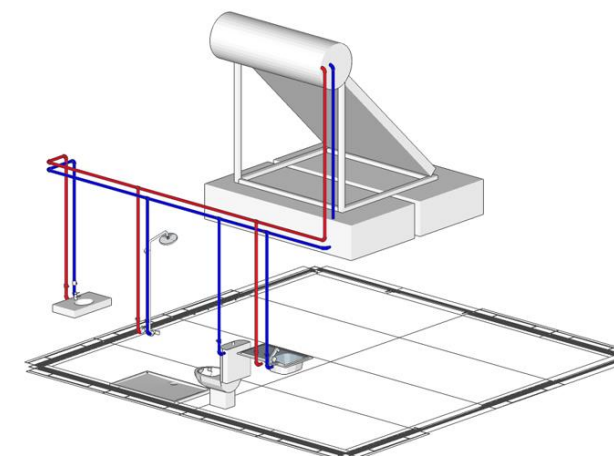
**FIGURA 1.** Fotomontagem do projeto na praça da República

As suas características permitem criar condições para recriar espaços de diferente natureza, permitindo uma fácil adaptação ao lugar de implantação. A conceção do objeto de estudo visa reforçar a sustentabilidade ambiental do local de implantação através do compromisso ecológico estabelecido entre o objeto construído, os utilizadores e o ambiente natural (Figura 2).



**FIGURA 2.** Fotomontagem do interior do projeto no rio Lima

A imagem do projeto assenta na construção prefabricada e produz uma linguagem compatível com os desafios conceptuais definidos á partida. Os referidos desafios visam criar um projeto autossuficiente com capacidade de ser utilizado sem recorrer a infraestruturas exteriores, assim como permitir o agrupamento em novas formas organizacionais e espaciais, sustentando desta forma a conceção arquitetónica. O projeto recorre a materiais e processos sustentáveis [1, 2], assentando na escolha de elementos potencialmente recicláveis e no aproveitamento das energias renováveis (Figura 3). Em suma, o projeto minimiza a pegada ecológica inerente á sua construção.



**FIGURS 3.** Axonometria do sistema de águas

O estudo das especialidades de engenharia que suportam o objeto arquitetónico privilegiam a autonomia face ás infraestruturas locais. A escolha dos materiais e dos processos construtivos permite otimizar o tempo de montagem e consequente desmontagem, cumprindo as condicionantes legislativas aplicadas, e contribuindo desta forma para a sustentabilidade.

As condicionantes de natureza económica são essenciais para a viabilização técnica da proposta. Neste sentido procurou-se otimizar o processo construtivo e selecionar soluções reutilizáveis. O estudo desenvolvido traduz-se num projeto de um edifício multifuncional, transportável, de reduzido impacto ambiental, suportado por uma abordagem construtiva simples e sistemática.

Em síntese, procurou-se compatibilizar no objeto de estudo preocupações de carácter funcional, estética, ambiental, garantindo um forte contributo para a sustentabilidade construtiva. Complementarmente houve preocupações de carácter tecnológico, que visou facilitar a gestão do edifício.

### REFERÊNCIAS

- [1] Carneiro, J. (2009). Dimensionamento De Sistemas Fotovoltaicos (Sistemas Ligados À Rede E Sistemas Autónomos). Dimensionamento De Sistemas Fotovoltaicos p. 37. Obtido em 24 de agosto de 2018
- [1] Torgal, F. P., & Said, J. (novembro de 2009). A sustentabilidade dos materiais de construção. A sustentabilidade dos materiais de construção, p. 462.

## TOWARDS THE IMPLEMENTATION OF INTELLIGENT OPTIMIZATION SYSTEMS FOR PROCESS MANAGEMENT IN PAVEMENT REHABILITATION

M. Amândio<sup>1</sup>, J. Neves<sup>2</sup>, M. Parente<sup>3</sup>

<sup>1</sup> BUILT CoLAB. margarida.amandio@builtcolab.pt

<sup>2</sup> CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. jose.manuel.neves@tecnico.ulisboa.pt

<sup>3</sup> BUILT CoLAB. manuel.parente@builtcolab.pt

**Key-words:** genetic algorithm, intelligent optimization systems, pavement rehabilitation, resource allocation.

Código da Área Temática: 09

Apresentação oral

### 1. BACKGROUND

Pavement rehabilitation comprises a very time sensitive and complex set of operations. Not only does this type of construction typically rely on very expensive heavy mechanical equipment, as it also usually involves closing lanes that will inevitably cause delays to users. Even though there is an increasing interest in completing these rehabilitation interventions with the lowest cost and durations, the planning of this process is currently mostly based on the designer's experience. While optimization tools have already been used in the planning phase of projects to manage resources and constructive processes in other fields, such as in earthworks and bridge construction [1,2], there has been a lack of development regarding the optimization of road pavement constructive processes, especially in the context of rehabilitation of highways. Actually, the few attempts that address optimization in this context attempt to tackle the high complexity of the problem by adopting pre-defined sets of materials, crew formations, and work conditions [3] in order to simplify the mathematical representation of reality, ultimately meaning that the resulting systems are neither capable of guaranteeing the optimality of solutions, nor susceptible to generalization. Thus, this work focused on developing an optimization system based on an evolutionary multi-objective approach, capable of supporting decision making in asphalt pavements rehabilitation planning. On the one hand, it tackles an identified research gap regarding the study of the viability and gain of the implementation of multi-objective optimization in planning of pavement rehabilitation. On the other hand, a more practical contribution is related to the development of a system capable of supporting decision making in the planning of pavement rehabilitation interventions from the designer's viewpoint, thus focusing on multi-objective minimization of both time and cost simultaneously.

### 2. OPTIMIZATION SYSTEM

Making a parallelism to the manufacturing industry, asphalt pavements rehabilitation can be depicted as a series of production lines based on resources (heavy mechanical equipment) that execute a set of tasks (such as milling, transportation, paving and compaction) in a specific sequential order throughout different work fronts (lanes) until a certain parameter is reached. In this case, the critical task that determines the speed at which the whole process progresses is the paving task. Therefore, pavers are allocated to work fronts supported by the corresponding production line (i.e., remaining support equipment, such as trucks and rollers), which has the objective of paving a certain volume of bituminous mixture. Hence, in the proposed system, the allocation of equipment is carried out in two stages. The first stage corresponds to the allocation of the critical task of production lines, corresponding to paving teams, by means of a multi-objective genetic algorithm, namely the NSGA-II. The second stage consists of the allocation of the available equipment throughout the remaining tasks that support paving, by means of linear programming focusing on minimizing the operational cost while guaranteeing that the productivity of the paving team does not get compromised. In short, the optimization system (depicted in Figure 1) relies on the interactions between the genetic algorithm

and the fitness function. While the NSGA-II generates the population of solutions in every generation, the fitness function keeps the solutions feasible and calculates the objectives values for each solution. Each solution is composed of a sequence of integer genes  $g_j^i$  that denotes the paving front to which the  $j_{th}$  paver is allocated in the  $i_{th}$  construction phase. Each gene corresponds to the sequential positioning of a paver throughout the construction duration. The fitness function, which will ultimately assess the quality of a solution in terms of cost and time, is executed for each solution and includes two processes: the verification and repair process, and the solution quality assessment process. On the one hand, the verification and repair process examines the feasibility of solutions. On the other hand, the solution quality assessment process includes the LP models and aims to distribute the remaining equipment to active fronts, leading to the determination of the total costs and duration.

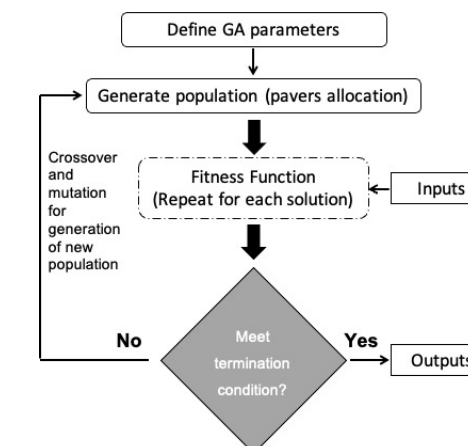


Figure 1. Simplified optimization system workflow

### 3. RESULTS AND CONCLUSIONS

The capabilities of the system were validated and tested in a real motorway rehabilitation project. Several scenarios were analyzed based on the case study in order to showcase the potential of the system to support decision making in real-world conditions, as well as its generalization capabilities which allow it to be applied in any pavement rehabilitation project. The obtained results were enough to back up the original decision to allocate the pavers in the real context of the construction as one of the optimal alternatives. However, with the quantities and types of equipment available to develop this project, it was not possible to find a solution that outperformed the originally adopted, i.e., an equipment allocation solution that was cheaper and faster at the same time. Nevertheless, it was also possible to find other equally optimal solutions, that would either be slightly less expensive but would take longer, or one solution which was faster but more expensive. Having more than one optimal solution to choose from provides decision makers with a broad view of the options, as well as a higher flexibility, since according to their own criteria they are able to choose the fittest option to complete the project in any condition, i.e., depending on different budgets or deadlines.

### REFERENCES

- [1] Parente, M., Cortez, P., Correia, A. G., An evolutionary multi-objective optimization system for earthworks, *Expert Systems With Applications*, Vol.42, pp.6674–6685, 2015.
- [2] Salimi, S., Mawlana, M., Hammad, A., Performance analysis of simulation-based optimization of construction projects using High Performance Computing, *Automation in Construction*, Vol.87, pp.158–172, 2018.
- [3] El-Rayes, K., Kandil, A., Time-Cost-Quality Trade-Off Analysis for Highway Construction, *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol.131, pp.477–486, 2005.
- [4] Amândio, M., Intelligent optimization system for process management in pavement rehabilitation. MSc thesis. Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 2019.

## LABORATORY TESTS ON STRUCTURAL GLASS SLABS: A COMPARATIVE STUDY WITH INTERNATIONAL STANDARDS

Patrícia Bonilha<sup>1,2</sup>, Rui Camposinhos<sup>1</sup>, Alfonso Junior<sup>2</sup>, Diogo Ribeiro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP)

<sup>2</sup> Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM).

patricia.sanvito.bonilha@gmail.com, rdc@isep.ipp.pt, alfonso.pappalardo@mackenzie.br, drr@isep.ipp.pt

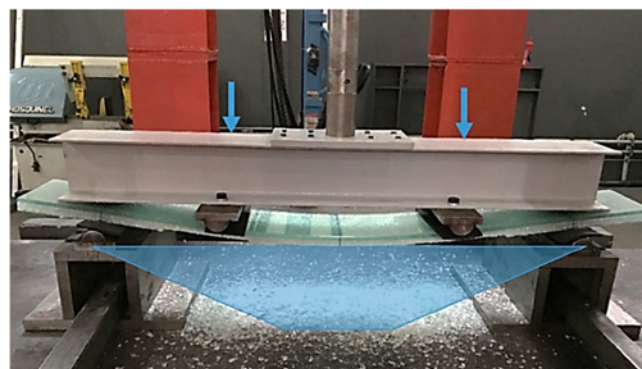
**Keywords:** Structural glass. Laboratory tests. International standards. Comparative study.

**09 (Inovação e Tendências Futuras)**

**Apresentação oral**

**1. INTRODUCTION** - Glass is a material widely used in civil construction and has been recognized by architects due to its aesthetics and functionality. Until the early 20<sup>th</sup> century, it was used only as closing elements, but with the current manufacturing technologies is possible to use glass as a structural element. Considered as an amorphous material, glass is mainly composed by silica sand. Its mechanical properties vary with the composition that generates different types of glass. The most used glass for structural purpose is Laminated Glass (LG), which is made by glass sheets intermingled with adherent material. When compressed it has high resistance, however, when tensioned, it shows around 3 to 7% of the compressive strength. The main advantages of this material are the use of natural light, energy saving, reliability due to its high resistance, 100% recyclable material, and reduction of waste in work sites. As it is a recent material to structural application, it requires further studies based on design standards or regulations. This work aims at investigating the use of glass and its applicability in structural elements, particularly walkway slabs, based on experimental tests and in the most recent requirements provided by international standards.

**2. LABORATORY TESTS** - The laboratory tests consisted of testing two prototypes of laminated tempered glass. Each prototype is composed by three layers, with 10mm thickness each, plus 1.52mm of PVB interlayer between each glass plate. The plates have dimensions of 1600mm long per 200mm wide and were tested as slabs under concentrated loads, as presented in Figure 1. The main goal of the tests was to analyze the behavior of slabs when submitted to pure bending stresses. The glass presents a fragile break and elastic behavior, and therefore returns to its normal curvature even after the break, as shown in Figure 2. The results from the laboratory tests are displayed in Table 1 and the stress vs deflection ( $\sigma$ - $\delta$ ) curves for slabs 1 and 2 are presented in Figure 3.



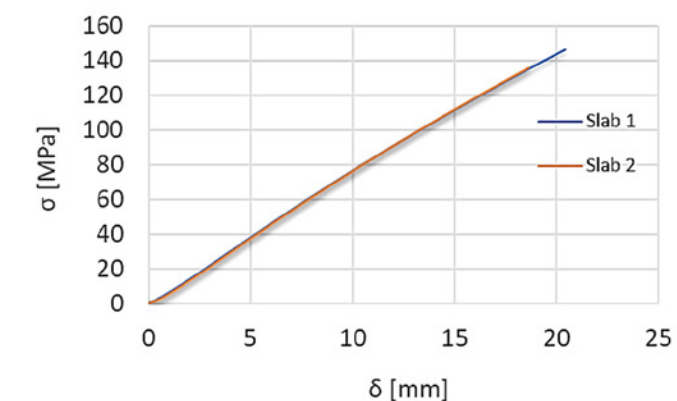
**Figure 1.** Slab prototype rupture and slab stresses diagram for the walkway model.



**Figure 2.** Glass elastic behavior.

**Table 1.** Laboratory tests results.

|                                      | Slab 1 | Slab 2 |
|--------------------------------------|--------|--------|
| Lab. Test Resistance Load [kN]       | 34.34  | 31.85  |
| Lab. Test Resistance Stress [MPa]    | 146.46 | 135.84 |
| Lab. Test Resistance Deflection [mm] | 21.09  | 19.58  |



**Figure 3.** Stress vs Deflection ( $\sigma$ - $\delta$ ) Curves.

**3. STANDARDS** - The design of structural glass requires the study of its properties and the knowledge of standards guidelines. In order to estimate the loads obtained on the laboratory tests, the estimated resistance loads were calculated following the ASTM E1300 [1] and ASTM E2751 [2], using the basic and analytical procedures respectively, as well as EN 16612 [3] simplified method. They were calculated considering the three glass layers and a 10-minute duration load. A full shear transfer by the PVB interlayer was assumed. The safety factors were disregarded to enable the comparison between the standards resistance values and the real resistance values from the laboratory tests. The estimated resistance values considering a 10-minute duration load are presented in Table 2 for each standard. The load duration influences the glass resistance since longer duration loadings are typically associated to lower resistance.

**Table 2.** Estimated resistance values from the different international standards.

|                                      | ASTM<br>Analytical<br>Procedure | EN<br>Simplified<br>Method |
|--------------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| Estimated Resistance Load [kN]       | 37.95                           | 25.10                      |
| Estimated Resistance Stress [MPa]    | 163.25                          | 108.30                     |
| Estimated Resistance Deflection [mm] | 23.30                           | 15.45                      |

**4. CONCLUSION** - The available international standards present some limitations and sometimes it is necessary to combine them to develop a complete design strategy. For specific applications, such as floor slabs, it is recommended to perform laboratory tests to properly analyze its structural behavior. The laboratory tests showed that the resistance load supported by the material is larger than those predicted by the standards, demonstrating, for this situation that the guidelines are conservative. The study of the structural connections was not the subject of this work, however, it is an important aspect to be considered in future developments.

## 5. REFERENCES

- [1] American Society for Testing and Materials. **ASTM E1300**: Determining Load Resistance of Glass in Building. 16 ed. West Conshohocken: ASTM, 2017.
- [2] American Society for Testing and Materials. **ASTM E2751**: Design and Performance of Supported Laminated Glass Walkways. 17 ed. West Conshohocken: ASTM, 2017.
- [3] European Committee for Standardization. **EN 16612**: Glass in Building - Determination of the Lateral Load Resistance of Glass Panes by Calculation. Brussels: CEN, 2019.

## OBTENÇÃO DE CAUDAL ATRAVÉS DE TRATAMENTO DE IMAGEM

Santos., R; Fernandes, J.N. <sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia Civil. Faculdade de Ciências e Tecnologias Nova.

Rpd.santos@campus.fct.unl.pt

<sup>2</sup>Departamento de Hidráulica e Ambiente, Laboratório Nacional de Engenharia Civil

**Palavras-chave:** LSPIV, Velocidade média e superficial, coeficiente, traçadores.

### 08. Infraestruturas hidráulicas

### Apresentação oral

#### 1. INTRODUÇÃO

A medição de caudais é essencial na gestão das necessidades de consumo de recursos hídricos, no tratamento de águas residuais, na produção de energia elétrica e na prevenção de inundações. Para que isto seja possível, em Portugal são efetuadas várias medições de caudais nos rios e leitos de água.

Atualmente existem diversos métodos para a medição de caudais sendo os mais usuais o método da secção-velocidade, o método estrutural e o método da curva de vazão. Para aplicar estes métodos são utilizados equipamentos e estruturas físicas colocados em locais estratégicos nos leitos do rio ou curso de água. Contudo, nem sempre as condições dos rios são favoráveis para a realização destas medições, sendo que, a instalação de muitos deles é complexa e de custos elevados.

De modo a contornar estas adversidades procurou-se desenvolver um método visual com base no procedimento PIV- *Particle Image Velocimetry*. Este método baseia-se na análise de sequência de imagens, permitindo medir o campo de velocidades 2D da superfície de um escoamento. Para isso é necessário existir partículas sólidas (detritos de plantas, pequenos flutuadores – naturais ou adicionados –, bolhas ou padrões de turbulência) de modo a serem reconhecidos de uma imagem para a outra. Segundo Muste [1], este método oferece como grande vantagem em relação aos métodos convencionais o facto de não ser intrusivo, ou seja, não irá perturbar o ecossistema em estudo nem alteram o caudal aquando a captura de vídeo.

#### 2. VELOCIMETRIA DE IMAGENS DE PARTÍCULAS EM GRANDE ESCALA

Fujita et al. [2] introduziu o conceito de LSPIV- *Large Scale Particule Image Velocimetry* como uma extensão do PIV para grandes áreas de escoamento em condições de laboratório e de campo. O autor identificou, como limitações em relação ao uso dos métodos visuais, as reflexões causadas pelo sol (ou luz artificial no laboratório) e a existência de ondas estacionárias que limitam a utilização do método. Para além disso, este método só é eficaz se o curso de água estiver em regime permanente e uniforme, ou seja, a água escoar através de um canal prismático sempre com o mesmo caudal, secção, declive e rugosidade. É necessário que a velocidade da água seja constante ao longo do tempo e as todas as partículas, que circulam na mesma trajetória, se desloquem à mesma velocidade. Caso contrário, o perfil de velocidades estaria sempre a variar deixando de se relacionar com o tempo, o que tornaria impossível determinar o caudal do curso de água por este método.

Para a utilização de LSPIV, a água deverá possuir traçadores que possam ser facilmente identificados durante o tratamento de imagem. Estes se possuírem um tamanho adequado irão dispersar e seguir com precisão o escoamento podendo ser considerados elementos representativos do fluido. Para determinar a velocidade instantânea superficial, é necessário conhecer as propriedades do aparelho em que o vídeo foi captado. Deste modo, é possível determinar o intervalo de tempo entre imagens.

De seguida, observa-se duas imagens consecutivas e verifica-se qual o deslocamento de cada partícula, de uma imagem para a outra. O produto da distância percorrida pelo intervalo de tempo entre imagens origina um vetor de velocidade superficial. Esses vetores de velocidade, quando tomados por toda a área da imagem, fornecem um mapa vetorial de velocidade, bidimensional, que representa o campo de velocidades na superfície do escoamento dentro da área em análise.

#### 3. PROGRAMAS UTILIZADOS

Os programas utilizados para executar este método foram o PIVlab e o Fudaa. O PIVLAB é um *software open source* de velocimetria de imagem de partículas (PIV) que tira proveito de vários recursos internos do MATLAB. O Fudaa-LSPIV, criado por Jodeau et al. [3], é uma interface Java que chama executáveis Fortran.

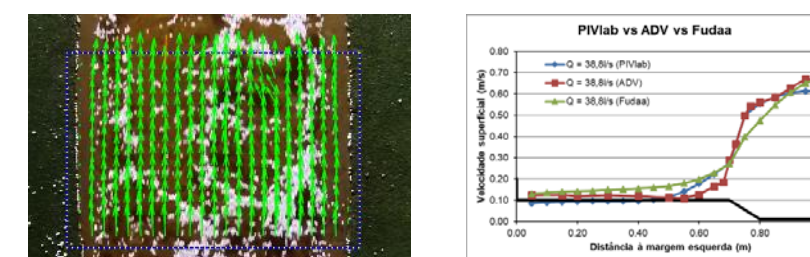
#### 4. PROCEDIMENTO E RESULTADOS

No âmbito de uma tese de mestrado, foram efetuadas medições de velocidades e de caudais em 3 instalações experimentais complementares com três diferentes configurações e tipos de escoamento (cf. Figura 1).



**Figura 1.** Locais dos ensaios.

Os resultados obtidos mediante o recurso a LSPIV foram comparados com medições por métodos tradicionais. Complementarmente, foram realizados ensaios num canal de grandes dimensões, com recurso a gravação de imagem através de drone.



**Figura 2.** (a) Exemplo de campo de velocidades superficiais e (b) Exemplo de resultados obtidos.

O trabalho realizado permitiu demonstrar a fiabilidade das medições de velocidade superficial através de LSPIV e a obtenção de coeficientes que permitem a estimativa das velocidades médias através das velocidades superficiais.

#### 5. REFERÊNCIAS

- [1] Muste, M., Fujita, I., & Hauet, A., Large-scale particle image velocimetry for measurements in riverine environments. *Water Resources Research*, 46(4), 1–14. <https://doi.org/10.1029/2008WR006950>, 2008.
- [2] Fujita, I., Muste, M., & Kruger, A., Large-scale particle image velocimetry for flow analysis in hydraulic engineering applications. *Journal of Hydraulic Research*. <https://doi.org/10.1080/00221689809498626>, 1998.
- [3] Jodeau, A. M., Hauet, A., & Coz, J. Le., *Manual Fudaa-LSPIV*, 2018.

## REFORÇO DE PONTES MODULARES DO TIPO BAILEY COM RECURSO A SISTEMAS DE PRÉ-ESFORÇO

T. Ramos<sup>1</sup>, J. Almeida<sup>2</sup>, A. André<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Engenharia Militar. Academia Militar. ramos.tv@exercito.pt

<sup>2</sup> Instituto Superior Técnico. jalmeida@civil.ist.utl.pt

<sup>3</sup> BERD, S.A. antonio.andre@protecna.pt

**Palavras-chave:** Ponte Militares, Reforço Estrutural, Pré-Esforço Exterior.

Inovação e tendências futuras

Apresentação Digital – Apresentação Oral

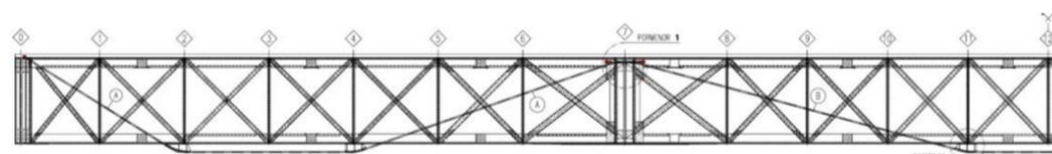
**1. INTRODUÇÃO:** Na presente dissertação apresenta-se uma possível solução recorrendo a pré-esforço exterior da ponte militar Mabey Compact 200, na sua configuração DSHR2H ++, sujeita a uma sobrecarga militar significativamente mais elevada do que aquela que está documentada, potenciando assim a sua utilização por veículos de classe de carga militar (MLC) superior.

**2. PONTES LOGÍSTICAS – ESTADO DA ARTE:** As duas grandes Guerras foram os principais motores para a evolução do conhecimento e do fabrico de pontes logísticas, principalmente porque em tempo de Guerra é grande o investimento em equipamento e tecnologias que permitam obter vantagem em relação aos adversários. Na Primeira Guerra Mundial, com o surgimento dos carros de combate de grande envergadura, foi necessário desenvolver pontes que conseguissem sustentar elevadas cargas nas suas vias, e por isso as pontes que surgiram eram estruturas robustas e pesadas. Com o avanço tecnológico durante o séc. XX e XXI, as pontes tornaram-se cada vez mais leves, rápidas de montar, resistentes e eficientes, sendo nos dias de hoje, soluções viáveis para emergências.



**Figura 1.** Ponte montada na 2ª Guerra Mundial na Alemanha (esquerda), e Ponte Mabey Compact 200 montada no Reino Unido (direita) [1].

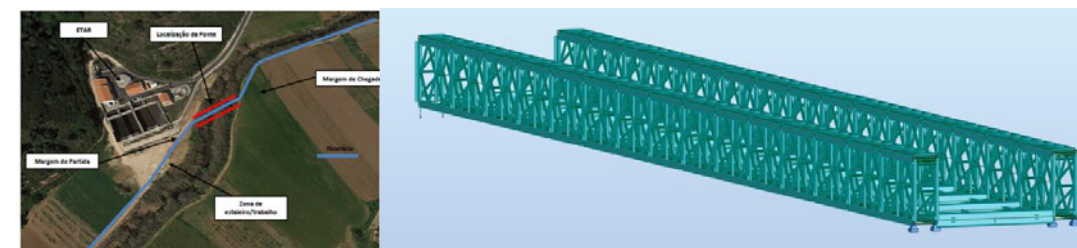
**3. REFORÇO DE PONTES MODULARES:** Atualmente na Engenharia de pontes, a busca incessante por soluções mais eficientes de reforço de pontes, trouxe uma panóplia de opções cada uma com particularidades diferentes, que nos fazem chegar a uma solução mais viável do que as outras. Ao pensar no assunto, pudemos facilmente concluir que a substituição de certas peças nas pontes por outras mais robustas, é uma solução simples e muitas vezes eficaz, mas existem outras, tais como a adição de novos elementos, adição de área de aço e os sistemas de pré-esforço exterior.



**Figura 2.** Exemplo de aplicação de pré-esforço exterior [2].

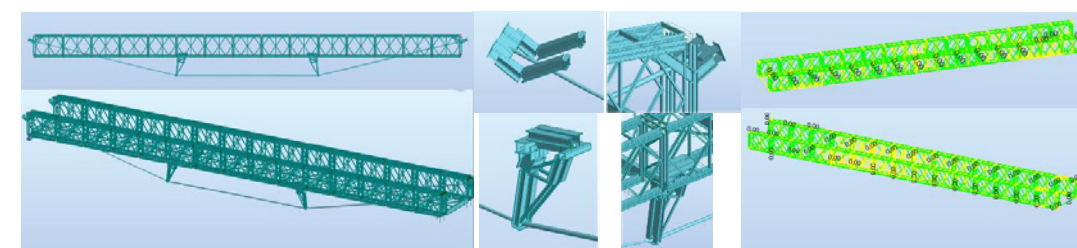
## 4. AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DA PONTE COMPACT 200

Para fazer o estudo da ponte, utilizou-se uma situação hipotética na qual pretende-se avaliar recorrendo a um sistema de pré-esforço exterior, a viabilidade da ponte instalada em Mafra (vão 45,72m) suportar veículos MLC 100 W, permitindo assim criar uma travessia (não existente nas proximidades) com a capacidade de carga pretendida sobre o Rio Lizandro. O modelo foi concebido no software ROBOT utilizando a mesma configuração que foi utilizada quando a ponte foi instalada em Mafra, e é objetivo da dissertação conceber um sistema de pré-esforço que conseguisse garantir a passagem da viatura de classificação MLC 100 W pela ponte Mabey na configuração DSHR2H ++.



**Figura 3.** Esquema de localização da ponte vista aérea (esquerda), e modelo em ROBOT da ponte.

Foi feita uma verificação automática dos perfis da ponte com base no software ROBOT, e verificou-se que muitos perfis não verificavam a segurança. Assim, foi estudada uma solução de pré esforço exterior que conseguisse resistir aos momentos fletores e esforço transversal exercida pela passagem de uma viatura de classificação militar MLC 100 W. Após ser dimensionada e refinada, foram desenvolvidos os elementos de interação, as ancoragens e as selas de desvio, mudaram-se os perfis das diagonais e dos postes macho e fêmea (não verificavam a segurança), e chegou-se a uma solução equilibrada com 2 cabos de 4 cordões de 0,6"N em cada lado da ponte, que cumpria as condições de segurança existentes nos regulamentos.



**Figura 4.** Ponte Mabey Compact 200 com sistema de pré-esforço exterior modelada (esquerda), elementos de interação (centro) e verificação de perfis (direita).

**5. CONSIDERAÇÕES FINAIS:** O problema prático apresentado tem por base uma situação real, na qual a ponte Mabey Compact 200 com a configuração DSHR2H++ foi utilizada, mostrando a utilidade que estes tipos de pontes militares podem ter na resolução de problemas em que são necessárias respostas eficientes. Numa forma geral, a implementação deste tipo de reforço nas pontes militares Mabey, poderá ser garantida estudando de uma forma intensiva a forma como é feita a sua montagem, mas é muito difícil de garantir em casos em que a ponte já está montada, tal como é o caso que se apresenta. A troca dos postes macho e fêmea, a troca das diagonais e a acoplação dos elementos de interação deveria ser feita durante a montagem da ponte, precedida da preparação dos perfis a ser colocados e dos furos para os parafusos que garantem a ligação tanto nos postes em cada extremidade como na corda inferior, ancoragens e selas de desvio.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Mabey Bridge. (s.d.). Mabey Compact 200. Obtido em 05 de Junho de 2020, de Mabey Bridge: <https://www.mabeybridge.com/pt>
- [2] Gomes, N. A. (2017). Estudo para Reabilitação e Reforço da estrutura metálica da Ponte sobre a Ribeira de Corges ao PK168+612 da linha de caminho-de-ferro da Beira Baixa. Universidade da Beira Interior, Covilhã.

TEMA 10

# **MONITORIZAÇÃO, INSPEÇÃO E EXPERIMENTAÇÃO**

## TERMOGRAFIA RADIOMÉTRICA PARA DIAGNÓSTICO DE PATOLOGIAS NAS EDIFICAÇÕES

Alex da Luz Paz<sup>1</sup>, Elói J. F. Figueiredo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Civil. Universidade Fernando Pessoa. 37606@ufp.edu.pt

<sup>2</sup> Professor Associado, Universidade Lusófona, eloi.figueiredo@ulusofona.pt

**Palavras-chave:** termografia, patologias nas edificações.

**Código da Área Temática:** 10

**Apresentação oral**

### 1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho incide sobre o uso da termografia como método não destrutivo de verificação da existência de patologias nas edificações, nomeadamente o descolamento de revestimento de argamassa em paredes, o deslocamento de revestimentos cerâmicos e possibilidades de verificação de infiltrações e vazamento de água.

No processo de transferência de calor por condução, os corpos materiais apresentam propriedades físicas que interferem na detecção termográfica. Dentre elas, a capacidade térmica dos materiais, que se relaciona com a capacidade que um corpo tem de receber ou ceder calor[1]. E, como a capacidade térmica relaciona-se com a quantidade de calor, que por sua vez é diretamente proporcional à massa do corpo, essa transferência de calor se dará em diferente velocidade, tanto menor quanto maior a massa, como ilustrado na Figura 1.



Figura 1 – Materiais compostos por uma mesma substância com massas diferentes.  
Fonte: o autor.

A temperatura ao longo de um corpo dificilmente será homogênea, o que permite a produção de termogramas úteis às inspeções, ao revelar os pontos de maior ou menor calor.

### 2. APRESENTAÇÃO DOS ENSAIOS REALIZADOS

Para explorar e comprovar a utilidade de câmeras termográficas como ferramenta de diagnóstico de patologias nas edificações, diversos ensaios experimentais foram realizados em laboratório, sob condições controladas, a partir de muretas edificadas com diferentes tipos de tijolos.

As Figuras 2a a 2d ilustram a preparação da mureta para a simulação de deslocamento de reboco tipo externo, com 3 cm de espessura. O ensaio foi realizado com temperatura ambiente de 29°C após aquecimento natural da mureta para a temperatura de 37°C, por meio de exposição solar. A Figura 2e reporta o termograma obtido, onde pode-se verificar com nitidez o simulacro engendrado.



Figura 2 – Simulação de deslocamento de reboco externo às edificações.  
Fonte: o autor.

As Figuras 3a e 3c ilustram a preparação da mureta para a simulação de deslocamento de azulejo fosco e pastilha brilhosa em reboco tipo externo, com 3 cm de espessura. O ensaio ilustrado na Figura 3b foi realizado com temperatura ambiente de 33°C e com temperatura natural da mureta de 38,3°C, ou seja, em condição de resfriamento da temperatura pelo entardecer em data onde se verificou 11,7°C de amplitude térmica. Já na Figura 3c, o autor indica a região de simulação de deslocamento de pastilha. O ensaio ilustrado na Figura 3d foi realizado com temperatura ambiente de 29°C e com temperatura da mureta de 39,6°C, alcançada por exposição ao sol. As Figuras 3b e 3d reportam os termogramas obtidos, onde pode-se verificar com nitidez os simulacros engendrados. Destaque para a região de maior aquecimento registrada na Figura 3b, onde se verifica a coincidência da região de deslocamento de reboco e deslocamento de pastilha.

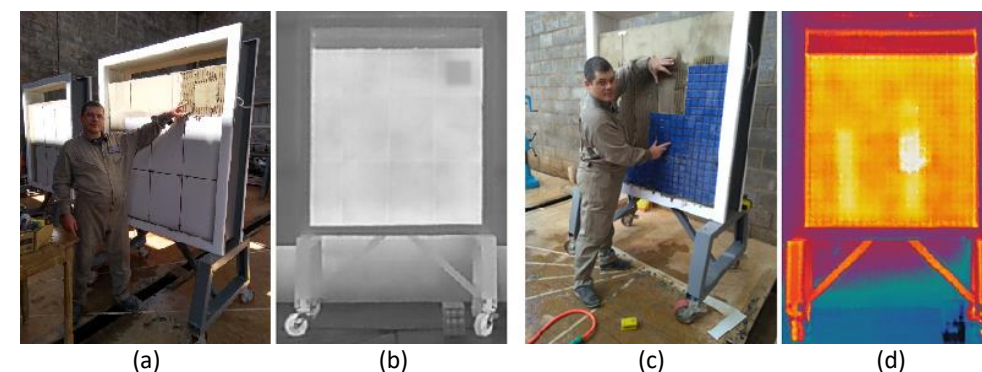


Figura 3 – Simulação de deslocamento de azulejo.  
Fonte: o autor.

A Figura 4a ilustra a preparação da mureta para a simulação de vazamento de água sob revestimento cerâmico. O ensaio da figura 4b foi realizado com o ponto de dispersão de água entre o reboco e o azulejo, como ilustrado em 4a. Já no ensaio da Figura 3c, o ponto de dispersão encontrava-se no substrato, ou seja, atrás do reboco. As Figuras 4b e 4c reportam os termogramas obtidos, onde pode-se verificar com nitidez o simulacro engendrado. Destaque para o fato de que ambos os termogramas foram registrados instantes antes que se podesse verificar a presença de água a olho nu.

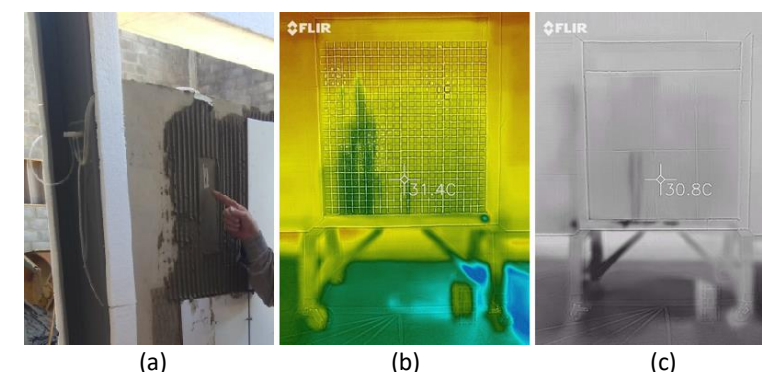


Figura 4 – Simulação de vazamento de água.  
Fonte: o autor.

### 3. CONCLUSÕES

Por meio dos ensaios realizados, concluiu-se que a tecnologia é eficaz para a identificação da existência de deslocamentos de revestimento de argamassa em paredes, da existência de deslocamentos de azulejos e pastilhas, com superfície fosca ou brilhosa, e a presença de vazamentos de água. A obtenção de bons resultados, contudo, depende da aplicação de boas práticas e uso de equipamentos adequados ao que se quer inspecionar, pois os ensaios realizados evidenciaram que a termografia, com os meios atuais de tecnologia, exige, ainda, sólida capacitação para a operação e exploração das câmeras termográficas.

### 4. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] Silva, C. X. d. & Filho, B. B., 2016. Física aula por aula: Termologia, Óptica e Ondulatória 2. 3ª ed. São Paulo: FTD.

## MEDIÇÃO DA DEFORMAÇÃO EM MATERIAIS METÁLICOS ATRAVÉS DE SISTEMAS DE VISÃO

Divaldo Valente<sup>1</sup>, Jónatas Valença<sup>2</sup>, Eduardo Cavaco<sup>3</sup>

<sup>1</sup> DEC. NOVA School of Science and Technology. d.soroo@campus.fct.unl.pt

<sup>2</sup> CERIS. Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. jonatas.valenca@tecnico.ulisboa.pt

<sup>3</sup> DEC. NOVA School of Science and Technology. e.cavaco@fct.unl.pt

**Palavras-chave:** Fotogrametria, Imagem, Precisão, Exatidão.

**Código da Área Temática 10**

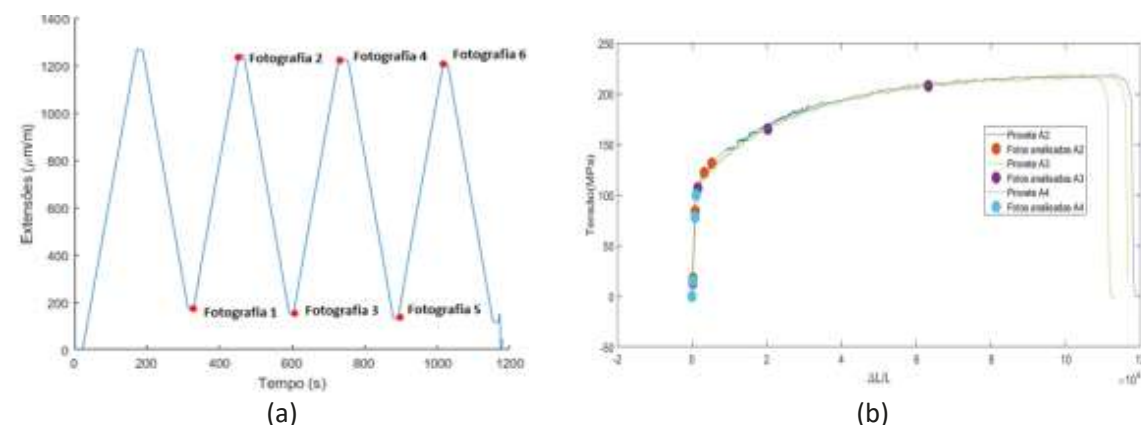
**Vídeo**

### 1. RESUMO ALARGADO

A medição da deformação e deslocamentos de estruturas em serviço e em ensaios experimentais é uma tarefa importante. No primeiro caso, pode ser relevante durante a fase construtiva, por forma a assegurar a geometria e segurança e, na fase de exploração, no âmbito da monitorização e avaliação do desempenho das estruturas durante a sua vida útil. Por este motivo, o desenvolvimento de novos métodos de medição e monitorização de estruturas de engenharia civil é uma área de investigação relevante. Em particular, deve ser dada especial atenção à aplicação de novas tecnologias e às ferramentas atualmente disponíveis [1, 2].

