

Estruturas de Betão em Portugal

Concrete Structures
in Portugal

Investigação Research

2021-2025



Estruturas de Betão em Portugal

Concrete Structures
in Portugal

Investigação Research

2021-2025

ficha técnica

TÍTULO Estruturas de Betão em Portugal 2021-2025

EDIÇÃO Grupo Português de Betão Estrutural

COORDENAÇÃO GERAL Eduardo Júlio

GESTÃO DA EDIÇÃO João Nuno Pacheco

DESIGN E CONCEÇÃO GRÁFICA Engenho e Média

IMPRESSÃO Lidergraf Sustainable Printing

1ª EDIÇÃO 2026

ISBN 978-989-53078-2-1

DEPÓSITO LEGAL 565318/26

Os textos da apresentação das obras são da responsabilidade dos autores dos respetivos projetos.
Imagens com direitos reservados.

Copyright © 2026 | GPBE – Grupo Português de Betão Estrutural

Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida, no todo ou em parte,
sob qualquer forma ou meio, sem autorização prévia do GPBE.

Apresentação Forward

O GPBE – Grupo Português do Betão Estrutural é o membro português da *fib* – *International Federation for Structural Concrete* e tem como principal objetivo a promoção da cooperação científica e técnica no domínio do Betão Estrutural, tanto a nível nacional como internacional.

Criado em 1966 como GPPE – Grupo Português de Pré-Esforçado, representante nacional da FIP – *Fédération Internationale de la Précontrainte*, o Grupo assumiu a designação atual em 1998, com a criação da *fib*, resultante da fusão da FIP com o CEB – *Comité Euro-International du Béton*.

O GPBE participa ativamente nas atividades da *fib*, nomeadamente no desenvolvimento dos *fib bulletins*, e promove a divulgação do conhecimento na área do Betão Estrutural através da organização bianual, desde 1986, do Encontro Nacional de Betão Estrutural, entre outras iniciativas. O GPBE organizou o *fib Symposium*, em 2021, e o *7th fib Congress*, em 2026.

Por ocasião dos Encontros Nacionais, o GPBE atribui a Medalha de Mérito a personalidades de relevo e Prémios à melhor Dissertação de Mestrado e à melhor Tese de Doutoramento, na área do Betão Estrutural.

Os atuais corpos diretivos do GPBE são os seguintes:

The GPBE – Portuguese Group for Structural Concrete is the Portuguese member of *fib* – *International Federation for Structural Concrete* and its main objective is to promote scientific and technical cooperation in the field of Structural Concrete, both nationally and internationally.

Founded in 1966 as GPPE – Portuguese Group for Prestressing, the national representative of FIP – *Fédération Internationale de la Précontrainte*, the Group adopted its current name in 1998 following the establishment of *fib*, which resulted from the merger of FIP with CEB – *Comité Euro-International du Béton*.

GPBE actively participates in the activities of *fib*, notably in the development of *fib bulletins*, and promotes the dissemination of knowledge in the field of Structural Concrete through the biennial organisation, since 1986, of the National Meeting on Structural Concrete, among other initiatives. GPBE organised the *fib Symposium* in 2021 and the *7th fib Congress* in 2026.

On the occasion of these National Meetings, GPBE awards a Medal of Merit to distinguished individuals and Prizes for the best Master's Dissertation and the best Doctoral Thesis in the field of Structural Concrete.

The current governing bodies of GPBE are as follows:

Direção

Eduardo Júlio – Presidente
Ana Sofia Louro – Vice-Presidente
José Sena Cruz – Vice-Presidente
Mário Pimentel – Vice-Presidente
Miguel Lourenço – Vogal
Nuno Maia – Vogal
Paulo Rocha – Vogal
André Furtado – Tesoureiro
João Pacheco – Secretário
Sandra Neves – Secretária-Geral

Assembleia Geral

Manuel Pipa – Presidente
António Ramos – Secretário

Conselho Fiscal

António Bettencourt Ribeiro – Presidente
Eduardo Cavaco – Vogal
Ricardo do Carmo – Vogal

Prefácio

Preface

O GPBE – Grupo Português do Betão Estrutural apresenta, desde o XII Congresso da FIP, realizado em Washington em 1994, uma publicação periódica com um conjunto de estruturas de betão, projetadas e executadas pela Engenharia Portuguesa.

O presente livro abrange os anos 2021 a 2025, dando assim continuidade às edições anteriores, e será distribuído por ocasião do 7th *fib* Congress, organizado pelo GPBE em Lisboa em 2026.

A Direção do GPBE selecionou um conjunto de obras realizadas, no período referido, por alguns dos principais gabinetes de projeto e empresas de construção nacionais.

Atendendo à intensa atividade de investigação científica desenvolvida em Portugal na área do Betão Estrutural, decidiu-se alargar o âmbito deste livro e incluir igualmente alguns dos principais projetos de investigação desenvolvidos no quinquénio em apreço.

O GPBE expressa o seu agradecimento aos projetistas e aos investigadores pelo envio dos resumos dos projetos de obras e de investigação, os quais são da sua exclusiva responsabilidade.

The GPBE – Portuguese Group for Structural Concrete has published, since the XII FIP Congress held in Washington in 1994, a periodical volume presenting a selection of concrete structures designed and constructed by Portuguese engineering firms.

The present book covers the years 2021 to 2025, thereby continuing the previous editions, and will be distributed on the occasion of the 7th *fib* Congress, organised by the GPBE in Lisbon in 2026.

The GPBE Board selected a number of works carried out during the aforementioned period by some of the leading national design offices and construction companies.

In view of the significant scientific research activity undertaken in Portugal in the field of Structural Concrete, it was decided to broaden the scope of this publication to include several of the principal research projects developed during the five-year period under consideration.

The GPBE wishes to express its appreciation to the designers and researchers for submitting the abstracts of the design and research projects, for which they are solely responsible.