Os métodos a desenvolver devem ter em consideração não só a precisão e exatidão dos resultados obtidos, mas também a rapidez e facilidade de execução, não esquecendo o custo associado. Neste âmbito, os métodos baseados em imagem são uma opção muito atrativa, pela sua versatilidade, rapidez e baixo custo, quando comparados com a instrumentação mais tradicional. No entanto, em relação à medição de extensões, a maior parte dos estudos publicados baseiam-se na medição em fases avançadas do comportamento dos materiais, não apresentando valores durante a fase linear. Este facto está, não raras vezes, relacionado com a resolução espacial das imagens, que não atinge o valor requerido para medir baixos níveis de extensão.

O trabalho apresentado tem por objetivo a avaliação e aplicação de métodos baseados em imagem na medição de extensões (Figura 1): (i) em fase elástica, para estimar o valor do Módulo de Elasticidade do material; (ii) em fase plástica, para permitir avaliar a relação constitutiva do material até à rotura. Na Figura 1 apresenta o carregamento efetuado para cada um dos ensaios referidos, assim como os instantes correspondentes à captação das imagens analisadas é apresentados (por pontos).



**Figura 1.** Instantes de captação das imagens analisadas: (a) modulo de Elasticidade; (b) rotura.

Para o efeito, foram realizados ensaio de tração de provetes de liga 5754 de alumínio com medição de extensões através das técnicas de Fotogrametria e Correlação Digital de Imagem

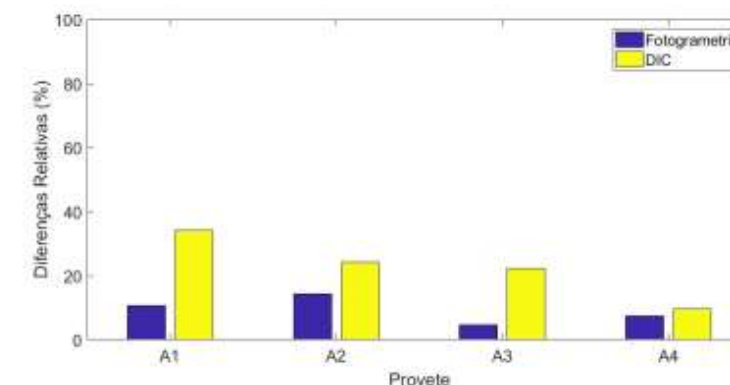
(Digital Image Correlation - DIC) e cujo *set-up* pode ser observado na Figura 2.



**Figura 2.** *Set-up* de ensaio: (a) vista geral; (b) diferentes estádios de ensaio da face do provete avaliada com fotogrametria e DIC.

Os resultados alcançados foram comparados com resultados de referência obtidos com recurso a um extensómetro tradicional baseada na variação da resistência elétrica, colado na outra face do provete. Os resultados demonstraram que:

(i) na determinação do Módulo de Elasticidade (E) do alumínio, e quando comparados com os valores obtidos a partir da medição do extensómetro, a Fotogrametria registou uma diferença relativa inferior aos 10%, e a DIC uma diferença relativa inferior aos 34,2% (Figura 3).



**Figura 3.** Diferenças relativas obtidas com Fotogrametria e DIC.

(ii) na determinação da extensão nos ensaios até à rotura, as técnicas baseadas em imagem garantem a medição de extensões em casos onde as técnicas tradicionais apresentam dificuldades, nomeadamente nas situações em que o extensómetro perde o contacto com a superfície do provete em estudo. Nestes casos, foram obtidas diferenças relativas na fase não linear dos ensaios entre 1% e 14% para a Fotogrametria, e entre 2% e 18% para a DIC.

Os resultados obtidos são promissores, porém importa definir um procedimento de ensaio para cada umas das técnicas avaliadas, Fotogrametria e DIC, de forma a garantir uma aquisição e processamento das imagens que garanta a precisão requerida para avaliar baixos níveis de deformação, em particular em regime linear.

[1] Mai, B. V., Pham, C. H., Hancock, G. J., & Nguyen, G. D. Block shear strength and behaviour of cold-reduced G450 steel bolted connections using DIC. *Journal of Constructional Steel Research*, 157, 151–160. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2018.11.025>, 2019.

[2] Valença, J., Carmo, RNF. Evaluation of the shear transfer mechanisms in reinforced concrete beams using photogrammetry, *Structural Concrete* 21 (1), 333–348, 2020.

## INSPEÇÃO DE FACHADAS COM RECURSO À TERMOGRAFIA DE INFRAVERMELHOS - CASO DE ESTUDO EM VISEU

Fernando G. C. Cerveira <sup>1</sup>, Ricardo M. S. F. Almeida <sup>2,3</sup>, J. Mendes Silva <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, Rua Luís Reis Santos, Pólo II, 3030- 788, Coimbra, Portugal. <fernandogcervera@gmail.com>

<sup>2</sup> Instituto Politécnico de Viseu, Escola Superior de Gestão e Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, Campus Politécnico de Repeses, 3504-510 Viseu, Portugal.

<sup>3</sup> CONSTRUCT-LFC, Faculdade de Engenharia (FEUP), Universidade do Porto, Rua Dr. Roberto Frias s/n, 4200-465 Porto, Portugal. <ralmeida@estv.ipv.pt>

<sup>4</sup> Universidade de Coimbra, ADAI, Departamento de Engenharia Civil, Rua Luís Reis Santos, Pólo II, 3030-788, Coimbra, Portugal. <raimundo@dec.uc.pt>

**Palavras-chave:** Termografia de Infravermelhos, Inspeção de Fachadas, Termografia Passiva, Análise Quantitativa.

### 10. Monitorização, inspeção e experimentação

### Apresentação oral

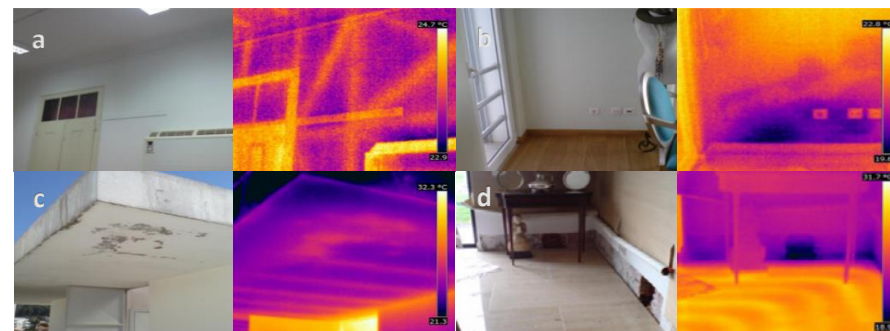
## 1. ENQUADRAMENTO DA TERMOGRAFIA DE INFRAVERMELHOS NA ENGENHARIA CIVIL

O aumento populacional, aliado à melhoria das condições de acessibilidade e maior oferta de emprego no setor terciário, tem levado a uma concentração da população nos grandes núcleos urbanos, onde o espaço é cada vez mais limitado e valioso, pelo que a reabilitação do edificado existente se tornou inevitável. No entanto, antes de poder intervir nos edifícios existentes e adequá-los aos padrões de exigência atuais por parte dos utilizadores, é fundamental recorrer a técnicas de inspeção e análise apropriadas para a sua correta caracterização.

Neste contexto, a termografia de infravermelhos (TIV) surge como uma técnica não intrusiva, altamente versátil, sendo uma ferramenta de grande utilidade na identificação de elementos construtivos e no diagnóstico de patologias em edifícios, tais como as pontes térmicas. Tendo em conta os requisitos energéticos cada vez mais exigentes impostos pelas diretivas europeias, a identificação e estudo de pontes térmicas em edifícios assume uma natural relevância.

## 2. EXEMPLOS DE APLICAÇÃO EM EDIFÍCIOS

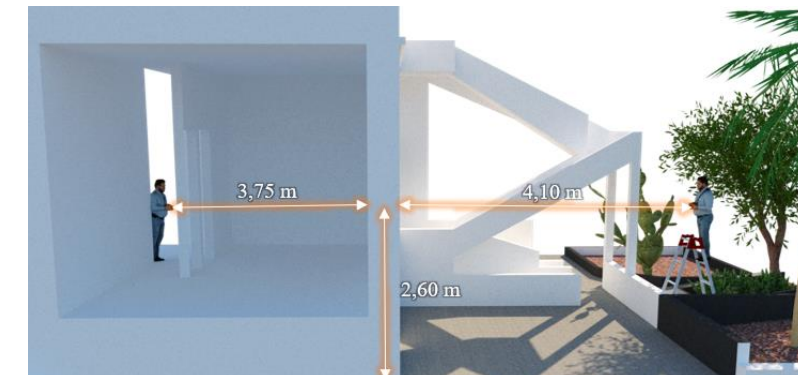
A versatilidade da TIV, no seu contexto de aplicação ao estudo de edifícios, constitui uma grande mais valia da técnica que tem sido explorada ao longo dos últimos anos. Tal é bem patente se atentarmos na diversidade de aplicações existente (Figura 1).



**Figura 1.** Exemplos de aplicação da TIV em edifícios: a) identificação de elementos construtivos; b) deteção de situações de humidade; c) inspeção de estruturas em betão armado; d) deteção de fugas em pavimentos radiantes. [1]

## 3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

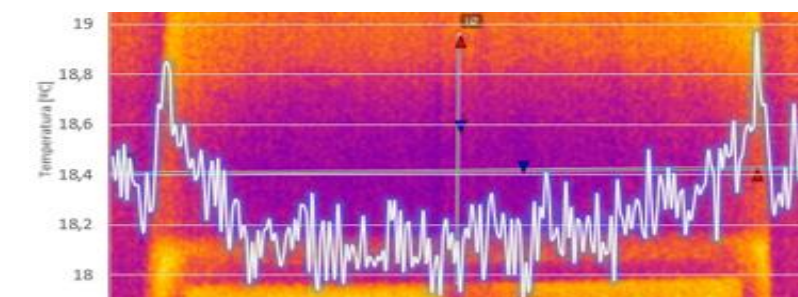
Na componente experimental deste trabalho utilizou-se a TIV no estudo do comportamento térmico de uma fachada de um edifício residencial, construído por volta de 1960, na cidade de Viseu. Destaca-se a análise de uma zona de janela voltada a Este, com ênfase na caixa de estore. Foi dada especial atenção às áreas limítrofes, confinantes com a zona corrente da fachada, de forma a poder identificar e compreender as pontes térmicas aí existentes, através de medições de valores de temperatura quer no exterior, quer no interior da habitação, ao longo de 17 horas, acompanhadas da captura de termogramas hora a hora (Figura 2).



**Figura 2.** Esquema ilustrativo das posições de captura dos termogramas.

## 4. PRINCIPAIS CONCLUSÕES

Através da campanha experimental, foi possível concluir que a TIV assume uma elevada utilidade quando aplicada à inspeção de fachadas de edifícios, uma vez que permite não só a deteção clara e eficaz de pontes térmicas, mas também a sua posterior análise em termos quantitativos. Permite também graus diferentes de análise, uma vez que a mesma pode ser feita num contexto mais abrangente, ao nível da totalidade da fachada, ou em maior pormenor, recorrendo a diferentes geometrias para interpretação dos valores de temperatura superficiais devidamente corrigidos. A TIV possibilitou também uma exposição visual clara e eficaz do fenómeno de ponte térmica em estudo (Figura 3), passível de ser facilmente interpretada, quer por membros da comunidade académica e técnica, quer pelo público em geral.



**Figura 3.** Perfil longitudinal da dispersão da temperatura superficial ao longo da caixa de estore

- [1] Mendonça, L.V., do Amaral, M.M. & Catarino, P. S. (2013). A termografia de infravermelhos como ferramenta para auxílio à inspeção e manutenção dos edifícios, J.E.M., ISEL, Lisboa

## INSPEÇÃO TÉCNICA DE CONSTRUÇÕES COM RECURSO A DRONES CASOS DE ESTUDO

João Miraldes<sup>1</sup>, João C. G. Lanzinha<sup>2</sup>, Jorge Falorca<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura. Universidade da Beira Interior. joao.miraldes@ubi.pt

<sup>2</sup> Eng. Civil. jorge.falorca@netvisao.pt

<sup>3</sup> Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura. Universidade da Beira Interior. jcgl@ubi.pt

**Palavras-chave:** Inspeção, Drones, Manutenção, Reabilitação.

**Monitorização, inspeção e experimentação**

**Apresentação oral**

### 1. INTRODUÇÃO

Manter o bom estado de conservação das construções em geral é um interesse tanto económico como social, pois garante a qualidade de vida e segurança dos seus utilizadores, ao mesmo tempo que se evita prejuízos para quem as gere. Por forma a manter um bom nível de conservação torna-se necessário que exista uma metodologia de inspeção bem definida e que contemple todas as técnicas necessárias para inspecionar corretamente toda a envolvente da construção. Entre as diversas técnicas de inspeção, a inspeção visual é das mais utilizadas [1] mas por si só não é suficiente para dar indicações objetivas ou propor soluções construtivas [2], no entanto é essencial para perceber quais os passos a seguir e indicar a necessidade de realizar inspeções mais detalhadas.

### 2. MOTIVAÇÃO E ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

Geralmente, em construções de difícil acesso como pontes e edifícios altos, os meios utilizados para inspecionar os diversos elementos da construção são dispendiosos e acarretam um risco de utilização elevado. Como tal, as inspeções que deveriam ser efetuadas com frequência acabam por ser colocadas de parte devido a serem economicamente inviáveis.

De maneira a colmatar estas condicionantes, o uso de drones têm vindo a ganhar cada vez mais interesse nesta área, visto que estes aparelhos são capazes de alcançar zonas de difícil acesso de forma rápida e segura, a um custo reduzido permitindo obter dados de alta resolução.

No entanto, a forma como esta tecnologia tem sido utilizada nas inspeções não é alvo de controlo, sendo muitas vezes implementada sem que exista uma preparação prévia do voo e do controlo dos parâmetros que podem influenciar os dados obtidos (Figura 1).



Figura 1. Parâmetros a ter em conta ao efetuar uma inspeção com drone (adaptado a partir de [3]).

Por forma a controlar estes parâmetros e uniformizar a qualidade dos dados obtidos, elaborou-se uma proposta de guião prático [4] que visa auxiliar o operador do drone e o técnico que realiza a inspeção, através de uma interface informática (Figura 2) desenvolvida pelos autores em Microsoft Excel, desde a definição do voo até ao registo das anomalias observadas.

Para validar a utilidade do guião na prática, este foi aplicado a quatro casos de estudo diferentes. Foram selecionadas duas pontes, uma sobre o Rio Zêzere (Figura 2) e uma ponte pedonal com 40 metros de altura, um prédio habitacional com 52 metros de altura e uma chaminé em betão armado com 10 metros de altura. Estes casos de estudo ficam situados no concelho da Covilhã e foram selecionados de modo a abranger os principais tipos de construções nas quais se verificam maiores dificuldades aquando da inspeção visual [4].

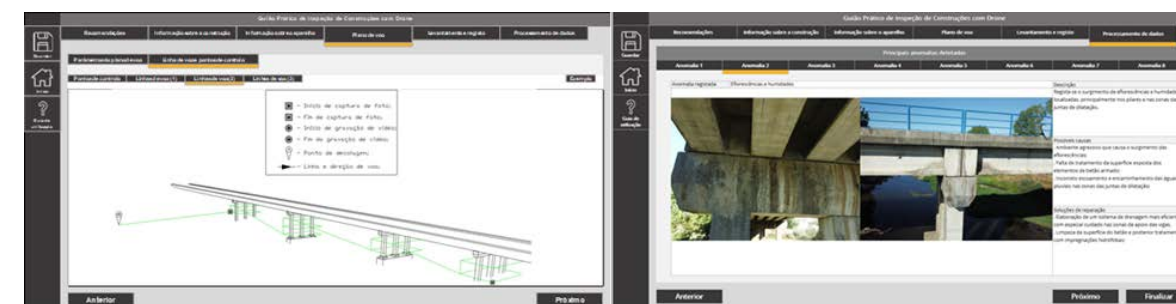


Figura 2. Guião prático – Linha de voo e registo de anomalias [4].

Após efetuadas as inspeções, procedeu-se a uma análise económica onde foi comparado o custo do uso de drones com a utilização de meios tradicionais para a realização de inspeções. Para tal consideraram-se dois dos casos analisados anteriormente, a ponte pedonal e o edifício habitacional. Foram levados em conta para esta análise meios tradicionais que proporcionassem o mesmo nível de aproximação à envolvente das construções que um drone proporciona, como tal, considerou-se a utilização de andaimes para inspecionar a envolvente das construções.

### 3. PRINCIPAIS CONCLUSÕES

A aplicação deste guião aos casos de estudo permitiu confirmar na prática o que a bibliografia em geral refere, nomeadamente que um drone pode ser uma ferramenta extremamente útil na realização de inspeções visuais a construções de difícil acesso.

Efetivamente, organizar e preparar os voos, sabendo previamente quais os principais pontos de registo, ter noção de como a linha de voo deve ser executada e levar em consideração os principais parâmetros que influenciam a qualidade da inspeção no geral, faz com que esta seja executada mais rapidamente, com maior segurança e com resultados de maior qualidade.

Os resultados da análise económica parecem demonstrar que os drones têm um custo de utilização significativamente mais baixo quando comparados com a utilização de outros meios de auxílio à inspeção visual (neste caso, cerca de 50 vezes inferior). Além do custo, também o tempo de inspeção é significativamente inferior.

### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. Falorca e J. Lanzinha, A utilização de drones como ferramenta tecnológica emergente para a inspeção técnica da envolvente de edifícios, Patologia e Reabilitação - Técnicas de Diagnóstico e Inspeção, pp.1016–1026, 2018.
- [2] J. Lanzinha, Reabilitação de Edifícios - Metodologia de Diagnóstico e Intervenção, tese de doutoramento, Nova Europa, Universidade da Beira Interior, 2013.
- [3] E. Seifert et al., Influence of Drone Altitude, Image Overlap, and Optical Sensor Resolution on Multi-View Reconstruction of Forest Images, Remote Sens., vol.11, pp.1252, 2019
- [4] J. Miraldes, Inspeção técnica de construções com recurso a drones – casos de estudo, Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, FEUBI – Faculdade de Engenharia da Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 2020.

## APPLICATION AND REMOVAL OF GRAFFITI ON ETICS: INFLUENCE ON THEIR WATER TRANSPORT PROPERTIES

Julio Calsing Feltes<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico. juliofeltes@tecnico.ulisboa.pt

**Keywords:** ETICS, Water, Graffiti, Removal.

10

Apresentação oral

### 1. INTRODUCTION

The present work aims at studying the water transport properties of ETICS (External Thermal Insulation Composite Systems) and its behaviour after application and removal of a sprayed graffiti. As they are applied to exterior walls and thus characterized by high vulnerability to weathering, i.e. more susceptible to the occurrence of surface anomalies, the need to study the durability of this type of insulation under the previously mentioned circumstances becomes evident. Thus, the main purposes of this work are: characterization of the water transport properties (water absorption and drying capability) of 12 commercial ETICS using different tests; comparison of the water transport properties of the 12 ETICS, in 3 conditions: without graffiti (reference scenario), with graffiti paint application (with two colours) and after different graffiti removal techniques procedures. Additionally, an IR Thermographic (IRT) analysis (by passive approach) was carried out to complement the results and corroborate forthcoming conclusions. To the best of the knowledge, there are no scientific studies focused on the effects of aerosol paint-graffiti on water transport properties of ETICS, neither on their removal from this substrate.

### 2. EXPERIMENTAL WORK

In this work, the specimens have three different insulation materials, i.e., mineral wool (MW), expanded cork (ICB) and expanded polystyrene (EPS). Besides, the base and finish layers also differ among system solutions, e.g., fibrous cement-based mortar, natural hydraulic lime (NHL) mortar, aqueous alkaline silicate primer, aqueous silicate paint, anti-alkaline primer, acrylic topcoat. However, the solutions were chosen in order to establish contact points between them and to have, for instance, two types of solutions in which only the type of insulating material differs, or in which only the constitution of the finishing layer varies.

For each type of the 12 ETICS, numbered from 1G to 12G, 9 specimens were tested, in a total of 108. From the 9 specimens of each ETICS type, three were used as reference, thus they were not painted with graffiti aerosol; three were painted with blue spray paint and three with silver spray colour. The tests and their respective standard procedures are presented in Table 1.

**Table 1.** Number of tests/tasks executed in the experimental campaign

| Test/Task                                          | Normalization               | Number of tests/tasks | Specimens | Total |
|----------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------|-------|
| Water absorption by capillarity                    | ETAG004 EOTA                | 2                     | 108       | 216   |
| Drying                                             | EN 16322                    | 2                     | 108       | 216   |
| Low pressure water permeability with Karsten tubes | Test No II 4 – (RILEM 1980) | 2                     | 108       | 216   |
| Contact Sponge                                     | UNI 11432:2011              | 2                     | 108       | 216   |
| IR Thermography                                    | ASTM C 1060-90              | 2                     | 108       | 216   |
| Graffiti Cleaning (reference spec.)                | --                          | 1                     | 36        | 36    |
| Graffiti Cleaning (painted spec.)                  | --                          | 3                     | 72        | 216   |
|                                                    |                             |                       |           | 1332  |

The specimens were cut in 50 x 50 ±3 mm specimens. The average total thickness of each specimen, considering the different thicknesses for insulating and finishing layers, varies between 39.87 mm and 65.85 mm. To ensure the representation of the real case – in which the boards of ETICS are stanch and the only face exposed to the atmosphere is the finishing one – and at the same time identify the specimens, the lateral sides were sealed with aluminium scotch tape by TESA.

### 2.1 Application of graffiti

Following the standard ASTM D7089, the specimens were painted with a spray can with an angle of 45° and 15 cm distance from the surface. Few preliminary tests were performed over expendable specimens. From the standard adaptation, it was established that spraying during 1 second three times in two distinct directions was enough to fill the small surface area of the specimens.

### 2.2 Graffiti cleaning methodology

Three commercial products with alkaline pH were used in the cleaning methodology: A solution of n-butyl acetate, xylene and alcohol isobutyl, hereinafter designated as GR; A solution of potassium hydroxide containing n-butylpyrrolidone, 2-(2-butoxyethoxy) ethanol, 2-butoxyethanol, hereinafter designated as AS; A solution of potassium hydroxide containing 2-butoxyethanol, a highly alkaline product with pH-value of circa 14, used for removal of graffiti-shadows in conjunction with graffiti removal, hereinafter designated as AS-Shadow; The cleaning process had no high-pressure water jet, as an answer for the fragile surface of the ETICS specimens. The cleaning procedure included a maximum of 3 cleaner applications as the operator verified that more repetitions would not improve the final result and irreversible damage could be achieved. Step 1 comprehends nylon brushing under hot water after the application of graffiti remover AS. Step 2 is basically the repetition of the previous procedure for all painted specimens (only) to improve the cleaning efficiency. For the last, Step 3 comprehends nylon brushing under hot water after graffiti shadow remover AS-Shadow (applied to all painted specimens). Afterwards, the specimens were dried for 24 h at 32 ± 2°C and conditioned for 7 days at 23±2 °C and RH 65±5 % before starting the second phase of tests of this experimental work.

### 3. RESULTS AND CONCLUSIONS

The results obtained revealed differences in the water absorption and drying kinetics among the different ETICS. In general, ICB-based and MW-based ETICS or systems with higher total thickness absorbed more water by capillarity. Despite the considerable drying rates observed for these specimens, higher drying resistance was registered. The ETICS with air lime and hydraulic binder as topcoat (4G) presented a drastic water absorption during the contact sponge method and by capillarity. ETICS 9G to 11G (acrylic topcoat) had nearly zero water intake through Karsten test. Among the aerosol spray paints tested, the extra layer of paint proved to reduce the water absorption of most of the ETICS solutions. On the other hand, the drying capability was decreased, which led to a higher difficulty in the evaporation of the water from inside the systems, which may result in future anomalies. From an overall analysis, the silver paint presented better results in terms of the absorption capability - by reducing the water absorption levels - and evaporation of liquid water, in comparison to the blue paint. The integration of IR thermography and the test of water absorption by capillarity provided a deeper insight on the water transport behaviour of the ETICS. Particularly, IRT showed satisfying results in showing the penetration of the water in the ETICS, quantified by comparing the internal temperatures due to absorption and diffusion of water. IRT results are in agreement with water absorption by capillarity tests, as the ETICS specimens which absorbed a high amount of water, have also the lowest average temperatures. The application of graffiti on ETICS resulted in internal temperature rises for most of the systems, confirming the overall reductions of the water intake by the ETICS after graffiti application. After the cleaning process the transport of water into the specimens was facilitated. Graffiti removal (alkaline) chemical products are highly effective in eliminating the silver paint from the ETICS, but ineffective for the blue-painted specimens. Its application in EPS-based systems is not recommended, due to a strong chemical interaction between the alkaline product and this type of thermal insulation. Furthermore, it is concluded that the degree of cleanliness with the applied methodology depends on the composition of the paints and type of finishing render of the ETICS.

## MONITORIZAÇÃO DE DESLOCAMENTOS EM ESTRUTURAS COM APOIO DE TECNOLOGIA VÍDEO E VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO

Rafael Cabral<sup>1\*</sup>, Diogo Ribeiro<sup>1</sup>, Ricardo Santos<sup>1</sup>, João Gabriel<sup>2</sup>

<sup>1</sup> CONSTRUCT-LESE, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, Portugal.

<sup>2</sup> Universidade Presbiteriana Mackenzie, Campinas, São Paulo, Brasil.

\*Autor correspondente: 1180269@isep.ipp.pt

**Palavras-chave:** monitorização, deslocamento, tecnologia vídeo, veículo aéreo não tripulado.

### 10. Monitorização, inspeção e experimentação

### Apresentação oral

### 1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de monitorização da integridade estrutural (SHM) das estruturas de engenharia civil são um instrumento de crucial importância para os gestores de infraestruturas aferirem as suas condições de operacionalidade e possíveis necessidades de manutenção ou reabilitação. Estes sistemas incluem uma vasta gama de sensores capazes de medir os efeitos das ações operacionais e ambientais, tipicamente a partir de deslocamentos, acelerações e deformações. Nos últimos anos, os métodos baseados em visão computacional assumiram-se como alternativas competitivas para a medição dos deslocamentos integrados em sistemas SHM. Alguns destes sistemas foram desenvolvidos e testados acoplados a Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) em aplicações em laboratório e em campo [1]. Em contraste com as medições que utilizam um ponto de referência fixo, o VANT é um ponto de referência não estacionário, e, por conseguinte, os seus movimentos afetam os deslocamentos medidos da estrutura. Yoon *et al.* [1] compensa o movimento do VANT com recurso a um objeto estacionário no plano de fundo cujo deslocamento é nulo, no entanto esta abordagem é limitada à existência dum referencial fixo que nem sempre é possível executar.

### 2. METODOLOGIA

Neste trabalho foi desenvolvida uma metodologia inovadora para estimar os deslocamentos de estruturas de Engenharia Civil com base em sistemas de vídeo integrados em VANTs e com o apoio de sistemas de posicionamento de precisão do tipo RTK (Figura 1a) [2,3]. Dado que a estrutura e o VANT estão ambos em movimento, a estimativa dos deslocamentos envolve, em primeiro lugar, a avaliação dos deslocamentos relativos entre a estrutura e o VANT, com base no rastreamento de um alvo, e, em segundo lugar, a subtração do movimento do VANT a partir dos dados de uma Unidade de Medição Inercial (IMU). Para o efeito foram desenvolvidas ferramentas heurísticas de processamento de imagem de rastreamento de alvos, além da implementação de uma estratégia de integração numérica para o processamento de dados da IMU, ambas no programa MATLAB® (Figura 1b).

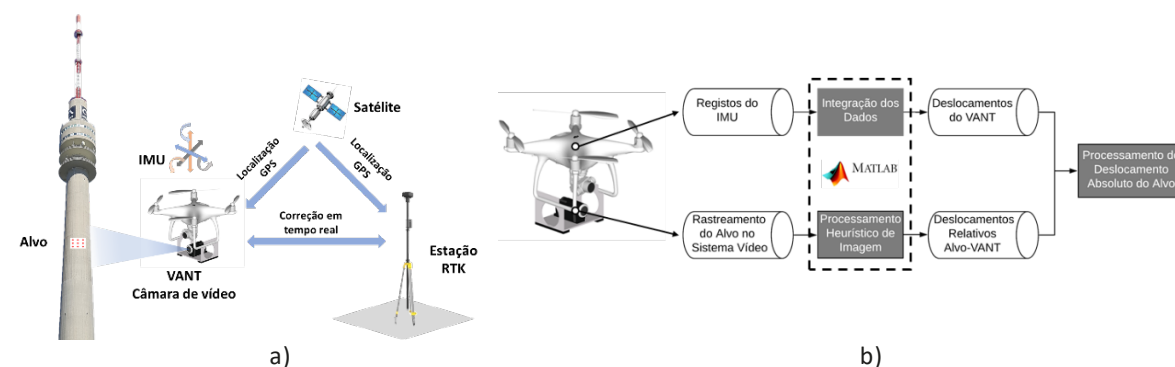


Figura 1. Metodologia proposta: a) sistema de medição, b) ferramentas desenvolvidas.

### 3. RESULTADOS E CONCLUSÕES

A validação da metodologia proposta baseou-se em ensaios dinâmicos exploratórios realizados em laboratório e em campo. O ensaio em laboratório envolveu a medição dos deslocamentos de um alvo em movimento, posicionado sobre uma mesa sísmica, com um sensor do tipo LVDT e o sistema de vídeo do VANT em posição estacionária (Figura 2a). Os resultados obtidos para um movimento sinusoidal, de amplitude constante e frequência igual a 1,10 Hz, demonstraram que o erro máximo entre os deslocamentos estimados pelo sistema de vídeo e o LVDT foi igual a 0,096mm, que é um valor inferior à resolução das imagens digitais (0,145mm/px).

O ensaio em campo envolveu a medição dos deslocamentos de um alvo fixado a uma parede rígida, sem movimentos, e com o sistema de vídeo acoplado a um VANT não estacionário (Figura 2b). Nestas circunstâncias, o deslocamento virtual do alvo estimado pelo sistema de vídeo é devido exclusivamente aos movimentos próprios do VANT. A comparação entre os registos de deslocamento do sistema vídeo e os obtidos pela integração dos dados do IMU mostra uma boa concordância, com valores máximo de erro médio quadrático (RMS) e valores de pico iguais a 9,32% e 15,56%, respetivamente. Estes erros poderão ser parcialmente justificados pela ocorrência de pequenos deslocamentos relativos entre o VANT e o sistema de vídeo externo, devido, sobretudo, à flexibilidade na ligação entre estes componentes.

Os resultados de ambos os ensaios permitiram demonstrar a eficiência e robustez da metodologia desenvolvida na estimativa dos deslocamentos absolutos de estruturas e com potencialidades de integração em sistemas de SHM.

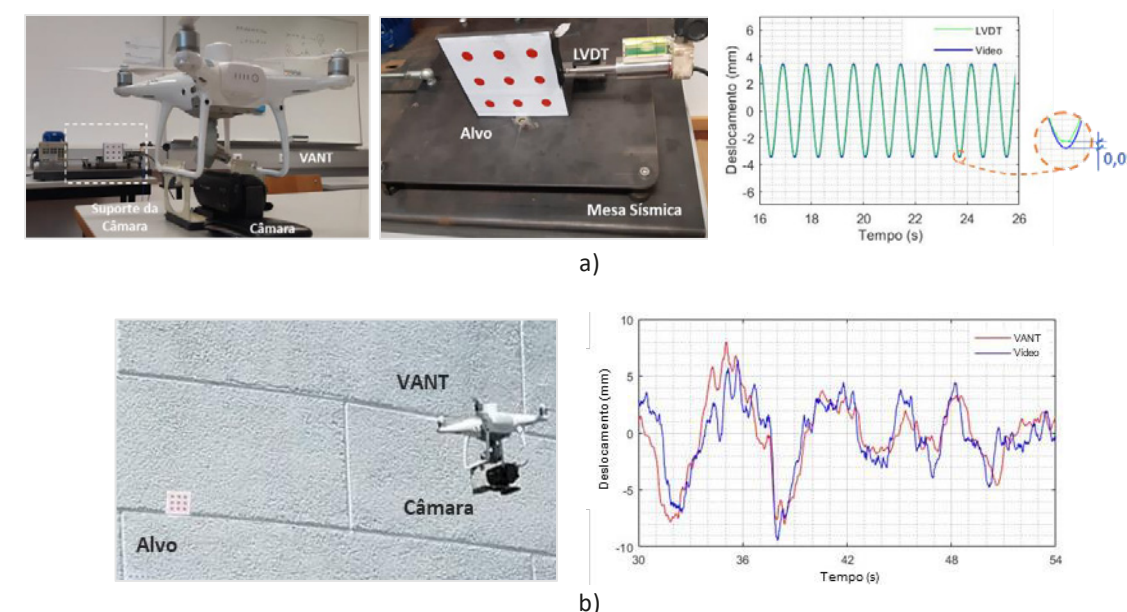


Figura 2. Ensaios dinâmicos exploratórios: a) laboratório, b) campo.

### REFERÊNCIAS

- [1] Yoon, H., Shin, J., Spencer Jr, B. F., Structural displacement measurement using an unmanned aerial system, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, Vol.33(3), pp.183-192, 2018.
- [2] Cabral, R., Procedimentos para avaliação dos deslocamentos da torre de telecomunicações do Monte da Virgem sob ação do vento com um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), *Dissertação de Mestrado*, ISEP, Porto, 2019.
- [3] Ribeiro, D., Santos, R., Cabral, R., Saramago, G., Montenegro, P., Carvalho, H., Correia, J., Calçada, R., Non-contact structural displacement measurement using unmanned aerial vehicles and video-based systems, *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol.160, pp.107869, 2021.

## AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA DAS DELEGACIAS DE POLÍCIA CIVIL DA SECRETARIA DE ESTADO SEGURANÇA PÚBLICA EM SÃO LUÍS – MARANHÃO – BRASIL

Valdilea F. Lopes<sup>1</sup>, Maria J.A. Leão<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Secretaria de Segurança Pública do Estado do Maranhão, Brasil. valdilealopes38@gmail.com

<sup>2</sup> Instituto Politécnico da Guarda. Unidade Técnico-Científica de Engenharia Civil. jleao@ipg.pt

**Palavras-chave:** Manutenção, Intervenções, Durabilidade, Inspeção predial.

**Código da Área Temática 10** - (Monitorização, inspeção e  
experimentação)

Poster

### 1. INTRODUÇÃO

Este estudo apresenta uma abordagem sobre a atual situação das delegacias de polícia civil da Secretaria de Estado da Segurança Pública (SSP) da cidade de São Luís, Estado do Maranhão, Brasil. Foram vistoriadas trinta e nove delegacias de polícia da SSP. Por meio dessas inspeções, procurou-se demonstrar que o estado de conservação das delegacias de polícia civil pode ser considerado deficitária, tendo em vista a falta de manutenção preventiva. Assim caracterizou-se o problema que motivou a elaboração deste trabalho. Através da revisão bibliográfica buscou-se uma proposta para dar resposta a esse problema. Verificou-se que a vida útil de um prédio é planejada na fase de projeto, passa pela fase de execução e não termina na entrega a obra. A manutenção predial, visa garantir a vida útil da edificação e que se mantenha na forma como foi planejada. Através da manutenção da edificação podemos melhorar ou garantir a durabilidade da edificação de forma que suas partes e materiais empregados conservem as propriedades preexistentes e alcancem a capacidade de desempenho para o qual ela foi projetada. A inspeção predial é fundamental nessa fase, uma vez que é através dela que verificamos a real necessidade de realizar as intervenções. A pesquisa tem o propósito de investigar o estado de conservação das delegacias de polícia civil da Secretaria de Estado da Segurança Pública na cidade de São Luís, Estado do Maranhão e verificar o real estado de conservação das mesmas e os tipos de problemas encontrados na falta de manutenção ao longo do tempo. A relevância da pesquisa é a procura de metodologia que atinja um procedimento onde as manutenções preventivas sejam transformadas pelos gestores públicos periodicamente de forma a conservar as características iniciais da edificação.

### 2. CONCEITO DE MANUTENÇÃO PREDIAL

Uma edificação deve ser construída seguindo orientações definidas pelos princípios e técnicas de engenharia e da arquitetura. Além disso, deve oferecer conforto, segurança e funcionalidade do sistema de forma que não ofereça riscos aos seus usuários.

Para assegurar esse funcionamento, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT- NBR 15575-1/2013), define manutenção como sendo a verificação, através de uma metodologia técnica, das condições de uso e de manutenção preventiva e corretiva da edificação [1]. Dessa forma, é necessário que, os serviços sejam executados de forma correta tal como foi projetado e calculado. Assim, deverá ter um planejamento de inspeções regulares após a entrega do prédio e se for o caso, realizar as intervenções necessárias para garantir o bom desempenho da edificação sempre planejada e programada, a inspeção predial é tão importante quanto a manutenção, uma vez que ela funciona como o *checkup* da edificação, visando a boa qualidade predial e também a boa saúde de seus usuários [2].

Portanto, fica evidente que a manutenção é um conjunto de procedimentos e atividades que precisam ser executadas ao longo da vida útil de toda edificação, realizando ainda intervenções para que a mesma recupere suas características iniciais com qualidade e segurança.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o desenvolvimento deste trabalho foi possível verificar que as delegacias de polícia civil/SSP da capital não possuem um plano de manutenção, e nem um Manual de operação, uso e manutenção das edificações.

Com a realização das vistorias realizadas nas trinta e nove delegacias/SSP na cidade de São Luís, Estado do Maranhão, verificamos problemas considerados crônicos na cobertura e rede de esgoto e, mesmo após os serviços de reformas terem sido executados, estes problemas ainda permanecem.

Partindo da ideia inicial que é de verificar as características relativas ao estado de conservação das delegacias na capital, constata-se que os principais problemas encontrados estão ligados no fato de que uma parte das unidades policiais serem prédios alugados e, portanto, não constituindo obrigatoriedade do locatário em realizar serviços de reformas.

Outro ponto importante se constitui na falta de uma fiscalização mais presente e eficaz da SSP para que não haja falhas ou defeitos construtivos na pós ocupação. Constataram-se inconformidades na adequação com as normas brasileiras em relação a estrutura física dos prédios. Identificaram-se, na parte elétrica, pontos elétricos insuficientes para atender a demanda de algumas unidades policiais. A falta na qualidade dos materiais empregados é bastante visível na colocação do piso que foram encontrados, em algumas delegacias o piso encontra-se desgastado e quebradiço contribuindo assim na diminuição da durabilidade e desempenho da edificação.

### 4. CONCLUSÃO

Deste modo, chega-se ao entendimento de que uma fiscalização eficiente, a utilização de materiais de qualidade, o monitoramento da usabilidade da edificação na pós ocupação e a existência de um plano de manutenção irão contribuir para que os serviços de engenharia sejam realizados de forma planejada, apresentem maior qualidade dos materiais empregados contribuindo assim para uma melhor durabilidade e desempenho no estado de conservação da edificação. Contudo, seria importante estabelecer a manutenção preventiva como procedimento regular e constante decorrente de uma vistoria e/ou inspeção nos prédios da SSP na capital.

Assim, diante dos assuntos abordados, outras questões podem ser consideradas relevantes como possíveis desdobramentos destes, o que leva a entender que a partir dos temas desenvolvidos neste trabalho, ainda poderão ser tratados muitos outros itens correlatos, tais como: Fazer o levantamento e o estudo do estado de conservação das delegacias de polícia civil no interior; Elaborar um plano de manutenção para as delegacias de polícia civil da SSP, na capital e no interior, objetivando manutenções preventivas.

### REFERÊNCIAS

[1] CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO: Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT 15575/2013. Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) – Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

[2] GOMIDE, T. L., FAGUNDES NETO, J. C. P., GULLO, M. A. Inspeção predial total. Diretrizes e laudos no enfoque da qualidade total e engenharia diagnóstica. São Paulo: Pini, 2014.

TEMA 11

# PLANEAMENTO TERRITORIAL E URBANO

## ANÁLISE DO RISCO DE CHEIAS NAS RIBEIRAS DO CONCELHO DO FUNCHAL – DO PLANEAMENTO À AÇÃO

André Diogo Sousa Moura<sup>1</sup>, Sérgio António Neves Lousada<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Faculdade de Ciências Exatas e Engenharia (FCEE), Departamento de Engenharia Civil e Geologia (DECG), Universidade da Madeira (UMa), Funchal, Portugal.  
andredio92@gmail.com, slousada@staff.uma.pt

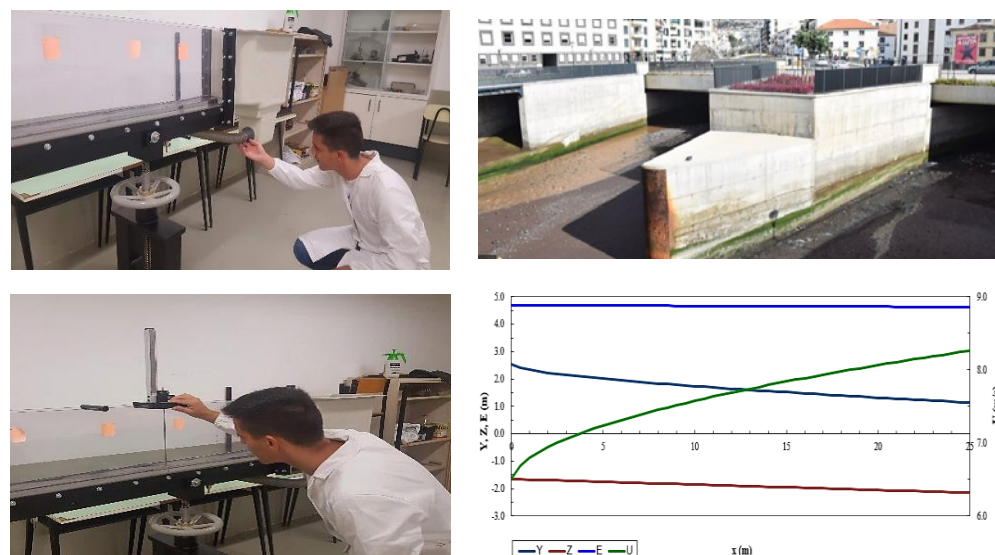
**Palavras-chave:** Gestão territorial, hidrologia, planeamento urbano, sistemas de informação geográfica.

11

Apresentação oral

### RESUMO

Os fenómenos de cheias são uma consequência habitual das chuvadas de alta intensidade e curta duração que ocasionalmente atingem o arquipélago da Madeira, em particular a sua ilha mais populosa, a ilha da Madeira. A sua morfologia distingue-se das restantes pelas suas características particulares, como o seu relevo acentuado. Essas características interligam-se intrinsecamente com os fenómenos de cheias, tendo repercussões diretas ou indiretas ao nível económico, ambiental, das infraestruturas e inclusivamente da vida humana. Este impacto gera por sua vez prejuízos que variam entre as ordens de grandeza das dezenas a milhares de milhões de euros [1]. Deste modo, tornou-se imperativa a modelação e a simulação rigorosa do escoamento das linhas de água mais relevantes para o escoamento pluvial, comparando a evolução dos parâmetros E (linha de energia), Y (cota da superfície livre), Z (cota do fundo) e U (velocidade), Figura 1, por forma a reduzir ou mitigar o impacto deste tipo de catástrofes naturais [2].



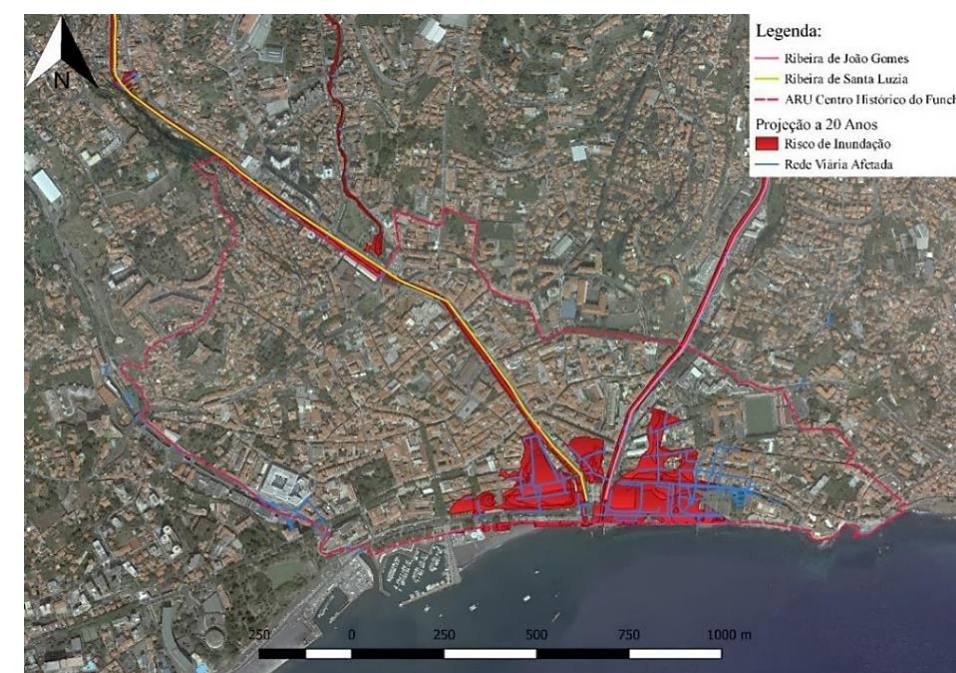
**Figura 1** - Modelação e simulação do escoamento na foz das Ribeiras de João Gomes e Santa Luzia.

Essa análise hidrológica foi complementada com outros métodos [3] por forma a validá-la, Tabela 1, sendo posteriormente articulada com os princípios de planeamento urbano, instrumentos de gestão territorial e demais políticas públicas em vigor, para o ordenamento do território.

**Tabela 1** - Análise comparativa à secção conjunta de ambas as Ribeiras de João Gomes e Santa Luzia

| Folha de Cálculo Programada                 |       |       |       |          |         |         |            |       |             |
|---------------------------------------------|-------|-------|-------|----------|---------|---------|------------|-------|-------------|
| Secção                                      | L (m) | b (m) | h (m) | Q (m³/s) | U (m/s) | I (m/m) | n (m⁻¹/³s) | Fr    | Re          |
| Montante                                    | 0     | 24    | 4.185 | 653.00   | 6.501   | 0.02    | 0.018      | 1.015 | 19973133.21 |
| Jusante                                     | 25    | 24    | 3.292 | 653.00   | 8.264   | 0.02    | 0.016      | 1.455 | 21138796.18 |
| HEC-RAS                                     |       |       |       |          |         |         |            |       |             |
| Montante                                    | 0     | 24    | 3.950 | 653.00   | 6.888   | 0.02    | 0.013      | 1.107 | 20267365.36 |
| Jusante                                     | 25    | 24    | 3.200 | 653.00   | 8.503   | 0.02    | 0.013      | 1.518 | 21267399.83 |
| Modelo Experimental (adaptado ao caso real) |       |       |       |          |         |         |            |       |             |
| Montante                                    | 0     | 24    | 4.213 | 653.00   | 6.204   | 0.02    | 0.023      | 0.965 | 19155729.57 |
| Jusante                                     | 25    | 24    | 3.012 | 653.00   | 8.680   | 0.02    | 0.014      | 1.598 | 20689263.63 |

Os SIG revelaram-se ferramentas fundamentais no processo de planeamento e ordenamento territorial, viabilizando a análise espacial da urbe (principalmente do seu núcleo histórico) e sua relação com os canais de água artificiais que lhe atravessam, projetando eventuais zonas inundáveis e subsequentemente afetadas por fenómenos de cheias rápidas [4], Figura 2.



**Figura 2** - Projeção do risco de inundação para a zona do Centro Histórico do Funchal.

A análise comparativa de casos de estudo de ocorrências de chuvadas de alta intensidade e curta duração em outras localizações geográficas, permitiu clarificar a origem da casuística na RAM e por outro lado perspetivar e aferir a viabilidade de medidas estruturais e não estruturais a aplicar na Madeira, prestando um contributo claro para a mitigação de fenómenos desta natureza.

- [1] Moura, A. D. S.; Lousada, S. A. N.; Catanho, R. A., Canais artificiais e a sua influência em processos de ordenamento do território e planeamento urbano. Políticas públicas territoriales y desarrollo regional, 1ª Ed., Thomson Reuters Aranzadi, Cap. 23, ISBN: 978-84-1346-696-5, 2020.
- [2] Lousada, S. A. N. & Camacho, R., Hidrologia, recursos hídricos e ambiente - Aulas Teóricas. Vol. I, ISBN 978-989-8805-33-1, Universidade da Madeira, 230 p, 2018.
- [3] Chow, V. T., Applied Hydrology. McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering. Chow, V. T.; Maidment, D. R.; Mays, L. W., IV Series. ISBN: 0 07-010810-2, 1988.
- [4] SRA/DROTA, Plano Regional de Gestão dos Riscos de Inundações da Região Autónoma da Madeira. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2017.

TEMA 12

# **QUALIDADE E SUSTENTABILIDADE DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**

## APLICAÇÃO DE MODELO DE AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NA HABITAÇÃO

Silva, Tiago J. P.<sup>1</sup>, Lanzinha, João C. G.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade da Beira Interior. tiagosilva.ts90@gmail.pt

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura. Universidade da Beira Interior, Covilhã. jcgl@ubi.pt

**Palavras-chave:** Avaliação, habitação, saúde, segurança.

**Monitorização, inspeção e experimentação**

**Apresentação oral**

### 1. INTRODUÇÃO

No quotidiano, grande parte do nosso tempo de vida é passado no interior de edifícios, aumentando os riscos para a sua segurança, saúde e bem-estar, tendo em conta os diversos tipos de perigo que podem existir nas edificações. Com objetivo de melhorar a qualidade de vida dos habitantes, surge a necessidade da evolução dos métodos de análise [1] e, desta forma, criou-se um modelo que possa avaliar a segurança e saúde nas habitações, de acordo com a composição do agregado familiar que a ocupa.

Para o desenvolvimento do modelo proposto, procedeu-se à identificação de um conjunto de exigências funcionais e regulamentares a que as habitações devem dar resposta, estudaram-se modelos de avaliação e listaram-se os principais tipos de perigo que poderão afetar a saúde dos residentes num total de 32. Em resultado desta análise propôs-se um modelo de avaliação de segurança e saúde na habitação, aplicável em Portugal, que é suportado por uma ficha de inspeção e medições que fornecem dados complementares para a avaliação. Por fim, e com auxílio de um website criado para o efeito, é determinada a classe de risco, contemplando a probabilidade de ocorrência, os fatores de risco e a composição do agregado familiar, dando origem a um modelo de relatório síntese. Para validação do funcionamento e utilidade do modelo de avaliação, aplicou-se a metodologia a um conjunto de 8 habitações de diferentes épocas construtivas, com diferentes localizações e composições de agregado familiar [2].

### 2. ESTRUTURA DO MODELO DE AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NA HABITAÇÃO (MASSH)

A forma de avaliação proposta é composta por três partes distintas, mas interligadas entre si. A primeira parte tem em consideração o estudo da probabilidade de ocorrência (P) do tipo de perigo, com auxílio de uma ficha de inspeção onde constam dados de medições dos parâmetros interiores e a avaliação qualitativa da probabilidade de ocorrência dos diversos perigos. A segunda parte, o fator de risco (FR) para cada tipo de perigo, que consiste na utilização das tabelas do modelo já aplicado no Reino Unido (HHSRS) [3], que através de análise de médias estatísticas propõe percentagens da propagação de danos possíveis atribuída a cada classe de risco para cada tipo de época construtiva. Na terceira parte considera-se a composição do agregado familiar (A), considerando as diferentes idades e o risco que determinado agregado pode vir a sofrer em função de cada um dos perigos. O modelo de avaliação proposto permitirá conhecer as condições de segurança e saúde da habitação, considerando para o cálculo da Classificação de Risco (CR) traduzindo-se numa escala de cores.

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1 | Risco de nível baixo    |
| 2 | Risco de nível moderado |
| 3 | Risco de nível médio    |
| 4 | Risco de nível alto     |
| 5 | Risco de nível extremo  |

Figura 1 - Escala de cores da classificação de risco (CR) e seu significado.

### 3. DETERMINAÇÃO DA CLASSE DE RISCO

De modo a atribuir a respetiva classe de risco global à habitação, será utilizada uma tabela de intervalos, como ilustrado na Tabela 1. Através da média aritmética da Classificação de Risco (CR) para cada tipo de perigo, obtêm-se uma Classificação Final (CF) para a habitação e em função dos intervalos de classificação escolhe-se a respetiva Classe de Risco.

Tabela 1 – Classificação da Classe de Risco Global.

| Intervalo de Classificação Final (CF) | CF ≥ 1   | 1.5 ≤ CF < 2.5 | 2.5 ≤ CF < 3.5 | 3.5 ≤ CF < 4.5 | 4.5 ≤ CF ≤ 5 |
|---------------------------------------|----------|----------------|----------------|----------------|--------------|
| Classe de Risco                       | Classe I | Classe II      | Classe III     | Classe IV      | Classe V     |

De acordo com a Tabela 1 surge a necessidade de descrever as várias Classes de Risco, tendo em conta o impacto produzido na habitação em função da composição do agregado familiar.

**Classe I** – risco baixo para o agregado familiar; Não existe a probabilidade de sofrer qualquer tipo de danos ou lesões.

**Classe II** - risco moderado para o agregado familiar; Este pode sofrer algum tipo de lesões sendo que não será necessária assistência médica.

**Classe III** - risco significativo para o agregado familiar; Este pode sofrer lesões que podem levar a necessidade de assistência médica.

**Classe IV** - risco elevado para o agregado familiar; Este pode sofrer de lesões que levam a necessidade de assistência médica.

**Classe V** - risco extremo para o agregado familiar; Este pode sofrer lesões muito graves que levam a necessidade de assistência médica urgente.

### 4. PRINCIPAIS CONCLUSÕES

É importante reconhecer que existem muitos fatores que afetam a saúde e bem-estar dos ocupantes. De forma a garantir as condições adequadas nos edifícios de habitação é necessário que sejam devidamente identificados e minimizados os riscos, para garantir não apenas o conforto, mas também a segurança e a saúde dos seus ocupantes. O modelo proposto pretende que, de um modo claro e expedito, se avaliem as condições de segurança e saúde na habitação e os riscos para os atuais ou potenciais ocupantes. Com esta avaliação pretende-se conhecer a situação existente e informar o proprietário, morador ou possíveis moradores sobre os riscos a que estes estarão sujeitos em determinada habitação. O recurso à ficha de avaliação, as escalas propostas, assim como os diferentes tipos de classe, pretende facilitar e objetivar a classificação os diferentes parâmetros a avaliar, assim como proporcionar uma clara interpretação dos resultados obtidos. A apresentação quantitativa dos resultados globais da avaliação, com o auxílio da escala de cores, permite rapidamente perceber os riscos que a habitação pode trazer para quem nela habita ou para futuros moradores. A aplicação do modelo de avaliação de segurança e saúde na habitação aos casos de estudo, permitiu verificar a sua utilidade, possibilitando analisar e averiguar os diversos tipos de riscos para os habitantes, em diferentes edifícios de épocas distintas.

Concluiu-se que para os diferentes casos de estudo existem grupos etários mais vulneráveis inseridos no agregado familiar, alterando a classificação de risco para cada tipo de perigo, o que demonstra que os objetivos iniciais poderão ter sido cumpridos.

### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. Lanzinha, Reabilitação de Edifícios - Metodologia de Diagnóstico e Intervenção, tese de doutoramento, Nova Europa, Universidade da Beira Interior, 2013.
- [2] Silva, Tiago J. P., Aplicação de Modelo de Avaliação de Segurança e Saúde na Habitação, dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2018.
- [3] Housing Health and Safety Rating System, Operating guidance, Office of the Deputy Prime Minister, London, 2006.

## “ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS NA REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO”

Eliana Maia<sup>1</sup>, Teresa Neto<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Superior de Engenharia do Porto. Instituto Politécnico do Porto. [1010368@isep.ipp.pt](mailto:1010368@isep.ipp.pt)

<sup>2</sup> Instituto Superior de Engenharia do Porto. Instituto Politécnico do Porto. [tis@isep.ipp.pt](mailto:tis@isep.ipp.pt)

**Palavras-chave:** Reabilitação, Desempenho Energético; Soluções Construtivas; Eficiência energética

**Código da Área Temática:** 12

**Apresentação oral**

### 1. RESUMO

Ao longo dos anos, as sociedades tornaram-se cada vez mais exigentes com as questões de conforto, mas essa exigência é acompanhada, geralmente, por um incremento do consumo de energia. Nos edifícios, a maioria da energia utilizada é produzida através de fontes de energia não renováveis, incluindo todos os problemas daí resultantes, nomeadamente ao nível da sua sustentabilidade. Para contrariar esta tendência, é essencial repensar a forma como os edifícios são concebidos, construídos e utilizados.

Esta dissertação incide na análise do desempenho térmico de soluções construtivas na reabilitação de edifícios de habitação, procurando otimizar o seu desempenho, respeitando as exigências da legislação e tentando atingir níveis que, eventualmente, poderão vir a ser considerados como limites impostos aos edifícios com necessidades quase nulas de energias, NZEB. O trabalho enquadra-se no âmbito da reabilitação de edifícios usuais na cidade do Porto e inclui a tipificação das soluções construtivas existentes e o estudo das soluções a implementar para potenciar o desempenho térmico, nas duas estações. Identifica-se a legislação nacional a analisar, apresenta-se o conceito de eficiência energética e de edifícios com necessidades quase nulas de energias, incluindo estratégias que vão de encontro aos NZEB e ao conceito da “Passive House” em Portugal. É realizado um estudo de caso, onde se demonstra a aplicação prática da metodologia de cálculo da legislação a uma fração de um edifício em reabilitação, permitindo a quantificação das necessidades energéticas para aquecimento, arrefecimento e energia primária, propondo-se soluções de melhoria relativamente às aplicadas em obra, por forma a atingir valores bastante baixos de necessidades de energia primária associados a estratégias de elevado desempenho térmico. É utilizada a plataforma de cálculo PTNZEB e também são realizados todos os cálculos de forma manual com recurso ao Excel, efetuando-se, no final, uma análise económica das soluções construtivas e equipamentos propostos.



Figura 1 – Fachada principal do edifício em estudo, antes (na imagem da esquerda) e após reabilitação (no conjunto de 4 imagens da direita) - Fração em estudo

Pretende-se evidenciar os benefícios de uma reabilitação térmica consciente, nomeadamente menores consumos energéticos, menor probabilidade de ocorrência de condensações, benefícios económicos resultantes da menor dependência de consumo de energia, melhor qualidade do ar interior e menores impactes ambientais resultantes da utilização do imóvel. Deve-se projetar a pensar no conforto dos utilizadores e no custo de utilização durante a vida útil do imóvel.

## ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS NA REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

### 3. CONCLUSÕES

Após o estudo para a soluções otimizadas dos diversos elementos construtivos, presentes na fração concluiu-se que é necessário definir, de forma qualitativa e quantitativa, o conceito de edifícios com necessidades quase nulas de energia e como irá ser aplicado à reabilitação de edifícios de habitação, pois à data de realização desta dissertação ainda não tinha sido publicada legislação sobre NZEB. Verificou-se que no Porto, não existe necessidade de utilizar espessuras muitas elevadas de isolamento térmico, pois a partir de determinada espessura as variações das necessidades de aquecimento ou de arrefecimento começam a ser insignificantes e chegam mesmo a ser prejudiciais para o desempenho térmico na estação de arrefecimento, logo o essencial é encontrar o equilíbrio entre desempenho térmico nas duas estações e o custo da sua implementação. Nos edifícios com área de envidraçados significativa, é necessário selecionar uma caixilharia e envidraçado com características de isolamento térmico elevadas, dentro dos limites considerados razoáveis, tendo em conta a relação qualidade preço, luminosidade e benefício na utilização da habitação. É de referir que a solução de proteção dos vãos envidraçados deve ser preferencialmente aplicada pelo exterior.

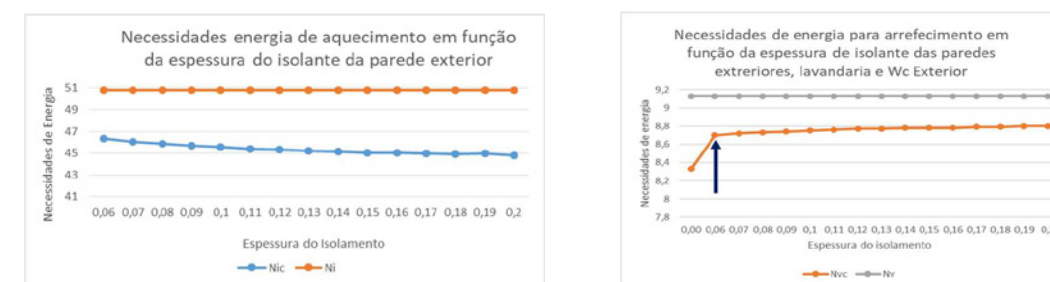


Figura 2 – Gráficos representativos das soluções otimizadas para uma parede exterior e envidraçado

Para se conseguir conceber edifícios com necessidades muito baixas de energias, considera-se que tal só será possível com a combinação de soluções construtivas otimizadas e introdução de energias renováveis. Foram estudadas várias hipóteses de equipamentos para climatização e preparação de AQS, tendo-se constatado que a solução otimizada resulta na aplicação de coletores solares e caldeira a gás.

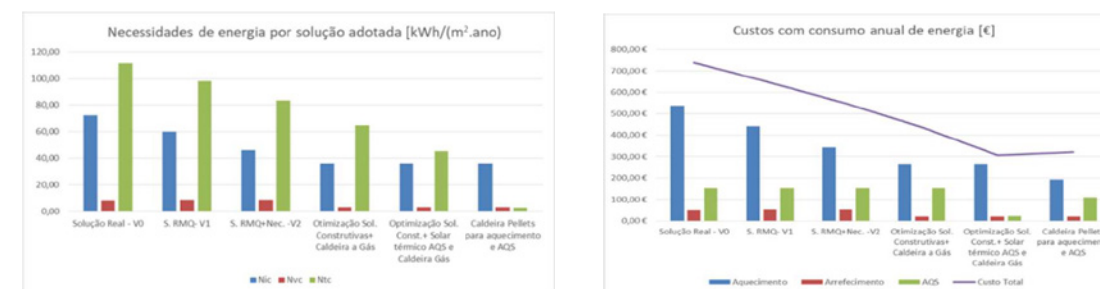


Figura 3 – Gráfico representativo das necessidades de energia por solução adotada e análise de custos com consumo anual de energia

Analisando o período de retorno de cada uma das soluções propostas, verifica-se que a grande maioria apresenta valores superiores a 10 anos e os cálculos foram realizados considerando que as habitações eram climatizadas durante 24h, o que em Portugal, por razões económicas, não é possível para uma larga percentagem de famílias, pelo que o período de retorno real destes investimentos será muito superior.

### BIBLIOGRAFIA

- [1] Freitas, Vasco Peixoto. Manual de apoio ao projecto de reabilitação de edifícios antigos. Ordem dos Engenheiros - Região Norte.
- [2] Maia, Eliana. Análise do Desempenho Térmico de Soluções Construtivas Na Reabilitação de Edifícios de Habitação, dissertação para obtenção do grau de mestre em engenharia civil, ISEP, 2018.

## ESTUDO DO DESEMPENHO TÉRMICO – EDIFÍCIO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Fábio Gonçalves<sup>1</sup>, Fátima Farinha<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Civil. Universidade do Algarve. fabio\_goncalves49@hotmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Civil. Universidade do Algarve. mfarinha@ualg.pt

**Palavras-chave:** Desempenho térmico, simulação dinâmica, coberturas verdes, arquitetura bioclimática

12. Qualidade e sustentabilidade do Ambiente Construído

Apresentação oral

### 1. INTRODUÇÃO

Na Europa 90% da população passa a maior parte do tempo em edifícios de habitação e serviços e, como tal, o conforto interior desempenha um papel bastante importante, tanto na saúde do ocupante quanto na eficiência e na satisfação em geral. Nas últimas duas décadas tem havido uma procura crescente, por parte dos utilizadores e dos órgãos legisladores, por melhorias do conforto no ambiente interior e simultaneamente pela redução do consumo de energia, reduzindo as emissões de CO<sub>2</sub>, com o objetivo de cumprir restrições ambientais e económicas [1]. A gestão da energia nos edifícios tornou-se assim uma preocupação crescente para alcançar uma utilização mais inteligente e eficiente dos recursos energéticos, reforçada pelo facto de os edifícios serem o maior setor de consumo de energia do mundo (35%), à frente da indústria (31%), dos transportes (30%) e outros como agricultura, silvicultura (4%) [2]. Neste contexto, o trabalho desenvolvido [3] teve quatro objectivos principais: 1) estudar estratégias construtivas utilizadas pela arquitetura bioclimática, isto é, a arquitetura que tem em consideração os recursos presentes no ambiente em que a edificação está inserida, tais como a radiação solar e a ventilação natural, procurando a melhor eficiência energética e ao mesmo tempo garantindo o conforto dos ocupantes; 2) proceder à simulação dinâmica, utilizando para o efeito o programa EnergyPlus, do caso de estudo, analisando o seu desempenho térmico - tomou-se como caso de estudo o Edifício de Engenharia Civil da Universidade do Algarve, localizado no Campus da Penha em Faro; 3) estudar e proceder à modelação computacional de soluções construtivas alternativas, utilizando estratégias solares passivas, diferentes materiais e tecnologias construtivas, com o intuito de promover a diminuição das necessidades energéticas para o aquecimento e arrefecimento do edifício - as soluções propostas procuram reduzir as necessidades energéticas através de ganhos solares diretos e indiretos, de ventilação natural e na melhoria das soluções construtivas; 4) analisar os resultados obtidos, comparando o desempenho térmico da solução original do edifício com os modelos alternativos propostos e retirar conclusões finais.

### 2. ESTUDO DO DESEMPENHO TÉRMICO

O caso de estudo foi o Edifício de Engenharia Civil da Universidade do Algarve, inaugurado em 2004 (Figura 1). Tanto para a análise de desempenho energético do modelo de referência como para as soluções construtivas alternativas, foi simulada a edificação com a ocupação total e parcial (50%).

As soluções passivas alternativas consideradas foram duas: 1) cobertura verde extensiva com 0,2 m de substrato, com vegetação rasteira e pequenos arbustos de pouca manutenção; 2) “sombreamento inteligente” por meio de persianas que estão totalmente abertas, ou totalmente fechadas, em função da temperatura interior da zona - quando a temperatura da zona térmica onde estão inseridas ultrapassar os 22°, estas estão fechadas, no entanto, mesmo quando

## ESTUDO DO DESEMPENHO TÉRMICO – EDIFÍCIO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE DO ALGARVE

fechadas fazem um ângulo de 45° com a vertical o que permite a entrada de luz natural para o interior dos espaços.

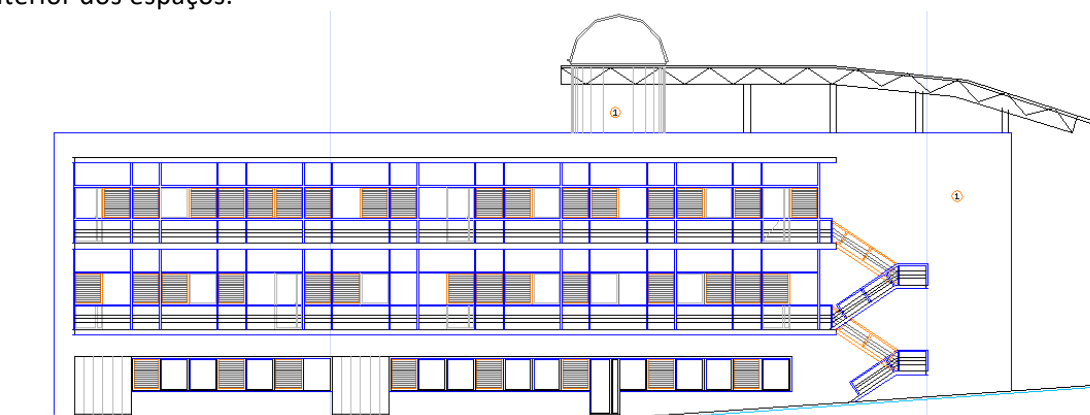


Figura 1. Fachada sudeste do Edifício de engenharia civil.

### 3. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Os principais resultados obtidos nas simulações dinâmicas com o EnergyPlus apontam para temperaturas dentro da zona de conforto durante os meses geralmente ditos “mais frios” e temperados e superiores durante os meses ditos “mais quentes”, na generalidade e para todas as zonas térmicas. O primeiro e o segundo piso são as zonas térmicas com as temperaturas mais elevadas, tanto nos “dias frios” como nos “dias quentes”, uma vez que apresentam maior ocupação que as outras zonas térmicas e o segundo piso (e último piso) possui maior área de envolventes exteriores.

No corredor/escadas, espaço comum aos 3 pisos, o modelo base apresenta 74% das horas anuais dentro das temperaturas de conforto, o modelo de cobertura verde apresenta 75%, ao passo que o modelo de sombreamento apresenta 74%. No rés-do-chão, o modelo base apresenta 80% das horas anuais dentro das temperaturas de conforto, o modelo de cobertura verde apresenta também 80%, ao passo que o modelo de sombreamento apresenta 84%. No primeiro piso, o modelo base apresenta 48% das horas anuais dentro das temperaturas de conforto, o modelo de cobertura verde apresenta 46%, ao passo que o modelo de sombreamento apresenta 54%. No segundo piso, o modelo base apresenta 48% das horas anuais dentro das temperaturas de conforto, o modelo de cobertura verde apresenta 46%, ao passo que o modelo de sombreamento apresenta 53%. Os resultados obtidos ficaram um pouco abaixo do esperado visto o edifício ser relativamente recente tendo sido já construído sobre indicações de regulamentação térmica. Considera-se que as mesmas soluções num edifício mais antigo teriam um impacto bem mais significativo. O facto da simulação ter sido feita com dois padrões de ocupação, torna as respetivas influências bem visíveis em todos os modelos - a ocupação foi obtida a partir dos valores de ocupação total de todas as salas existentes.

### 3. REFERÊNCIAS

- [1] Li, X. and Wen, J. (2014) ‘Review of building energy modeling for control and operation’, Renewable and Sustainable Energy Reviews. Elsevier, 37, pp. 517–537.
- [2] Agência Internacional de Energia (2012) Energy technology perspectives 2012: pathways to a clean energy system. OECD/IEA.
- [3] Gonçalves, F., Estudo do desempenho térmico – edifício de engenharia civil da Universidade do Algarve, Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade do Algarve, 2018.

## EDIFÍCIO COM CONSUMO DE ENERGIAS NULAS CASO ESTUDO – “ECO-POWER ZERO RÉSIDENCE”

João Rio<sup>1</sup>, Fátima Farinha<sup>2</sup>, Elson Almeida<sup>3</sup>

Departamento de Engenharia Civil. Universidade do Algarve. 1 joario.engenharia@hotmail.com  
2 mfarinha@ualg.pt 3 elson.sa@gmail.com

**Palavras-chave:** Edifícios com consumo nulo de energia (NZEB), Edifícios com balanço quase nulo de energia (nZEB), Medidas de eficiência energética, Custo ótimo de rentabilidade (NZEB)

12. Qualidade e sustentabilidade do Ambiente Construído

Apresentação oral

### 1. INTRODUÇÃO E OBJECTIVO

Os edifícios desempenham um papel-chave na redução do consumo de energia de origem fóssil [1], influenciando desta forma, diretamente a redução das emissões de carbono e atenuando os efeitos das alterações climáticas. Neste contexto, a União Europeia definiu para 2020, a meta para que todos os edifícios novos sejam classificados de edifícios com consumo quase nulo de energia (nZEB), como forma de aproximação aos edifícios com consumo nulo de energia (NZEB). Para alcançar o compromisso de 2020, a União Europeia introduziu diversas Diretivas e planos de ação a serem cumpridos pelos Estados Membros, promovendo o desenvolvimento das técnicas atuais de construção, a evolução da qualidade térmica dos edifícios, assim como, o aumento da produção e utilização de energia renovável nos edifícios [2, 3]. Na literatura são encontradas metodologias diferentes para estabelecer se um edifício é classificado como NZEB [4].

O principal objetivo deste estudo é avaliar o desempenho energético de um edifício integrado no empreendimento “Eco- power Zero Résidence” na Mexilhoeira Grande no Algarve. Para alcançar um edifício NZEB, foram estudadas diferentes combinações de medidas de eficiência energética para reduzir as necessidades de energia, aliadas à metodologia do custo ótimo de rentabilidade, de forma a encontrar a solução com o melhor custo-benefício. Foram ainda adicionados ao edifício, sistemas de produção de energia de fonte renovável - painéis fotovoltaicos, para compensar as necessidades de energia e alcançar, deste modo, um balanço nulo de energia.

### 2. METODOLOGIA E RESULTADOS OBTIDOS

Da perspetiva do custo ótimo de rentabilidade, propõe-se encontrar a solução com o melhor desempenho energético associada ao menor custo global, avaliando a relação entre as necessidades de energia primária, em função dos custos globais das medidas aplicadas, variando os fatores do custo de energia (das diversas fontes primárias utilizadas) e os custos de investimento. O cálculo do custo ótimo de rentabilidade é realizado através da aplicação de combinações entre medidas de eficiência energética ao edifício base. Começando com os requisitos mínimos atuais (edifício de referência), aumentando gradualmente a sua exigência até ao nível do net-zero energy building, tanto no desempenho energético como no desempenho financeiro. Para estudar o desempenho energético das diferentes soluções, utilizou-se a folha de cálculo de avaliação do comportamento térmico e do desempenho energético de edifícios, do Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico da Construção (ITECONS), com base no Decreto-Lei 118/2013.

Após se encontrar a solução do custo ótimo de rentabilidade, que concilia o conjunto de medidas passivas e sistemas de procura de energia renovável e não-renovável pela otimização de sistemas de climatização e preparação de AQS de elevada eficiência, adicionou-se sistemas de produção de energia renovável (painéis fotovoltaicos).

### Edifício com consumo de energias nulas. Caso estudo – “Eco-power Zero Résidence”

O cálculo da energia elétrica de fonte renovável gerada no edifício, para autoconsumo, foi dimensionado através do programa SCE, disponibilizado pela DGEG. Relativamente à compatibilidade de carga temporal, como a legislação nacional não apresenta perfis de consumo dos ocupantes, o autoconsumo para suprimir as necessidades de energia para arrefecimento, foram calculadas para cada cenário, considerado que, o perfil de consumo é diário (24), repartindo as necessidades de energia útil para arrefecimento pelo período da estação de arrefecimento 2928 h (4 meses), assim como, as necessidades de energia útil para aquecimento, corresponde ao período da estação de aquecimento, de 4,8 meses.

Importa realçar, que a regulamentação atual apenas considera a energia despendida para o consumo de climatização, AQS e ventilação mecânica. No entanto, no estudo efetuado, optou-se por adicionar uma estimativa dos consumos elétricos para equipamentos domésticos e iluminação, em consonância com a função do edifício e a respetiva área.

### 3. CONCLUSÃO

No trabalho desenvolvido não existiu o objetivo de simplesmente alcançar um edifício com consumo nulo de energia através da solução que apresenta o melhor desempenho energético, pois, facilmente, com bons isolantes e envidraçados, bem como, com o recurso a grandes áreas de sistemas fotovoltaicos para produzir e vender o excedente de energia à rede, é possível alcançar um edifício com consumo nulo de energia. A metodologia adotada passou por escolher as medidas passivas tendo por base a relação análise económica versus desempenho energético, sendo estas consideradas as soluções de custo ótimo.

Em alguns dos aspetos estudados, como o isolamento térmico na cobertura e nas paredes exteriores, naturalmente que, com o incremento da espessura, verifica-se a melhoria no desempenho energético, no entanto, esta não é acompanhada pela diminuição do custo global da solução, que a partir dos 10 cm de espessura, o investimento deixou de compensar a diminuição do custo de energia. Ao contrário do que se verifica, por exemplo, na aplicação do isolamento térmico no pavimento térreo, que à medida que se aumenta a espessura, o custo global diminuiu sempre, apesar de um abrandamento na diferença de custos globais entre soluções, a partir dos 6 cm de espessura, significando que, mesmo que compense o investimento, não é muito justificável. Nos envidraçados constatou-se que nem sempre a solução mais cara, com a melhor qualidade térmica, resulta na solução com o melhor desempenho energético, pois este depende e muito, das orientações onde os envidraçados estão inseridos. Um envidraçado com um reduzido fator solar, influência de forma positiva as necessidades de energia para arrefecimento, mas influência de forma negativa as necessidades de energia para aquecimento, no entanto, numa perspetiva global, alguns edifícios poderão ser beneficiados por este aspeto, necessitando de um fator solar reduzido para corresponder positivamente aos requisitos mínimos exigidos pelo regulamento nacional, sendo no entanto, uma análise intransmissível entre edifícios. O mesmo se aplica à orientação e aos sombreamentos. O objetivo numa primeira fase foi perceber a influência isolada no edifício e encontrar o custo ótimo de cada medida. Em seguida procedeu-se à combinação das medidas passivas entre si. O resultado do custo ótimo de rentabilidade entre as combinações testadas, foi a solução com 10 cm de isolamento térmico na cobertura e paredes exteriores, 6 cm de isolamento térmico no pavimento térreo, envidraçados com o menor coeficiente de condutibilidade térmica mas com o maior fator solar, a melhor orientação (sudeste) e a necessidade de reduzir a dimensão das palas de sombreamento.

Escolhida a solução construtiva formularam-se soluções de medidas ativas adicionando-se sistemas de procura de energia. As soluções que mais se destacam, são as que integram equipamentos que têm elevadas eficiências, assim como as que utilizam como fonte a energia renovável. A caldeira a biomassa, muito embora apresente uma eficiência quase 4 vezes inferior à bomba de calor utilizada ou ao sistema de ar condicionado, é beneficiada pela aplicação de um fator de conversão de energia primária de 1, sendo a solução de custo ótimo para as AQS e

## MODELOS COMPUTACIONAIS APLICADOS À PREVISÃO DA VIDA ÚTIL DE ETICS

Tavares, João<sup>1</sup>, Brito, Jorge de<sup>2</sup>, Silva, Ana<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Academia Militar (AM). tavares.jml@exercito.pt

<sup>2</sup> Instituto Superior Técnico (IST). jb@civil.ist.utl.pt

<sup>3</sup> Instituto Superior Técnico (IST). anasilva931@msn.com

**Palavras-chave:** ETICS, durabilidade, redes neuronais artificiais, lógica difusa.

Qualidade e Sustentabilidade do Ambiente Construído. Apresentação Oral.

**1. INTRODUÇÃO** - Os fenómenos de degradação que afetam as construções, por se associarem a elevados custos de reparação e manutenção, acentuam a importância dos estudos sobre a durabilidade dos elementos construtivos. O presente estudo deriva desta necessidade e pretende propor diferentes metodologias para a previsão da vida útil de ETICS (*External Thermal Insulation Composite System*). Este sistema é uma solução de revestimento de edifícios recente, com uma popularidade crescente na indústria da construção devido às suas vantagens, em particular no domínio energético. A previsão da vida útil é efetuada a partir de dois métodos de âmbito computacional (redes neuronais artificiais e sistemas de lógica difusa), tendo por base dados oriundos de um extenso trabalho de campo. Os resultados obtidos neste estudo auxiliam os órgãos de decisão no setor da construção, que podem optar por soluções mais duráveis e sustentáveis. Assim, a qualidade das soluções construtivas é incrementada e são reduzidos os custos associados a todos os elementos construtivos, durante todo o seu ciclo de vida.

**2. REVESTIMENTOS ETICS** - De modo simplificado, o sistema ETICS usualmente aplicado é composto com um isolamento térmico sob a forma de placas, fixado contra o suporte, que recebe posteriormente um revestimento exterior delgado, contínuo e armado, com a eventual aplicação de um outro revestimento adicional [1]. A integridade dos sistemas ETICS é fundamental para se atingir a eficiência pretendida com a aplicação desta solução na envolvente. A presença de anomalias, pelo contrário, é um fator que coloca em causa a durabilidade e desempenho global esperado dos sistemas.

### 3. TRABALHO DE CAMPO

**3.1 Metodologia** - O principal objetivo do trabalho de campo foi o levantamento *in situ* de todas as variáveis relevantes para a modelação do processo de degradação associado ao sistema ETICS, que se materializou com a realização de inspeções visuais a um conjunto de edifícios, todos possuidores deste tipo de revestimento na sua envolvente. A amostra total era constituída por 378 fachadas revestidas com o sistema ETICS. A sua análise foi efetuada segundo os seguintes aspetos: i) idade dos revestimentos; ii) características da zona envolvente (orientação, proximidade ao mar, exposição à humidade, ação da chuva-vento e exposição aos agentes poluentes); iii) características dos revestimentos (tipo de revestimento, textura do acabamento, cor do revestimento e tipo de remate inferior).