Eduardo Júlio
Presidente do GPBE
Fevereiro 2026

Investigação 2021-2025

Research
2021-2025

Índice

Table of Contents

- 10 3DFiber.concrete - Fabrico Digital Direto de estruturas cimentícias com elevado desempenho e incorporação de fibras contínuas produzidas de forma automática com dispositivos robóticos
[3DFiber.concrete - Direct Digital Fabrication of high-performance cementitious structures incorporating continuous fibers produced automatically with robotic devices](#)
- 12 POSTEJO 4.0 - Inovação para a Diversificação e a Exportação
[POSTEJO 4.0 - Innovation for Diversification and Exporting](#)
- 14 PRE-SHELL - Cascas Ultra-Finas Pré-Fabricadas em Betão
[PRE-SHELL - Prefabricated Ultra-Thin Concrete Shells](#)
- 16 PREMOD-BUILD - Edifícios Modulares Pré-fabricados em Betão (Agenda RZUTechnologies)
[PREMOD-BUILD - Precast Concrete Modular Buildings \(RZUTechnologies Agenda\)](#)
- 18 STRAIN-VISION - Monitorização de Extensões em Laminados de CFRP Pré-Esforçados para Reforço de Elementos de Betão usando Visão por Computador
[STRAIN-VISION - Strain Monitoring on Pre-Stressed CFRP Laminates for Reinforcement of Concrete Members using Computer Vision](#)
- 20 Efeitos de Cargas Explosivas em Edifícios e Ocupantes
[Blast Loading Effects on Buildings and Occupants](#)
- 22 ERIES-RecycleSlab - Comportamento Estrutural de lajes fungiformes com capitel em betão armado com agregados reciclados sob ações sísmicas e cíclicas
[ERIES-RecycleSlab - Structural behaviour of recycled aggregate reinforced concrete flat slabs with drop panels under seismic and cyclic actions](#)
- 24 HiPerSlab - Melhoria do Comportamento Estrutural de Lajes Fungiformes Sujeitas a Ações Horizontais Cíclicas e Sísmicas Através da Utilização Racional de Betões de Elevado Desempenho Reforçados com Fibras
[HiPerSlab - Enhancement of the Structural Behaviour of Flat Slabs under Cyclic and Seismic Actions through the Rational Use of High-Performance Fibre Reinforced Concrete](#)
- 26 PROTEDES - Proteção de Edifícios Estratégicos contra os Efeitos das Explosões
[PROTEDES - Protection of Strategic Buildings against Blast Actions](#)
- 28 SCC-SMARTI - Sensores de betão com carbono para infraestruturas rodoviárias inteligentes
[SCC-SMARTI - Smart carbon-concrete sensors for intelligent road infrastructures](#)
- 30 SeismicPRECAST - Avaliação da Segurança Sísmica de Estruturas Industriais Pré-fabricadas de Betão Armado Existentes e Desenvolvimento de Soluções Inovadoras de Reforço sustentáveis
[SeismicPRECAST - Seismic Performance Assessment of Existing Precast Industrial Buildings and Development of Innovative Retrofitting Sustainable Solutions](#)
- 32 AR-SeismicRC - Avaliação e reforço de estruturas existentes de edifícios em betão armado sem conformidade sísmica e validação das correspondentes recomendações do Eurocódigo 8-3
[AR-SeismicRC - Assessment and retrofitting of non-seismically conforming existing reinforced concrete building structures and validation of the corresponding Eurocode 8-3 recommendations](#)

Investigação Research

- 34 iPBRail – Soluções inovadoras para pontes pré-fabricadas ferroviárias
iPBRail – Innovative precast bridges for railways
- 36 SMART-OPS – Sistema de Monitorização Inteligente para Equipamentos de Grande Dimensão usados na Construção Pontes
SMART-OPS – Smart Monitoring System for Large Equipment adopted in Bridge Construction
- 38 UHPGRADE – Nova geração de compósitos cimentícios de ultra-elevado desempenho para a reabilitação e reforço de estrutura
UHPGRADE – Next generation of ultra-high performance fibre-reinforced cement-based composites for rehabilitation and strengthening of the existing infrastructure
- 40 S4Bridges – Uma abordagem inteligente para a manutenção de pontes existentes
S4Bridges – A smart approach for the maintenance of existing bridges
- 42 FRPLongDur – Comportamento estrutural a longo prazo e de durabilidade de elementos de betão armado reforçados à flexão com laminados de CFRP
FRPLongDur – Long-term structural and durability performances of reinforced concrete elements strengthened in flexure with CFRP laminates
- 44 PreSlabTec – Sistema construtivo inovador para laje aligeirada integralmente pré-fabricada de elevado desempenho comportamental
PreSlabTec – Innovative construction system for fully prefabricated lightweight slab of high behavioural performance
- 46 RecycleBIM – Planeamento e Registo Integrados da Circularidade de Materiais de Construção através de Modelação Digital
RecycleBIM – Integrated Planning and Recording Circularity of Construction Materials through Digital Modelling
- 48 RENEW – Resíduos na construção para uma economia circular: de indústria intensiva em recursos naturais a solução competitiva para a incorporação de resíduos em grande escala
RENEW – Construction waste for a circular economy: from a resource-intensive industry to competitive large-scale waste incorporation solutions
- 50 DamSwelling-II – Modelação dos efeitos das expansões do betão em barragens, para apoio à gestão e reabilitação das obras
DamSwelling-II – Modelling the effects of concrete swelling in dams to support management and rehabilitation
- 52 Degradação do betão por reações expansivas internas – Prevenção, Mitigação, Diagnóstico e Prognóstico
Concrete degradation due to internal expansive reactions – Prevention, Mitigation, Diagnosis and Prognosis
- 54 ERIES @ LNEC - I&D Europeu através de acesso transnacional à plataforma de ensaios sísmicos
ERIES @ LNEC - European R&D through transnational access to the shaking table facility

3DFiber.concrete - Fabrico Digital Direto de estruturas cimentícias com elevado desempenho e incorporação de fibras contínuas produzidas de forma automática com dispositivos robóticos

3DFiber.concrete - Direct Digital Fabrication of high-performance cementitious structures incorporating continuous fibers produced automatically with robotic devices

COORDENAÇÃO LEADING INSTITUTION CDRsp/IPLeiria

PARCEIROS PARTNERS Agix, ESTG-IPLeiria, ISEC-IPC, IST-UL, MendesINOV

COORDENADOR(ES) COORDINATION Florindo Gaspar

EQUIPA TEAM CDRsp/IPLeiria – Artur Mateus, Florindo Gaspar, Paulo Novo; Agix – Alberto Gil, Alexandre Pedro, André Santos, Diogo Luís, Gonçalo Sousa, Mário Mendes, Paula Martins; ESTG-IPLeiria: Nelson Martins-Ferreira, Paulo Fernandes; ISEC-IPC – Hugo Costa, Ricardo do Carmo, Paulo Maranhã; IST-UL – Eduardo Júlio, João Almeida, Marco Leite; MendesINOV – Miguel Mendes

FINANCIAMENTO FUNDING ANI, the Portuguese National Innovation Agency

ORÇAMENTO BUDGET Total: 1 119 275,17 €; CDRsp-IPLeiria: 242 515,17 €; Agix: 178 541,44 €; ISEC-IPC: 95 588,10 €; IST-UL: 42 102,46 €; MendesINOV: 560 528,00 €

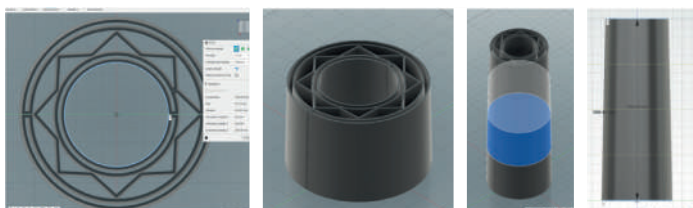
PERÍODO PERIOD 2021-2023

A 4ª revolução industrial, caracterizada pela crescente interconectividade e digitalização de sistemas e processos, com avanços significativos ao nível da automação e gestão de processos de fabricação, assentes em tecnologias como os *digital twins*, o fabrico aditivo (FA), a internet das coisas (IoT), computação em *cloud* e inteligência artificial (IA), é já uma realidade em muitos setores industriais.

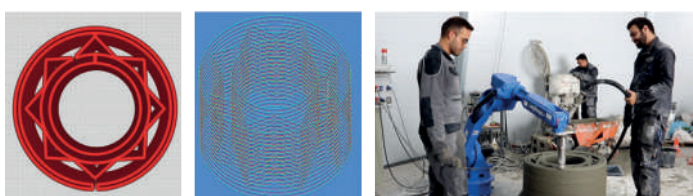
Contudo no setor da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) esta realidade tarda em afirmar-se. O FA utilizando materiais cimentícios tem potencial para responder aos desafios do setor pela elevada resistência à compressão e versatilidade atingidas, mas a baixa resistência à tração e flexão continua a limitar o âmbito de utilização.