**3.2 Modelos de degradação** - A metodologia de Gaspar e Brito [2] foi o procedimento utilizado para a quantificação dos dados recolhidos durante o trabalho de campo, que consiste na estimação de um valor numérico, designado por índice de severidade de degradação ( $S_w$ ), indicador do nível de degradação associado a um dado revestimento. Este índice é calculado a partir da divisão entre a extensão de degradação ponderada da fachada e o máximo nível possível de degradação, como sugere a Equação 1.

$$S_w = \frac{E_w}{k} = \frac{\sum(A_n \times k_n)}{A \times k} \quad (1)$$

Onde:  $S_w$  representa a severidade de degradação (expressa em percentagem);  $E_w$  a extensão de degradação ponderada;  $k$  um fator multiplicador que corresponde ao nível máximo de degradação possível para o revestimento de área  $A$  (neste caso,  $k=4$ );  $A_n$  a área afetada por qualquer anomalia  $n$  (em  $m^2$ );  $k_n$  um fator multiplicador para a anomalia  $n$ , referente ao seu nível de degradação;  $A$  área total do revestimento ETICS (em  $m^2$ ). O fator  $k_n$  é um coeficiente de ponderação que visa classificar o nível de degradação das anomalias identificadas durante as inspeções visuais (é inteiro e varia de 0 a 4).

aquecimento central, não oferecendo, no entanto, nenhum sistema de arrefecimento. Após se ter reduzido as necessidades de energia útil, analisaram-se os sistemas de produção de energia elétrica, para compensar a energia elétrica a consumir pelo edifício.

Concluiu-se que não é difícil um edifício atingir o estatuto de NZEB. Se os edifícios forem alvo de estudo na procura da solução ótima que reduz efetivamente as necessidades de energia útil para climatização, conjugada com a introdução de sistemas de energia renovável, como a caldeira a biomassa e painéis fotovoltaicos, é possível atingir, sem um excessivo esforço financeiro, o estatuto de NZEB. Um problema situa-se na compatibilidade de carga, devido ao desfasamento das horas de produção de energia e das horas de maior consumo. A inclusão de um elevado número de painéis fotovoltaicos para compensar todos os consumos elétricos, potencia um grande desperdício para o edifício, pois uma parte significativa da energia produzida localmente, não poderá ser consumida diretamente pelo edifício e terá de ser injetada na rede, impondo também outra questão relativa à área necessária a disponibilizar para a instalação desses painéis e o respetivo investimento.

#### 4. REFERÊNCIAS

- [1] Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões, Estratégia da EU para o Aquecimento e a Refrigeração, 2016.
- [2] Comissão Europeia. Relatório da comissão ao parlamento europeu e ao conselho: Progressos dos Estados-Membros na via para edifícios com necessidades quase nulas de energia. Comissão Europeia, Bruxelas, 2013.
- [3] Comissão Europeia. Relatório da comissão ao parlamento europeu, ao conselho, ao Comité económico e social europeu e ao comité das regiões: Relatórios sobre os progressos em termos de energias renováveis. Comissão Europeia, Bruxelas, 2015.
- [4] A.J. Marszal, P. Heiselberg. Zero Energy Building definition – a literature review - A technical report of subtask A. Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme. 02/06/2010, 1-16, International Energy Agency, Aalborg.
- [5] Rio, J., Edifício com consumo de energias nulas. Caso estudo – “Eco-power Zero Résidence”, Tese Mestrado em Engenharia de Civil, Universidade do Algarve, 2017.

## 4. MÉTODOS COMPUTACIONAIS

**4.1 Redes Neurais Artificiais** - As redes neurais artificiais (RNAs) defendem uma abordagem de modelação segundo os mecanismos de processamento que ocorrem no cérebro biológico [3]. A semelhança com o cérebro biológico reside no facto de o conhecimento ser adquirido a partir do exterior, através de processos de aprendizagem, sendo armazenado nas ligações entre os neurónios. A produção das redes foi efetuada com recurso ao *software* NeuroSolutions®, tendo sido adotadas duas redes do tipo N-H-1, com N e H o número de neurónios nas camadas de entrada e intermédia, respetivamente, e 1 o único neurónio na camada de saída, como representa a Figura 1. Com base nos modelos propostos, a determinação da vida útil consistiu na determinação da idade para a qual cada caso de estudo atingia o limite máximo de degradação admitido ( $S_w=30\%$ ). Em cada modelo, a aplicação desta metodologia conduziu à obtenção dos seguintes valores médios: i) modelo 01: vida útil estimada de 21 anos, com um desvio padrão de 1,5 anos; ii) modelo 02; vida útil estimada de 22 anos, com um desvio padrão de 3,2 anos.

**4.2 Sistemas de Lógica Difusa** - A lógica difusa (LD) insere-se na parte da lógica designada como não clássica. Em termos computacionais, os modelos que dela derivam são estruturas matemáticas de várias entradas e uma única saída, conhecidos pelas suas propriedades de aproximadores universais a fenómenos não lineares. Assim, constituem-se como uma combinação entre a modelação de conceitos subjetivos e dados linguísticos e uma análise de regressão matemática [4]. O presente estudo fez uso dos designados *rule-based fuzzy systems*, como representa a Figura 2. Para a definição dos parâmetros do modelo foi utilizada uma *toolbox* para Matlab® (*Fuzzy identification toolbox for Matlab*). A estimativa da vida útil dos revestimentos foi efetuada com base no limite de severidade de gradação associado ao fim da sua vida útil ( $S_w=30\%$ ). Em cada modelo, a aplicação desta metodologia permitiu a obtenção dos seguintes valores: i) modelo 01: vida útil estimada de 21 anos, com um desvio padrão de 1,4 anos; ii) modelo 02; vida útil estimada de 22 anos, com um desvio padrão de 0,8 anos.

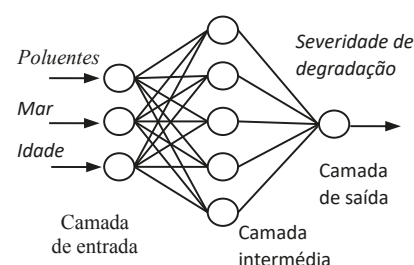


Figura 1. Modelo de RNA proposto

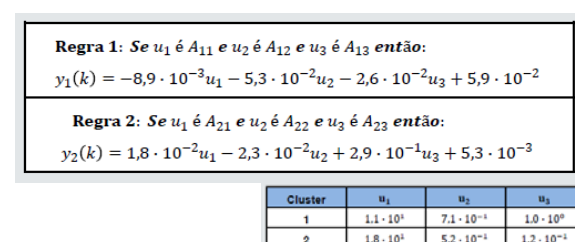


Figura 2. Modelo de LD proposto

**5. CONCLUSÕES** - As atividades de previsão da vida útil das construções revelam uma elevada importância, cada vez mais reconhecida pelos intervenientes nos processos de conceção e gestão das construções. Apesar da existência de investigações com aplicabilidade para a previsão da vida útil das construções, a complexidade dos fenómenos de degradação exige o desenvolvimento de novas abordagens, capazes de fornecer respostas adequadas a esta solicitação. Este estudo foi desenvolvido com este objetivo, tendo também pretendido apresentar e salientar a utilidade de diferentes abordagens na previsão da vida útil, aplicáveis a outros tipos de revestimentos. A degradação dos elementos é uma manifestação física inevitável, à qual estão associadas incertezas de várias origens. Tendo isto em conta, o usufruto das potencialidades reconhecidas nos métodos computacionais (em particular, a possibilidade de aprendizagem a partir de observações de fenómenos reais) torna-se bastante relevante.

## 6. REFERÊNCIAS:

- [1] Marques, C., Brito, J. e Silva, A., Application of the factor method to the service life prediction of ETICS, International Journal of Strategic Property Management, 22, pp. 204-221, 2018.
- [2] Gaspar, P. e de Brito, J., Modelo de degradação de rebocos, Engenharia Civil, 24, pp. 17-27, 2005.
- [3] Barrow, H., Connectionism and neural networks, Academic Press, 1996, ISBN: 978-0-12-161964-0.
- [4] Haack, S., Deviant Logic, fuzzy logic: beyond the formalism, University of Chicago Press, 1996, ISBN: 0-226-31134-1.

## ANÁLISE DO CICLO DE VIDA NA PERSPETIVA DA CERTIFICAÇÃO BREEAM NA CONSTRUÇÃO - PROPOSTA DE METODOLOGIA

M. C. Rodrigues<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.  
up201504660@fe.up.pt

**Palavras-chave:** Análise do Ciclo de Vida, *One Click LCA*, Pegada de Carbono, Sustentabilidade

### 12. Qualidade e sustentabilidade do Ambiente Construído

**Apresentação oral**

A atividade da construção é responsável por uma parte significativa das emissões de dióxido de carbono, o que permite afirmar que há um problema de sustentabilidade relacionado com as obras de engenharia civil. Para que a avaliação da sustentabilidade seja independente do promotor responsável pela construção, definem-se vários indicadores e certificações tanto a nível nacional (LiderA, SBTool PT) como internacional (BREEAM, LEED). Estas certificações centram-se na Análise do Ciclo de Vida (ACV) para identificar o comportamento ambiental dos edifícios, pressionando as equipas responsáveis a tomar decisões mais sustentáveis e, conseqüentemente, diminuir a pegada ecológica em serviço.

Realizar a ACV na construção não é um processo simples, na medida em que reúne conceitos de engenharia civil e de ambiente, que nem sempre são possíveis de conciliar. Os profissionais que exercem engenharia civil não têm formação para realizar os cálculos específicos da Pegada de Carbono dos materiais. Acresce ainda que a maioria dos materiais utilizados não apresentam valores tabelados relativos aos seus consumos ou ao carbono equivalente que emitem. Estes fatores condicionam a falta de informação disponível e a disparidade dos dados. Compreende-se que é necessário desenvolver metodologias estruturadas e organizadas que se enquadrem nos procedimentos que existem atualmente, quer associados a tabelas quer a plataformas.

Neste sentido, como apoio à atividade em engenharia civil, propõe-se uma metodologia à base de dois processos: um Método Expedito e um Método Detalhado. O primeiro é fundamentado na consulta de tabelas e, além disso, permite também reunir informações para o Método Detalhado. Este último é baseado na utilização de plataformas e, no caso concreto, recorre à plataforma *One Click LCA*.

No Método Expedito (1ª Fase da Metodologia Proposta) classificam-se todos os itens do Mapa de Trabalhos e Quantidades (MTQ) mediante os dez tipos de material fornecidos pelo manual BREEAM. Prossegue-se convertendo as unidades do MTQ para quilograma através de documentação técnica dos produtos. Seguidamente, com auxílio da base de dados *Inventory of Carbon and Energy* da *University of Bath*, atribui-se a cada tipo de material um coeficiente de carbono expresso em kgCO<sub>2</sub>eq/kg. Por fim, calcula-se a Pegada de Carbono para cada item do MTQ e, através do somatório de todas as parcelas e dividindo pela área bruta de construção, obtém-se a estimativa do contributo dos materiais de construção para a Pegada de Carbono por metro quadrado.

O Método Detalhado compreende a 2ª e a 3ª Fases da Metodologia Proposta. A 2ª fase consiste em completar o ficheiro Excel fornecido pela plataforma *One Click LCA*, para posteriormente o poder submeter e realizar toda a análise. Para tal, é necessário classificar cada item do MTQ mediante a *BREEAM International Classification*, que consiste numa classificação com 27 possibilidades. De seguida, realiza-se uma correspondência entre essa classificação e a exigida pela plataforma, designada como *IFC Class*. A autora toma ainda iniciativa de, através do MTQ, criar uma tabela dinâmica que visualiza o tipo de material conforme a sua *BREEAM International Classification* e o peso total dos itens associados. Através da tabela dinâmica atribui-se uma definição genérica a cada um desses itens. Por fim, determinam-se os quilómetros realizados pelo transporte de cada material definido no passo anterior e, deste modo, obtém-se o ficheiro Excel necessário a submeter na plataforma totalmente preenchido. A 3ª Fase compreende a utilização da plataforma *One Click LCA* e

a importação do ficheiro Excel desenvolvido na fase anterior. Uma das tarefas mais cruciais consiste em corresponder a cada item importado um material que possua Declaração Ambiental de Produto (DAP) ou valor médio regional calculado, que conste nas opções da plataforma. De seguida, surgem seis etapas que exigem dados fornecidos pela equipa projetista, como os consumos energéticos e hidráulicos do edifício e, além disso, dados das operações de estaleiro relativos à quantidade de gasóleo, eletricidade, água e resíduos gerados para a execução da obra. O término da 3ª fase permite obter o valor da Pegada de Carbono do edifício através de uma plataforma validada pelo *Building Research Establishment* (BRE) e fornecer um valor da ACV devidamente reconhecido pela certificação BREEAM. Por fim, a Metodologia Proposta (Figura 1) permite obter dois valores da Pegada de Carbono do edifício: uma estimativa sem custos associados e um valor mais detalhado e preciso validado pela entidade referida.

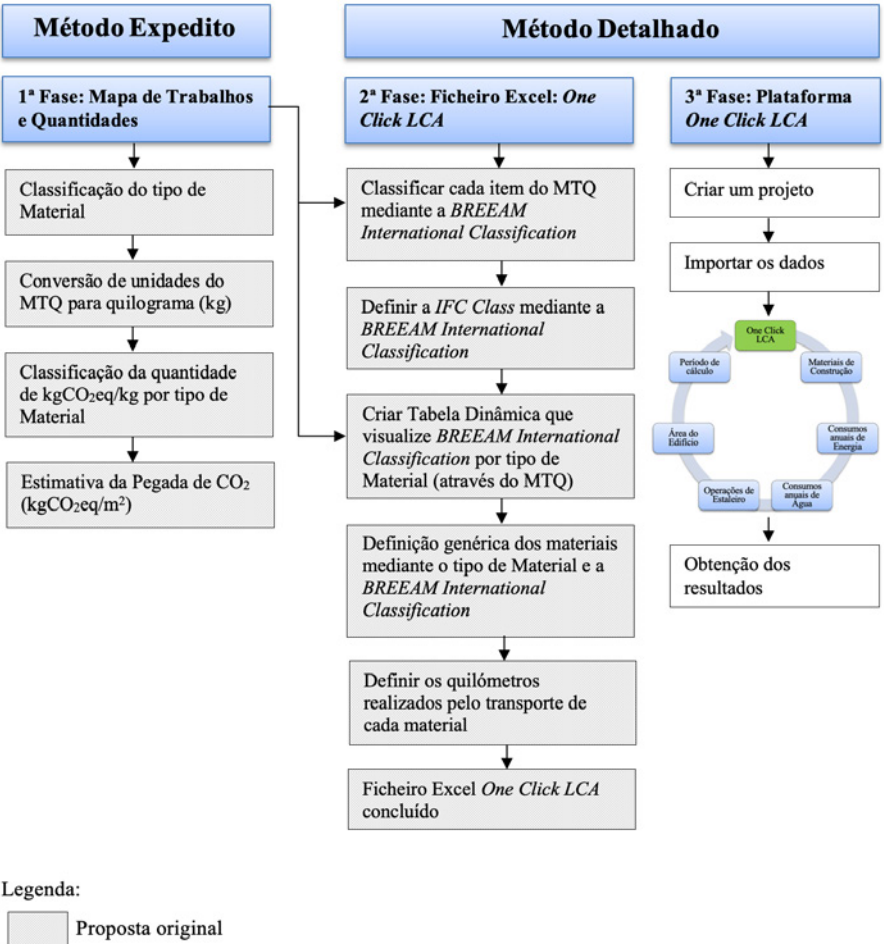


Figura 1. Metodologia Proposta

A aplicação da metodologia a um caso de estudo, que consiste numa obra de engenharia civil que foi acompanhada durante três meses, permite retirar conclusões pertinentes acerca da ACV na construção. Tanto o Método Expedito como o Detalhado são sensíveis à utilização do operador devido, essencialmente, aos aspetos optativos de cada um dos métodos. Os dados constantes de tabelas e de plataformas não coincidem no tempo de vida útil. A grande maioria das plataformas disponíveis, para o cálculo da ACV, são internacionais e não apresentam nenhum tipo de correspondência entre os materiais nelas constantes e os nacionais. Adicionalmente, são reduzidos os materiais nacionais que apresentam DAP's ou documentação técnica com informações necessárias para constarem nas bases de dados. Todos estes aspetos condicionam os resultados finais obtidos e provocam informações disparees. Por este motivo, como desenvolvimento futuro propõe-se a criação de uma tabela de equivalências entre os materiais nacionais e os disponíveis na plataforma e, além disso, a realização duma análise probabilística que permite identificar um determinado coeficiente multiplicativo que aproxima o valor expedito ao valor detalhado, desmitificando a utilização das plataformas.

“Infraestruturas Verdes - Impactos em Meio Urbano”

Miguel Martins, Autor<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Civil. Universidade do Minho. a75928@uminho.pt

**Palavras-chave:** LAI, Infraestruturas Verdes, Captura de PM, Qualidade do Ar

**Código da Área Temática 12**

**Apresentação Oral**

INFRAESTRUTURAS VERDES

As infraestruturas verdes (IV) são capazes de melhorar a qualidade do ar e o conforto higrotérmico dos centros urbanos, através do aumento da quantidade de vegetação. A aplicação de IV em ambientes urbanos tem por base sistemas verdes verticais (VGS – Vertical Greenery Systems), coberturas verdes, árvores, barreiras verdes e florestas urbanas [1]. As plantas têm o potencial de purificar o ar contaminado através da captura de material particulado em suspensão (PM) pelas superfícies foliares, são por isso consideradas um ingrediente chave no balanço dos efeitos negativos da poluição nas cidades, são capazes de filtrar, interceptar, modificar e reduzir fluxos de poluentes interferindo no espaço entre fonte e recetor [1, 3].

CAPTURA DE POLUENTES

Nos ensaios de captura de PM foram testadas três espécies de plantas, *Quercus Palustris Muenchh*, *Hedera Helix* e *Parthenocissus Quinquéfólia* em quatro locais de amostragem nas cidades de Guimarães e Braga. Os métodos utilizados tiveram como foco a determinação da área foliar das espécies (m<sup>2</sup>) e a quantidade de PM capturada (mg) com dimensões superiores a 8µm. A relação entre a área foliar e a quantidade de PM capturado foi analisada através do cálculo da remoção específica (mg/m<sup>2</sup>). A Tabela 1 mostra os valores recolhidos nos ensaios.

Tabela 1 - Resultados dos ensaios laboratoriais

| Espécie                            | Área foliar média (m <sup>2</sup> ) | Área Foliar Total (m <sup>2</sup> ) | Quantidade de PM (mg) | Remoção Específica (mg/m <sup>2</sup> ) | Remoção Específica Diária (mg/m <sup>2</sup> .dia) |
|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------|
| <i>Quercus Palustris Muenchh</i>   | 0,006                               | 0,0304                              | 8,40                  | 276,42                                  | 52,16                                              |
| <i>Hedera Helix (Braga)</i>        | 0,003                               | 0,0133                              | 8,90                  | 670,19                                  | 91,12                                              |
| <i>Parthenocissus Quinquéfólia</i> | 0,271                               | 0,0229                              | 14,30                 | 624,27                                  | 72,19                                              |
| <i>Hedera Helix (Guimarães)</i>    | 0.003                               | 0,0143                              | 10,80                 | 755,28                                  | 104,78                                             |

LAI E GPR

Estudo de caso real com a utilização dos índices ecológicos e urbanísticos LAI e GPR [5]. O LAI – Leaf Area Index (Índice de Área Foliar) e GPR – Green Plot Ratio traduzem a quantidade de área

controlo e avaliação da área verde e de áreas urbanas utilizadas para traduzir em números a capacidade de captura de poluentes. Na análise do LAI, foi estudada uma estrutura verde - “Muro verde” localizado na zona M1, foram descobertas as características da infraestrutura verde, com aproximadamente 974.57 m<sup>2</sup> de área fotossintética aplicada numa área de 1106.969 m<sup>2</sup>, a infraestrutura verde possui um LAI calculado de 0.88, este valor é associado a uma remoção anual de 25.6 kg de poluentes atmosféricos com dimensões superiores a 8µm. A captura média diária de 0.914 kg de poluentes mostra que a infraestrutura verde tem uma influência ativa no melhoramento da qualidade do ar.

#### EFEITO DA VEGETAÇÃO NA REFRIGERAÇÃO DO AR E SUA ENVOLVENTE

Foi construída uma infraestrutura verde através da parceria com o departamento de arquitetura da Universidade do Minho, essa estrutura foi contruída com materiais sustentáveis e tinha como propósito servir de modelo para a recolher dados de temperatura e humidade relativa. No processo de medições, foram escolhidos dias de céu limpo sem precipitação, os valores de temperatura foram registados a cada hora, movendo a estação meteorológica entre o interior e o exterior da estrutura (sensor CS215-L).

Foi observado que o ambiente interior é menos quente que o exterior nos períodos do dia em que o sol se encontra nos pontos mais altos (12h às 17h), com a diminuição da incidência da radiação solar o ambiente interior é mais quente que o ambiente exterior. A temperatura máxima medida no exterior é de 39.42°C e a mínima é de 30.4°C. No interior da infraestrutura a temperatura máxima é de 36.49°C e a mínima é de 30.02°C.

#### CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos observou-se que a espécie *Hedera Helix* obteve melhores resultados na captura de poluentes atmosféricos comparativamente às outras espécies vegetais ensaiadas, note-se que é a espécie com menores valores de área foliar e maiores valores de remoção específica. A análise dos valores de remoção específica (mg/m<sup>2</sup>) permite observar que os valores de PM capturados ao longo do tempo de exposição são crescentes, isto significa que, quanto mais tempo as superfícies foliares estiverem expostas aos poluentes maior a quantidade de poluentes capturados. De entre as características e condições estudadas relativas às espécies vegetais não é possível identificar uma característica única que seja fortemente influente na capacidade de captura de PM. Apesar disso é importante determinar as características das espécies vegetais que influenciam a captura de PM, de modo a maximizar o desempenho e eficiência de remoção de PM das infraestruturas verdes.

#### REFERÊNCIAS

- [1] Kumar, P. et al., (2019) - Implementing green infrastructure for air pollution abatement: General recommendations for management and plant species selection. Global Centre for Clean Air Research, University of Surrey
- [2] Yanmei, L. et al., (2019) (article) Potential of thirteen Urban Greening Plants to capture particulate Matter on leaf surfaces across three levels of ambient atmospheric pollution - international journal of environmental research and public health.
- [3] Dover, J., (2015) - Green infrastructure: incorporating plants and enhancing biodiversity in buildings and urban environments. United States of America.
- [4] Singh, P. et al., (2017) - Response of dust accumulation on roadside plant species due to open cast mining at Jhansi-Allahabad NH-76, Uttar Pradesh, India. Spatiotemporal variations in surface temperatures, research article, Landscape Ecol 25:17-33 2010
- [5] Ong, Boon & Ho, A & Ho, Kim. (2012). Green Plot Ratio - Past, Present & Future.

## REABILITAÇÃO SUSTENTÁVEL DE EDIFÍCIO COM NECESSIDADES DE ENERGIA NULAS OU QUASE NULAS – CASO DE ESTUDO

Nelson Pardal<sup>1</sup>, José Coimbra<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Faculdade de Ciência e Tecnologia. Universidade Fernando Pessoa. 31426@ufp.edu.pt

<sup>2</sup> Faculdade de Ciência e Tecnologia. Universidade Fernando Pessoa. coimbra@ufp.edu.pt

**Palavras-chave:** *Reabilitação Sustentável, Reciclagem e Reutilização*

**12** **Qualidade e Sustentabilidade do Ambiente Construído** **Apresentação oral**

### 1. INTRODUÇÃO

As operações de reabilitação têm vindo a aumentar nos últimos anos, pelo que é necessário estender o conceito de Construção Sustentável à Reabilitação de edifícios [1].

O trabalho desenvolvido centrou-se no setor do património imobiliário onde se assiste a um elevado aumento da recuperação de imóveis degradados nos centros urbanos.

Foi considerada a hipótese da aplicabilidade do conceito de edifícios de necessidade de energia nula ou quase nula na reabilitação de edifícios antigos, assim como outros fatores decorrentes do conceito de reabilitação sustentável. Em concreto, o estudo passou pela aplicação, em projeto, de materiais e equipamentos sustentáveis e muito eficientes, assim como o aproveitamento de vários materiais da pré-existência.

### 2. O PROCESSO DE REABILITAÇÃO SUSTENTÁVEL

O processo de reabilitação sustentável deve começar pelo reaproveitamento do maior número possível dos materiais da pré-existência, promovendo a sua reutilização, diminuindo a utilização de materiais novos, em defesa dos recursos naturais e do ambiente [2].

Para reforçar o conceito de reabilitação sustentável, os materiais a aplicar devem ser estudados, dentro das classes de materiais ecológicos, sustentáveis, recicláveis e reutilizáveis, de forma a minimizar o impacto ambiental do processo de reabilitação. Por outro lado, a utilização de equipamentos muito eficientes diminui fortemente a emissão de poluentes para a atmosfera e, consequentemente, o consumo de energia.

### 3. DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO

O edifício em estudo consiste numa moradia do início do século XX, localizada na Rua do Giestal, nº 287, na freguesia de Campanhã, no concelho do Porto, composta por piso térreo e 1º andar. As paredes são de cantaria de granito rebocada, a cobertura inclinada com telha, os pavimentos interiores e as caixilharias dos vãos de madeira.

Da análise da pré-existência verificou-se ser possível reutilizar as cantarias de granito, telhas, grades de ferro, mosaicos hidráulicos e portas interiores de madeira. A restante estrutura de madeira, os produtos cerâmicos e os caixilhos exteriores de madeira e vidro teriam como destino a reciclagem. Cerca de 69% da tonelagem da totalidade das matérias existentes podem ser reutilizados ou reciclados, pelo que o processo de demolição/desconstrução possui características de sustentabilidade.

O projeto de reabilitação foi preparado para prever materiais de isolamento térmico e equipamentos muito eficientes (luminárias de baixo consumo, eletrodomésticos de classe energética elevada, painéis solares térmicos e fotovoltaicos), para diminuir as perdas de energia pelas envolventes e reduzir drasticamente o consumo de energia elétrica para aquecimento e

Tabela 1. Equipamentos e Materiais.

| EQUIPAMENTO/ENVOLVENTES         | DESCRIÇÃO                                                                                                                                                                                 |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ISOLAMENTO TÉRMICO NA COBERTURA | CORTIÇA COM 12CM DE ESPESSURA                                                                                                                                                             |
| ISOLAMENTO TÉRMICO EM FACHADAS  | CORTIÇA COM 10CM DE ESPESSURA                                                                                                                                                             |
| AQUECIMENTO DE AQS              | BOMBA DE CALOR INTERIOR MURAL PARA AQUECIMENTO DE ÁGUAS SANITÁRIAS COM CAPACIDADE DE 160 LITROS, CONSUMO ELÉTRICO DE 600 W, POTÊNCIA TÉRMICA DE 1920 W, COP DE 3,26.                      |
| COLETORES SOLARES               | COLETOR SOLAR TÉRMICO BAXI SOL 250 ORIENTADO A SUL CALCULADO PARA AS NECESSIDADES DE ÁGUA QUENTE SANITÁRIA COM 2,37 M² DE ÁREA DE ABERTURA E DEPÓSITO ACUMULADOR INTERIOR COM 160 LITROS. |
| CLIMATIZAÇÃO                    | SISTEMA DE AR-CONDICIONADO MULTISPLIT COM UMA EFICIÊNCIA DE SCOP DE 4,80 E SEER DE 6,10                                                                                                   |

4. CÁLCULO DA SUSTENTABILIDADE DO CASO DE ESTUDO

A consideração, em projeto, de sistemas construtivos e equipamentos muito eficientes, conduz à forte diminuição dos consumos energéticos em energia elétrica, como se pode ver na Tabela 2. Realça-se também os ganhos anuais em energia elétrica obtidos através dos painéis solares fotovoltaicos, sendo que o saldo final é positivo, ou seja, a produção anual de energia elétrica, incluindo seu armazenamento em bateria, é superior aos consumos calculados para a totalidade das necessidades de energia da habitação.

Tabela 2. Consumo e auto produção de energia.

|                                    | NZEB (NEAR ZERO BUILDING)<br>(KWH) |
|------------------------------------|------------------------------------|
| AQUECIMENTO                        | 1.436,89                           |
| ARREFECIMENTO                      | 106,22                             |
| AQS                                | 382,16                             |
| ILUMINAÇÃO                         | 679,00                             |
| ELETRODOMÉSTICOS                   | 1.449,00                           |
| EQUIPAMENTOS DIVERSOS              | 703,00                             |
| TOTAL                              | 4.756,27                           |
| PRODUÇÃO TOTAL DE ENERGIA ELÉTRICA | 4.930,00                           |

5. CONCLUSÕES

Este trabalho permitiu concluir que é possível efetuar uma reabilitação sustentável a casos correntes de edifícios de habitação antigos e obter habitações de necessidades de energia nulas. A metodologia aplicada, tendo em conta que os materiais e equipamentos projetados são correntes e facilmente obtidos através do mercado, confere a este estudo um grau de replicabilidade para outros trabalhos similares.

6. REFERÊNCIAS

[1] Amado, M., Pinto, A., Alcaface, A., Ramalhe, I. (2015). *Construção Sustentável Conceito e Prática*. Caleidoscópio, Lisboa. ISBN 978-989-658-324-8.

[2] Lopes, T. F. C. T. (2010). *“Reabilitação Sustentável de Edifícios de Habitação”*; Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa

OTIMIZAÇÃO DE MODELOS PARAMÉTRICOS NA DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS À POLUIÇÃO

R. Marques<sup>1</sup>, F. Pacheco<sup>2</sup>, L.F. Sanches Fernandes<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Engenharia Civil. UTAD. martins.ricardo.marques@gmail.com  
<sup>2</sup> Departamento de Geologia. UTAD. fpacheco@utad.pt  
<sup>3</sup> Departamento de Engenharias. UTAD. Ifilipe@utad.pt

Palavras-chave: DRASTIC, aquíferos, poluição, planeamento territorial

12

Apresentação oral

1. INTRODUÇÃO

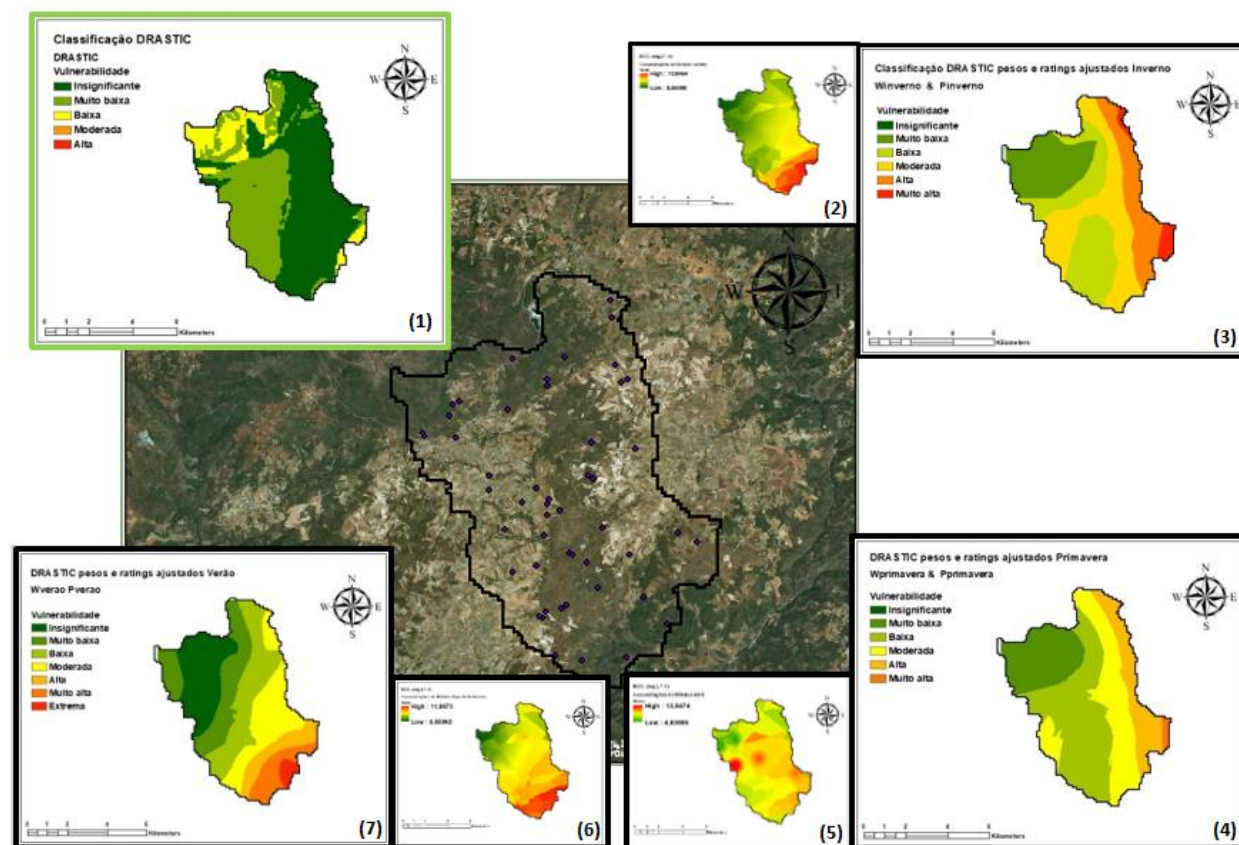
O desenvolvimento socioeconómico de qualquer região está diretamente relacionado com a qualidade de água disponível, economicamente e, até, por razões de higiene. Para o assegurar, é essencial a realização de estudos e análises a fim de monitorizar locais que podem corresponder a zonas de elevado nível de suscetibilidade à poluição.

Os contaminantes inorgânicos são depositados no ambiente através de decomposição química e física de rochas e lixiviação subsequente, bem como escoamento, vulcões, micro-organismos e atividades humanas como mineração e escavação. Os contaminantes orgânicos são depositados no ambiente através de várias atividades agrícolas e industriais. Estes contaminantes vão poluir as águas subterrâneas e, conseqüentemente, entrar em corpos humanos através da cadeia alimentar. As águas subterrâneas são relativamente menos vulneráveis à contaminação, em comparação com as águas superficiais, no entanto, a urbanização e a industrialização têm causado uma séria ameaça aos recursos hídricos, porque a taxa de depuração natural foi subjugada pela taxa de resíduos / descarga de efluentes industriais no meio ambiente. As concentrações de nitratos consideradas inaceitáveis para o consumo humano segundo a DIRETIVA (2006/118/EC) são de 50 mg/L, contudo, a partir de 5 mg/L já são consideradas condições alarmantes para o consumo.

Estes modelos estimam a sensibilidade das águas subterrâneas à contaminação, a qual é expressa sob a forma de um mapa de vulnerabilidade, classificando todas as zonas representadas mediante o grau de risco de poluição. Os processos de determinação da vulnerabilidade têm como foco servirem para identificar e categorizar regiões que estão mais em risco de serem contaminadas, servindo de auxílio para se estabelecerem medidas protetoras sustentáveis e eficientes. Para isso, foram feitos vários estudos com aplicações DRASTIC, estudos inovadores como é o nosso caso de estudo, uma sub-bacia hidrográfica localizada na zona central no denominado Maciço de Morais [1], uma pequena cadeia montanhosa cujo ponto principal é o Monte de Morais no concelho de Macedo de Cavaleiros.

O modelo DRASTIC [2] foi avaliado através do recurso das concentrações de nitratos (medições feitas “in situ”, em poços artesianos), o que se verificou ser uma boa forma de avaliação das águas subterrâneas nesta região. No nosso mapa DRASTIC original as áreas eram maioritariamente classificadas com baixa probabilidade de contaminação. Os mapas realizados com modificações no modelo DRASTIC foram bem mais animadores, demonstrando a realidade de concentrações de poluentes, avaliando a região de estudo com vulnerabilidade maioritariamente moderada, alta, e por vezes, muito alta, o que significa uma aproximação às concentrações reais de nitratos. O objetivo deste trabalho foi também, aplicar um reescalamento, através de correlações relacionadas com amostragens de nitratos em três períodos: primavera, verão e inverno para possibilitar uma análise das possíveis diferenças na aplicação do modelo, tendo em conta os períodos secos e húmidos. Na figura 1, temos a localização da zona de estudo, aplicação original e os resultados da aplicação do

modelo e verificámos que os resultados do verão confirmam uma relação entre o risco e as concentrações de nitratos. Já na primavera e no verão não verificámos essa mesma relação.



**Figura 1.** (1) Aplicação DRASTIC original; (2) Concentrações de Nitratos Inverno; (3) Aplicação DRASTIC pesos e rating ajustados Inverno; (4) Aplicação DRASTIC pesos e rating ajustados Primavera; (5) Concentrações de Nitratos Primavera; (6) Concentrações de Nitratos Verão; (7) Aplicação DRASTIC pesos e rating ajustados Verão.

## 2. CONCLUSÃO

A consequência para a gestão dos recursos hídricos é importante, uma vez que, se fossem implementadas medidas para proteger a qualidade das águas subterrâneas (nascentes) na bacia em estudo, apenas teriam um efeito na qualidade da água no período estival, mantendo-se a afetação do inverno devido à contribuição superficial para o escoamento das nascentes neste período. Assim, só uma gestão integrada da bacia envolvendo medidas de proteção contra a contaminação por processos de superfície (erosão/transporte) e processos a partir da superfície (infiltração / recarga) poderá ser eficaz para a manutenção da qualidade das águas de nascente ou dos cursos de água. A realização destes estudos é de elevada utilidade tendo em vista todo o processo evolutivo inerente ao facto da utilização de vários procedimentos e várias ferramentas, através de diferentes softwares SIG, contribuindo com ferramentas cada vez mais eficazes para um bom planeamento territorial.

## 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Pacheco, F. A. L. (2000) Hidrogeologia em Maciços de Rochas Cristalinas (Morais – Chacim – Macedo de Cavaleiros): Bases para a Gestão Integrada dos Recursos Hídricos da Região. Tese de Doutoramento, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 395 p
- [2] Aller, L., Lehr, J.H., Petty, R., Bennet, T., 1987. Drastic: a standardized system to evaluate groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. National Water Well Association Worthington, Ohio, 643 p.

## DEFINIÇÃO DO GRAU DE RISCO NO CONTEXTO DAS INFRAESTRUTURAS E SUA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL – CASO DE ESTUDO EM CASTELO BRANCO

Bruno Patrocínio<sup>1</sup>, Ana Dias<sup>2</sup>, Teresa Albuquerque<sup>3</sup>, Cristina Calmeira dos Santos<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Escola Superior de Tecnologia. Instituto Politécnico de Castelo Branco. bpatrocínio@ipcbcampus.pt

<sup>2</sup> Escola Superior de Tecnologia. Instituto Politécnico de Castelo Branco. anadias@ipcbcampus.pt

<sup>3</sup> Escola Superior de Tecnologia. Instituto Politécnico de Castelo Branco. teresa@ipcb.pt

<sup>4</sup> Escola Superior de Tecnologia. Instituto Politécnico de Castelo Branco. ccalmeiro@ipcb.pt

**Palavras-chave:** níveis de risco, segurança, resíduos, poluição industrial.

## 12. Qualidade e sustentabilidade do Ambiente Construído

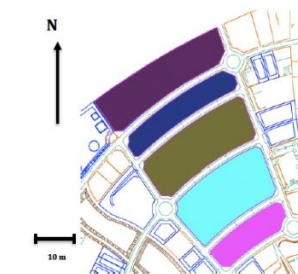
## Apresentação oral

O presente projeto visa, com base na informação recolhida numa secção da Zona Industrial (ZI) de Castelo Branco, categorizar a mesma em três níveis de risco - Baixo; Intermédio; Alto – tendo em consideração as variáveis: 1. Distribuição das bocas de incêndio; 2. Distribuição de contentores de lixo e 3. Infraestruturas de eletricidade pública. Para a caracterização do grau de risco associado, para cada uma das variáveis consideradas, utilizaram-se as normas e legislação em vigor (1, 2, 3 e 4). Através desta definição, pretende-se avaliar o risco e a segurança da área estudada, tendo em consideração vários equipamentos distintos, entre eles: recolha de resíduos, hidrantes e grau de poluição industrial.