The 4th Industrial Revolution is marked by growing interconnectivity and the digitalization of systems and processes, bringing big leaps in automation and manufacturing management. Powered by technologies like digital twins, additive manufacturing (AM), the Internet of Things (IoT), cloud computing, and artificial intelligence (AI), the 4th Industrial Revolution is already transforming many industrial sectors.

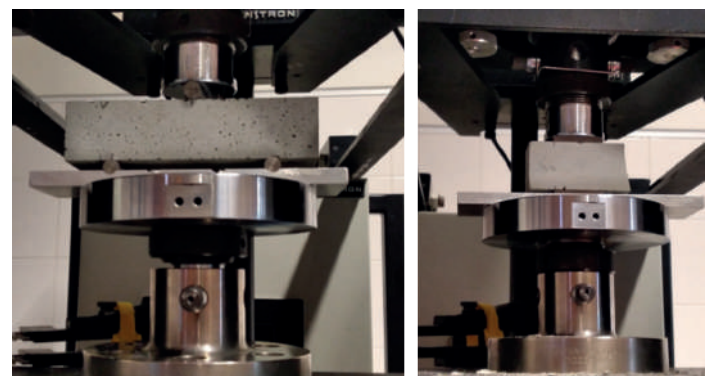
In the Architecture, Engineering, and Construction (AEC) sector, this shift has been slow to take hold. Additive manufacturing with cementitious materials shows promise in addressing industry challenges thanks to the high compressive strength and versatility achieved, but low tensile and flexural strength still limits how widely it can be used.



10 Modelação e conceção. [Modelling and design.](#)



Fatiamento (Ultimaker Cura/Python) e impressão. [Splicing \(Ultimaker Cura /Python\) and printing.](#)



Caracterização material. [Material characterization.](#)



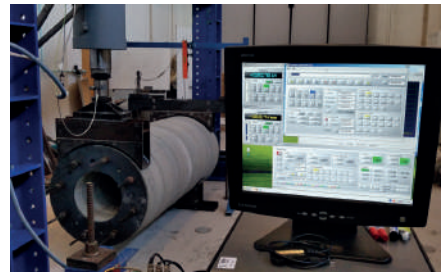
Montagem das peças que materializam o elemento estrutural. **Assembly of the parts that make up the structural element.**



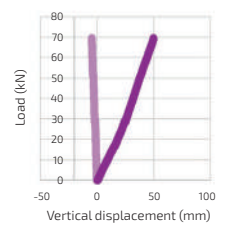
Elemento estrutural resultante (movimentação). **Resulting structural element (transport).**



Reforço estrutural por pré-esforço não aderente. **Structural reinforcement by unbonded prestressing.**



Caracterização estrutural em flexão. **Structural characterization test in bending.**



O projeto 3DFiber.concrete consistiu na investigação tecnológica e desenvolvimento experimental de sistemas de FA de materiais cimentícios com incorporação simultânea de reforço estrutural, para fabricação automática de peças e estruturas de elevado desempenho destinadas ao sector AEC.

O projeto permitiu aliar as vantagens oferecidas pelas tecnologias de FA, tal como a liberdade de forma e a fabricação sem recurso a cofragem, com o acréscimo de desempenho das estruturas conferido pelo reforço mecânico, num sistema automático de fabricação integrado num ecossistema digital na ótica da Indústria 4.0.

De uma forma geral o projeto permitiu: (i) avaliação tecnológica do FA assistido por robôs em construções com materiais cimentícios reforçados; (ii) trazer para o século XXI as técnicas de construção de elementos estruturais com materiais cimentícios, pela introdução de técnicas de FA de material cimentício por extrusão, com recurso a sistemas robóticos para automatizar o processo de produção; (iii) conferir capacidade estrutural aos elementos produzidos, incluindo à tração e flexão, através da conjugação de técnicas de otimização geométrica da forma, com adição automática de fibras de reforço estrutural e introdução de pré-esforço não aderente por pós-tensão, para ligação entre as peças impressas que compõem os elementos estruturais.

The 3DFiber.concrete project focused on technological research and experimental development of additive manufacturing systems using cement-based materials, while simultaneously incorporating structural reinforcement. The goal was to automatically produce high-performance parts and structures for the AEC sector.

This project brought together the benefits of additive manufacturing, like design freedom and formwork-free production, with the enhanced strength provided by mechanical reinforcement, all within an automated system integrated into a digital Industry 4.0 environment.

Overall, the project enabled: (i) a technological evaluation of robot-assisted FA in building with reinforced cementitious materials; (ii) modernizing construction methods for structural elements made with cementitious materials by introducing FA extrusion techniques and using robotic systems to automate production; (iii) ensuring the produced elements have structural capacity, including tension and bending, by combining geometric shape optimization with automatic addition of reinforcement fibers and unbonded post-tensioning to connect the printed parts forming the structural elements.

POSTEJO 4.0 - Inovação para a Diversificação e a Exportação

POSTEJO 4.0 – Innovation for Diversification and Exporting

COORDENAÇÃO LEADING INSTITUTION CERIS/IST-UL

PARCEIROS PARTNERS ISEC-IPC, Postejo S.A.

COORDENADOR(ES) COORDINATION Hugo Costa (PI), Eduardo Júlio (co-PI)

EQUIPA TEAM IST-UL – Alberto Ferro, António Costa, Eduardo Júlio, João Ramôa Correia, José Camara; ISEC-IPC – Ana Antunes, Eliana Soldado, Hugo Costa, Paulo Maranhã Tiago, Ricardo do Carmo, Vítor Almeida; Postejo SA – Joaquim Filipe, Luís Correia, Miguel Sequeira, Noélia Friezas, Pedro Rodrigues, Pedro Santos, Rui Lima

FINANCIAMENTO FUNDING ANI, the Portuguese National Innovation Agency

ORÇAMENTO BUDGET Total: 940 660,43 €; IST-UL: 135 749,27 €; ISEC-IPC: 247 486,36 €; Postejo S.A.: 557 424,80 €

PERÍODO PERIOD 2018-2021

O projeto POSTEJO_4.0 nasceu de uma aposta estratégica da empresa Postejo na inovação, tendo sido definidos cinco objetivos específicos: (i) melhorar a qualidade dos produtos, (ii) reforçar a sua sustentabilidade, (iii) automatizar a produção, (iv) diversificar a oferta e (v) alargar o mercado, com foco na exportação.

O projeto foi desenvolvido pelos investigadores do CERIS (IST e ISEC), adotando uma abordagem mista experimental e numérica, em estreita articulação com a Postejo na sua implementação em fábrica, tendo sido estruturado em três vertentes complementares:

(1) melhoramento significativo do produto tradicional – postes prefabricados em betão armado, através de: (i) desenvolvimento de novos betões ecoeficientes e de elevada durabilidade (EEHDC), contemplando a redução da dosagem de cimento (até 50 %) e a incorporação de resíduos da produção (20 %) como agregados reciclados, bem como a utilização de escórias e adições pozolânicas, resultando num aumento da vida útil de 300 %, no caso de corrosão induzida por carbonatação, e superior, no caso de corrosão induzida por cloretos, (ii) automatização dos sistemas de cofragem, com ganhos de produtividade superiores a 50 % e melhoria da qualidade do produto final (decorrente do aumento da estanqueidade dos moldes); e (iii) adoção de soluções alternativas para as armaduras dos postes;

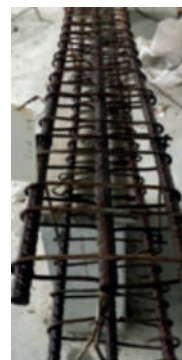
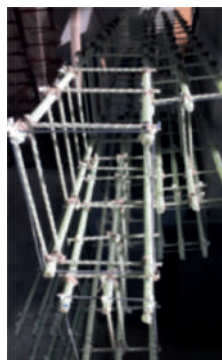
The POSTEJO_4.0 project emerged from the strategic commitment of the company Postejo to innovation, with five specific objectives defined: (i) to improve product quality, (ii) to enhance sustainability, (iii) to automate production, (iv) to diversify the product range, and (v) to expand the market, with a focus on export.

The project was developed by researchers from CERIS (IST and ISEC), adopting a mixed experimental and numerical approach, in close collaboration with Postejo during its implementation at factory level. It was structured around three complementary strands:

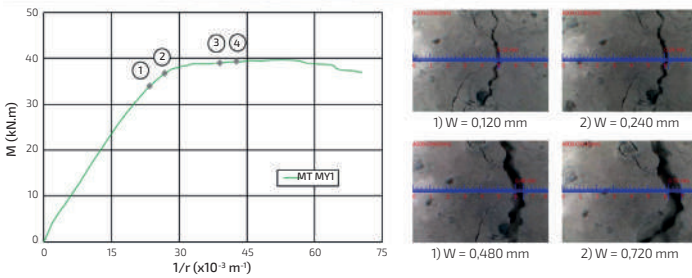
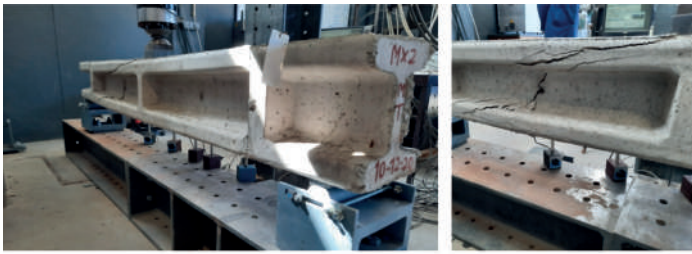
(1) significant improvement of the traditional product – precast reinforced concrete poles, through: (i) the development of new eco-efficient, high-durability concretes (EEHDC), involving a reduction in cement content of up to 50 % and the incorporation of production waste (20 %) as recycled aggregates, as well as the use of slag and pozzolanic additions, resulting in a 300 % increase in service life, in the case of carbonation-induced corrosion, and an even greater increase, in the case of chloride-induced corrosion; (ii) automation of the formwork systems, leading to productivity gains exceeding 50 % and improved final product quality (due to increased mould tightness); and (iii) the adoption of alternative solutions for pole reinforcement;



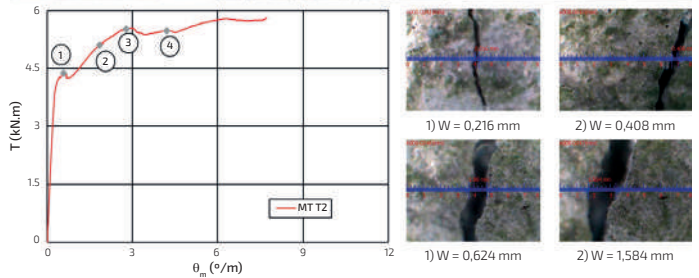
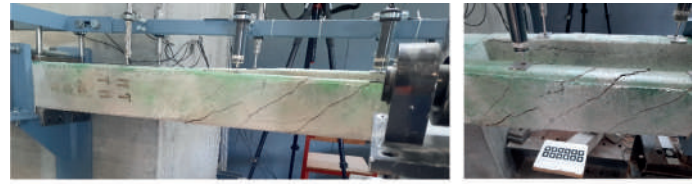
Novos moldes metálicos automatizados. **New automated metal moulds.**



Armaduras alternativas para os postes. **Alternative reinforcement for the poles.**



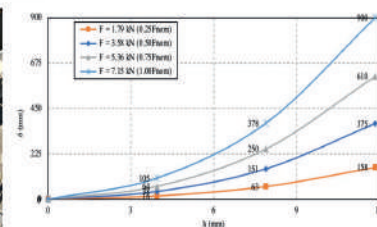
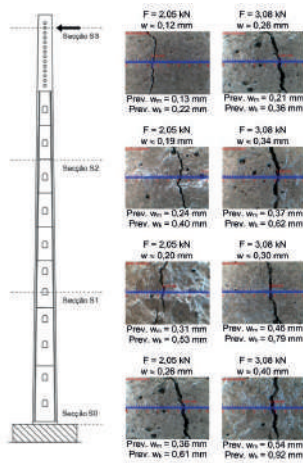
Ensaios laboratoriais de postes à flexão. **Laboratory flexural tests of poles.**



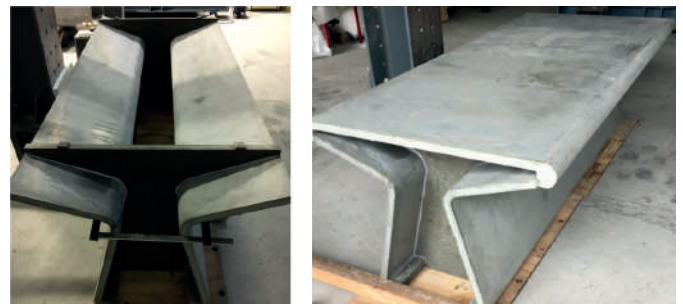
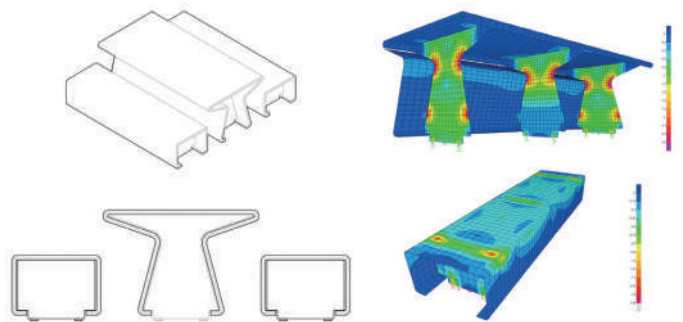
Ensaios laboratoriais de postes à torção. **Laboratory torsion tests of poles.**

(2) diversificação da gama de produtos, através do desenvolvimento de postes de muito elevada durabilidade (sem risco de corrosão das armaduras), adotando armaduras em GFRP, particularmente adequados para zonas de muito elevada agressividade ambiental, como zonas costeiras, com potencial de exportação, pelo menos para o mercado ibérico; e
 (3) criação de novos produtos, nomeadamente mobiliário urbano com design arquitetónico distintivo, assinado por arquitetos de referência, em eco-UHPC (com redução de 25 % da dosagem de cimento), com potencial de exportação para mercados globais, atendendo ao seu elevado valor acrescentado.