Do ponto de vista ambiental e legislativo, este projeto permitiu cadastrar os problemas mais relevantes, tendo em conta os regulamentos e a realidade observada, possibilitando, desta forma, fazer o levantamento das inconformidades e definir as medidas mais adequadas para a minimização e controlo da poluição observada. A metodologia adotada permitiu avaliar as áreas da ZI alvo de classificação. Mediante a adaptação à legislação em vigor em cada município, poderá ser uma ferramenta para estudo semelhante nos diferentes parques industriais do país. A segurança no trabalho e o planeamento regional e urbano são tópicos que, pela sua essência, exigem a verificação do cumprimento da legislação em vigor, nomeadamente no que respeita aos impactos ambientais. O núcleo da cidade de Castelo Branco foi alvo de um investimento considerável ao longo dos últimos anos, tanto a nível turístico como a nível de infraestruturas e espaços verdes. No entanto, o facto da ZI de Castelo Branco se encontrar deslocada do referido núcleo urbano (Figura 1), pode motivar a falta de adaptação de infraestruturas à realidade industrial atual, tal como se veio a comprovar no presente projeto (Figura 2).



**Figura 1.** Delimitação da ZI de Castelo Branco e da zona de estudo (Google Earth 15.02.2021)



**Figura 2.** Representação das cinco secções estudadas.

Na presente análise, foi seleccionada uma zona com cerca de 160000 m<sup>2</sup> (área a vermelho na Figura 1), escolhida pela diversidade de áreas dos lotes em avaliação, bem como, das atividades exercidas pelas empresas, permitindo, desta forma, uma visão mais alargada, dos tópicos em estudo. Para facilitar a caracterização e estudo da referida área são definidas 5 secções (Figura 2).

Com base em todos os elementos analisados pode afirmar-se que, considerando um grau de risco de incêndio 2, as bocas de incêndio em toda a zona estudada, não apresentam inconformidades, de acordo com o Decreto-Regulamentar 23/95, de 23 de agosto. [1] (figura 3)

Por outro lado, no que se refere à distribuição dos contentores de lixo, observou-se uma deficiente distribuição, nomeadamente, das cinco secções em que se divide a área de estudo, na qual apenas uma é classificada como ótima (Figura 4) [2].



**Figura 3.** Representação e caracterização das secções quanto às bocas de incêndio.



**Figura 4.** Representação e caracterização das secções quanto à distribuição de contentores de lixo.

Quanto aos ecopontos, observa-se uma distribuição muito deficiente de contentores, uma vez que não se verificou a existência de qualquer contentor na área. Por essa razão, propõe-se a distribuição de ecopontos apresentada na Figura 5, permitindo atingir o nível *ótimo* em todas as secções.



**Figura 5.** Proposta de distribuição de ecopontos



**Figura 6.** Zona de água desprotegida e poluída

A nível de infraestruturas de eletricidade públicas, nomeadamente cabos de alta tensão, não foi observada qualquer inconformidade, uma vez que todas as construções cumprem a diferença mínima de cotas, em relação à flecha das linhas de tensão, definido pelo Regulamento de Segurança de Linhas Elétricas de Alta Tensão [3, 4].

A falta de infraestruturas de recolha de resíduos na área estuda é um caso preocupante do ponto de vista do impacto ambiental, particularmente no respeitante à zona da linha de água, que atravessa a área de estudo. Naturalmente, este é o ponto mais delicado e preocupante, uma vez que a proteção da linha de água natural é declaradamente nula, vindo mesmo a servir como depósito de produtos sobranes (conforme se pode verificar na Figura 6). Assim, conclui-se que a zona estudada cumpre as condições mínimas de segurança, de acordo com as normas e legislação em vigor. Ainda assim, apesar de se tratar de uma zona industrial e, consequentemente, se esperarem resultados menos satisfatórios, considera-se que deve haver algum investimento em mais e melhores infraestruturas de apoio existentes, bem como proteção ambiental aos recursos hídricos naturais existentes, como o caso da ribeira, usada indevidamente para descargas clandestinas de resíduos.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Decreto Regulamentar nº23/95. D.R. I Série B. 194 (1995-08-25).
- [2] Regulamento n.º 937/2016. D.R. 2ª série. 198 (2016-10-14).
- [3] Decreto-Lei Nº 180/91 - Regulamento de Segurança de Linhas Elétricas de Alta Tensão.
- [4] Diário da República n.º 41/1992, Série I-B de (1992-02-18).

TEMA 13

# **REABILITAÇÃO E CONSERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO**

## MELHORIA DA QUALIDADE DE PROJETOS DE REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

Mendonça, Alana<sup>1</sup>, Paiva, Anabela<sup>2</sup>, Mendes da Silva, José<sup>3</sup>, Dominguez, Caroline<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Engenharias, Universidade Trás-os-Montes e Alto Douro, Observatório da Construção de TMAD, alanasena.eng@mail.com

<sup>2</sup>Departamento de Engenharias, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, C-MADE, Observatório da Construção TMAD, apaiva@utad.pt

<sup>3</sup>ADAI-LAETA, Departamento de Engenharia Civil Universidade de Coimbra, raimundo@dec.uc.pt

<sup>4</sup>Departamento de Engenharias, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, CETRAD, carold@utad.pt

**Palavras-chave** – Reabilitação de Edifícios, Qualidade, Método de Avaliação da Qualidade, MIMAQ.

13

Poster

### 1. RESUMO

No passado, alguns países da Europa sofreram uma expansão desproporcional do setor imobiliário que resultou em edifícios mal planeados e de baixa qualidade. É o caso de Portugal, que atualmente segundo a mais recente pesquisa do Instituto Nacional de Estatística [1], possui cerca de um milhão de edifícios a precisar de reparações, sendo que a maioria destes edifícios se encontram nos Centros Históricos, uma vez que as cidades cresceram para a periferia e a população migrou em busca de edifícios mais novos e confortáveis, resultando no abandono dos bairros antigos e na degradação do edificado [2].

Dada a necessidade de reverter o cenário atual, deve-se promover medidas que incentivem a reabilitação de edifícios degradados, de forma a que após as intervenções os edifícios tenham conforto, qualidade e preservem o mais possível as características arquitetónicas do antigo edificado.

Portanto, a reabilitação de edifícios surge como um meio para corrigir patologias, preservando ao máximo o traçado arquitetónico do edificado existente, mas ao mesmo tempo, pretende garantir princípios de qualidade, através da sua intervenção, aumentando a durabilidade do edifício, diminuindo a frequência de obras de reabilitação, bem como seus custos.

Tendo em conta a importância do fator qualidade na construção, o objetivo deste trabalho é contribuir para melhoria da qualidade dos projetos de reabilitação, de forma a que, após as intervenções, o edifício degradado proporcione aos seus utilizadores um conforto e segurança adequada, mas ao mesmo, tempo conserve as características arquitetónicas e os elementos construtivos.

Atualmente, já existem metodologias para a avaliação da qualidade dos edifícios, destinadas à reabilitação de edifícios. Além disso, ações que visam a reabilitação já estão a ser realizadas pelas Câmaras Municipais, que estão adotando medidas de apoio e incentivos à reabilitação urbana.

Neste sentido, foi feito um levantamento dos edifícios reabilitados e a reabilitar nos últimos 10 anos e consultados os respetivos projetos de reabilitação, referentes ao Centro Histórico da cidade de Vila Real, a partir de registos disponibilizados pela Câmara Municipal, afim de analisar o seu estado de conservação, as técnicas e os métodos de construção utilizados e verificar se estes edifícios foram adequadamente reabilitados. Após o levantamento concluiu-se que os edifícios licenciados pela Câmara Municipal de Vila Real, não atendiam aos requisitos para serem considerados reabilitação, uma vez que foram totalmente reconstruídos.

Sendo assim, procurou-se, através de visitas técnicas ao Centro Histórico de Vila Real, identificar edifícios reabilitados que não se encontravam mencionados no arquivo do município,

por serem considerados obras interiores e não precisarem submeter projetos.

A partir disso, numa segunda etapa, foram analisadas metodologias que se destinavam, também, à avaliação da conservação do edifício. É o caso do MIMAQ, uma ferramenta que minimiza as falhas dos projetos de reabilitação, e que procura garantir a qualidade através da avaliação de diferentes critérios, que envolvem o conforto e a segurança do edifício reabilitado, assim como a conservação dos seus elementos construtivos.

O MIMAQ foi criado pelo Instituto Pedro Nunes, a pedido da Fundiestamo – Sociedade Gestora de Fundos de Investimento Imobiliário, S.A. - detentora do Fundo Nacional de Reabilitação do Edificado (FNRE), face à sua preocupação em garantir a qualidade das intervenções de reabilitação dos edifícios que passou a administrar [3].

O estudo dessa ferramenta baseou-se em objetivos definidos pela Fundiestamo, que previam que o método abrangesse as etapas da validação dos programas para os imóveis, verificação dos projetos internos, seleção das empresas e profissionais para elaboração e revisão dos projetos. Assim, o procedimento geral do MIMAQ engloba diferentes etapas, desde a candidatura ao FNRE até à verificação do projeto para o imóvel [4].

O modelo é constituído por 7 procedimentos. Os procedimentos 1, 2, 3 e 4, organizam-se de forma sequencial e tratam, respetivamente, da avaliação do estado de conservação do imóvel nas fases de candidatura, da análise do programa, da encomenda do projeto e da sua posterior verificação. Já os procedimentos 5, 6 e 7 são de caráter complementar e não sequenciais, e correspondem às ações de pré-qualificação e acreditação de equipas de coordenação de projeto, pré-qualificação e acreditação de equipas de ID&T e pré-qualificação e acreditação de equipas de revisão de projeto [4].

Pode-se concluir que esta ferramenta é bastante abrangente, pode ser aplicada a diversos tipos de edifícios e materiais, e avalia aspetos pertinentes para um bom desempenho do edifício. Porém, trata-se de um método complexo e a verificação do projeto por meio de uma ferramenta simplificada só pode ser feita se o edifício tiver cêrcea reduzida e não apresentar anomalias muito graves.

Assim sendo, desenvolveu-se uma ficha de avaliação, com uma metodologia simplificada, com base nas características do edificado tipo das regiões dos Centros Históricos, de forma a que esta seja utilizada como material de apoio aos municípios, para promover a melhoria da qualidade de projetos de reabilitação de edifícios, que são submetidos a estas entidades.

Aplicou-se esta ficha a três casos de estudo, onde para o primeiro caso, foi atestada a necessidade da correção ligeira de algumas falhas, para que a qualidade do projeto fosse verificada. Para o Segundo Caso de Estudo, a análise obteve um resultado negativo devido à falta de informação e detalhe do projeto. Para o terceiro caso, concluiu-se que o projeto de reabilitação não previa a conservação das características arquitetónicas, e por isso, não havia a necessidade de continuar o procedimento, uma vez que se tratava da reconstrução de um edifício e não da sua reabilitação.

### 2. REFERÊNCIAS

- [1] INE. 2013. “Reabilitação do Parque Habitacional.” [https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine\\_destaques&DESTAQUESdest\\_boui=157040557&DESTAQUESmodo=2](https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_destaques&DESTAQUESdest_boui=157040557&DESTAQUESmodo=2). Acedido em: 18/02/2019.
- [2] QUEIRÓS, Filipa. 2007. “Reabilitação de Centros Históricos.” Dissertação de Mestrado. Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra. Portugal.
- [3] MOURAZ, Catarina Pinto. 2018. “Métodos de Avaliação Expedita da Qualidade de Projetos de Reabilitação.” Dissertação de Mestrado em Reabilitação de Edifícios. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Portugal.
- [4] IPN. 2017. “Estudo Relativo à Minimização do Risco de Má Qualidade nos Projetos de Reabilitação.” Coimbra. Portugal.

## A IMPORTÂNCIA DA GESTÃO DA MANUTENÇÃO PREDIAL EM CONDOMÍNIOS RESIDENCIAIS: CASO DE ESTUDO

A. Lima<sup>1</sup>, A. Paiva<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Engenharias. Escola de Ciências e Tecnologia. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. anacaroline.dlg@gmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Engenharias. Escola de Ciências e Tecnologia. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. apaiva@utad.pt

**Palavras-chave:** manutenção predial, conservação, gestão, durabilidade.

13

Apresentação oral

### 1. INTRODUÇÃO

A manutenção de edifícios residenciais, é abordada em diversos países no âmbito da construção civil, no entanto ainda não se encontra plenamente consolidada no que toca à consciencialização e implementação desta modalidade pelos vários intervenientes no setor da construção. Os proprietários tanto do setor privado, quanto do público, ainda não estão totalmente consciencializados da necessidade de ações de manutenção periódicas e do planeamento dessas ações, para se atingir a vida útil da edificação e preservar a qualidade dos elementos que a compõe, assim como a sua utilização de uma forma geral.

Na construção civil o conjunto de ações de manutenção preventiva e corretiva têm a função de realizar medidas eficazes para garantir o funcionamento e a conservação da edificação, durante a sua vida útil. As várias causas e necessidades de intervenção nas edificações estão muitas vezes associadas à não inclusão de manutenção preventiva nas fases de planeamento e execução da obra, o que pode levar a elevados custos de manutenção corretiva [1].

A preservação é essencial para a segurança; para evitar manifestações patológicas; para a durabilidade; para a economia (impedindo gastos fora do planeado) e para a preservação da estética do imóvel. A manutenção permite prolongar a vida útil do produto e prevenir patologias.

A gestão é uma ciência das organizações, estando dessa forma, relacionada com a manutenção dos edifícios residências, dada a necessidade de planear as atividades de manutenção necessárias para otimizar o desempenho dos materiais e elementos construtivos, sendo para isso elaborado o plano de manutenção.

Cada edificação deve ter um plano de manutenção preventiva e corretiva, e estes serviços devem ser executados de maneira correta e no tempo definido. Por isso, a importância da elaboração e implementação de um plano de ação, na abordagem da organização do sistema de manutenção, o qual segue a lógica de controle, qualidade e custo.

O estudo feito teve por objetivo realizar uma análise comparativa de um condomínio residencial antes e após a implementação da gestão da manutenção de acordo com a ABNT NBR 5674 [2]. Para essa análise foi preciso observar os Planos de Ação do edifício.

A gestão da manutenção, está implementada no condomínio desde 2017 até os dias atuais. Assim, para este trabalho, foram observados os relatórios de vistoria e os planos de manutenção realizados durante estes anos, no intuito de realizar a referida análise comparativa.

### 2. METODOLOGIA E ANÁLISE

Para este trabalho foram analisados os relatórios de inspeção de 2017 e o plano de ação de 2020, dado que os resultados das ações realizadas nos anos intermédios são cumulativas no ano de 2020.

A partir dos planos de manutenção do edifício foi possível quantificar as anomalias e atividades requeridas em cada sistema (arquitetónico e estrutural, elétrico, hidrossanitário e de prevenção e combate a incêndio). Os resultados obtidos foram analisados estatisticamente para serem comparados entre si.

Através da análise dos gráficos apresentados na Figura 1 pode-se observar que no ano de 2017 cerca de 77% dos itens analisados foram classificados como tendo um estado de conservação “regular” e “ruim”, o que mostra que a edificação estava com falta de manutenção em diversas áreas, sendo que somente em 23% foram classificados como “bom”. Em 2020, 83% dos itens foram classificados como “bom” e apenas 17% como “regular” e “ruim”. Isso deve-se ao efeito de uma gestão da manutenção, com um planeamento dos serviços de forma adequada.

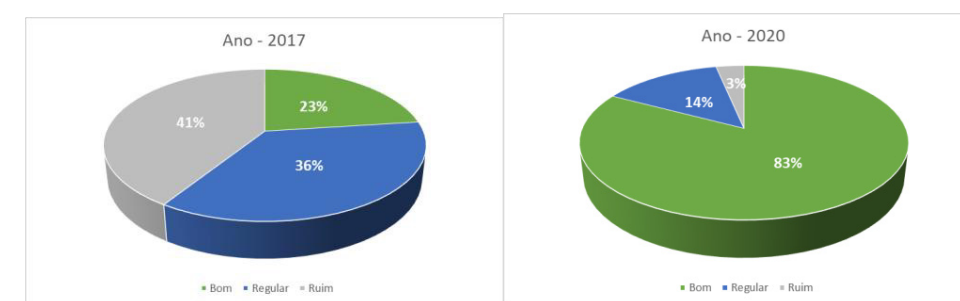


Figura 1. Comparação entre os anos de 2017 e 2020 (Fonte: elaboração própria)

### 3. CONCLUSÃO

A comparação realizada gerou uma análise temporal da edificação e dos sistemas que a compõem, sendo possível observar que mesmo tratando-se de uma edificação com poucos anos de construção, esta apresentava diversos problemas nos seus sistemas.

Verifica-se, assim que há uma necessidade intrínseca do acompanhamento regular de empreendimentos deste tipo por parte de empresas especializadas, preservando o desempenho dos materiais e sistemas ao longo da vida útil das edificações.

Os resultados mostraram também que as classificações dos sistemas subiram mais de 50%, com a gestão da manutenção e o planeamento das atividades. Hoje o condomínio realiza manutenções preventivas e o gasto com as manutenções corretivas foi reduzido substancialmente, demonstrando a importância das ações planeadas e do acompanhamento regular.

### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Pinto, G. J. P. F. (2010). A Gestão de Serviços de Manutenção em Edifícios de Serviços. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, Portugal.
- [2] ABNT NBR 5674. (2012). Manutenção de edificações - Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro, Brasil

## INSPEÇÃO E REABILITAÇÃO DE UM EDIFÍCIO MULTIFAMILIAR DA DÉCADA DE 60 EM COVILHÃ

Marcelino, Inês I. G.<sup>1</sup>, Lanzinha, João C. G.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade da Beira Interior, Covilhã. Ines.vr@hotmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, Universidade da Beira Interior, Covilhã. jgcl@ubi.pt

**Palavras-chave:** inspeção, reabilitação, edifício multifamiliar, análise térmica.

### 13. Reabilitação e conservação do património

**Apresentação oral ou Vídeo**

#### 1. INTRODUÇÃO

O parque edificado português apresenta um estado avançado de degradação, principalmente em edifícios mais antigos localizados nos centros históricos, existindo necessidades crescentes de intervenção para resolver esta situação. No conjunto deste parque edificado é possível identificar épocas construtivas que acompanharam a implementação de diferentes tendências e evoluções tecnológicas, definindo estratégias diferenciadas para a intervenção.

A década de 60 merece algum destaque em Portugal pois é composta por um conjunto significativo de edifícios com estrutura reticulada em betão armado e paredes simples de alvenaria de tijolo furado, sem preocupações do ponto de vista do comportamento térmico. Muitos destes edifícios são hoje habitados principalmente por pessoas de idade avançada, muitas vezes residindo sozinhas.

Segundo os Censos 2011 existem cerca de 965.782 edifícios com necessidade de reparação, dos quais 156.093 (46,8%) pertencem à década de 60.

Está hoje identificada a necessidade de intervenção em edifícios existentes, de forma a manter as suas características, solucionar as patologias existentes, deficiências físicas e ambientais, assim como melhorar o seu funcionamento e torná-los mais cómodos aos seus residentes, representando uma boa alternativa de investimentos relativamente à construção nova.

Neste trabalho de dissertação apresenta-se o caso de estudo de um edifício multifamiliar da década de 60 na cidade da Covilhã. O trabalho consistiu em duas etapas principais: a inspeção técnica do edifício e a definição de propostas de intervenção em função das fragilidades detetadas.

#### 2. INSPEÇÃO DE EDIFÍCIO EXISTENTE

##### 2.1. Metodologia de recolha de dados

Numa primeira fase foi criada e aplicada uma metodologia de análise que incluiu uma ficha de inspeção técnica sobre as condições do edificado e um modelo de inquérito aos residentes para conhecer as condições de ocupação, a sensibilidade dos residentes e as expectativas sobre as possíveis intervenções a realizar.

A ficha de avaliação tem como principal objetivo avaliar o estado de conservação do edifício e a extensão de intervenção, realizar o levantamento dos materiais presentes, avaliar as infraestruturas gerais disponíveis e as condições de acessibilidade. O registo é efetuado em diferentes folhas que dizem respeito ao exterior, às zonas comuns e circulações e a cada compartimento de cada fogo. Apresentam-se também os resultados da aplicação efetuada.

O modelo de inquérito foi criado tendo como objetivo a recolha de informação acerca do perfil e sensibilidade dos residentes no que diz respeito à identificação de evidências que potenciam graves anomalias e problemas associados a infraestruturas gerais e ao tipo de utilização.

Após a realização das entrevistas para conhecer a opinião dos residentes confirmou-se o interesse elevado da sua realização prévia relativamente à definição das prioridades técnicas de intervenção. Pode concluir-se que a aplicação deste tipo de inquérito garante uma melhor perceção das exigências e sensibilidade dos residentes e conseguem-se delinear respostas técnicas devidamente

fundamentadas e que têm também em conta a vontade dos residentes dos edifícios, passo essencial para garantir o sucesso das operações de reabilitação.

#### 2.2. Medições e análise térmica das frações

Para a execução da análise térmica sobre a situação existente recorreu-se a um conjunto de termogramas efetuados em dois períodos do dia na estação de aquecimento, a medições em contínuo de temperatura e humidade relativa em alguns apartamentos e à análise térmica dos diferentes alojamentos com base na regulamentação em vigor, com o cálculo da sua classificação energética.

No desenrolar do trabalho de inspeção foi possível retirar considerações fundamentais para propor soluções de intervenção. As propostas de melhoria foram estudadas prevendo a implementação das soluções de forma faseada, sempre com a preocupação de criar melhores condições de acessibilidade, utilização e conforto.

#### 3. PROPOSTAS DE INTERVENÇÃO

Após efetuar uma ponderação dos problemas detetados durante a inspeção e das opiniões dos residentes, estabeleceram-se prioridades e o faseamento das propostas de intervenção, em função das disponibilidades financeiras existentes. Numa primeira fase propôs-se melhorar o isolamento do edifício, a ventilação e as acessibilidades; na segunda fase o melhoramento dos sistemas de AQS, nova rede de abastecimento água e novas infraestruturas comuns do edifício; na terceira fase propôs-se a instalação de aquecimento central e coletores solares, e nova rede elétrica e de telecomunicações; na quarta e última fase, instalação de uma plataforma elevatória de acesso aos pisos superiores.

#### 4. CONCLUSÕES

Tendo por base a inspeção técnica realizada ao edifício em estudo, concluiu-se que o problema que urge resolver é relativo ao desempenho energético do edifício para melhorar o conforto interior.

Com a aplicação da metodologia proposta, verificou-se a necessidade de intervenção em infraestruturas gerais e correção de anomalias. Em geral, o edifício encontra-se num estado de conservação razoável, tendo em conta a manutenção corrente realizada pelos ocupantes ao longo dos anos de utilização do edifício. Durante a inspeção, observou-se a ocorrência de condensações superficiais nas zonas comuns e em especial nos tetos dos apartamentos no último andar, localizados sob uma área não útil. Quanto aos apartamentos em contacto com o estabelecimento café, a acústica é um fator negativo na opinião dos residentes.

Na segunda fase de inspeção, verificou-se que a envolvente térmica do edifício é um grave problema a solucionar, devido aos elevados coeficientes de transmissão térmica das soluções construtivas existentes, às elevadas e/ou baixas temperaturas registadas no interior (inverno/verão) e em resultado da análise superficial das fachadas através dos termogramas. O cálculo térmico realizado, com base no Regulamento dos Edifícios de Habitação (REH) confirmou a fraca classificação térmica dos apartamentos estudados e, como esperado, a pior classificação energética para os apartamentos em contacto com espaços não úteis. Na estação de verão, a energia útil necessária para arrefecimento é muito superior ao valor de referência, o mesmo acontecendo para a estação de inverno. Na estação de aquecimento, a energia necessária para aquecer é muito superior ao valor de referência.

As propostas de intervenção são sugeridas para a globalidade do edifício, com o objetivo de o tornar mais confortável, saudável e seguro para os ocupantes. Estas propostas de intervenção foram projetadas de forma faseada, suportadas pela lógica de custo/benefício, corrigindo todas as fragilidades técnicas detetadas e também as sugeridas pelos ocupantes.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Marcelino, I., Inspeção e Reabilitação de um Edifício Multifamiliar da Década de 60 em Covilhã, Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, FEUBI – Faculdade de Engenharia da Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 2017.
- [2] Lanzinha, J., Reabilitação de Edifícios – Metodologia de Diagnóstico e Intervenção, Livro em edição digital, Edição Fundação Nova Europa, Série Estudos de Engenharia, Volume 5, Apoio: Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, ISBN 978-989-654-116-3, 2013.

## INSPEÇÃO, AVALIAÇÃO E REABILITAÇÃO DE PONTES METÁLICAS

Mariana Marques<sup>1</sup>, Francisco Virtuoso<sup>2</sup>, Augusto Gomes<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Engenharia Militar. Academia Militar. marques.mc@exercito.pt

<sup>2</sup> Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico. francisco.virtuoso@tecnico.ulisboa.pt

<sup>3</sup> Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico. augusto.gomes@tecnico.ulisboa.pt

**Palavras-chave:** pontes metálicas, reabilitação, inspeção, avaliação.

Reabilitação e conservação do património

Poster Estático

### 1. ENQUADRAMENTO

A maioria das pontes metálicas encontra-se em utilização desde o séc. XIX, sendo visíveis sinais de degradação. Se não forem tomadas medidas de manutenção, reabilitação ou substituição, as estruturas podem deixar de ser seguras para desempenharem a sua função. Atualmente assiste-se a uma aposta na reabilitação em detrimento da construção de novas estruturas, através de políticas de manutenção preventiva e reativa. A exatidão do plano de intervenção na estrutura a reabilitar relaciona-se com o diagnóstico e posterior avaliação do estado de conservação da obra de arte, desta forma é necessário uniformizar os procedimentos a realizar pela equipa de inspeção. Os prazos de inspeção e a tipologia de relatórios a desenvolver estão contemplados no sistema de gestão de obras de arte da Infraestruturas de Portugal, SA (IP), nomeadamente no Sistema de Gestão de Obras de Arte (SGOA). Contudo, existe a necessidade de maturação desta ferramenta de apoio à decisão no que concerne à seleção do método de ensaios dos materiais e/ou estrutura e aos métodos de reparação a aplicar conforme as anomalias detetadas. O presente artigo aborda a evolução das soluções estruturais e dos materiais; os ensaios a realizar para avaliar os materiais e a condição da estrutura; os procedimentos a efetuar na inspeção; e as soluções de reabilitação para as anomalias mais frequentes.

### 2. ENSAIOS DE MATERIAIS

Avaliar a estrutura implica conhecer os materiais que a constituem e, caso essa informação não exista, seja insuficiente ou dúbia, devem ser solicitados ensaios que definam as características dos materiais. O número de ensaios solicitados depende da informação disponível. Os ensaios de caracterização dos materiais podem ser de caracterização química e soldabilidade; e de caracterização mecânica, devendo-se sempre que possível adotar os ensaios não destrutivos (NDT). Estes últimos podem ser: correntes de Foucault (eletromagnetismo induzido para detetar descontinuidades nos materiais condutores); radiográfico (radiação X ou Gama absorvida para produzir uma imagem de alto contraste, com identificação das zonas de descontinuidades); ultrassónico (ondas sonoras de alta frequência que refletem e difratam sob descontinuidades); termografia infravermelha (fendas e zonas de corrosão apresentam variações de temperatura); emissão acústica (movimento súbito dos materiais sob tensão produz emissões acústicas); magnetoscopia (a superfície do aço é magnetizada e são aplicadas pequenas partículas de ferro fosforescentes que são atraídas pela descontinuidade no campo magnético que os defeitos provocam, identificando a localização das fendas); líquidos penetrantes (líquido penetrante absorvido por capilaridade identificando, desta forma, a localização das fendas) [1], [2] e [3].

### 3. TÉCNICAS DE INTERVENÇÃO

Os danos que reduzem a capacidade ou a durabilidade da estrutura têm de ser avaliados para determinar a sua importância, de forma a priorizar as intervenções necessárias e decidir quais as ações a tomar em resposta. Esta avaliação permite, também, auxiliar o estabelecimento de estratégias futuras de manutenção ou substituição. Face a um determinado dano, as ações a realizar podem ser de caráter preventivo (manutenção) ou de caráter reativo (reparação, reforço ou substituição). As ações reativas somente são realizadas quando a estrutura ou membros da

estrutura não cumprem os requisitos de segurança ou de serviço. O âmbito deste trabalho considera apenas os aspetos relativos à reparação e restabelecimento do normal e correto funcionamento da estrutura, não estando esta abordagem direcionada para o aumento da capacidade de carga (reforço estrutural). Algumas das técnicas de intervenção podem passar por: Reparação ou substituição de elementos estruturais; Reabilitação estrutural; Reparação e substituição de ligações e elementos de ligação (de acordo com [4], pode-se recorrer às quatro seguintes técnicas: esmerilamento, martelagem, refusão TIG e *stop hole*); Reparação e substituição de aparelhos de apoio (as anomalias mais comuns nos aparelhos de apoio e nos seus elementos de ligação são a corrosão, delaminação, degradação da pintura ou da galvanização, deslocamentos excessivos, descolagem do teflon e do neoprene, entre outros); Reparação dos sistemas de proteção contra a corrosão e acabamento de superfícies (podem apresentar diversos defeitos, tais como fissuração, empolamento, pulverulência, descamação e corrosão); Reparação de elementos não estruturais (tais como o sistema de drenagem e as juntas de dilatação).

### 4. CONCLUSÕES

A necessidade de fazer face aos aumentos das exigências dos regulamentos, do aumento do volume de tráfego e das cargas aplicadas, da degradação das obras de arte e dos fundos limitados para a gestão das estruturas, faz com que seja necessário haver uma política eficiente de inspeção, avaliação e posteriores medidas que tornem o processo de reparação eficiente. Com o intuito de sistematizar e otimizar os processos elencados anteriormente, foi necessário avaliar cada uma das diferentes fases para conseguir padronizar o mais possível as medidas a desenvolver em cada etapa. Desta forma, começou-se por definir os ensaios de caracterização dos materiais a realizar consoante a informação disponível. Após isso, seguiu-se o processo de inspeção *in situ*, elencando os aspetos relevantes a analisar, aspetos intrinsecamente relacionados com o conhecimento das principais anomalias que estas estruturas usualmente apresentam. Após a recolha desta informação são elaborados relatórios e as informações são inseridas num sistema de gestão de obras de arte e após isto são definidas as técnicas de intervenção na estrutura mais adequadas. Na fase da intervenção na estrutura é necessário compreender que uma manutenção preventiva é essencial para mitigar a necessidade de elevados investimentos e prolongar a vida útil da estrutura. Foram ainda abordados dois casos de estudo que serviram como base de comparação e verificação da sistematização de processos elaborada. Contudo verificou-se que as ações inspetivas basearam-se essencialmente na observação visual dos diversos componentes das pontes metálicas. Desta forma é importante a introdução de métodos de análise complementares à observação, uma vez que alguns métodos são relativamente simples e económicos e permitem obter mais informações e complementar os dados visuais sobre a condição da estrutura. Alisando globalmente o processo de inspeção, avaliação e reabilitação das pontes metálicas é possível identificar que existe a necessidade de tornar o processo o mais objetivo possível. Para tal, é necessário que este processo assente num sistema de gestão de obras de arte completo e simplificador da atividade. No desenrolar da análise dos casos de estudo foram identificadas algumas lacunas do sistema SGOA, nomeadamente na padronização dos ensaios a realizar, tanto nos de caracterização dos materiais, como nos de caracterização do estado de conservação da estrutura.

- [1] B. Kuehn et al, Assessment of existing steel structures: recommendations for estimation of remaining fatigue life, JRC Scientific and Technical Report, 2008.
- [2] T. Hopwood, G. Christopher, J. Fairchild e S. Palle, Nondestructive Evaluation of Steel Bridges: Methods and Applications, Kentucky Transportation Center, Kentucky, 2016.
- [3] A. Elbeheri e T. Zayed, Non-destructive Evaluation Techniques for Steel Bridges Inspection, em TAC 2016: Efficient Transportation-Managing the Demand, Canadá, 2016.
- [4] H. Perna, Pontes metálicas em ambiente marítimo: Metodologias de avaliação, reparação e proteção, tese de mestrado, Universidade da Madeira, Madeira, 2010.

## GESTÃO DE OBRAS DE ARTE SOB TUTELA MUNICIPAL ESTUDO DE PONTES EM ALVENARIA DE UM MUNICÍPIO

Marlena A. Sousa<sup>1</sup>, Joana O. Almeida<sup>2</sup>, Cristina R. Costa<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Câmara Municipal de Arcos de Valdevez. marlenasousa@gmail.com

<sup>2</sup> Grupo disciplinar de Engenharia Civil. Instituto Politécnico de Viana do Castelo. joliveira@estg.ipvc.pt

<sup>3</sup> Unidade Departamental de Engenharias. Instituto Politécnico de Tomar. c.costa@ipt.pt

**Palavras-chave:** gestão de obras de arte, obras de arte municipais, pontes em alvenaria.

13

Poster

### 1. INTRODUÇÃO

O contínuo desinvestimento público e a transferência de responsabilidade de algumas estradas nacionais portuguesas para os Municípios têm vindo a levantar algumas questões sobre a forma como é feita a gestão de obras de arte (GOA) que se encontram sob tutela municipal. Nesse contexto, é importante que se faça uma reflexão sobre a situação atual e que se perceba o que importa implementar no sentido de melhorar as práticas futuras, minimizando os custos envolvidos na conservação das obras de arte (OA) tuteladas pelos municípios portugueses e assegurando os níveis desejados de funcionalidade e segurança. Foi realizado um inquérito a todos os municípios portugueses, cujos resultados se apresentam, com o intuito de caracterizar as práticas vigentes e as principais necessidades no âmbito da gestão de pontes e outras OA. Para exemplificar o tipo de OA que podem estar sob responsabilidade de um município é apresentado o estudo de um caso particular, o do Município de Arcos de Valdevez (MAV). Para este município é caracterizado o parque de OA existente na sua área geográfica. Por fim, para as pontes em alvenaria com tráfego rodoviário de Arcos de Valdevez, é feita uma avaliação do estado de conservação (EC).

### 2. GESTÃO DE OBRAS DE ARTE SOB TUTELA MUNICIPAL – PANORAMA NACIONAL

Para a elaboração de uma análise à situação nacional no que concerne à GOA sob tutela municipal, solicitou-se a colaboração dos municípios portugueses através de um inquérito. O inquérito foi enviado em maio de 2015 para os 308 municípios portugueses e foram obtidas 81 respostas, correspondentes a cerca de 26% do universo inquirido. Importa ainda referir que 8 dos municípios que participaram no inquérito declararam não tutelar OA. Dos municípios que responderam ao inquérito, e que são responsáveis pela gestão de OA, 64% afirmaram não ter qualquer registo das estruturas sob sua tutela. Cerca de 73% dos municípios inquiridos reconhece que não realiza inspeções periódicas às suas pontes. Dos restantes municípios, 16 declaram que fazem inspeções periódicas às suas OA e 4 admitem que apenas o fazem pontualmente. Essas inspeções pontuais são realizadas quando é identificada alguma necessidade específica de intervenção, quando há uma solicitação por parte da Junta de Freguesia (JF) ou em determinadas pontes consideradas mais importantes. A manutenção, tal como a inspeção, também não é uma prática comum para a maioria dos municípios, uma vez que, 64% afirmam não efetuar uma manutenção regular às suas OA. Dos restantes municípios, 19% realizam ações de manutenção e 17% apenas o levam a efeito nas pontes mais significativas ou, pontualmente, por solicitação das JF ou quando são identificadas necessidades de ações de conservação. Em linha com os resultados atrás apresentados, a quase totalidade dos municípios participantes no inquérito (71) não possuem um Sistema de Gestão de Obras de Arte. Apenas 2 respondem de forma positiva, sem, no entanto, indicarem qual o sistema que utilizam. Quando questionados sobre qual consideram ser o maior entrave a uma gestão eficaz das OA, 75% dos municípios consideraram os limitados recursos financeiros (44%) e técnicos (31%) como sendo o principal motivo para a não existência de inventário ou para o acompanhamento desadequado das pontes sob sua tutela. A falta de documentação técnica adaptada à realidade municipal foi também referida por 21% dos municípios participantes no inquérito como um

entrave à gestão eficaz. Há ainda 4% dos municípios que consideram que o principal entrave é de outra natureza.

### 3. O PARQUE DE OBRAS DE ARTE DE ARCOS DE VALDEVEZ

Como exemplo de um parque de OA sob tutela municipal apresenta-se o caso de Arcos de Valdevez. Em resultado da vasta rede viária e da densa rede hidrográfica, há um número significativo de OA em Arcos de Valdevez. A região contabiliza 48 pontes, 41 pontões, 16 viadutos, 5 passadiços, 14 passagens superiores, 4 passagens inferiores, 3 passagens agrícolas e 1 túnel. Na distribuição dessas OA por entidade gestora é possível verificar que há 54 OA sob a tutela da Infraestruturas de Portugal (IP) e 78 sob jurisdição do Município, estando estas últimas sob tutela da Câmara Municipal ou das JF. Para além das OA quantificadas, existem ainda 2 barragens da Energias de Portugal (EDP) e mais de 300 passagens hidráulicas sendo a sua maioria (64%) de responsabilidade municipal. Concentrando a atenção nas 39 pontes sob jurisdição municipal, pode verificar-se que a maioria (24) são em alvenaria.

### 4. ESTUDO DE UM CONJUNTO DE PONTES EM ALVENARIA DE ARCOS DE VALDEVEZ

De entre as OA do MAV, foram particularmente estudadas 6 pontes de alvenaria contemporâneas e com o sistema estrutural em arcos [1]. Esse estudo foi feito com base numa metodologia para avaliar o EC e fazer o diagnóstico de pontes de alvenaria, utilizada pela IP [2], que permite atribuir um EC para cada elemento da ponte. Neste estudo discute-se como obter o EC global para a ponte, a partir desses resultados. A avaliação do estado de conservação por elemento, das pontes estudadas, resultou em estados de conservação que variam entre EC0 – Excelente e EC3 – Razoável. Na avaliação do EC global observou-se que o EC global determinado é igual ao pior EC para os elementos da ponte e varia entre EC2 - Bom e EC3 – Razoável.

### 5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no inquérito realizado aos municípios portugueses permitem constatar que numa grande parte deles não há um registo organizado das OA que tutelam, nem se realizam ações periódicas de inspeções e manutenção. A falta de acompanhamento destas estruturas foi considerada, pela maioria dos municípios inquiridos, como sendo resultante da limitação de meios técnicos e financeiro, pelo que importa refletir no que será necessário melhorar nesta perspetiva. A caracterização do parque de OA do MAV, com a tutela de 78 OA, permite traçar um cenário do tipo de estruturas que podem estar sob tutela de um município português, muitas vezes sem o acompanhamento desejável. Aliás, recentemente, este município, tal como vários outros do país, viu o seu universo de OA adensado pelas pontes cuja responsabilidade lhes foi transferida da IP. Para a inspeção de OA em alvenaria e realização do respetivo inventário foram propostas e aplicadas metodologias conjugadas com a determinação do EC por elemento e do EC global da obra de arte [1]. Dessa forma, consegue-se obter uma visão geral do estado de conservação do conjunto de pontes numa dada área geográfica ou sob uma determinada entidade de gestão. O EC global pode ser usado para apoiar decisões relacionadas com a gestão de um parque de pontes, sendo especialmente importante para extensos parques de pontes. A metodologia permite assim auxiliar na tarefa de gestão de pontes municipais, rentabilizando os meios técnicos e tecnológicos habitualmente usados pelos municípios.

### REFERÊNCIAS

- [1] Sousa, M. (2017). *Gestão de Obras de Arte sob Tutela Municipal - Estudo de Pontes em Alvenaria*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil e do Ambiente, Instituto Politécnico de Viana do Castelo.
- [2] Costa, A., Perneta, H., Costa, C., Arêde, A., & Varum, H. (2015). *Guia para o Diagnóstico de Obras de Arte de Alvenaria* (documento interno IP, Ex-EP). *Infraestruturas* de Portugal.

## Estudo da viabilidade técnica da utilização de tubagens em material compósito na reabilitação de passagens hidráulicas e agrícolas

Miguel Maria Potes Barroso Silva Santos<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico. miguel.silva.santos@tecnico.ulisboa.pt

**Palavras-chave:** Passagens hidráulicas, ARMCO, Reabilitação, Materiais Compósitos.

**Reabilitação**

**Apresentação oral**

### RESUMO ALARGADO

Nas décadas de 1980 a 2000, durante a construção de muitas das autoestradas do país, foi frequentemente adoptada uma solução construtiva para a execução de Passagens Hidráulicas (PH) e Agrícolas (PA) à base de chapas finas de aço corrugado, também conhecida por solução ARMCO. Decorridos aproximadamente 30 anos desde a construção destas estruturas, verificou-se que a corrosão em algumas delas era mais acentuada do que o previsto em projecto. A corrosão, que tem uma influência negativa directa na resistência do aço, pode comprometer a segurança destas estruturas, tendo já provocado alguns casos de aluimento em Portugal.