(2) diversification of the product range through the development of poles with very high durability (with no risk of reinforcement corrosion), using GFRP reinforcement, particularly suitable for environments with very high levels of environmental aggressiveness, such as coastal areas, with export potential, at least within the Iberian market; and
 (3) creation of new products, namely urban furniture with distinctive architectural design, authored by renowned architects, produced in eco-UHPC (with a 25 % reduction in cement content), with export potential to global markets, given their high added value.



Ensaios em fábrica de postes à flexão. **On-site bending tests of poles.**



Mobiliário urbano modular em eco-UHPC – Modelação, montagem e ensaio. **Modular urban furniture in eco-UHPC – Modelling, assembling and testing.**

PRE-SHELL – Cascas Ultra-Finas Pré-Fabricadas em Betão

PRE-SHELL – Prefabricated Ultra-Thin Concrete Shells

COORDENAÇÃO LEADING INSTITUTION CERIS/IST-UL

PARCEIROS PARTNERS ESTG-IPLeia, FCTUC, ISEC-IPC, LNEC, NOVA FCT, SPRAL

COORDENADOR(ES) COORDINATION Eduardo Júlio (PI), Eduardo Cavaco (co-PI)

EQUIPA TEAM IST-UL – Ana Tomé, A. Moret Rodrigues, Eduardo Júlio, João Sousa, Jónatas Valença, José Silvestre, Júlia Fontoura, Luís Guerreiro, Marco Brandão, M. Glória Gomes, Vitória Vasquez; ESTG-IPLeia – Douaa Elbashir, Hugo Rodrigues, João Veludo, Marta Agante, Nuno Martinho, Paulo Fernandes, Romain Sousa; FCTUC – Tatiana Marques, V. Dias da Silva; ISEC-IPC – Ana Rodrigues, Hugo Costa, Paulo Maranha, Ricardo do Carmo, Tiago Rodrigues; LNEC – F. Marques da Silva, Paulo Candeias; NOVA FCT – Bárbara Gomes, Eduardo Cavaco; SPRAL – Nuno Almeida, Pedro Henriques; Colaboradores – Diego Cárdenas, Gustavo Siqueira, Isaías Vizotto, Luiz Junior, M. Elizabeth Tavares, Maya Garcia

FINANCIAMENTO FUNDING ANI, the Portuguese National Innovation Agency

ORÇAMENTO BUDGET Total: 578 127,79 €; IST-UL: 46 223,81 €; ESTG-IPLeia: 175 695,99 €; FCTUC: 27 973,02 €; ISEC-IPC: 140 325,72 €; NOVA FCT: 14 279,02 €; SPRAL: 173 629,68 €

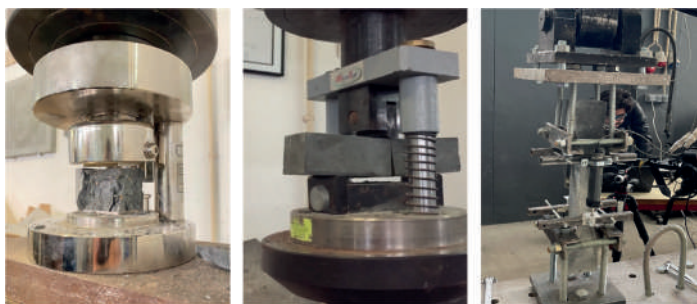
PERÍODO PERIOD 2019-2023

Com o objetivo de relançar as cascas em betão, tornando-as economicamente viáveis, foi desenvolvida uma abordagem inovadora para reduzir drasticamente a necessidade de mão de obra. O conceito consiste em organizar a casca em módulos pré-fabricados, minimizando a cofragem; montá-los *in situ*, recorrendo a pré-esforço, para garantir o comportamento monolítico da estrutura e reduzir o escoramento ao solo; e adotar betão de ultraelevado desempenho reforçado com fibras, eliminando a armadura ordinária.

O projeto incluiu (i) a geração da forma, através de uma análise numérica geométrica e materialmente não linear, para determinação do anti-funicular do peso próprio, seguida da otimização das espessuras; (ii) a definição de uma metodologia de análise espaço-funcional baseada na forma, utilizando a casca modular também como módulo da solução arquitetónica final; (iii) o desenvolvimento de um eco-UHPFRC, combinando as propriedades materiais necessárias com a minimização do impacto ambiental; (iv) o desenvolvimento de ligações secas indentadas entre módulos

With the aim of relaunching concrete shells and making them economically viable, an innovative approach was developed to drastically reduce labour requirements. The concept involved organising the shell into prefabricated modules, thereby minimising formwork; assembling them *in situ* using prestressing to ensure the monolithic behaviour of the structure and reduce ground shoring; and adopting ultra-high-performance fibre-reinforced concrete to eliminate conventional reinforcement.

The project included: (i) form generation through a geometrically and materially non-linear numerical analysis to determine the anti-funicular shape under self-weight, followed by thickness optimisation; (ii) the definition of a shape-based spatial-functional analysis methodology, using the modular shell also as a module of the final architectural solution; (iii) the development of an eco-UHPFRC, combining the required material properties with minimal environmental impact; (iv) the development of indented dry joints between prefabricated modules, ensuring the



Ensaio de caracterização das propriedades do UHPFRC. **Characterization tests of UHPFRC properties.**



Ensaio para caracterização das ligações. **Tests for connections' characterization.**



Protótipo instalado na Costa Nova, Ílhavo, Portugal – Montagem. [Shell prototype in Costa Nova, Ílhavo, Portugal – Erection.](#)



Protótipo instalado na Costa Nova, Ílhavo, Portugal – Forma final. [Shell prototype in Costa Nova, Ílhavo, Portugal – Final form.](#)

pré-fabricados, assegurando o comportamento monolítico da casca sob diferentes solicitações, analisando o seu comportamento no plano e fora do plano; (v) o desenvolvimento de um sistema de pré-esforço interno, compatível com a espessura delgada da casca e capaz de garantir os estados limite último e de utilização para as combinações de ações relevantes; (vi) a análise numérica do comportamento estrutural sob a ação de cargas não uniformes e assimétricas; (vii) a análise do comportamento aerodinâmico, com estudo numérico - experimental, incluindo ensaios em modelos reduzidos em túnel de vento; (viii) a análise do comportamento sísmico, com estudo numérico - experimental, recorrendo a modelo à escala 1:3 ensaiado em mesa sísmica; e (ix) o projeto, produção, transporte e montagem de protótipo na Costa Nova, Ílhavo, Portugal.

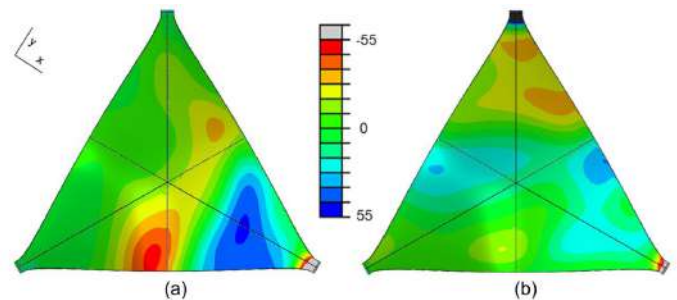
Mais informação: 'Casca ultrafinas pré-fabricadas em módulos de UHPC pré-esforçados', revista portuguesa de engenharia de estruturas, Série III, N. 23, Novembro 2023.

monolithic behaviour of the shell under different load conditions, with analysis of its in-plane and out-of-plane behaviour; (v) the development of an internal prestressing system compatible with the shell's slender thickness and capable of ensuring both ultimate and serviceability limit states for relevant load combinations; (vi) the numerical analysis of structural behaviour under non-uniform and asymmetric loads; (vii) the aerodynamic analysis, combining numerical and experimental studies, including wind tunnel tests on reduced-scale models; (viii) the seismic behaviour analysis, also combining numerical and experimental approaches, using a 1:3 scale model tested on a shaking table; and (ix) the design, production, transport, and assembly of a prototype in Costa Nova, Ílhavo, Portugal.

Detailed information: Special Theme 'Ultra-thin shells built using prefabricated UHPC modules and stabilised by post-tensioning', Structural Concrete journal, Vol. 26/4, August 2025.



Ensaio em mesa sísmica de um modelo à escala 1:3 da casca. [Shake table test on a 1:3 scale shell model.](#)



Momentos flectores devido à ação de neve excepcional e excêntrica. [Bending moments due to exceptional and eccentric snow load.](#)



Modelação numérica do efeito do vento. [Numerical modelling of the wind effect.](#)



Túnel de vento. [Wind tunnel.](#)

PREMOD-BUILD – Edifícios Modulares Pré-fabricados em Betão (Agenda R2UTechnologies)

PREMOD-BUILD – Precast Concrete Modular Buildings (R2UTechnologies Agenda)

COORDENAÇÃO LEADING INSTITUTION CERIS/IST-UL

PARCEIROS PARTNERS CIMPOR, LNEC, VIGOBLOCO

COORDENADOR(ES) COORDINATION Eduardo Júlio (PI), André Furtado (co-PI)

LÍDERES DAS ATIVIDADES ACTIVITIES' LEADERS IST-UL – Albano Sousa, Alexandra Alegre, Alexandre Bogas, Ana Paula Falcão, André Furtado, António Aguiar Costa, António Pereira Gonçalves, Eduardo Júlio, Francisco Teixeira Bastos, João Firmo, Jónatas Valença, José Silvestre, Marta Almeida, M. Glória Gomes; CIMPOR – Paulo Rocha; LNEC – António Bettencourt Ribeiro, António Correia, Paulo Candeias; VIGOBLOCO – Romain Sousa

FINANCIAMENTO FUNDING Plano de Recuperação e Resiliência / Recovery and Resilience Plan (Portugal 2030 / NextGenerationEU)

ORÇAMENTO BUDGET R2UTechnologies Total: 177 414 466,61 €; PREMOD-BUILD Total: 9 842 550,67 €; IST-UL: 2 892 627,03 €; CIMPOR: 802 857,82 €; LNEC: 1 670 302,10 €; VIGOBLOCO: 4 476 763,72 €

PERÍODO PERIOD 2022-2026

O projeto foi desenvolvido em estreita colaboração entre o IST-UL, a Vigobloco, a Cimpor e o LNEC, integrado na Agenda R2UTechnologies, liderada pela empresa DST e financiada pelo Programa de Recuperação e Resiliência (PRR). Teve como objetivo principal o desenvolvimento de uma solução inovadora de habitação modular (desde moradias unifamiliares até edifícios de seis andares), baseada integralmente em elementos pré-fabricados em betão.

Alicerçado em quatro pilares fundamentais – (P1) Beleza arquitetónica, (P2) Eficiência construtiva, (P3) Segurança estrutural e (4) Sustentabilidade ambiental, foi organizado em doze atividades complementares:

(A1) Arquitetura modular – desenvolvimento de soluções versáteis, adaptáveis a diferentes necessidades e contextualmente integradas, assegurando simultaneamente qualidade estética e funcional;

(A2) Novos betões – desenvolvimento com foco na sustentabilidade, durabilidade e desempenho mecânico;

(A3) Pré-fabricação de elementos estruturais – garantia de elevada qualidade, baseada na precisão dimensional e na otimização de processos industriais, garantindo rapidez e repetibilidade;

The project was developed in close collaboration between IST-UL, Vigobloco, Cimpor and LNEC, as part of the R2UTechnologies Agenda, led by the company DST and funded by the Recovery and Resilience Programme (PRR). Its main objective was to develop an innovative modular housing solution (ranging from single-family homes to six-storey buildings), based entirely on precast concrete elements.

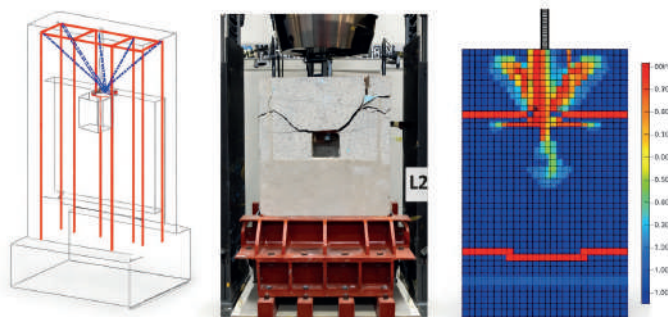
Founded on four fundamental pillars – (P1) Architectural beauty, (P2) Constructive efficiency, (P3) Structural safety, and (P4) Environmental sustainability – the project was organised into twelve complementary activities:

(A1) Modular architecture – development of versatile solutions, adaptable to different needs and contextually integrated, while ensuring both aesthetic and functional quality;

(A2) New concretes – development with a focus on sustainability, durability and mechanical performance;

(A3) Prefabrication of structural elements – ensuring high quality based on dimensional precision and optimisation of industrial processes, guaranteeing speed and repeatability;

16



Exemplos de habitações unifamiliares e multifamiliares. [Examples of single-family and multifamily housing.](#)

Ensaios para caracterização das ligações. [Tests for connections' characterization.](#)



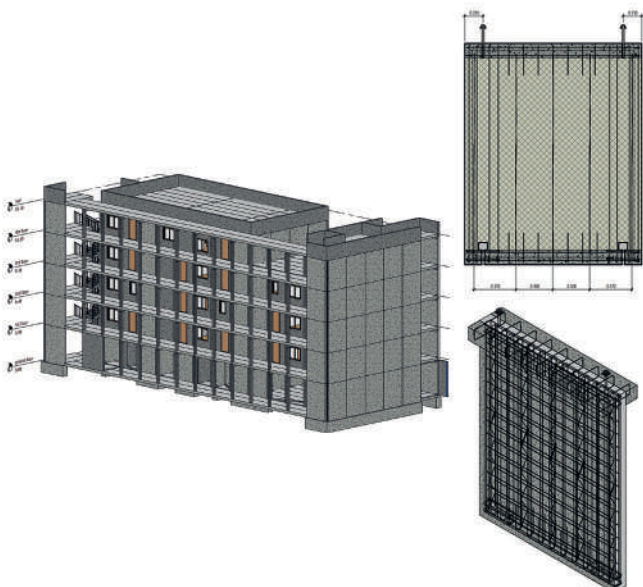
Ensaio para a caracterização da resistência de paredes pré-fabricadas aligeiradas com isolamento térmico. **Tests for strength characterization of insulated load-bearing walls.**