Neste contexto, é fundamental definir soluções de reabilitação para estas PH/PA, que podem ter até cerca de 4 m de diâmetro. Uma das soluções que tem vindo a ser proposta, e que já foi aplicada nalgumas obras, consiste na utilização de tubos em material compósito de polímero reforçado com fibras de vidro (GFRP, Glass Fiber Reinforced Polymer) no encamisamento interior dos tubos de aço. Relativamente a esta solução de reabilitação estrutural de PH/PA, dada a sua novidade, existem dúvidas sobre a sua viabilidade técnica.

O objectivo da presente dissertação consistiu assim em estudar a viabilidade técnica da reabilitação estrutural de PH/PA construídas com a solução ARMCO com recurso a entubamento pelo interior com tubos de GFRP. Para esse efeito, foi desenvolvido um estudo experimental e um estudo numérico sobre um produto tubular em GFRP disponível comercialmente. Simultaneamente foi acompanhada uma obra de reabilitação deste tipo com o intuito de conhecer melhor as técnicas de construção envolvidas.

### Estudo experimental

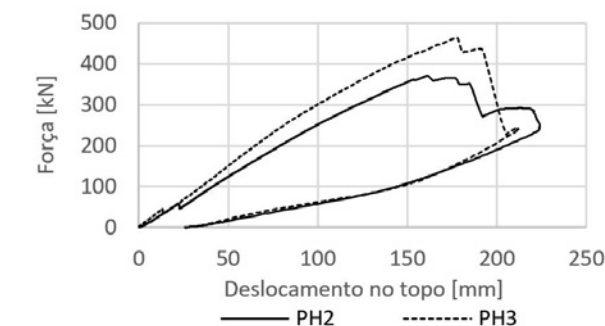
O Estudo experimental teve como principal objectivo analisar as propriedades mecânicas e o comportamento estrutural de uma tubagem em polímero reforçado com fibras de vidro (GFRP) que se destina à reabilitação de passagens hidráulicas localizadas sob eixos rodoviários. Outro dos objectivos consistiu em obter dados de input para a validação de um modelo numérico, que possa ser utilizado no dimensionamento daquele tipo de estruturas. Os ensaios experimentais foram realizados no Laboratório de Estruturas e Resistência dos Materiais (LERM) do Instituto Superior Técnico (IST).

A campanha experimental, desenvolvida em duas fases, incluiu: (i) ensaios de caracterização mecânica do material GFRP (flexão, compressão, corte e corte interlaminar); e (ii) ensaios à flexão em 3 tubos à escala real (PH1, PH2 e PH3), com espessura de parede (nominal) de 54 mm, abertura de 3540 mm e altura de 2200 mm, tal como se apresenta na figura 1 à esquerda.

Os ensaios de caracterização permitiram determinar as propriedades mecânicas do material GFRP (módulos elásticos e resistências). Nos ensaios à escala real, foi possível avaliar o comportamento estrutural e capacidade de carga dos tubos. Nestes ensaios, o material exibiu elevada deformabilidade e capacidade de carga. No gráfico da figura 1 apresentam-se as curvas força vs. Deslocamento obtidas para os provetes PH2 e PH3. Nele é possível constatar cargas de rotura superiores a 350 kN para deformações registadas no topo dos tubos entre os 160 e os 180 mm.



Figura 1 – Ensaio de flexão do provete PH2 (à esquerda) e curva força vs. deslocamento dos provetes PH2 e PH3 (à direita)



### Estudo numérico

O estudo numérico, realizado através do programa de cálculo estrutural de elementos finitos SAP2000, foi também dividido em duas fases: (i) simulação dos ensaios de laboratório à escala real – com o intuito de validar a capacidade de, numericamente, simular o comportamento dos tubos GFRP durante o ensaio (foram utilizadas as propriedades do tubo GFRP obtidas nos ensaios de caracterização do material); e (ii) simulação de uma situação de projeto – com o objetivo de determinar os esforços máximos a que os tubos, numa situação genérica de projeto, podem ser sujeitos.

Na figura 2 apresenta-se o perfil transversal à faixa de rodagem e respetiva visão 3D do modelo ensaiado. Comparando os resultados das tensões e deformações obtidos nos ensaios à escala real foi possível verificar a precisão dos modelos numéricos. Analisando o comportamento estrutural de tubos em GFRP, considerando as combinações previstas pelo Regulamento de Segurança e Acções (RSA) foi verificada a segurança aos estados limites de serviço e aos estados limites últimos de acordo com a versão final da pré norma: prCEN/TS 19101:2020 “Design of fibre polymer composite structures”.

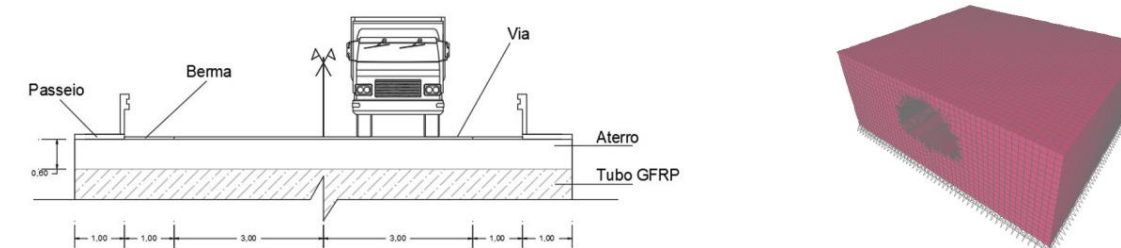


Figura 2 – Perfil transversal (à esquerda) e visão tridimensional (à direita) do modelo ensaiado.

### Acompanhamento de obra

Finalmente, foi acompanhada semanalmente uma obra de reabilitação que utilizou tubos GFRP idênticos aos ensaiados em laboratório. Com este acompanhamento foi possível verificar grandes vantagens construtivas, quando comparada com outros tipos de reabilitação, nomeadamente a simplicidade e rapidez da execução.



Figura 3 – Comparação entre o estado inicial e final da PH, após a reabilitação GFRP acompanhada

Globalmente, e apesar de ser necessário avaliar a durabilidade de longo prazo desta solução, conclui-se que o uso de tubos de GFRP na reabilitação de PH/PA é tecnicamente viável.

## ESCADARIA LIVRARIA LELLO – INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO ESTRUTURAL

Nuno Monteiro<sup>1</sup>, Alexandre Costa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Superior de Engenharia do Porto. 1130403@isep.ipp.pt

<sup>2</sup> Instituto Superior de Engenharia do Porto. alc@isep.ipp.pt

**Palavras-chave:** Inspeção e Diagnóstico, Identificação Dinâmica, Ensaios NDT, SAP2000.

**Código da Área Temática:** 13

**Apresentação oral**

**1. INTRODUÇÃO** – Concebida no início do século XX, a Livraria Lello constitui um dos mais emblemáticos edifícios da cidade do Porto. Com mais de um século de existência, a estrutura do edifício sobreviveu ao seu tempo de vida útil, em parte graças a ações de reabilitação ao longo do tempo. No entanto, a escadaria bifurcada que marca o amplo espaço interior da livraria carece de uma análise acerca do seu estado de conservação atual. Tendo em consideração o relevo histórico deste objeto, o presente caso de estudo envolveu sobretudo a caracterização da escadaria através de ensaios de identificação dinâmica por vibração ambiental, de modo a: (i) obter uma caracterização estrutural o menos invasiva possível; (ii) detetar possíveis anomalias estruturais em fase de monitorização.

### 2. ENSAIOS DE IDENTIFICAÇÃO DINÂMICA

**2.1 Descrição** – Os ensaios de identificação dinâmica (ID) *in situ* constituem um tipo de ensaio não-destrutivo (NDT) bastante fiável, de grande utilidade e com crescente utilização para a verificação do comportamento estrutural e da integridade da construção, assim como para a calibração de parâmetros de comportamento global. Considerando a viabilidade das diferentes técnicas existentes para a execução deste ensaio, optou-se pela técnica de vibração ambiental. Tal como o nome indica, neste método a excitação dinâmica imposta à estrutura é a que deriva de fatores ambientais, tais como o vento, o tráfego urbano, maquinarias etc. Com a colocação de sensores (acelerómetros) em posições criteriosamente definidas é então registada a resposta dinâmica da estrutura em termos de acelerações [1]. De seguida os dados registados são numericamente tratados com recurso a técnicas de análise espectral, determinando assim características dinâmicas da estrutura como as suas frequências, modos de vibração fundamentais e deformadas modais.

**2.2 Setup** – Com base numa análise do levantamento estrutural e de um modelo numérico simplificado da estrutura, elegeram-se os pontos mais representativos e caracterizadores do comportamento dinâmico a escadaria. Foram utilizados um total de 9 acelerómetros, agrupados 3 a 3 para medição das 3 direções principais (x, y e z) que permitiram a execução de 3 *setups* distintos.

**2.3 Resultados** – A partir dos picos identificados no domínio da frequência e as respetivas deformadas modais, foram detetadas as frequências correspondentes aos três modos principais de vibração da estrutura (Tabela 1)

**Tabela 1.** Principais frequências de vibração identificadas

| Modo | Frequência [Hz] | Comentário                    |
|------|-----------------|-------------------------------|
| 1    | 11.37           | Modo principal Y (translação) |
| 2    | 16.81           | Modo principal X (translação) |
| 3    | 22.58           | Modo principal Z (translação) |

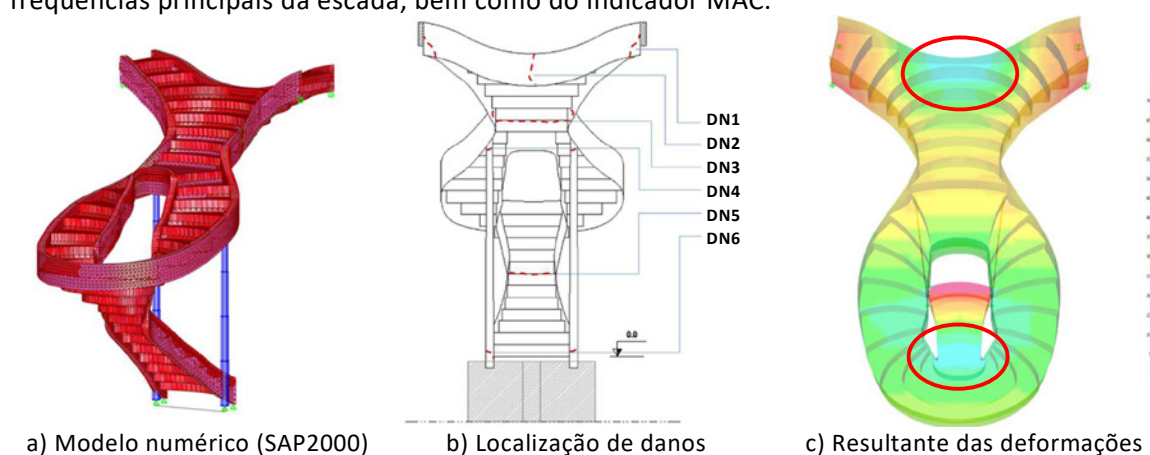
### 3. MODELO NUMÉRICO

**3.1 Modelação** – Dada a peculiar geometria da estrutura, o modelo numérico foi desenvolvido em duas fases, com recurso a diferentes ferramentas. Numa primeira instância foi criado um modelo tridimensional da estrutura com recurso ao software CAD DraftSight®. Posteriormente foi exportado para o programa de cálculo automático de análise estrutural SAP2000, dando início à segunda fase de modelação, tendo-se considerado: (i) modelação das vigas de suporte e laje de escada através de elementos finitos do tipo “casca”; (ii) modelação dos pilares resistentes através de elementos finitos do tipo “barra”; (iii) malha gerada em facetas triangulares, devido à complexidade da geometria da escada; (iv) propriedades materiais e mecânicas estimadas com base no conhecimento adquirido.

**3.2 Calibração do Modelo Numérico** – O processo de calibração do modelo numérico é feito de uma forma indireta, seguindo-se um processo iterativo de tentativa e erro até à convergência dos resultados numéricos e experimentais, através da manipulação de parâmetros como a rigidez, massa e condições de apoio da estrutura. Foi obtido um valor de 0.79 para o critério MAC (*Modal Assurance Criterion*) que mede o grau de correlação entre a deformada modal experimental e numérica, bem como um desvio máximo de 3.85% entre frequências.

**3.3 Análise de Cenários de Dano** – De modo a agilizar a identificação de anomalias no funcionamento estrutural da escada em fase de monitorização, foram simulados no total nove eventuais cenários de dano associados a possíveis deteriorações nos elementos estruturais de betão armado. Estas simulações consistem principalmente na representação de fendilhações em pontos críticos da estrutura (Figura 1.b), tais como pontos de maior deformação (Figura 1.c) e ligações entre elementos. Foi ainda considerada a hipótese de decaimento do módulo de elasticidade (E) de forma global e o efeito da variação de temperatura.

A avaliação da influência dos danos foi realizada através da observação de variação nas frequências principais da escada, bem como do indicador MAC.



**Figura 1.** Análise de modelo numérico

**4. CONCLUSÕES** – De forma sumária, os trabalhos realizados no caso de estudo descrito permitiram concluir que: (i) não foram identificados danos significativos na estrutura existente da escadaria; (ii) os ensaios dinâmicos realizados bem como o modelo numérico desenvolvido permitiram uma melhor definição dos pontos de leitura na monitorização a implementar; (iii) identificou-se a ligação dos pilares como a mais crítica a ser observada nas futuras atividades de inspeção, bem como a ligação superior do patamar às escadas.

### REFERÊNCIAS

[1] Paupério, E. et al. - Inspeção e diagnóstico de estruturas. Contributo para a sua preservação. 2011.

## USE OF WET-MIX SHOTCRETE IN THE REPAIR OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES Case study of a rehabilitation work in a marine environment

Pedro Loureiro Fazenda<sup>1</sup>

<sup>1</sup> DECivil. Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. pedro.l.fazenda@tecnico.ulisboa.pt

**Keywords:** shotcrete, wet-mix, marine environment, accelerator.

**Thematic area no. 13**

**Oral presentation**

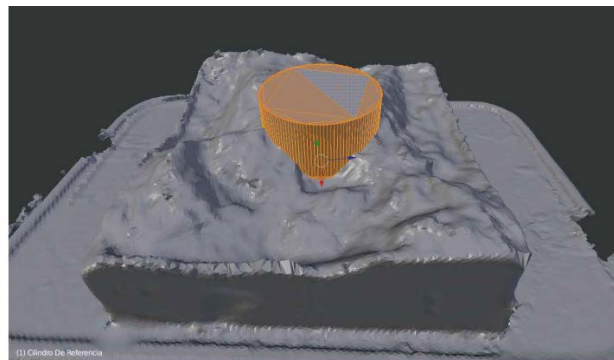
### 1. INTRODUCTION

Wet spraying consists of the continuous application of ready-mixed concrete shot from a nozzle under compressed air onto a substrate, without the use of formwork [1]. Setting time may be highly influenced by the use of accelerators in mix design. Adhesion to the substrate is directly related to its roughness [2]. This dissertation is based on the follow-up of a rehabilitation work, consisting of concrete repairs in a marine environment, where the substrate had two distinct chipping zones and the coating was rebuilt with wet sprayed concrete. It was intended, through the experimental study of samples collected *in situ*, to determine the influence of the substrate resurfacing method on the adhesion and the influence of the dosage of accelerator admixture on the mechanical and durability properties of the new concrete.

### 2. EXPERIMENTAL STUDY

#### 2.1. Influence of the substrate chipping method on the adhesion

Positive plaster substrate molds of the two resurfaced áreas (where pneumatic hammer and milling head chipping was performed) were produced, digitalized and modeled in 3D, in order to quantify the roughness of the substrate. For this characterization, a simplified adaptation of the Slit-Island Method [3] (or area-perimeter analysis) was applied. The interface área ( $A_i$ ) considered corresponds to the surface area of the mold contained in the 45 mm diameter circumference (matching the core diameter used in the pull-off tests), centered at the point of intersection of the two diagonals of the sample bounding square, dimensions 12 x 12 [cm<sup>2</sup>]. After concreting, pull-off tests were performed at the same sites, and the results were compared with  $A_i$  (Figure 1).



**Figure 1** - Scanned image of surface reproduction, intersected with a cylindrical volume of Ø45 mm, corresponding to the pull-off test core.

#### 2.2. Influence of the dosage of accelerator admixture on the mechanical and durability properties of the new concrete

Shooting test panels made out of three types of concrete, containing accelerator dosages of 3%, 5% and 7% of the binder mass were produced and drilled for core extraction. The cores were tested for compression, accelerated carbonation and chloride penetration in IST's laboratory.

### 3. CONCLUDING REMARKS AND FUTURE DEVELOPMENTS

Table 1 presents a summary of the performance of the substrate preparation methods and the tested shotcrete.

**Table 1.** Performance evaluation of the substrate preparation methods and concretes with different accelerator dosages.

| Performance  | Tests on the quality of substrate preparation |                  | Tests on concrete with dosages of 3%, 5%, and 7% of accelerator |                                       |                                    |
|--------------|-----------------------------------------------|------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
|              | Larger interface area                         | Adhesion         | Compressive strength                                            | Resistance to accelerated carbonation | Resistance to chloride penetration |
| Best         | Pneumatic hammer                              | Pneumatic hammer | AC3%                                                            | AC5%                                  | AC3%                               |
| Intermediate | ----                                          | ----             | AC7%                                                            | AC7%                                  | AC7%                               |
| Worst        | Milling head                                  | Milling head     | AC5%                                                            | AC3%                                  | AC5%                               |

It was concluded that the substrate chipping with pneumatic hammer produces higher concrete-to-concrete bond strength than substrate resurfacing with double drum cutter heads. On the other hand, no linear correlation could be established between the accelerator dosage in shotcrete mixture and compressive, carbonation and chloride penetration resistance.

The use of wet-mix shotcrete process does not contemplate variations on the w/b ratio, which allowed the study to be centered on the analysis of the influence of the substrate preparation on adhesion and the influence of the setting accelerator admixture on the performance of the shotcrete. The coordination between the academic environment and industry creates opportunities to study and document the behavior of materials and processes in real situations, the results of which give a pragmatic and real applicability use, contributing to the evolution of the quality of construction. Regarding future developments, it would be of great interest to deepen the study of the influence of the preparation of surfaces on the adherence of the wet-mix sprayed concrete, namely the study of the roughness generated by other demolition methods, in addition to the chipping method with pneumatic hammer and milling head. The compilation of the results of these works would certainly contribute to the normalization of an expeditious test method, practical and viable for use on site. Following the study of the influence of the accelerator dosage on the mechanical characteristics and durability of the shotcrete, the dosage analysis in the range 7% - 10% of the binder mass (corresponding to the interval between maximum dosage studied in this work and the dosage recommended by the manufacturer), would certainly bring more information as to the optimal dosage to use. Furthermore, the study of the influence of accelerator dosage on fire resistance and ice/thaw cycles remains to be deepened. Finally, regarding the influence of other types of components of the mixture on the performance of the sprayed concrete and the study of mixtures with the addition of fibers from recyclable materials would be an importante step towards making the concrete spraying more sustainable at the environmental level.

### 4. REFERENCES

- [1] **ACI 506R-18.** "Guide to shotcrete", American Concrete Institute: technical committee document, 2018.
- [2] **Hofler, J., Schumpf, J. e Markus J.** "Sika Sprayed Concrete Handbook", Sika Services AG, Putzmeister AG, 4. Edition, 2011.
- [3] **Santos, P. e Júlio, E.** "Caracterização da interface betão - betão utilizando um rugosímetro laser", 2nd. National Concrete Prefabrication Congress, ANIPB, 2018.

## AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE SÍSMICA DE UM ARCO EM ALVENARIA DE PEDRA UTILIZANDO O MÉTODO DOS ELEMENTOS DISCRETOS

P. Silva<sup>1</sup>, C. Cismaşiu<sup>2</sup>, J. Lemos<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Civil. Universidade Nova de Lisboa. pb.silva@campus.fct.unl.pt

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Civil. Universidade Nova de Lisboa. cornel@fct.unl.pt

<sup>3</sup> Investigador-coordenador do LNEC. vlemos@lnec.pt

**Palavras-chave:** alvenaria reforçada, método dos elementos discretos, vulnerabilidade sísmica.

**Reabilitação e conservação do património**

**Apresentação oral**

### 1. INTRODUÇÃO

A maioria das construções em alvenaria assumem grande importância histórica, cultural e arquitetónica. Os arcos são componentes estruturais típicos destas construções e demonstram ser elementos críticos na vulnerabilidade sísmica. O seu estudo e preservação constituem temas importantes e atuais de investigação científica, uma vez que muitas destas estruturas estão localizadas em regiões de elevado risco sísmico. A avaliação da vulnerabilidade sísmica deste tipo de elementos estruturais permite tomar medidas preventivas de reforço estrutural no sentido de melhorar o seu desempenho à ação sísmica, de modo a preservar o património construído. A qualidade desta avaliação depende de simulações numéricas credíveis, capazes de representar o comportamento destas estruturas quando sujeitas à ação sísmica. Contudo, a modelação de estruturas em alvenaria representa um problema complexo devido em parte ao seu comportamento não linear e da existência de descontinuidades nos seus elementos, bem como à variabilidade e incerteza das propriedades dos materiais que as compõem. O presente estudo exemplifica a análise da vulnerabilidade sísmica no caso de um arco em alvenaria de pedra. A estrutura está modelada num programa de elementos discretos, 3DEC [1], conhecido por ser particularmente apropriado para a representação de estruturas de carácter predominante discreto. Este modelo computacional permite simular a ocorrência dos deslocamentos e rotações finitas dos blocos de pedra que constituem o arco, deteta automaticamente eventuais novos contactos entre blocos e elimina os contactos obsoletos, permitindo a simulação do comportamento dinâmico do arco sob ação sísmica até ao seu eventual colapso. A utilização de uma abordagem probabilística permite considerar na análise a variabilidade da ação sísmica e a incerteza na definição das propriedades dos materiais. Através de uma série de análises dinâmicas incrementais foram definidos cinco estados de dano (sem dano, ligeiro, moderado, extenso e colapso) e elaboradas as respetivas curvas de fragilidade. Duas possíveis soluções de reforço baseadas em cabos de aço foram também analisadas de modo a estimar o melhoramento do desempenho sísmico do arco reforçado.

### 2. CASO DE ESTUDO

O caso de estudo analisado no presente trabalho, é baseado num arco em blocos de pedra calcária argamassada, elemento estrutural presente em muitas construções antigas de alvenaria, e já utilizado como exemplo ilustrativo em [2]. Esta estrutura, apesar de simples, permite exemplificar todos os procedimentos propostos neste trabalho para a avaliação sísmica de estruturas em alvenaria. O arco considerado é de volta perfeita e simplesmente apoiado na base, ver Fig. 1, apresentando um vão de 2 m e secção transversal retangular constante, de 0,5 m de espessura de 1 m de largura. A estrutura, composta por 21 blocos, tem uma altura aproximada de 4,5 m. Para além do arco original, foram consideradas também duas soluções alternativas de reforço utilizando cabos de aço.

Na primeira é introduzido um tirante de aço ao nível do arranque dos arcos, atravessando o vão entre apoios, ver Fig. 2. Esta solução, a mais frequentemente adotada, contribui para o equilíbrio estrutural do arco, impedindo a abertura do arco e inibindo a formação dos mecanismos típicos de colapso [3]. O objetivo desta solução de reforço é aumentar a capacidade de deslocamento e dissipação do sistema arco-pilar-tirante sob ações dinâmicas.

A segunda solução de reforço analisada, ver Fig. 3, baseia-se na aplicação de cabos de aço pós-tensionados no extradorso do arco [4]. Intervenções em estruturas reais mostraram que esta técnica de reforço consegue melhorar significativamente o seu comportamento sísmico.

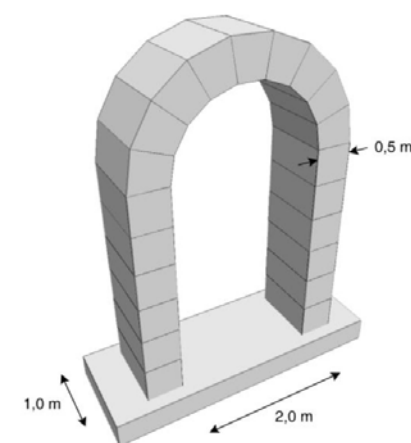


Figura 1. Arco original.

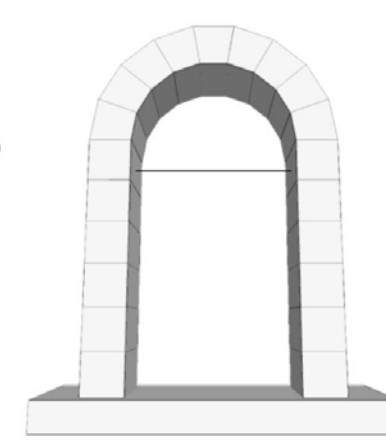


Figura 2. Arco com tirante.

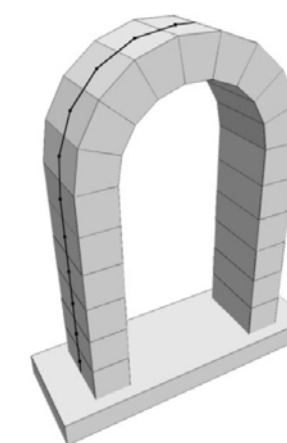


Figura 3. Arco pós-tensionado.

### 3. CONCLUSÕES GERAIS

O dimensionamento de soluções de reforço é uma tarefa importante do ponto de vista da engenharia. A necessidade de reforço e reabilitação estrutural de antigas estruturas em alvenaria, tem resultado num crescente interesse da comunidade científica nesta área. Muitas destas estruturas representam um importante legado patrimonial e cultural, pelo que o estudo da sua vulnerabilidade face à ocorrência de sismos representa uma medida ativa na sua preservação. No presente artigo, o método dos elementos discretos foi usado para avaliar a vulnerabilidade sísmica de um arco em alvenaria reforçada. Uma abordagem probabilística foi combinada com o método de análise dinâmica incremental, para proceder à definição dos estados limite de dano e às correspondentes curvas de fragilidade. Através do estudo dos resultados numéricos e posterior comparação das curvas, é possível constatar que a análise dinâmica incremental não-linear combinada com o método dos elementos discretos é uma ferramenta robusta e eficiente na análise do desempenho sísmico de estruturas de alvenaria. É também possível verificar que ambos os esquemas de reforço apresentados demonstram amenizar os danos estruturais, em que a solução de reforço com cabo de aço pré-esforçado aplicado no extradorso, apresenta melhor desempenho na mitigação dos efeitos da ação sísmica.

### 4. REFERÊNCIAS

- [1] Itasca Consulting Group, Mineápolis, Minesota: 3DEC version 5.2: User's Guide, 2016.
- [2] Azevedo, J., Sincaian, G., Lemos, J., Seismic behavior of blocky masonry structures, Earthquake Spectra, Vol.16(2), pp.337–365, 2000.
- [3] Calderini, C., Lagomarsino, S., Rossi, M., de Canio, G., Mongelli, M., Roselli, I., Shaking table tests of an arch-pillars system and design of strengthening by the use of tie-rods, Bulletin of Earthquake Engineering, Vol.13(1), pp.279–297, 2015.
- [4] Jurina, L., The “Reinforced Arch Method”: a new technique in static consolidation of arches and vaults, Proceedings of the European Conference “Innovative Technologies and Materials for the Protection of Cultural Heritage”, Vol.16, 2003.

## MASONRY ARCH STRENGTHENING WITH CFRP AND STAINLESS STEEL USING CONTINUOUS REINFORCEMENT EMBEDDED AT ENDS

R. Ribeiro<sup>1</sup>, C. Chastre<sup>2</sup>, H. Biscaia<sup>3</sup>

<sup>1</sup> DEC. NOVA School of Science and Technology. rn.ribeiro@campus.fct.unl.pt

<sup>2</sup> DEC. NOVA School of Science and Technology. chastre@fct.unl.pt

<sup>3</sup> DEC. NOVA School of Science and Technology. hb@fct.unl.pt

**Keywords:** Masonry Arch; FRP; Stainless Steel; CREaTE

### 13. Reabilitação e conservação do património

### Apresentação Oral

Masonry arches are a common structural solution used by several civilizations across centuries of history, with a considerable dispersion. Its renewed importance due to the push for the rehabilitation and strengthening of structures has led to the development of several solutions for the strengthening of masonry arches, to support new load conditions and use cases. Many solutions with FRP (Fibre Reinforced Polymers) are extensively studied due to its ease of application and low self-weight, but most suffer early detachment resulting in underutilization of the strengthening material, a common failure for strengthening in beams and slabs.

The CREaTE technique (Continuous Reinforcement Embedded at Ends) of anchoring reinforcement at the supporting sides has proven effective in controlling detachment and promoting a better utilization of strengthening capabilities. This technique developed at NOVA University has been applied to different types of structure in experimental context, but its application in arches had not been studied yet [1,2].

An experimental program was carried out with the testing of eleven arches in monotonic point load at quarter-span, the most severe load case in a symmetrical arch. All arches were constructed in-lab from ceramic solid bricks and hydraulic lime mortar. Strengthening was applied in four configurations using either Carbon-Fibre Reinforced Polymer (CFRP) laminate (10mmx1.4mm) or stainless-steel (SS) bands (12.7mmx0.76mm), in a passive or post-tensioned two-band symmetrical configuration anchored at the abutments with the use of an injectable epoxy-resin. Post-tensioning was applied before testing with a special system being developed for the CFRP laminate, and a commercial band and buckle system used for the stainless steel. Data was collected through digital (Digital Image Correlation) and analogue means (LVDT, strain gauges, load cell), analysed and compared with results summarized in table 1 [3].

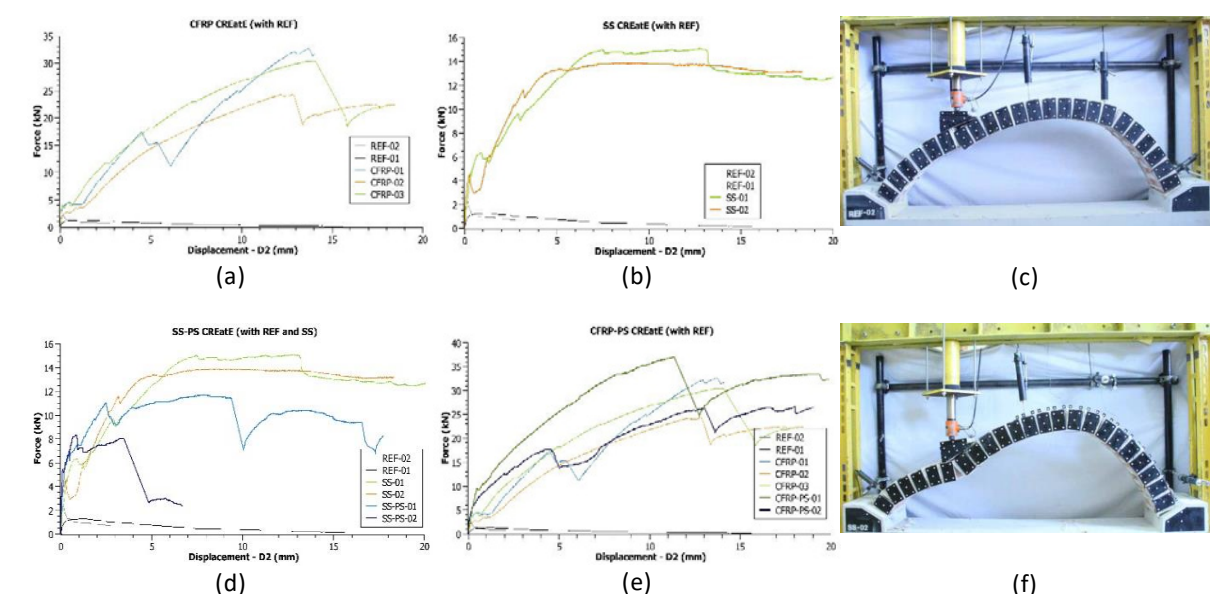
**Table 1.** Experimental Program Result Summary

| Test                                    | Arch Type                             |                       |                    | Label                               | F <sub>max</sub> (kN) | Displacement<br>at F <sub>max</sub><br>(D2) (mm) | F <sub>max</sub> /F <sub>max0</sub> | D2/D2 <sub>0</sub> |
|-----------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|--------------------|-------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|
| Monotonic Point Load at<br>Quarter-Span | Unstrengthened<br>Reference<br>Arches |                       |                    | REF-01                              | 1.3                   | 1.4                                              | 0.4                                 | 5.6                |
|                                         |                                       |                       |                    | REF-01b                             | 3.4                   | 0.4                                              | Reference                           | Reference          |
|                                         |                                       |                       |                    | REF-02                              | 2.4                   | 0.1                                              | Reference                           | Reference          |
|                                         | Strengthened Arches                   | With CFRP<br>Laminate | Regular            | CFRP-01                             | 32.7                  | 13.7                                             | 11.3                                | 55.0               |
|                                         |                                       |                       |                    | CFRP-02                             | 24.3                  | 12.9                                             | 8.4                                 | 51.5               |
|                                         |                                       |                       |                    | CFRP-03                             | 30.5                  | 14.1                                             | 10.5                                | 56.3               |
|                                         |                                       |                       | Post-<br>Tensioned | CFRP-PS-01                          | 37.1                  | 11.4                                             | 12.8                                | 45.4               |
|                                         |                                       |                       |                    | CFRP-PS-02                          | 26.6                  | 13.0                                             | 9.2                                 | 52.1               |
|                                         |                                       |                       |                    | With<br>Stainless<br>Steel<br>Bands | Regular               | SS-01                                            | 15.0                                | 7.5                |
|                                         |                                       | SS-02                 | 13.8               |                                     |                       | 7.8                                              | 4.8                                 | 31.1               |
|                                         |                                       | Post-<br>Tensioned    | SS-PS-01           |                                     |                       | 11.6                                             | 7.6                                 | 4.0                |
|                                         |                                       |                       | SS-PS-02           | 32.7                                | 13.7                  | 11.3                                             | 55.0                                |                    |

Arches strengthened with CREaTE strengthening system using CFRP laminates showed a significant improvement of over 10-times the load capacity of a reference arch, while SS solutions showed a 5-time increase. Initial stiffness proved more dependent on the structural integrity of the arch, with CFRP managing to delay hinge formation for a longer period than the SS strengthening, while controlling hinge formation with smaller, more numerous cracks forming. Localized yielding of the SS strengthening resulted in a more ductile behaviour with bigger openings and the same four-hinge mechanism [3].

Post-tensioned solutions in CFRP introduced additional confinement, amplifying the effect of hinge formation delay, and thus increasing load capacity, though with more inconsistent results. The commercial tensioning system for SS adapted poorly and provided results in line with standard strengthening SS arches. With the optimization of the tensioning systems, the possibility of an increase in post-tensioning, providing a higher degree of confinement, showed great promise [3].

Though some slippage was observed at the anchors, the CREaTE system allowed for a higher degree of confinement and increase in initial stiffness which proves to be the most effective means of increasing the arch's load capacity in an efficient way, when comparing to simple bonded strengthening solutions. Every arch's behaviour in a force vs. displacement graph can be observed in figure 1, comparing each solution with the tested reference arches. The difference in behaviour between CFRP and Stainless Steel strengthening shows two approaches with added benefits, with CFRP guaranteeing the increase in load capacity, needed in a real-life strengthening setting, while SS provides the ductility and failure warning, with both solutions in CREaTE showing a promising improvement, when comparing with previous extrados strengthening solutions, in limiting early detachment failure and underutilization of the strengthening [3].



**Figure 1.** Force vs. Displacement results comparison of reference, CFRP and SS strengthened arches [regular (a and b) or post-tensioned (d and e)]. Pictures of final position of reference arch (c) and SS strengthened arch (f).

- [1] Chastre, C., Biscaia, H., Franco, N., Novo sistema de reforço estrutural de vigas de betão armado com compósitos de FRP ancorados internamente por aderência, Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas de Betão, 2016.
- [2] Franco, N., Chastre, C., Biscaia, H., Strengthening RC Beams Using Stainless Steel Continuous Reinforcement Embedded at Ends, J. Struct. Eng., Vol. 146, no. 5, pp. 1–15, 2020.
- [3] Ribeiro, R., Masonry Arch Strengthening with CFRP and Stainless Steel using Continuous Reinforcement, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2020.

## ANÁLISE COMPARATIVA DE ESTRATÉGIAS DE REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS - FLUXO DE MATERIAIS

Rogério Queirós

CERPE, Lda. Universidade de Coimbra. rogerio.queiros@cerpe.pt

**Palavras-chave:** análise comparativa, fluxo de materiais, reabilitação de edifícios, resíduos.

### 13. Reabilitação e conservação do património

Apresentação oral

#### 1. RESUMO

O processo de reabilitação de edifícios integra em si mesmo os princípios da sustentabilidade, segundo as normas nacionais e internacionais. Um parâmetro importante na avaliação do nível de sustentabilidade alcançado numa intervenção de reabilitação, é o fluxo de materiais. Ou seja, quantificação dos materiais que entram (novos materiais), e dos materiais que saem (sobrantes de demolição).

Sob o ponto de vista da sustentabilidade, objetiva-se otimizar o fluxo de materiais, reduzir a quantidade de novos materiais introduzidos e minimizar os produtos resultantes de demolição.

O melhor ou pior resultado nesta vertente, depende da abordagem e critérios adotados para a estratégia de intervenção de reabilitação.

Este artigo pretende contribuir para a divulgação de índices comparativos, no âmbito do fluxo de materiais e correspondente impacto, de duas estratégias de intervenção distintas, mas comumente adotadas em Portugal.

#### 2. CARACTERIZAÇÃO DOS CASOS DE ESTUDO

**2.1 Caso de estudo A** - Edifício de habitação do início do século XX, localizado no Porto, de características arquitetónicas e construtivas típicas de uma casa burguesa portuense da época de características tradicionais, constituído por alvenaria resistente de pedra, pisos e cobertura em madeira. Este projeto é tido como um bom exemplo de intervenção no contexto de reabilitação, na medida em que obedece aos critérios fundamentais do respeito pelas pré-existências, da compatibilidade material, da adoção de soluções pouco intrusivas e reversíveis.

**2.2 Caso de estudo B** – Edifício de habitação do final do século XIX, início do século XX, localizado em Marco de Canaveses. Este projeto é tido como um caso característico do chamado “fachadismo”, em que apenas foi preservada a fachada principal, tendo sido demolido todo o restante edifício e adotada como estratégia estrutural a implementação de uma nova estrutura com elementos em betão armado e estrutura metálica. Portanto, soluções fortemente intrusivas, sem preservação das preexistências, e que ignoram as recomendações nacionais e internacionais para uma reabilitação sustentada e sustentável.

#### 3. FLUXO DE MATERIAIS – QUADRO COMPARATIVO

Com vista a obter uma comparação mais intuitiva, e de fácil análise entre os dois casos de estudo, no que toca ao fluxo de materiais de “saída”, ou seja, aos resíduos gerados resultantes da demolição, calcularam-se indicadores unitários em unidade de volume por metro quadrado e tonelada por metro quadrado. Na Tabela 1 são apresentados os indicadores obtidos em cada caso, no global, e nos artigos comparáveis usando como critério a demolição dos elementos constituídos por materiais com as mesmas características. O indicador final resulta respetivamente da divisão

da quantidade em peso e em volume, das quantidades obtidas, pela área bruta de construção de cada caso; 512m<sup>2</sup> no caso de estudo A e 414,5m<sup>2</sup> no caso de estudo B.

Nas duas colunas finais da Tabela 1 apresentam-se dois índices diferenciais, em tonelada por metro quadrado, e metro cúbico por metro cúbico, respetivamente. Estes índices resultam da divisão dos indicadores obtidos no caso de estudo B pelos indicadores obtidos no caso de estudo A, por forma a obter uma ordem de grandeza do diferencial unitário por metro quadrado dos resíduos resultantes. Em resumo, não é mais que: quantas vezes por metro quadrado em cada elemento e no total dos elementos um edifício produz mais resíduos que o outro por metro quadrado de construção.