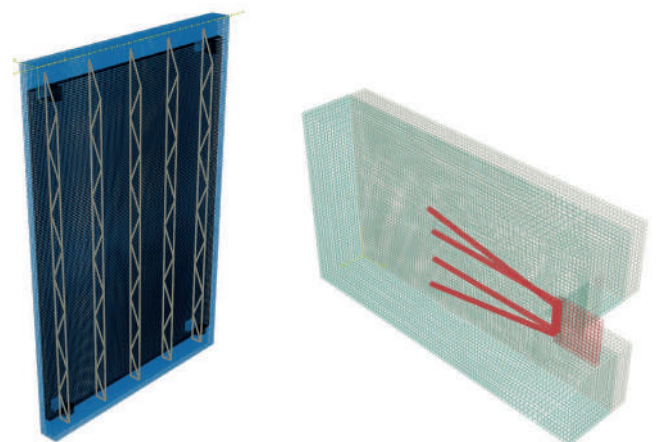
Ensaio para caracterização do comportamento sísmico de parede com ligação aparafusada. **Tests for characterization of the seismic behaviour of a wall with bolt connection.**

- (A4) Ligações mecânicas – conceção e validação, assegurando rapidez de montagem e desmontagem, compatibilidade dimensional e segurança estrutural;
- (A5) Segurança sísmica – desenvolvimento baseado no estudo numérico e experimental do comportamento dinâmico dos módulos e das ligações;
- (A6) Segurança ao fogo – desenvolvimento com especial atenção ao comportamento dos módulos e das ligações sob a ação do fogo, garantindo o cumprimento integral das exigências regulamentares;
- (A7) Controlo de qualidade avançado – recorrendo a automação e a técnicas de visão computacional para monitorização e verificação de elementos prefabricados;
- (A8) Conforto térmico – desenvolvimento de soluções de elevada eficiência energética, reduzindo os consumos associados ao aquecimento e arrefecimento das habitações;
- (A9) Conforto acústico – desenvolvimento de soluções assegurando níveis mínimos de transmissão sonora entre módulos e para o exterior;
- (A10) Modelo full-BIM – desenvolvimento de um modelo que permite a gestão integrada de todo o edifício;
- (A11) Qualidade do ar interior – desenvolvimento de soluções de monitorização e melhoria, e
- (A12) Sustentabilidade – Avaliação do ciclo de vida dos materiais e processos construtivos.

- (A4) Mechanical connections – design and validation to ensure fast assembly and disassembly, dimensional compatibility and structural safety;
- (A5) Seismic safety – development based on numerical and experimental studies of the dynamic behaviour of the modules and their connections;
- (A6) Fire safety – development with particular attention to the behaviour of modules and connections under fire exposure, ensuring full compliance with regulatory requirements;
- (A7) Advanced quality control – using automation and computer vision techniques for monitoring and verifying prefabricated elements;
- (A8) Thermal comfort – development of highly energy-efficient solutions, reducing heating and cooling demands in dwellings;
- (A9) Acoustic comfort – development of solutions ensuring minimum sound transmission levels between modules and to the exterior;
- (A10) Full-BIM model – development of a model enabling the integrated management of the entire building;
- (A11) Indoor air quality – development of monitoring and improvement solutions; and
- (A12) Sustainability – Life-cycle assessment of materials, construction processes and building operation.



Visão geral do modelo BIM. **General View of the BIM model.**



Caracterização da resistência ao fogo das paredes aligeiradas e das ligações. **Characterization of the fire resistance of the precast walls and the connections.**

STRAIN-VISION – Monitorização de Extensões em Laminados de CFRP Pré-Esforçados para Reforço de Elementos de Betão usando Visão por Computador

STRAIN-VISION – Strain Monitoring on Pre-Stressed CFRP Laminates for Reinforcement of Concrete Members using Computer Vision

COORDENAÇÃO LEADING INSTITUTION CERIS/IST-UL

PARCEIROS PARTNERS S&P – Clever Reinforcement Ibérica

CORDENADOR(ES) COORDINATION Jónatas Valença

EQUIPA TEAM IST-UL – André Araújo, António Costa, Eduardo Júlio, João Almeida, João Paulo Costeira, João Ramôa Correia, Jónatas Valença; S&P – Bruno Oliveira Santos, Cláudia Ferreira, Domingos Pereira, Filipe Dourado, Joana Pereira, Rui Colaço

FINANCIAMENTO FUNDING ANI, the Portuguese National Innovation Agency

ORÇAMENTO BUDGET Total: 263 064,96 €; IST-UL: 89 435,28 €; S&P: 173 629,68 €

PERÍODO PERIOD 2019-2023

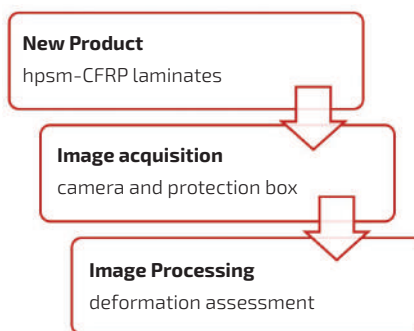
O reforço de elementos de betão armado com laminados de CFRP (Carbon Fiber-Reinforced Polymer) é uma técnica amplamente utilizada. É especialmente eficaz em vigas e lajes de grande vão quando se utilizam laminados pré-esforçados. Contudo, a medição direta da deformação imposta e a monitorização das perdas de pré-esforço ao longo do tempo representam um desafio. No projeto STRAIN-VISION foi desenvolvida uma solução inovadora e económica, utilizando visão por computador para medir deformações em laminados CFRP durante a aplicação do pré-esforço e em inspeções periódicas.

O sistema desenvolvido inclui três módulos principais:

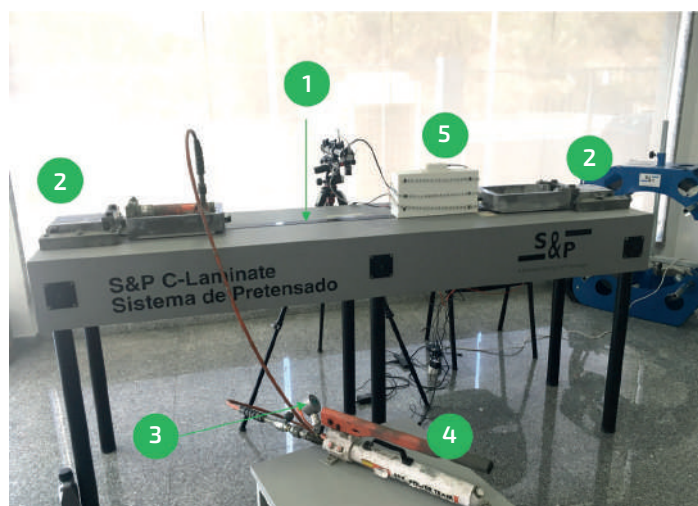
(i) um novo laminado CFRP de alta precisão (hpsm-CFRP); (ii) um equipamento de aquisição de imagem adaptado a diferentes cenários; e (iii) um processo de monitorização baseado em algoritmos de aprendizagem profunda. O sistema permite estimar a extensão instalada, aumentando significativamente a segurança e a fiabilidade com um custo adicional mínimo.