**Tabela 1.** Indicadores comparativos de resíduos gerados

| Elemento/s                    | Material            | Caso A<br>(ton/m <sup>2</sup> ) | Caso A<br>(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ) | Caso B<br>(ton/m <sup>2</sup> ) | Caso B<br>(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ) | Índice<br>diferencial | Índice<br>diferencial |
|-------------------------------|---------------------|---------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Cobertura                     | Telha cerâmica      | 0,014                           | 0,019                                       | 0,012                           | 0,017                                       | 0,85                  | 0,89                  |
| Diversos                      | Madeira             | 0,010                           | 0,039                                       | 0,034                           | 0,127                                       | 3,40                  | 3,26                  |
| Pavimento<br>térreo           | Terra               | 0,237                           | 0,158                                       | 0,667                           | 0,371                                       | 2,81                  | 2,35                  |
| Revestimentos                 | Argamassas          | 0,038                           | 0,038                                       | —                               | —                                           | —                     | —                     |
| Revestimento<br>de pavimentos | Betonilhas          | —                               | —                                           | 0,041                           | 0,031                                       | —                     | —                     |
| Demolição de<br>paredes       | Granito             | 0,011                           | 0,006                                       | 0,337                           | 0,202                                       | 30,64                 | 33,67                 |
| Escadaria                     | Betão               | —                               | —                                           | 0,032                           | 0,020                                       | —                     | —                     |
| Paredes dos<br>anexos         | Bloco de<br>cimento | —                               | —                                           | 0,016                           | 0,027                                       | —                     | —                     |
| <b>TOTAL</b>                  |                     | <b>0,311</b>                    | <b>0,260</b>                                | <b>1,139</b>                    | <b>0,795</b>                                | <b>3,66</b>           | <b>3,06</b>           |

#### 4. CONCLUSÕES

A demolição do edifício B gerou por metro quadrado de construção 3,4 vezes mais toneladas de resíduos de madeira por metro quadrado de construção que a demolição do edifício A, e 3,26 vezes mais metros cúbicos por metro quadrado de construção. 2,81 vezes mais toneladas de terra e 2,35 vezes mais metros cúbicos. A diferença mais acentuada, regista-se nos resíduos resultantes dos elementos de pedra onde a intervenção levada a cabo no edifício B gerou, por metro quadrado de construção, 30,64 vezes mais toneladas de resíduos de pedra que o edifício B e mais 33,67 vezes mais metros cúbicos.

No total, por cada metro de construção, o edifício B gerou 3,66 vezes mais toneladas de resíduos e 3,06 vezes mais metros cúbicos que o edifício A.

#### 5. REFERÊNCIAS -

- [1] Queirós, R., Análise comparativa e integrada de estratégias de reabilitação estrutural de edifícios antigos, Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra, 2020.

## PATOLOGIAS DE EDIFÍCIOS TOMBADOS: REABILITAÇÃO DO CONVENTO DAS MERCÊS

Wadson Mayckel Carvalho<sup>1</sup>, José Carlos Almeida<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Construções Civas, Centro Universitário Estácio. maikel099@gmail.com

<sup>2</sup> Unidade de Investigação para o Desenvolvimento do Interior. Instituto Politécnico da Guarda. jcalmeida@ipg.pt

**Palavras-chave:** convento das Mercês, patologias, recuperação estrutural.

13

**Apresentação oral**

Em se tratando do patrimônio cultural edificado, e considerando a transferência de conhecimento, torna-se necessário a conservação e não somente sua aparência, mas também a manutenção da integridade de todos seus elementos constituintes como um produto único. Com isso a preservação de edifícios tombados, propicia a compreensão da história pelas gerações futuras, como é o caso do Convento das Mercês, imóvel institucional, localizado na região nordeste do Brasil, no município de São Luís. O conjunto urbanístico que compõe o Centro Histórico de São Luís se constitui num dos mais representativos e peculiares exemplares do delineamento urbano e da tipologia arquitetônica que condiz aos séculos XVIII e XIX. Estas são caracterizadas por sólidas construções em alvenaria de pedra, e argamassa com óleo de peixe, cantarias de lioz, originada da Europa, serralheria e também por madeira de lei (1). A edificação que se apresenta tem as paredes compostas por pedras argamassadas com espessuras variáveis e arcos compostos de lajotas cerâmicas (2). Nessa situação, as pedras devem ser dispostas de modo a garantir um mínimo de vazios. Neste modo construtivo devem ser tomados cuidados especiais com a estética, devendo as pedras que fiquem aparentes, serem encaixadas da melhor maneira possível. Os revestimentos aplicados eram constituídos por uma argamassa de terra e areia que sofreram inúmeras intervenções ao longo dos anos. Depois de organizados os documentos de pesquisa, realizou-se um trabalho de campo, que consistiu na inspeção do prédio do Convento das Mercês através de visitas diárias ao local e registros fotográficos, em que a recolha de fotografias das anomalias visualizadas permitiu ilustrar cada uma delas, servindo de exemplo para facilitar o diagnóstico das anomalias previstas. A partir da observação da topografia do local, constatou-se que o convento encontra-se implantado à meia altura de uma encosta com declividade voltada para o mar. Esta situação é desfavorável à preservação do edifício, devido à percolação de águas no subsolo carreando partículas de terreno de apoio de parte de sua fundação. Tal situação desfavorável era muito agravada pela inexistência de um sistema de drenagem eficiente a montante do claustro e dos elementos de fundação dos arcos. A concepção proposta foi o escoamento superficial das águas pluviais, interligadas a caixas de passagens, ou sarjetas, para a área de estacionamento com desagües. O levantamento estrutural da edificação levou em conta não só a dimensão, e espessura, das paredes portantes, colunas e fundações, como também tentou-se compreender as regras construtivas aplicadas na construção destes elementos estruturais. Durante as inspeções observou-se que 5 (cinco) arcos, do total de 26 (vinte e seis), do claustro do convento apresentavam sinais de esmagamento das alvenarias. Na Figura 1 apresenta-se um pilar com sinais de esmagamento.



Figura 1: Ruptura das pedras e desagregação de argamassa, (Fonte: Arquivos IPHAN).

Uma vez que a alvenaria sobre os arcos apresentava lesões que indicam movimentação do arcabouço estrutural da face do claustro, fez-se uma prospeção junto ao bloco de fundação de um dos arcos para avaliar o seu estado de conservação e de estabilidade estrutural. Este processo está representado na Figura 2.



Figura 2: Investigação para verificar a existência do bloco de fundação, (Fonte: Arquivos IPHAN).

Quanto ao reforço estrutural nos pilares do claustro, que eram os elementos estruturais que absorviam as ações oriundas de diversos pavimentos e na maioria das vezes não havia possibilidade de aliviar o pilar destas ações, foi realizado através do jaqueamento dos maciços dos pilares com uso de estrutura metálica. O estudo apresentado nos leva a concluir que a edificação do Convento das Mercês estava fortemente degradada, devido à falta de manutenção e reparação. Além disso, verificou-se que as intervenções já realizadas nos pilares do claustro, como retirada do revestimento, ocasionaram perda de substância histórica. Constatou-se que a cada restauro o prédio perdia um pouco da sua identidade original. Em suma, pode-se dizer que o Convento das Mercês apresentava anomalias, que se não fossem tratadas, poderiam levar, ao longo do tempo, ao colapso progressivo da edificação.

### Referências

(1) IBGE **São Luís: histórico do município**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2017. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/painel/historico.php?lang=&codmun=211130&search=|infogre%1ficos:-hist%F3rico>> Acesso em: 02 de out. 2017.

(2) AGUILAR, N. **Brasil +500: Mostra do redescobrimento**. Maranhão. 1 ed. São Paulo: Associação Brasil +500, 2000.

## AVALIAÇÃO DO RISCO DE INCÊNDIO DE UMA HABITAÇÃO MULTIFAMILIAR PELO MÉTODO DE FRIM

Andreia Madeira Pires<sup>1</sup>, Cristina Calmeiro dos Santos<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Escola Superior de Tecnologia. Instituto Politécnico de Castelo Branco. neia.mpires@gmail.com

<sup>2</sup> Escola Superior de Tecnologia. Instituto Politécnico de Castelo Branco. ccalmeiro@ipcb.pt

**Palavras chave:** segurança, risco, incêndio, Fire Risk Index Method (FRIM).

### 13. Reabilitação e conservação do património

### Apresentação oral

#### INTRODUÇÃO

Os conceitos de qualidade de vida e de qualidade de ambiente urbano estão intimamente ligados ao conceito de requalificação do espaço público urbano. Nos centros urbanos, a segurança contra incêndios é um tema ao qual se deve dar grande relevância, não só pelo risco que pode representar para a perda de vidas humanas, mas também pelo risco que representa à riqueza cultural, patrimonial e valor histórico.

O presente projeto tem como objetivo a análise do risco de incêndio a um projeto de reabilitação de um edifício urbano com base no Regime Jurídico e Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios. Para a análise do risco de incêndio do projeto em estudo, aplicou-se a metodologia Fire Risk Index Method (FRIM).

#### REFERENCIAL TEÓRICO

Em Portugal, nas últimas décadas, constatou-se um elevado aumento de construções novas, o que levou à inexistência de preocupação com a reabilitação dos edifícios existentes fundamentalmente nos centros urbanos. Recentemente através de incentivos, as mentalidades mudaram e é agora notório a preocupação dos responsáveis políticos na reabilitação urbana. Para isso basta observarmos a quantidade significativa de edifícios a serem alvos de reabilitação. É um processo complexo uma vez que o pressuposto da reabilitação é respeitar a arquitetura, sistemas construtivos, e a sua tipologia sem nunca perder a identidade, tentando intervencionar apenas o que é necessário e suficiente para dotá-lo de condições de segurança, conforto e funcionalidade. A ocorrência de incêndios urbanos, alguns de elevada gravidade em zonas com grande valor patrimonial, levou ao despertar de interesses nesta temática. A avaliação do risco de incêndio permite a elaboração de estratégias de intervenção nos edifícios, contendo medidas preventivas de forma a reduzir a ocorrência de incêndios urbanos, e levando a uma intervenção dos bombeiros mais eficiente [1][2].

O Fire Risk Index Method é um método utilizado que permite avaliar a segurança contra incêndio em edifícios de apartamentos de vários andares, designadamente, edifícios com madeira na sua constituição. Para a utilização do método não é necessário conhecimento específico ao nível da segurança contra incêndio, mas o utilizador deve ter conhecimento aprofundado no que se refere às soluções construtivas, materiais e desenho do sistema de ventilação do edifício em análise. A fundamentação do método de FRIM tem por base dois objetivos, o estabelecimento de um nível aceitável de segurança contra incêndio em edifícios de apartamentos, tanto ao nível da proteção da vida como da propriedade. De forma a garantir a proteção da vida e da propriedade, as estratégias utilizadas passam pelo controlo da propagação do fogo através de meios ativos, confinamento do fogo através dos elementos da construção, vias de evacuação e definição dos meios de salvamento [3].

O método de FRIM tem como base dois objetivos, quatro estratégias e 17 parâmetros, que permitem efetuar o cálculo do índice de risco. A equação (1) que permite o cálculo do índice de risco é a seguinte:

$$R = \sum_{i=1}^{17} P_i \times W_i \quad (1)$$

## Avaliação do Risco de Incêndio de uma Habitação Multifamiliar pelo Método de FRIM

Em que: R – Índice de risco; W<sub>i</sub> – Peso do parâmetro i; P<sub>i</sub> – Grau do parâmetro. No final do cálculo, se o resultado final for igual ou superior a 2,5 o Risco não é aceitável [3].

O projeto dos edifícios deve ser feita de modo a proporcionar uma adequada segurança da vida e da propriedade segundo os seguintes objetivos: proteger a vida humana; proteger a vida dos ocupantes no compartimento de origem, no resto do edifício, no exterior e nos edifícios adjacentes, para além da salvaguarda dos bombeiros; assegurar a proteção da propriedade; assegurar a proteção quer do compartimento origem quer do resto do edifício, no exterior e edifícios confinantes.

As estratégias utilizadas pelo método em aplicação são: controlar o desenvolvimento do incêndio por meios ativos; confinar o incêndio por meios passivos; resistência ao fogo dos elementos estruturais, compartimentação e isolamento, materiais, são meios passivos que permitem limitar o incêndio; meios de evacuação; evacuação segura. O método de FRIM, para além das estratégias, segue vários parâmetros, nomeadamente: revestimento de interiores; sistema de extinção; brigadas de incêndio; compartimentação; estrutura/compartimentação; portas; janelas; fachadas; sótãos; edifícios adjacentes; sistemas de controlo de fumo; sistemas de deteção; alarme; vias de evacuação; estrutura/capacidade de suporte; manutenção e informação; sistemas de ventilação [3].

#### APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

A avaliação de risco de incêndio é efetuada num edifício destinado a funcionar como habitação multifamiliar (6 frações) e comércio (1 fração), localizado em Rua Jornal do Fundão n. 26 – Fundão. O edifício desenvolver-se-á com 5 pisos acima da cota de soleira e passará a conter 7 frações, uma vez que este se encontra em ampliação.

Após a aplicação do método de FRIM, obteve-se um risco R=1,9837 sendo este inferior a 2,5 o que podemos afirmar que a proposta de ampliação e reabilitação do edifício apresenta um risco aceitável respeitando a regulamentação em vigor relativamente à segurança contra incêndio.

Em caso de incêndio, o risco de propagação do fogo aos edifícios vizinhos e a propagação dentro do próprio edifício é baixa. O edifício é de fácil acessibilidade e de rápida evacuação dos ocupantes.

Para a aplicação do método utilizaram-se informações provenientes da memória descritiva e justificativa do projeto de reabilitação e ampliação do edifício, bem como da sua planta em Autocad, onde nem sempre constaram de forma explícita todos os dados exigidos para a aplicação do método. O método de FRIM, utilizado neste estudo na avaliação de risco de incêndio é um método relativamente fácil de implementar e com resultados fiáveis.

#### CONCLUSÕES

A reabilitação de edifícios pressupõe sempre a reposição de níveis de desempenho que se perderam na sequência de alterações sociais e económicas que ocorreram.

Nesse sentido, na reabilitação de edifícios e espaços em centros urbanos, a segurança contra incêndio é um assunto premente e de muita importância dado às vidas humanas em risco e também ao valor patrimonial e cultural que se pode perder.

É crucial o desenvolvimento e aplicação de métodos que possam melhorar a segurança contra incêndio em edifícios ou espaços, para isso é necessário definir prioridades de atuação, estratégias de intervenção e planos de emergência em caso de incêndio.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Lopes, G. A. S. C., Risco de Incêndio de um Edifício Complexo. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 102 p., 2008.
- [2] Ribeiro, M. M. N., A Avaliação do Risco de Incêndio na Ótica dos Planos Municipais de Emergência – O Caso de Coimbra. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente na Especialidade de Território e Gestão do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 85 p., 2013.
- [3] Hultquist, H., Karlsson, B., Evaluation of a Fire Risk Index Method for Multi-storey Apartment Buildings, Lunds universitet, Lund, 67 p., 2000.

## RENASCER O ADOBE EM TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO

Tomás Ferreira<sup>1</sup>, Jorge Tiago Pinto<sup>2</sup>, Cristina Reis<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro tferreira65645@gmail.com

<sup>2</sup> Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro tiago@utad.pt

<sup>3</sup> Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro creis@utad.pt

**Palavras-chave:** Adobe, Meseta Ibérica, arquitetura de terra, sustentabilidade

**Código da Área Temática:** 13. Reabilitação e conservação do património

**Apresentação oral**

### INTRODUÇÃO

Hoje em dia, as obras de Engenharia Civil tendem a ser projetadas de forma a olhar o futuro e de modo a evitar comprometer as gerações vindouras. Este trabalho de investigação subordinado ao estudo do adobe na região de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD) foi motivado pela experiência que o primeiro autor adquiriu aquando da sua participação na 2<sup>nd</sup> *International Summer School*, subordinada ao tema *Traditional and Rural Construction*, realizada na Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), em julho de 2018. Durante este evento, foi possível observar obras vernaculares de aplicação de adobe nesta região, em particular, em aldeias localizadas ao longo da fronteira entre Portugal e Espanha, da Meseta Ibérica, Figura 1.a. Em simultâneo, também foi possível participar em *workshops* de fabrico de adobes segundo os processos primitivos praticados nestes locais, Figura 1.b. No seguimento desta experiência, o primeiro autor propôs este tema para a realização do seu projeto de investigação, na unidade curricular de Projeto de Investigação, do 3º ano, da licenciatura em Engenharia Civil, da UTAD. Neste caso, foi proposto estudar a aplicação de terra existente na cidade de Vila Real para o fabrico de adobe segundo os princípios tradicionais.



a) Construção vernacular com adobe, Bemposta, Portugal



b) *Workshop* de fabrico de adobe, Fariza, Espanha

Figura 1 – Exemplo de construção com adobe e *workshop*

### MATERIAIS E MÉTODOS

Neste contexto, a primeira tarefa deste trabalho consistiu na revisão bibliográfica sobre as técnicas tradicionais de construção em terra, bem como sobre a incidência destes processos construtivos em Portugal e no Mundo. Seguidamente, deu-se um enfoque em relação aos processos de fabrico de adobe. Posteriormente, procedeu-se ao fabrico de adobe usando terra proveniente do campus da UTAD, Figura 2.a. Também se usou palha seca como material constituinte do adobe e seguindo a

fórmula antiga, Figura 2.b. Depois construíam-se moldes de madeira para o fabrico deste artefacto de terra. Finalmente, fabricaram-se os adobes em laboratório, Figura 2.c. Em paralelo, também foi usada uma terra da zona de Coimbra, que já foi usada com sucesso no fabrico de adobes e que foi usada como terra de referência. Na fase seguinte, foram realizados diversos ensaios experimentais para aferir o desempenho da terra escolhida e do adobe fabricado. Destes ensaios destacam-se, a análise granulometria, o limite de plasticidade e a resistência mecânica.



a) Terra



b) Mistura da terra com palha



c) Provete de adobe

Figura 1 – Fabrico de adobe com terra de Vila Real

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação à terra usada verificou-se que ela é adequada para o fabrico de adobe devido a ter uma boa granulometria e uma boa plasticidade. A mistura de terra com palha mostrou alguns desafios porque não se sabia qual seria o tipo de palha mais adequada, se deveria estar molhada ou seca, assim como, havia incerteza quanto ao tamanho da palha a misturar. A quantidade de água a usar também foi outro desafio. O fabrico dos moldes de madeira foi simples. Aquando do enchimento dos moldes, foi necessário molhar previamente os moldes. A desmoldagem nem sempre correu como o desejado porque os provetes tendiam a apresentar algumas anomalias de forma e de enchimento. Este aspeto também se verificou no *workshop* decorrido em Fariza, Figura 1.b.

### CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Com este trabalho de investigação foi possível refletir sobre a importância da construção de terra como um legado a valorizar. Esta descoberta de adobe aplicado em construções de antigas na zona da Meseta Ibérica também colide com o indicado no mapa da localização da construção de terra no território nacional continental [1]. Este trabalho de investigação também valoriza a construção vernacular rural da região de Trás-os-Montes e Alto Douro. Em termos de trabalhos futuros, muito há dizer sobre este assunto. Esta equipa acredita que seria importante caracterizar as construções que apresentavam paredes de alvenaria de adobe na Meseta Ibérica, assim como, os adobes antigos. Depois, seria necessário dar continuidade a este trabalho de investigação no sentido de aperfeiçoar o fabrico de adobe novo com terra da região. Tentar construir paredes com estes adobes e caracterizar estas paredes em termos físicos e mecânicos também será um trabalho futuro de muito valor.

[1] <https://www.publico.pt/2009/10/20/jornal/o-adobe-de-trasosmontes-baralhou-os-manuais-18013538#gs.H9545u1O> – acedido 16.01.2019

TEMA 14

# **RECICLAGEM, VALORIZAÇÃO E NOVOS MATERIAIS**

## ECONOMIA CIRCULAR E ANÁLISE *WATER PINCH* APLICADAS A UM CASO DE ESTUDO DA INDÚSTRIA ALIMENTAR

**Aíás Lima<sup>1</sup>, Tiago A. Abreu<sup>1,2</sup>, Sónia Figueiredo<sup>3,4</sup>**

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Civil, ISEP, Politécnico do Porto, Portugal. 1180080@isep.ipp.pt

<sup>2</sup> CESAM-Centre for Environmental and Marine Studies, Universidade de Aveiro, Portugal. [taa@isep.ipp.pt](mailto:taa@isep.ipp.pt)

<sup>3</sup> Departamento de Engenharia Química, ISEP, Politécnico do Porto, Portugal. saf@isep.ipp.pt

<sup>4</sup> REQUIMTE-LAQV, ISEP, Politécnico do Porto, Porto, Portugal.

**Palavras-chave:** água, economia circular, sustentabilidade, reutilização de água.

## 14 – Reciclagem, valorização e novos materiais

## Vídeo

## Introdução

Perante o crescimento populacional, o desenvolvimento económico desenfreado e a consequente procura de recursos hídricos para os setores industriais, agrícolas e domésticos, o índice de stress hídrico tem-se tornado alarmante em vários países e a escassez de água torna-se evidente e preocupante. Políticas internacionais de mitigação do consumo de água, bem como do reaproveitamento dos recursos hídricos têm surgido com o intuito de reduzir riscos iminentes para as próximas décadas. Segundo o United Nations World Water Assessment Programme [1], a indústria consome 19% do volume de água disponível e encontra-se em 2º lugar dos setores de atividade referidos, ficando atrás da agricultura com consumos de 69% e, a cada ano desde 1980, os índices de consumo de água têm aumentado 1%, devendo continuar com esta tendência até 2025.

Mediante as necessidades de criação de estratégias para mitigação do consumo de água pelos setores mais representativos na procura de recursos hídricos, a economia circular surge como um modelo de desenvolvimento sustentável que permite restituir os materiais ao ciclo produtivo através da sua reutilização, tratamento, recuperação e reciclagem, garantindo uma maior eficiência na utilização e gestão de recursos [2].

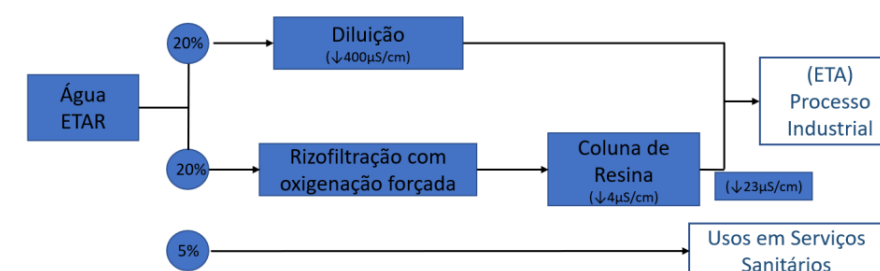
“Water Pinch Technology” é um conceito que consiste na reorganização dos processos industriais através dos fluxos de água para aproveitamento, reutilização, tratamento e reaproveitamento das águas residuais dentro do processo produtivo e, assim, diminuir o consumo de água potável bruta, bem como a rejeição de águas residuais [3].

O presente trabalho diz respeito a um caso de estudo de uma indústria alimentar de grande produção, dedicada principalmente à produção de batata pré-frita congelada e flocos desidratados de batata. Esta empresa apresenta um consumo de água aproximado de 63 m³/h obtido através de captação por furos artesianos e gera elevados caudais de águas residuais para tratamento e posterior rejeição numa linha de água que dista 4 km da empresa, sem qualquer reutilização de águas no processo produtivo. O grande consumo de água dá-se no próprio processo, bem como no aquecimento das caldeiras para geração de energia. A empresa dispõe de uma estação de tratamento de águas (ETA) e de uma estação de tratamento de águas residuais (ETAR), cumprindo os critérios de qualidade legalmente requeridos.

## Estudo de Caso e Resultados

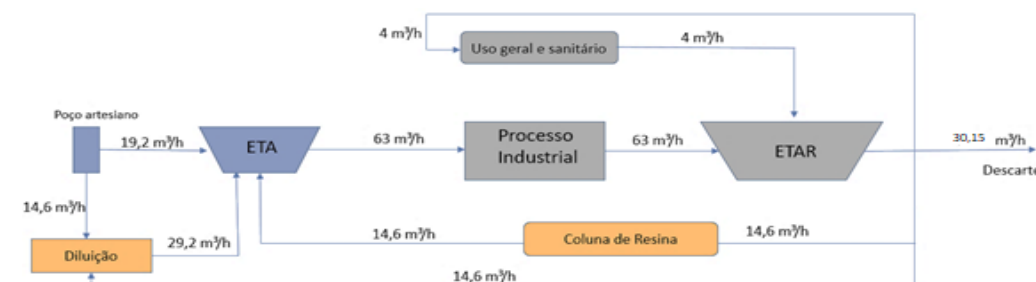
O estudo efetuado permitiu verificar que a impossibilidade de reutilização das águas residuais tratadas ficava a dever-se à presença excessiva de potássio ( $K^+$ ), associada à própria matéria prima utilizada, uma vez que os elevados valores de condutividade aumentariam muito o tempo de aquecimento da água da caldeira. Assim, procurou-se avaliar, num conceito de economia circular,

a introdução de novas etapas no processo de tratamento, com o intuito de reutilizar as águas residuais tratadas e reduzir o consumo de água bruta das fontes naturais. Estudaram-se diversas opções de tratamento de forma a propor uma readequação do processo de tratamento de águas residuais numa perspetiva de “*Water Pinch Technology*”, visando a redução dos custos existentes e dos impactos ambientais. O conjunto de soluções a serem integradas no processo produtivo permite um reaproveitamento considerável do volume de água tratada, esquematizando-se na Figura 1 os processos de reaproveitamento de efluentes tratados, bem como as respetivas percentagens de água a reutilizar.



**Figura 1.** Esquema de reaproveitamento de águas residuais tratadas

A intervenção para aprimoramento do tratamento dos efluentes respeitou a estrutura de funcionamento já existente, por uma questão de não aumentar complexidade do sistema operacional. Qualquer outra proposta descentralizada, geraria um maior custo de implementação. A pesquisa apontou para a utilização de processos de fitorremediação utilizando a planta *Eichhornia crassipes*, além de aplicação de colunas de permuta iônica, contendo resinas mistas (resinas catiônicas e aniônicas), e um processo de diluição das águas residuais tratadas em água bruta. A Figura 2 apresenta um novo diagrama de fluxos de consumo de água e de reutilização das águas residuais tratadas, onde é evidente uma redução dos caudais de saída das águas residuais, bem como de água captadas para tratamento na ETA, relativamente à situação original, mesmo usando alguma da água captada para o processo de diluição das águas residuais tratadas, antes de serem encaminhadas para tratamento.



**Figura 2.** Fluxo de água posterior a análise de *Water Pinch*

Os resultados, combinados na nova proposta de implementação do processo, apontam para 45% de redução na descarga de águas residuais tratadas e redução de 55% do volume de captação de água, conduzindo a consequentes reduções no consumo energético (e.g., sistema de bombeamento), contribuindo para uma clara economia circular e melhor sustentabilidade na gestão dos recursos hídricos.

- [1] WWAP – World Water Assessment Program (2017). The United Nations World Water Development Report 2017. Wastewater: The Untapped Resource. Paris, UNESCO
- [2] COTEC Portugal. (2016). Economia Circular: Preservar, otimizar e assegurar recursos essenciais para o nosso futuro. COTEC Portugal.
- [3] MANN, James G., LIU, Y.A. Industrial Water reuse and wastewater minimization. Department of Chemical Engineering, Virginia Polytechnic and State University, Blacksburg, Virginia. EUA, McGraw-Hill, 1999.

## RECICLAGEM TOTAL DE MISTURAS BETUMINOSAS USANDO ÓLEO ALIMENTAR USADO COMO REJUVENESCEDOR E RESÍDUOS DE PLÁSTICO

Carlos R. Rodrigues<sup>1</sup>, Silvino Capitão<sup>2,3</sup>, Luís Picado-Santos<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto superior de Engenharia de Coimbra. Instituto Politécnico de Coimbra. carlosre@isec.pt.

<sup>2</sup> Instituto superior de Engenharia de Coimbra. Instituto Politécnico de Coimbra. capitao@isec.pt.

<sup>3</sup> CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. luispicadosantos@tecnico.ulisboa.pt

**Palavras-chave:** misturas betuminosas recuperadas, óleo alimentar usado, polietileno de baixa densidade; economia circular.

### 14. Reciclagem, Valorização e novos materiais

### Vídeo

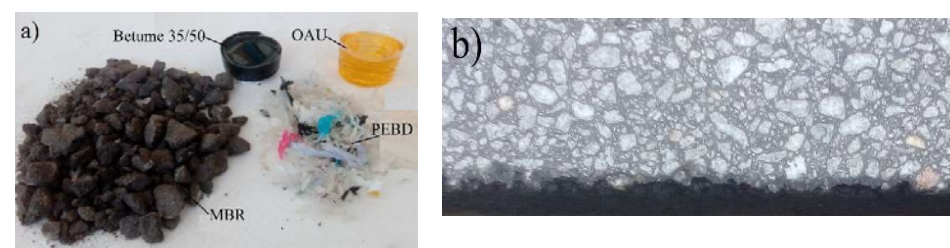
### INTRODUÇÃO

Como consequência das preocupações ambientais e de sustentabilidade, a gestão dos resíduos e a eficiência na produção vem ganhando maior importância. Reciclar e reutilizar materiais tornou-se imperativo, tendo como objetivo uma economia circular e hipocarbónica. A reutilização de uma mistura betuminosa recuperada (MBR), obtida por remoção de camadas betuminosas de pavimentos rodoviários em fim de vida não é uma prática recente, mas continua a ser melhorada [1]. Reutilizam-se os agregados e o betume existentes na antiga mistura, contribuindo assim para a redução do consumo de novos materiais e de energia. Um dos problemas na utilização de altas taxas de MBR em novas misturas betuminosas é o comportamento do betume envelhecido, pois este perde parte da sua capacidade aglutinante. Para colmatar este problema, pode recorrer-se a um produto rejuvenescedor [2].

### ESTUDO DESENVOLVIDO

O trabalho desenvolvido [3] consistiu na formulação e avaliação do desempenho de uma mistura betuminosa com a reutilização de 100% de MBR, com a adição de óleo alimentar usado (OAU) [4] como rejuvenescedor, e polietileno de baixa densidade (PEBD) como polímero de baixo custo, proveniente de resíduos sólidos urbanos. O PEBD foi usado como substituto parcial do betume, adicionado à mistura por via seca, como agente modificador do betume [5].

Estudou-se uma mistura betuminosa a quente, do tipo AC 14 surf, destinada a camadas de desgaste, designada 100MBR. Adicionou-se 1% de betume novo, do tipo 35/50, 6% de PEBD referente à massa de betume e 18% de OAU face a massa total de betume. A percentagem de OAU foi determinada em estudo anterior [6]. Na figura 1 representam-se os materiais utilizados no estudo e um provete prismático da mistura obtida.

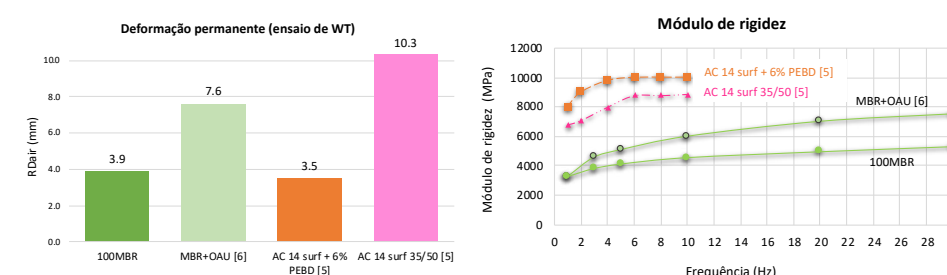


**Figura 1.** a) Constituintes da mistura; b) aspeto de um provete prismático serrado de uma lajeta.

A utilização de PEBD destinou-se a melhorar a resistência à deformação permanente da mistura betuminosa, uma vez que a granulometria da MBR era muito fina e, por isso, tinha-se verificado anteriormente [6] que aquela resistência tinha um bom potencial de melhoria. No processo foram produzidos vários tipos de provetes para avaliar a mistura relativamente às suas propriedades volumétricas (porosidade e vazios na mistura de agregados), propriedades Marshall, resistência à

### Reciclagem total de mistura betuminosas usando OAU como rejuvenescedor e resíduos de plástico

deformação permanente em ensaios de pista (WT), sensibilidade à água em tração indireta, módulo de rigidez e resistência à fadiga em ensaios de flexão “em quatro pontos”. Os resultados obtidos foram comparados com os de outros estudos que usavam separadamente as técnicas estudadas em conjunto neste estudo (Almeida et al [5] e Fernandes [6]). No que respeita à resistência à deformação permanente (cavado de rodeira  $RD_{air}$ ) e ao módulo de rigidez, compararam-se na figura 2 os resultados obtidos no estudo (100MBR) com os obtidos nos dois estudos referidos: AC 14 surf 35/50 (mistura nova) e com PEBD [5]; MBR+OAU [6]. Na avaliação da resistência à fadiga, obteve-se para a mistura 100MBR uma extensão de 228  $\mu m/m$  para o valor de  $\epsilon_6$  (extensão que leva à ruína ao fim de  $10^6$  ciclos), o que revela melhor desempenho que o obtido para a mistura de referência AC 14 surf 35/50 [5], com um valor de 131  $\mu m/m$ .



**Figura 2.** Comparação dos resultados: deformação permanente (60°C) e módulo de rigidez (20°C).

### CONCLUSÕES

A mistura 100MBR (MBR+OAU+PEBD) apresentou melhor resistência à deformação permanente que as misturas de referência (AC 14 surf 35/50) e MBR+OAU (sem PEBD). Os valores do módulo de rigidez, embora inferiores à mistura de referência são suficientes para pavimentos sem solicitações muito exigentes. A mistura 100MBR é uma solução económica (praticamente não utiliza novos materiais) e, por isso, está orientada para os princípios da economia circular e da sustentabilidade, contribuindo para a valorização do material fresado de pavimentos (MBR), do OAU e do PEBD dos resíduos sólidos urbanos. Sendo os resultados satisfatórios, pode considerar-se que estes tipos de misturas podem ser adequados para pavimentos de tráfego pesado médio ou baixo, os quais têm uma larga expressão nas redes rodoviárias a nível mundial.

### REFERÊNCIAS

- [1] Zumanis, M., Mallick, R., Frank, R., 100% recycled hot mix asphalt: A review and analysis, Resources, Conservation and Recycling, Vol. 92, pp 230-245, 2014.
- [2] Zumanis, M., Mallick, Poulikakos, L., Frank, R. Influence of six rejuvenators on the performance properties of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) binder and 100% recycled asphalt mixtures, Construction and Building Materials, Vol. 71, pp 538-550, 2014.
- [3] Rodrigues, C., Reciclagem total de misturas betuminosas usando óleo alimentar usado como rejuvenescedor e resíduos de plástico, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Politécnico de Coimbra, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, 2019.
- [4] Asli, H., Ahmadiania, E., Zargar, M., Karim, M., Investigation on physical properties of waste cooking oil – Rejuvenated bitumen binder”, Construction and Building Materials, Vol.37, pp 398-405, 2012.
- [5] Almeida, A., Capitão, S., Bandeira, R.; Fonseca, M, Performance of AC mixtures containing flakes of LDPE plastic film collected from urban waste considering ageing, Construction and Building Materials, 232, 117253, 2020.
- [6] Fernandes, F., Picado-Santos, L., Capitão, S., Total recycling of bituminous mixtures using cooking oil as a rejuvenator, 9º Congresso Rodoviário Português, Lisboa, Portugal, 28–30 May 2019; Centro Rodoviário Português: Lisboa, Portugal, 2019.

## MAXIMISING THE USE OF WASTE IN CONSTRUCTION MATERIALS – INVESTIGATION ON RECYCLED BITUMINOUS MIXTURES WITH HIGH-CONTENT RECLAIMED ASPHALT

C. Santos<sup>1</sup>, J. Neves<sup>2</sup>, A. C. Freire<sup>3</sup>, V. Antunes<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. catarinacordeirofsantos@gmail.com

<sup>2</sup> CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. jose.manuel.neves@tecnico.ulisboa.pt

<sup>3</sup> Departamento de Transportes, Laboratório Nacional de Engenharia Civil. acfreire@lnec.pt

<sup>4</sup> Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. vitorfantunes@tecnico.ulisboa.pt

**Keywords:** bituminous mixtures, circular economy, reclaimed asphalt pavement, recycling.

**14. Recycling, valorisation and new materials**

**Oral Presentation**

### 1. INTRODUCTION

Transport infrastructures are fundamental to the sustainable development of societies, and the road network must undergo maintenance and rehabilitation (M&R) operations to ensure quality, safety, and comfort to users. Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) is a by-product generated in considerable amounts by the road pavement M&R operations. RAP is composed of aggregates and bitumen and is a 100 % recyclable material. However, it has been mostly disposed of in landfills or recycled only as aggregate, downgrading its use and disregarding the bitumen's value, mainly due to: (i) the lack of confidence in the pavement's performance; (ii) the increased complexity of the in situ recycling operation; (iii) the variability of the material; and (iv) the unknown degree of mobilization of the aged binder. To surpass those obstacles and to be viewed as a viable alternative material, the RAP mixtures must perform as well as the traditional solutions, or better [1]. Thus, to contribute with innovation to the existing knowledge, the main objective of this study was to analyse the performance of a bituminous mixture for wearing courses incorporating high-content RAP after being submitted to an ageing process. The study also aimed to investigate the re-recycling capacity of RAP in bituminous mixtures [2].

### 2. MATERIALS AND METHODS

The bituminous mixture under investigation was a dense-graded asphalt concrete AC 14 surf 35/50. Three compositions incorporating RAP (RAP mixtures) were produced in the laboratory: (i) ORAP – totally produced with virgin materials; (ii) 75RAP\_1 – incorporation of 75 % of RAP and a rejuvenator derived from crude tall oil (a by-product of the paper industry); (iii) 75RAP\_2 (2<sup>nd</sup> phase) – incorporation of 75 % of RAP, whose aggregates and bitumen had completed their second life cycle, and the same type of rejuvenator. Due to the incorporation of high RAP content, the RAP's contribution had to be fractionated in the mixture design through four fractions. To analyse the long-term performance, an ageing process was simulated in the laboratory based on AASHTO R30: a short-term conditioning stage, integrated into the production, that accounts for the ageing that occurs during the mixing, storage, transportation and compaction phases; and a long-term conditioning stage, which aims to simulate the ageing during the pavement service life. This process results in the aged bituminous mixture: 75RAP\_1A. To analyse the viability of re-recycling, a RAP after having completed the second life cycle was produced in the laboratory from the aged bituminous mixture (75RAP\_1A). Figure 1 shows the methodology of the laboratory study. The performance evaluation was carried out through stiffness (EN 12697-26), resistance to fatigue (EN 12697-24), permanent deformation (EN 12697-22), water sensitivity (EN 12697-12), and surface texture (EN 13036-1 and EN 13036-4) tests [2].

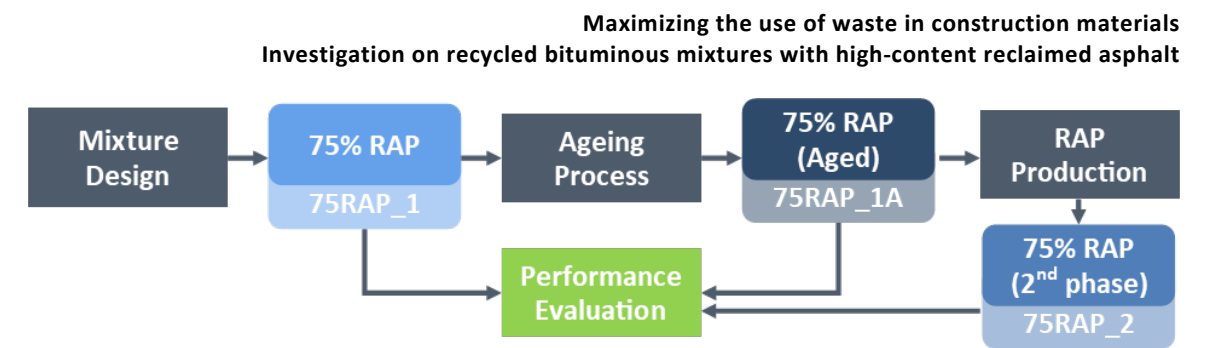


Figure 1. Methodology

An innovative experimental protocol was established in this study to control the quality of the final RAP mixture better and to achieve a more efficient mobilization of the aged binder [2-4].

### 3. RESULTS AND CONCLUSIONS

The main findings from the performance tests carried out in this study are presented in Table 1. It is a comparison between the 75RAP mixtures and the bituminous mixture totally produced with virgin materials, ORAP (relative performance). Texture performance included measurements of the surface texture depth (macro texture) and of the skid resistance (micro texture) [2-4]. In conclusion, it was observed that the RAP mixtures presented higher stiffness than the virgin one, which was also reflected in the permanent deformation. However, the expected lowering of the fatigue resistance was not observed for the non-aged recycled mixtures. The ageing process had a stiffening effect on the RAP mixture, reflected in the highest stiffness and permanent deformation resistance and lowest fatigue resistance. The rejuvenator's effect on the RAP mixture of the second phase was evident because this mixture's stiffness and fatigue resistance were on par with that of the initial RAP mixture. All in all, the better mechanical performance in most of the recycled mixtures' parameters compared with the virgin mixture demonstrates the viability of this recycled mixture to be used by the paving industry. Finally, given the inferior performance by the re-recycled RAP mixture, there should be an emphasis on the importance of: RAP characterisation and fractionation; aged bitumen characterisation to determine the optimum rejuvenator content; and mixture design to determine the optimum bitumen dosage.

Table 1. Relative performance of RAP mixtures.

| RAP Mixture | Stiffness | Resistance to fatigue | Resistance to permanent deformation | Water sensitivity | Texture |       |
|-------------|-----------|-----------------------|-------------------------------------|-------------------|---------|-------|
|             |           |                       |                                     |                   | Macro   | Micro |
| 75RAP_1     | ↗         | =                     | ↗                                   | =                 | ↘       | =     |
| 75RAP_1A    | ↗↗        | =                     | ↗                                   | ↘                 | ↘       | =     |
| 75RAP_2     | ↗         | =                     | ↗                                   | ↘                 | ↘↘      | =     |

↗ Low increase; ↗↗ High increase; = Equivalent; ↘ Low decrease; ↘↘ High decrease

### 4. REFERENCES

- [1] Antunes, V., Freire, A.C., Neves, J., A review on the effect of RAP recycling on bituminous mixtures properties and the viability of multi-recycling, Construction and Building Materials 211, 453-469, doi: 0.1016/j.conbuildmat.2019.03.258, 2019.
- [2] Santos, C., Laboratory assessment of recycled bituminous mixtures with high RAP content, Master Thesis, Instituto Superior Técnico, University of Lisbon, 2019.
- [3] Santos, C., Antunes, V., Neves, J., Freire, A.C., Performance and ageing evaluation of bituminous mixtures with high RAP content, RILEM International Symposium on Bituminous Materials, 2020.
- [4] Antunes, V., Freire, A.C., Neves, J., Investigating aged binder mobilization and performance of RAP mixtures for surface courses, Construction and Building Materials 271, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.1215112020, 2020.

## POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DA CASCA DE PINHEIRO COMO AGREGADO EM ELEMENTOS DE BETÃO LEVE

Christiano Fernandes<sup>1</sup>, Jorge Tiago Pinto<sup>2</sup>, Ana Briga-Sá<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro chris7fernandes@hotmail.com

<sup>2</sup> Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro tiago@utad.pt

<sup>3</sup> Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro anas@utad.pt

**Palavras-chave:** casca de pinheiro, sustentabilidade, material alternativo, resíduo agroflorestal

**14 - Reciclagem, valorização e novos materiais**

**Apresentação oral**

### INTRODUÇÃO

A sustentabilidade é uma preocupação constante na atualidade, a níveis económico, social e ambiental. Assim, o setor da construção procura desenvolver soluções construtivas objetivando reduzir o impacto nefasto no meio ambiente e, simultaneamente, diminuir os custos associados, não descurando os aspetos funcionais. A incorporação de resíduos ou subprodutos, agrícolas ou silvícolas, em argamassas ou elementos de betão leve, como substitutos dos agregados de uso corrente é uma solução que visa a reutilização deste tipo de materiais numa perspetiva de economia circular. Este tema foi alvo de investigação no desenvolvimento da dissertação de mestrado em Engenharia Civil da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro [1]. Neste contexto, considerou-se pertinente estudar o potencial de aplicação de um resíduo florestal, mais concretamente, a casca de pinheiro-bravo, avaliando a possibilidade da sua reutilização como alternativa ao uso de inertes em elementos de construção leve, com possível aplicação em blocos para paredes divisórias e placas de revestimento interior. Este estudo mostra-se de elevado interesse dada a significativa mancha florestal portuguesa ocupada pelo pinheiro-bravo [2].

### MATERIAIS E METODOLOGIA

A primeira tarefa consistiu na revisão bibliográfica subordinada à temática dos subprodutos, dos resíduos agrícolas e silvícolas quando aplicados como materiais alternativos aos agregados finos e ao cimento. Posteriormente, procedeu-se à caracterização do subproduto em estudo, a casca de pinheiro (Figura 1a)). Seguidamente, realizou-se um trabalho laboratorial exaustivo de preparação do material em estudo, tendo sido testadas diferentes misturas compostas por calda de cimento e granulado de casca de pinheiro. Após selecionada a mistura que pareceu ser a mais viável, o respetivo elemento de construção leve à base de granulado de casca de pinheiro foi estudado experimentalmente, de forma detalhada, no que respeita às propriedades físicas e mecânicas tais como, absorção de água por capilaridade, resistência ao fogo, comportamento térmico e resistência à compressão (Figura 2). Alguns aspetos tecnológicos foram também considerados tais como, capacidade ao corte, capacidade de furação e capacidade de aderência ao revestimento, Figura 3.



a) Casca de pinheiro.



b) Granulado de casca de pinheiro.

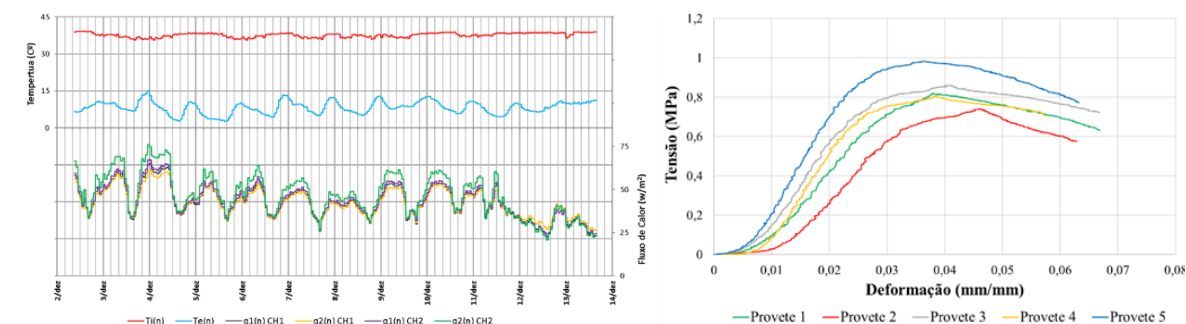


c) Provete à base de calda de cimento e granulado de casca de pinheiro.

**Figura 1.** Incorporação de casca de pinheiro em elemento de betão leve.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ensaio de comportamento térmico (Figura 2a)) permitiu estimar valores de condutibilidade térmica de 0,09W/m°C, mais satisfatórios do que os obtidos para betões correntes e argamassas e rebocos tradicionais. Obtiveram-se valores máximos de resistência à compressão próximos de 1MPa, com modos de rotura dos provetes semelhantes aos de um betão corrente (Figura 2b)) Relativamente aos ensaios expeditos (Figura 3), observou-se a facilidade de corte transversal e furação no provete, não existindo qualquer desintegração ou fendilhação por parte deste, bem como a possibilidade de aplicação/colagem de materiais de revestimento.



a) Variação do fluxo de calor (CH1/CH2 – placa 250mm x 250mm x 45mm, com composição: 1050ml de água, 420g de cimento e 840g de casca de pinheiro)

b) Diagrama Tensão/Deformação

**Figura 2.** Resultados dos ensaios de comportamento térmico (a) e resistência à compressão (b) do elemento de construção leve com incorporação de casca de pinheiro.



a) Capacidade de corte.



b) Capacidade de furação.



c) Capacidade de aderência ao revestimento cerâmico.

**Figura 3.** Resultados de ensaios expeditos para avaliação das capacidades tecnológicas para possíveis aplicações.

### CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Com este trabalho de investigação foi possível propor uma solução de betão leve à base de casca de pinheiro. Verifica-se, no entanto, que o processo de fabrico necessita de ser afinado e otimizado. As propriedades materiais são bastante promissoras para a aplicação deste material em diferentes contextos tais como, betão leve, blocos para paredes divisórias mobiliário urbano.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Fernandes, C.R., Madeira e seus derivados na construção – Caso de estudo de proposta de um material alternativo. Dissertação de mestrado. UTAD. Vila Real. 2020.
- [2] ICNF, 2013. IFN6 – Áreas dos usos do solo e das espécies florestais de Portugal continental. Resultados preliminares. 34 pp, Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. Lisboa.

RECICLAGEM DE ESCÓRIA E CINZA DE INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS  
URBANOS COMO PRESURSORES EM CIMENTOS ALCALINOS

Luís Segadães<sup>1</sup>, Nuno Cristelo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de engenharia. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. al39036@utad.eu

<sup>2</sup> Departamento de engenharia. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. ncristel@utad.pt

**Palavras-chave:** resíduos sólidos urbanos, incineração de resíduos, ativação alcalina.

14. Reciclagem, valorização e novos materiais

Apresentação oral

INTRODUÇÃO

O crescente aumento na população mundial no último século tem vindo a gerar uma crescente produção de resíduos sólidos urbanos. Milhares de toneladas deste resíduo são produzidas anualmente; em 2012 este número chegou a 1.3 mil milhões de toneladas, sendo que em 2025 é esperada a produção de 2.2 mil milhões de toneladas [1].

Um tratamento comum para este tipo de resíduos em áreas urbanas é a incineração, com o benefício da produção de energia associada ao poder calorífico dos resíduos, produzindo eletricidade. Este processo é bastante eficaz devido à capacidade de reduzir o volume de resíduos e, ao mesmo tempo, de produzir energia. A aplicação da escória em reações de ativação alcalina está a tornar-se uma solução interessante, tanto devido às suas características apropriadas à produção de pastas de aluminossilicatos, como à percentagem deste resíduo no total de material resultante da incineração, que ronda os 85% [2].

MATERIAIS

A cinza volante (FA) e a escória (BA) utilizadas foram resultantes da incineração de resíduos sólidos urbanos, e cedidas pela LIPOR – Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos do Grande Porto, que é responsável pela gestão e tratamento dos resíduos sólidos urbanos produzidos nos 8 municípios associados à área do grande Porto, no norte de Portugal. Foi também utilizado cimento *Portland* comercial, do tipo II/B-L, da classe 32.5 N (OPC), como adição aos resíduos em questão. Hidróxido de sódio em diferentes concentrações, bem como silicato de sódio, foram as soluções utilizadas como ativadores.

FORMULAÇÕES

As pastas foram divididas em 4 grupos principais: PaB (pastas fabricadas com escória), PaF (pastas fabricadas com cinza volante), PaBF (pastas fabricadas com ambos os resíduos) e PaC (pastas fabricadas com escória e cimento *Portland*).

Tabela 1. Composição das pastas fabricadas

| ID   | BA(%) | FA(%) | OPC(%) | L/S(Rácio) | Líquido/concentração |
|------|-------|-------|--------|------------|----------------------|
| PaB1 | 100   | -     | -      | 0.35       | HS (4m)              |
| PaB2 | 100   | -     | -      | 0.40       | HS (4m)              |
| PaB3 | 100   | -     | -      | 0.40       | HS (12m)             |
| PaB4 | 100   | -     | -      | 0.50       | SS                   |
| PaB5 | 100   | -     | -      | 0.50       | 0.8SS + 0.2W         |
| PaF1 | -     | 100   | -      | 0.45       | HS (4m)              |
| PaF2 | -     | 100   | -      | 0.45       | HS (6m)              |

|       |    |     |    |      |         |
|-------|----|-----|----|------|---------|
| PaF3  | -  | 100 | -  | 0.45 | HS (8m) |
| PaF4  | -  | 100 | -  | 1.50 | SS      |
| PaBF1 | 70 | 30  | -  | 0.35 | HS (4m) |
| PaBF2 | 70 | 30  | -  | 0.40 | HS (4m) |
| PaC1  | 90 | -   | 10 | 0.30 | Água    |
| PaC2  | 80 | -   | 20 | 0.30 | Água    |
| PaC3  | 70 | -   | 30 | 0.30 | Água    |

Para cada mistura foram fabricados 10 provetes com dimensão de 40x40x40mm, que permaneceram 7 dias a uma temperatura e humidade constantes de 30°C e 25%.

RESULTADOS

Apresentam-se abaixo os resultados dos ensaios mecânicos a todas as formulações, sendo notório que as maiores resistências se apresentam nas misturas de escória ativada com silicato de sódio. A cinza volante segue a mesma tendência, mesmo que menos evidente, com a utilização deste ativador. Um aspeto interessante prende-se com os resultados utilizando cimento, que não se mostraram superiores a todas as outras misturas, à exceção da formulação PaC3.

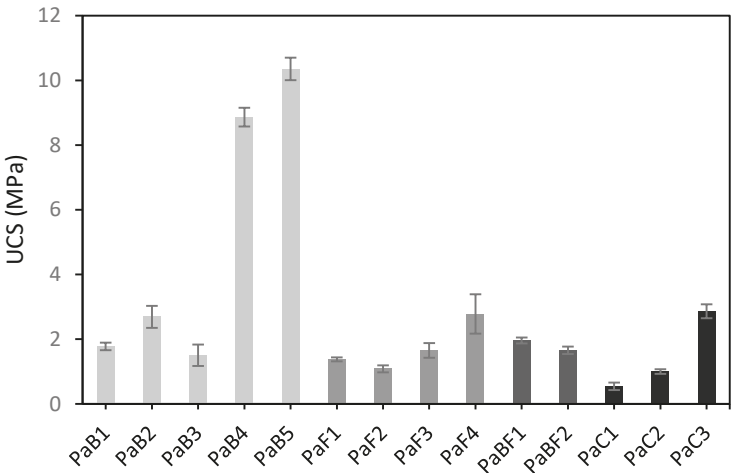


Figura 1. Comparação de resultados de ensaios mecânicos

CONCLUSÕES

A ativação de escória e cinza volante da incineração de resíduos sólidos urbanos mostrou-se eficaz, utilizando a preparação e método de formulação de misturas adequado, como representam os resultados de compressão. Desta forma, espera-se que estes resíduos possam gradualmente substituir o cimento em diversas aplicações, sendo benéfico tanto de uma perspetiva económica como ambiental.

REFERÊNCIAS

- [1] Hoornweg, Daniel, Bhada-Tata, Perinaz, 2012. WHAT A WASTE: A Global Review of Solid Waste Management. Urban Development Series - Knowledge Papers.
- [2] Zhu, W., Chen, X., Struble, L.J., Yang, E.H., 2018. Characterization of calcium containing phases in alkali-activated municipal solid waste incineration bottom ash binder through chemical extraction and deconvoluted Fourier transform infrared spectra. J. Clean. Prod. 192, 782–789.

## ADIÇÃO DE MATERIAL RECICLADO - AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO BETÃO E DO SOLO-CIMENTO

Bruno Oliveira<sup>1</sup>, Sofia Carronda<sup>2</sup>, Cristina Calmeiro dos Santos<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Escola Superior de Tecnologia. Instituto Politécnico de Castelo Branco. b.oliveira108@gmail.com

<sup>2</sup> Escola Superior de Tecnologia. Instituto Politécnico de Castelo Branco. sofia\_carronda@hotmail.com

<sup>3</sup> Escola Superior de Tecnologia. Instituto Politécnico de Castelo Branco. ccalmeiro@ipcb.pt

**Palavras chave:** resíduos da indústria de celulose, dregs, betão, sustentabilidade.

**14. Reciclagem, valorização e novos materiais**

**Apresentação oral**

### INTRODUÇÃO

Os efeitos atuais do desenvolvimento sustentável, no setor da construção civil, incluem o desenvolvimento de tecnologias para o aproveitamento de materiais de rejeição industriais como substitutos de agregados ou substitutos de aglomerantes tanto em misturas de argamassas como em misturas de betão. A indústria de papel e celulose, por meio do processo Kraft, gera grandes quantidades de resíduos, um desses resíduos é as lamas da lixívia verde (provenientes da valorização da lixívia de cozimento), conhecido como dregs. Para minimizar os impactos ambientais e atender às exigências económicas, estão a ser desenvolvidos estudos para avaliar a viabilidade do aproveitamento destes resíduos em produtos aplicados na construção civil. Dentro deste esforço, o presente estudo tem como objetivo analisar os resultados de uma possível integração dos dregs no betão e na mistura solo-cimento. Foram realizados ensaios para caracterizar uma amostra de betão e uma amostra de mistura de solo-cimento. Foi estudado um betão de referência e um betão onde o cimento foi substituído por 10% de dregs. Foi, do mesmo modo, feita em laboratório uma mistura de solo, designada solo-cimento, constituída por 70% de areia, 30% de dregs e 15% de cimento. Neste caso foi elaborado um ensaio à compressão e uma análise visual de carotes retirados de uma viga.

### REFERENCIAL TEÓRICO

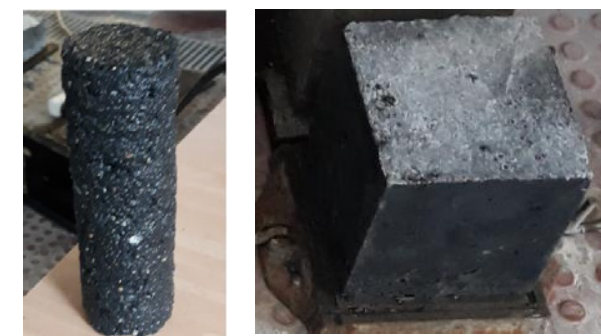
Na produção de pasta de papel, a madeira é desintegrada em celulose e o processo da produção de celulose é relativamente simples, porém, em certas etapas são gerados resíduos que colocam em causa a qualidade final do produto se continuassem presentes nos próximos processos, como o caso do resíduo denominado dregs. De acordo com o Pinto [1], o ciclo de produção de celulose inicia-se com o cozimento dos cavacos da madeira onde são separadas as fibras da madeira e é gerado um líquido espesso e negro, chamado licor negro. Depois, o processo continua com dois sistemas: o de recuperação e o de branqueamento. No primeiro processo, o licor negro é queimado numa caldeira para recuperação dos reagentes químicos do cozimento (dando origem aos dregs); no segundo processo, as fibras da madeira que saíram do cozimento são branqueadas. A celulose branqueada segue para sua secagem e embalagem para ser enviada ao seu destino final. Os dregs, objeto do estudo deste trabalho, são resíduos gerados na recuperação química do licor negro, apresentando na sua constituição impurezas tais como partículas de combustão incompleta e sais sólidos cujos iões são óxidos, carbonatos e sulfuretos de elementos (como ferro, sílica, cálcio, alumínio e magnésio) que entram no processo de fabrico com a matéria-prima (madeira), água e produtos químicos. Os dregs são muito prejudiciais para a eficiência do processo de recuperação química, por isso é necessário a sua separação do licor negro por sedimentação num clarificador de licor verde. Estes resíduos, depois de retirados do tanque de clarificação do licor verde, são adensados e filtrados e, em seguida descarregados para o exterior, sendo finalmente depositados em aterros.

### ESTUDO EXPERIMENTAL

O estudo experimental comportou três fases: uma primeira fase que pretendeu testar a resistência à compressão de um betão normal, constituído por agregados graníticos (betão de referência), uma segunda fase para caracterizar a resistência à compressão de um betão com adição de resíduos – dregs

e uma terceira fase que pretendeu caracterizar um solo-cimento constituído por cimento, areia e dregs. Com o objetivo de determinar a capacidade resistente dos betões sob tensão uniforme de compressão, os betões em estudo foram submetidos ao ensaio de compressão uniaxial. Este objetivo foi conseguido levando os provetes até à rotura, registando a carga última a que resistem. O valor da resistência à compressão foi calculado através do quociente entre a força máxima atingida no ensaio e a área da secção transversal do provete em contacto com os pratos da prensa que aplica a força de compressão. A metodologia de ensaio seguiu as indicações da norma NP EN 12390-3 [2]. O betão de referência apresentou um resultado médio aos 28 dias de 44,1 MPa, dando uma classe de resistência à compressão C30/37. O betão com adição de 10% dregs, aos 7 dias, apresentou um resultado médio de 9,5 MPa, o que estimava uma resistência aos 28 dias de 13,9 MPa, aos 14 dias apresentou um resultado médio de 10,8 MPa, o que estimava uma resistência aos 28 dias de 12,6 MPa, por fim o resultado dos ensaios aos 28 dias deu um valor médio de 11,9 MPa, correspondendo a uma classe de resistência à compressão C8/10 [3].

Os valores obtidos mostram que, apenas com uma substituição de 10% de dregs na quantidade de cimento, houve uma grande perda da resistência à compressão do betão. Tal facto torna os dregs um material não aconselhável para a substituição de cimento, pois a amostra com os 10% de dregs tornou-se um betão pobre e com pouca resistência, talvez devido ao facto dos dregs serem um material extremamente fino. A distribuição granulométrica dos dregs demonstrou um material constituído maioritariamente por partículas de dimensão inferior a 0,063 mm, o que se enquadra nos Silte e Argila (finos) [1]. Atendendo a estas referências, foi fabricado em laboratório uma mistura de 70% de areia e 30% de dregs, com 15% de cimento em relação ao total da mistura. A análise visual permite verificar que a amostra apresenta-se com as características de um material homogéneo, não apresentando vazios. O solo-cimento com os elementos que o compõem, após um período de 28 dias de cura, mostraram uma resistência à compressão simples similar à dos tijolos cerâmicos furados, com um valor médio de 1,8 MPa (figura 1) [4].



**Figura 1.** Provetes de solo-cimento com dregs.

### CONCLUSÕES

O material usado neste estudo é proveniente de resíduos industriais e é de todo conveniente um estudo mais aprofundado sobre os efeitos dos dregs na saúde pública, pois este trabalho apenas verificou a sua utilidade na indústria da construção civil.

### BIBLIOGRAFIA

- [1] Pinto, S. J. F., Valorização de resíduos da indústria da celulose na produção de agregados leves, Universidade de Aveiro, Aveiro, 131 p., 2005.
- [2] IPQ, Ensaios do betão endurecido - Parte 3: Resistência à compressão de provetes. NP EN 12390-3, Instituto Português da Qualidade, 2009.
- [3] NP EN 206-1, Betão. Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade. Norma Portuguesa, Instituto Português da Qualidade, 2007.
- [4] ABNT, Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural - NBR 10834, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 1994.

## NANOCRISTAIS DE CELULOSE INSERIDOS NA COMPOSIÇÃO DA ARGAMASSA

Ingrid Pereira Alves Josué<sup>1</sup>, Cristina Calmeiro dos Santos<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Escola Superior de Tecnologia. Instituto Politécnico de Castelo Branco. ingrid.pj08@gmail.com

<sup>2</sup> Escola Superior de Tecnologia. Instituto Politécnico de Castelo Branco. ccalmeiro@ipcb.pt

**Palavras chave:** celulose, nanocristais de celulose, tratamento químico, sustentabilidade.

### 14. Reciclagem, valorização e novos materiais

### Apresentação oral

#### INTRODUÇÃO

Tendo em vista que a argamassa é um material muito utilizado na construção civil, deve-se buscar sempre formas de melhorar sua capacidade e desempenho, sem elevar o custo dessa melhoria, mas como melhorar a performance de um material que já existe, visando a sustentabilidade?

Pensando nisso, uma forma de aperfeiçoamento seria combina-ló com o estudo da nanotecnologia da celulose, devido este material conter matrizes poliméricas, possuindo o potencial de melhorar as propriedades mecânicas e não ser agressivo ao meio ambiente.

Sendo assim, o projeto consiste em estudar o efeito dos nanocristais de celulose, com o objetivo de inseri-los na composição da argamassa, para se poder obter uma maior hidratação das partículas do cimento e uma elevação da sua resistência.

#### REFERENCIAL TEÓRICO

##### Nanocristais de celulose (NCC)

São partículas de celulose de alta cristalinidade e com, pelo menos, uma dimensão menor ou igual a 100 nm. Também chamados de whiskers, cristaltos ou cristais de celulose, são denominados assim devido às suas características físicas de rigidez, de espessura e de comprimento [1, 2, 3, 4].

Na década de 90, ressurgiram interesses na aplicação desses cristais como carga de reforço em matrizes poliméricas, por apresentar potencial para gerar compósitos com melhores propriedades mecânicas e, ao mesmo tempo, atender à demanda de materiais menos agressivos ao meio ambiente.

As principais características que estimulam a utilização dos NCC são a enorme área superficial específica, o grande módulo de elasticidade, a alta razão de aspecto, a grande capacidade de reforço a baixos níveis de carga, baixa densidade, natureza não abrasiva, caráter não-tóxico, biocompatibilidade e biodegradabilidade. Além disso, os NCC provêm de fontes naturais renováveis que são muito abundantes. Como desvantagens, podem ser citadas a baixa temperatura de processamento e falta de uniformidade de suas propriedades, dependendo da origem e sazonalidade.

##### Nanocristais como reforço para a argamassa

A adição de NCC na composição da argamassa pode melhorar a resistência da sua estrutura, deixando-a de maneira semelhante ao concreto, sem alterar a trabalhabilidade e a densidade da sua composição. Mazlan, Din, Tokoro e Ibrahim (2016) [5] realizaram um estudo que aborda o uso de nanocristais de celulose (NCC) em estado líquido como aditivo à argamassa. Efetuaram vários testes à compressão das diferentes percentagens de NCC 0.2%, 0.4% e 0.6% a três tempos de cura do cimento (7, 14, 28 dias). A análise permitiu verificar que o uso de NCC aumentou cerca de 40 a 45% a resistência à compressão da argamassa comparativamente a uma argamassa sem celulose.

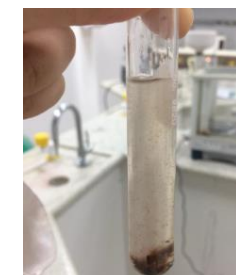
#### METODOLOGIA

##### Obtenção dos nanocristais

Para a obtenção dos NCC da fibra de bambu seguiu-se o seguinte protocolo:

1. A fibra de bambu foi submetida a um tratamento alcalino, por duas horas, em solução aquosa de NaOH 10% (10g de NaOH para cada 90g de água destilada). Após as duas horas foi lavada com água deionizada até à neutralidade e então secas;
2. Foi realizada a hidrólise com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> com 10g de fibra de bambu para cada 100g de solução aquosa de ácido sulfúrico 65% a 55°C por 30 min em banho maria;

3. Após completado o tempo de reação, a hidrólise foi interrompida com a adição de igual volume de água deionizada gelada;
4. O excesso de ácido sulfúrico foi removido por seis ciclos de centrifugação de 15 min a 400 rpm;
5. A cada ciclo o sobrenadante foi descartado e substituído pelo mesmo volume de água deionizada até a obtenção de uma dispersão turva (condição em que os nanocristais ficam suspensos) (Figura 1);



**Figura 1.** Dispersão turva (os nanocristais ficam suspensos)

6. As suspensões de nanocristais foram neutralizadas ajustando o seu pH com a adição de NaOH e utilizando um pHmetro para conseguir medir com precisão até o pH se estabilizar em 7.

#### Fabrico da argamassa

O traço da argamassa utilizado neste estudo foi (1: 1.3: 1.7: 0.45: 0.2). A composição da argamassa apresenta-se na Tabela 1.

**Tabela 1.** Peso dos componentes por m<sup>3</sup> de argamassa

| Componentes da argamassa | Cimento CPV-ARI (kg/m <sup>3</sup> ) | Areia fina (kg/m <sup>3</sup> ) | Areia média (kg/m <sup>3</sup> ) | Água (kg/m <sup>3</sup> ) | Nanocristais (ml/m <sup>3</sup> ) |
|--------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
|                          | 0,624                                | 0,811                           | 1,060                            | 0,280                     | 100                               |

#### Ensaio de resistência

Com o objetivo de determinar a capacidade resistente das argamassas sob tensão uniforme de compressão, as argamassas em estudo foram submetidas ao ensaio de compressão uniaxial. Este objetivo foi conseguido levando os corpos de prova até à rotura, registando a carga última a que resistiram.

Como conclusão pode-se referir que após realizado o ensaio foi possível verificar que a adição dos NCC ao traço da argamassa, aumentou em 23.3% a resistência à compressão.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Silva, D. J., D'Almeida, M. L. O., Cellulose Whiskers. O Papel 70, 34-52, 2009.
- [2] Lima, M. M. S., Borsali, R., Rodlike cellulose microcrystals: structure, properties, and applications. Macromolecular Rapid Communications 25, 771–787, 2004.
- [3] Azizi Samir, M. A. S., Alloin, F., Dufresne, A., Review of recent research into cellulosic whiskers, their properties and their application in nanocomposite field. Biomacromolecules 6, 612-626, 2005.
- [4] Peng, B. L.; Dhar, N., Liu, H. L., Tam, K. C., Chemistry and applications of nanocrystalline cellulose and its derivatives: a nanotechnology perspective. The Canadian Journal of Chemical Engineering 9999, 1-16, 2011.
- [5] Mazlan, D., Din, M.F.M., Tokoro, C. and Ibrahim, I.S., Cellulose nanocrystals addition effects on cement mortar matrix properties, Int. J. Adv. Mech. Civil Eng., 3(3), 44-48, 2016.
- [6] Cao, X., Xu, C., Wang, Y., Liu, Y., Liu, Y., Chen, Y., New nanocomposite materials reinforced with cellulose nanocrystals in nitrile rubber. Polymer Testing 32, 819–826, 2014.

## AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO BETÃO COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO

João Luís Esteves Baltazar<sup>1</sup>, Cristina Calmeiro dos Santos<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Escola Superior de Tecnologia. Instituto Politécnico de Castelo Branco. jlebaltazar10@gmail.com

<sup>2</sup> Escola Superior de Tecnologia. Instituto Politécnico de Castelo Branco. ccalmeiro@ipcb.pt

**Palavras-chave:** betão, sustentabilidade, resíduos de construção e demolição, resistência à compressão.

### 14. Reciclagem, valorização e novos materiais

### Apresentação oral

#### 1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção tem o desafio de adaptar-se às normas de exigência ambiental recorrendo, por exemplo, à reciclagem e reutilização dos produtos provenientes dos resíduos da construção e demolição (RCD). A valorização dos RCD's permite diminuir a utilização de recursos naturais e reduzir os custos de deposição final em aterro. No âmbito das políticas de redução, reutilização e reciclagem dos resíduos, o encaminhamento adequado dos resíduos tornou-se muito pertinente. Uma primeira solução para o escoamento útil dos resíduos de construções ou demolições tem sido a substituição do agregado grosso na produção de betão. A substituição dos agregados tradicionais na produção do betão é uma medida importante para a preservação do meio ambiente e para a manutenção de um ambiente urbano mais saudável. Neste sentido, este projeto permitiu analisar processos de utilização dos RCD's e caracterizar, em termos de resistência à compressão, betões com incorporação de RCD's de forma a promover a sustentabilidade no setor da construção civil.

#### 2. REFERENCIAL TEÓRICO

O Betão é um dos materiais mais utilizados em todo o mundo, tendo uma produção muito elevada ao longo de cada ano, pois possui excelentes propriedades mecânicas e de durabilidade. Também tem uma propriedade muito vantajosa que é o facto de ser moldável e adaptável a qualquer forma, e em muitos climas diferentes. Em termos sustentáveis podemos referenciar que devido à sua grande utilização, existem várias quantidades de recursos naturais para o seu fabrico, tendo aí um impacto ambiental elevado. Também se torna importante referir que a produção de cimento, liberta muito dióxido de carbono para a atmosfera. Para minimizar esta grande pegada ambiental considera-se que a utilização de RCD's sempre que possível, se manifesta vantajoso pois provém da reciclagem de demolições, levando a uma reduzida utilização de agregados naturais, recursos que são esgotáveis. Os Resíduos de Construção e Demolição (RCD), provém do aproveitamento de todas as demolições da construção civil. Estes resíduos não são todos classificados da mesma forma, variam consoante a sua origem, propriedades químicas, ou até mesmo nas possibilidades de reciclagem. Em Portugal os RCD's não são muito valorizados, logo é difícil existirem indicadores quantitativos da utilização dos mesmos. Efetuando várias pesquisas os dados existentes são apenas estimativos indicando uma diversidade de resultados. Como consequência verifica-se uma grande deposição em aterros o que se mostra urgente encontrar soluções de forma a reduzir esta deposição de resíduos em aterro.

#### 3. ESTUDO EXPERIMENTAL

O betão é uma mistura, devidamente proporcionada, de agregados (areias e britas), ligante hidráulico, água e, eventualmente, aditivos, foram realizadas diversas análises de acordo com as respetivas normas para obter a composição de um betão necessário para o estudo. A brita grossa

usada na composição do betão foi substituída por 20 % de RCD's numa das composições em estudo e por 40% na outra composição [1] [2]. A tabela 1 apresenta as quantidades finais das composições estudadas no presente trabalho.

**Tabela 1.** Quantidades dos componentes por m<sup>3</sup>, com adição de RCD's.

| Componentes      | Cimento (Kg/m <sup>3</sup> ) | Água (litros) | Brita Grossa (Kg/m <sup>3</sup> ) | Brita Fina (Kg/m <sup>3</sup> ) | Areia (Kg/m <sup>3</sup> ) | RCD's (Kg/m <sup>3</sup> ) |
|------------------|------------------------------|---------------|-----------------------------------|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Betão Referência | 430                          | 183           | 595                               | 317                             | 816                        | -                          |
| Betão 20%        | 430                          | 183           | 476                               | 317                             | 816                        | 119                        |
| Betão 40%        | 430                          | 183           | 357                               | 317                             | 816                        | 238                        |

Continuamente realizou-se o fabrico do betão e o respetivo enchimento e ensaio dos provetes de betão. Os mesmos foram mantidos durante 24 horas em ambiente de laboratório a fim de obter a presa suficiente. Após as 24 horas foram descofrados e mantidos no mesmo ambiente até adquirirem a cura suficiente para proceder ao ensaio da compressão [3] [4].

A análise dos resultados da resistência à compressão do betão permitiu verificar a obtenção de um betão da classe C30/37, no entanto, com o aumento da percentagem de RCD's a classe de resistência média aumenta igualmente. Na Tabela 2, apresenta-se os resultados dos ensaios realizados para o betão com 20% de RCD's e para o betão com 40%. Tal facto pode-se justificar uma vez que os RCD's utilizados são provenientes da demolição de uma laje, podendo-se classificar os mesmos de excelência, permitindo que o betão em estudo possa ser utilizado, por exemplo, em paredes exteriores em contacto com água ou em situações de nível freático alto.

**Tabela 2.** Apresentação de resultados.

| Tipo de Betão      | Peso (Kg) | F <sub>c</sub> (MPa) | F <sub>cm</sub> (MPa) | Classe de Resistência |
|--------------------|-----------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Betão_20%<br>RCD's | 7,290     | 36,6                 | 37,17                 | C30/37                |
|                    | 7,564     | 36,2                 |                       |                       |
|                    | 7,424     | 38,7                 |                       |                       |
| Betão_40%<br>RCD's | 7,467     | 43,0                 | 42,30                 | C30/37                |
|                    | 7,463     | 41,4                 |                       |                       |
|                    | 7,639     | 42,5                 |                       |                       |

#### 4. CONCLUSÃO

Como proposta de desenvolvimento futuro propõe-se a execução de novas composições de betão com o aumento da percentagem de RCD's (com a mesma origem) de 60%, 80% e 100% de modo a confirmar a potencialidade da aplicação destes agregados que na altura não foram misturados com outro tipo de resíduos (por exemplo demolição de paredes). Solução que se apresenta muito vantajosa quer a nível de qualidade de betão quer a nível de sustentabilidade.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] NP EN 933, Ensaios das propriedades geométricas dos agregados. Parte 1: Análise granulométrica. Método de peneiração. Norma Portuguesa, Instituto Português da Qualidade, 2000.
- [2] NP EN 206-1, Betão. Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade. Norma Portuguesa, Instituto Português da Qualidade, 2007.
- [3] NP EN 12390-1, Ensaios do betão endurecido. Parte 1: Forma, dimensões e outros requisitos para o ensaio de provetes e para os moldes. Norma Portuguesa, Instituto Português da Qualidade, 2003.
- [4] NP EN 12390-2, Ensaios do betão endurecido. Parte 2: Execução e cura dos provetes para ensaios de resistência mecânica. Norma Portuguesa, Instituto Português da Qualidade, 2003.

PROGRAMA DO EVENTO

|             |                                                                                                                                                                                                                 |                    |                    |                    |                    |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 14H00-14H10 | <b>Abertura</b><br>Presidência do ISEP<br>Direção do DEC-ISEP<br>Comissão Organizadora Local                                                                                                                    |                    |                    |                    |                    |
| 14H10-14H30 | <b>João Leal · Universidade de Agder (UiA), Noruega</b><br><i>"A Engenharia Civil num mundo em permanente mudança."</i>                                                                                         |                    |                    |                    |                    |
| 14H30-16H00 | Sessão Paralela 01                                                                                                                                                                                              | Sessão Paralela 02 | Sessão Paralela 03 | Sessão Paralela 04 | Sessão Paralela 05 |
| 16H10-16H30 | <b>Ricardo Pimentel · SCI - Steel Construction Institute (UK)   VN2R (PT)</b><br><i>"Recentes desenvolvimentos científicos e tecnológicos para uma economia circular e sustentável no sector da construção"</i> |                    |                    |                    |                    |
| 16H30-18H00 | Sessão Paralela 06                                                                                                                                                                                              | Sessão Paralela 07 | Sessão Paralela 08 | Sessão Paralela 09 | Sessão Paralela 10 |
| 14H10-14H30 | <b>Entrega de Prémios</b><br>Prémios Resumos Alargados<br>Distinção Carreira Académica: Engenheiro Rui Gomes dos Santos                                                                                         |                    |                    |                    |                    |
| 18H20-18H30 | <b>Encerramento</b><br>Comissão Organizadora Local                                                                                                                                                              |                    |                    |                    |                    |

PRÉMIOS ATRIBUÍDOS

| CATEGORIA RESUMO ALARGADO - MESTRADO     |                                                                                                                                    |                                                       |                                           |
|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 1º PRÉMIO                                | Modelos Computacionais Aplicados à Previsão da Vida Útil de ETICS                                                                  | João Tavares<br>Jorge de Brito<br>Ana Silva           | Academia Militar                          |
| 2º PRÉMIO                                | Avaliação das Propriedades Mecânicas e de Autorregeneração de Misturas Betuminosas com Rejuvenescedores Encapsulados               | Gonçalo M. Pereira<br>Rui B. Micaelo<br>Ana C. Freire | Universidade Nova de Lisboa               |
| CATEGORIA RESUMO ALARGADO - LICENCIATURA |                                                                                                                                    |                                                       |                                           |
| 1º PRÉMIO                                | Aplicações de Realidade Virtual em Coordenação de Projeto de Engenharia Civil                                                      | Leopoldo Sousa<br>Diogo Ribeiro<br>Rui Gavina         | Instituto Superior de Engenharia do Porto |
| 2º PRÉMIO                                | Avaliação do Risco de Incêndio de uma Habitação Multifamiliar pelo Método de FRIM                                                  | Andreia Madeira Pires<br>Cristina C. dos Santos       | Instituto Politécnico de Castelo Branco   |
| CATEGORIA APRESENTAÇÃO                   |                                                                                                                                    |                                                       |                                           |
| 1º PRÉMIO                                | Towards the implementation of intelligent optimization systems for process management in pavement rehabilitation                   | Margarida Amândio<br>José Neves<br>Manuel Parente     | Instituto Superior Técnico                |
| 2º PRÉMIO                                | Estudo da viabilidade técnica da utilização de tubagens de material compósito na reabilitação de passagens hidráulicas e agrícolas | Miguel M.P.B.S. Santos                                | Instituto Superior Técnico                |

Foi ainda atribuída a distinção “Carreira Académica” ao **Eng. Rui Manuel Ferreira Gomes dos Santos** ex docente dos cursos de licenciatura e mestrado do Instituto Superior de Engenharia do Porto.