Os ensaios de calibração indicaram um erro médio quadrático (RMSE) de apenas 0,060 ‰, demonstrando elevada precisão. A abordagem adotada mostrou ser eficaz mesmo recorrendo a

Strengthening reinforced concrete elements with CFRP laminates is a widely adopted technique. It is particularly effective for long-span beams and slabs when prestressed laminates are used. However, direct measurement of the applied strain and monitoring of prestress losses over time remain challenging.

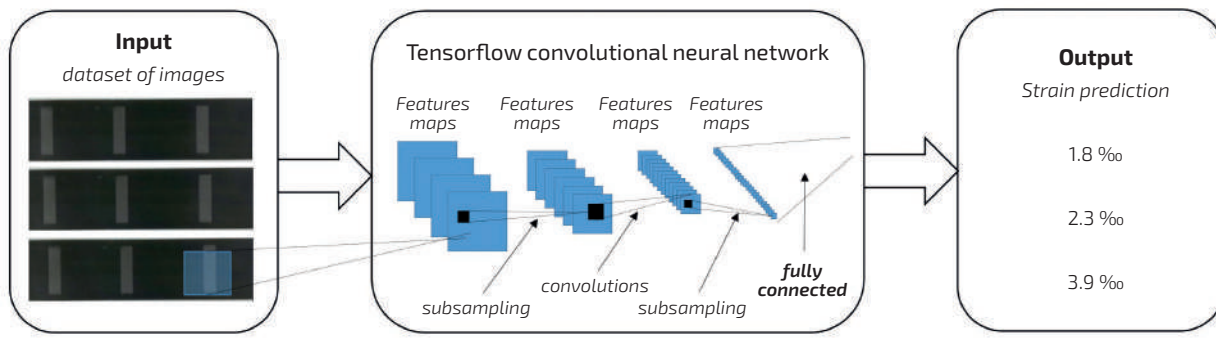


Strain Vision: módulos principais. [Strain Vision: main modulus.](#)



Strain Vision: ensaios de calibração – 1. Laminado hpsm-CFRP; 2. Mecanismo de encastramento; 3. Manómetro de pressão; 4. Macaco hidráulico; 5. Suporte e câmara; 6. Computador de controlo; 7. Régua milimétrica. [Strain Vision: calibration tests – 1. hpsm-CFRP laminate; 2. Anchor plates system; 3. Pressure manometer; 4. Hydraulic jacks system; 5. Suport and camera; 6. Control computer; 7. Millimeter ruler.](#)





Arquitetura de deep learning implementada. Deep learning architecture implemented.

imagens com ruído. O sistema foi aplicado numa situação real para validação, com um RMSE de 0,5 ‰.

As principais conclusões são: (i) os laminados hpsm-CFRP permitem a deteção de padrões codificados; (ii) a aquisição de imagem é crítica — a correspondência com as condições de treino melhora a precisão; (iii) os algoritmos implementados medem com sucesso a deformação durante a aplicação do pré-esforço com a precisão requerida.

Informação detalhada: <https://doi.org/10.3390/ma16051813>; <http://rpee.lnec.pt/> (serie III, n21).

In STRAIN-VISION, an innovative and cost-effective solution was developed, using computer vision to measure strain in CFRP laminates during the prestress application and periodic inspections.

The system comprises three core modules: (i) a new high-precision CFRP laminate (hpsm-CFRP); (ii) a tailored image acquisition equipment for various scenarios; and (iii) a monitoring process based on deep learning algorithms. This system enables estimation of the deformation installed, significantly enhancing both safety and reliability with a minimal additional cost.

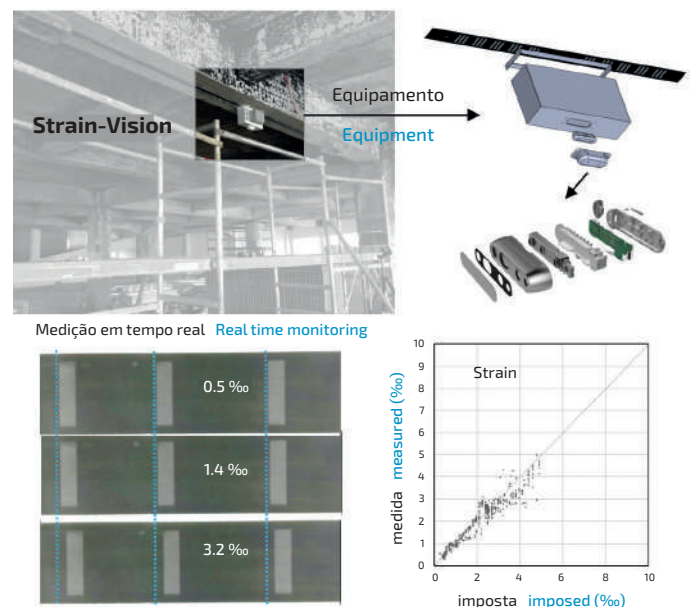
Calibration tests indicated a Root Mean Square Error (RMSE) of just 0,060 ‰, demonstrating high precision. The deep learning approach proved robust even when noisy images are used. The system was applied in a real situation for validation, with an RMSE of 0,5 ‰.

Key findings include: (i) hpsm-CFRP laminates allow detection of coded patterns; (ii) image acquisition is critical—matching training conditions improves accuracy; (iii) the implemented algorithms successfully measure strain during prestress application with the required precision.

Detailed information: <https://doi.org/10.3390/ma16051813>; <http://rpee.lnec.pt/> (serie III, n21).



Ensaio de validação em vigas de betão armado com 7 metros de vão. Validation tests on reinforced concrete beams with a 7-meter span.



Strain Vision: ensaio de validação. Strain Vision: validation test.

Efeitos de Cargas Explosivas em Edifícios e Ocupantes

B0008/2025: Identificação e avaliação do desempenho de ferramentas de cálculo acelerado por GPU no campo do CFD e desenvolvimento de algoritmos de cálculo (AMIDA-UT); B0038/2023: Estudo de viabilidade da geração automática de malhas estruturais e efeitos das explosões

Blast Loading Effects on Buildings and Occupants

B0008/2025: Identification and assessment of the performance of GPU-accelerated calculation tools in the field of CFD and development of calculation algorithms (AMIDA-UT); B0038/2023: Feasibility study of automatic generation of structural meshes and the effects of explosions

COORDENAÇÃO LEADING INSTITUTION CERIS/NOVA FCT

PARCEIROS PARTNERS NOVA LINCS

COORDENADOR(ES) COORDINATION Corneliu Cismasiu (PI), Válder José da Guia Lúcio (Co-PI)

EQUIPA TEAM NOVA FCT – António Ramos, Amanda Rodrigues, Carlos Chastre, Corneliu Cismasiu, Fernando Birra, Fernando Pinho, Filipe dos Santos, Ildi Cismasiu, João Magalhães, José Silva Ferreira, Nourhan Shaker, Nuno Marques, Rui Nóbrega, Sofia Monteiro, Válder Lúcio; Academia Militar – Hugo Rebelo

FINANCIAMENTO FUNDING Exército Português / Portuguese Army

ORÇAMENTO BUDGET NOVA.ID - B0008/2025: 270 600,00 €; B0038/2023: 143 000,00 €

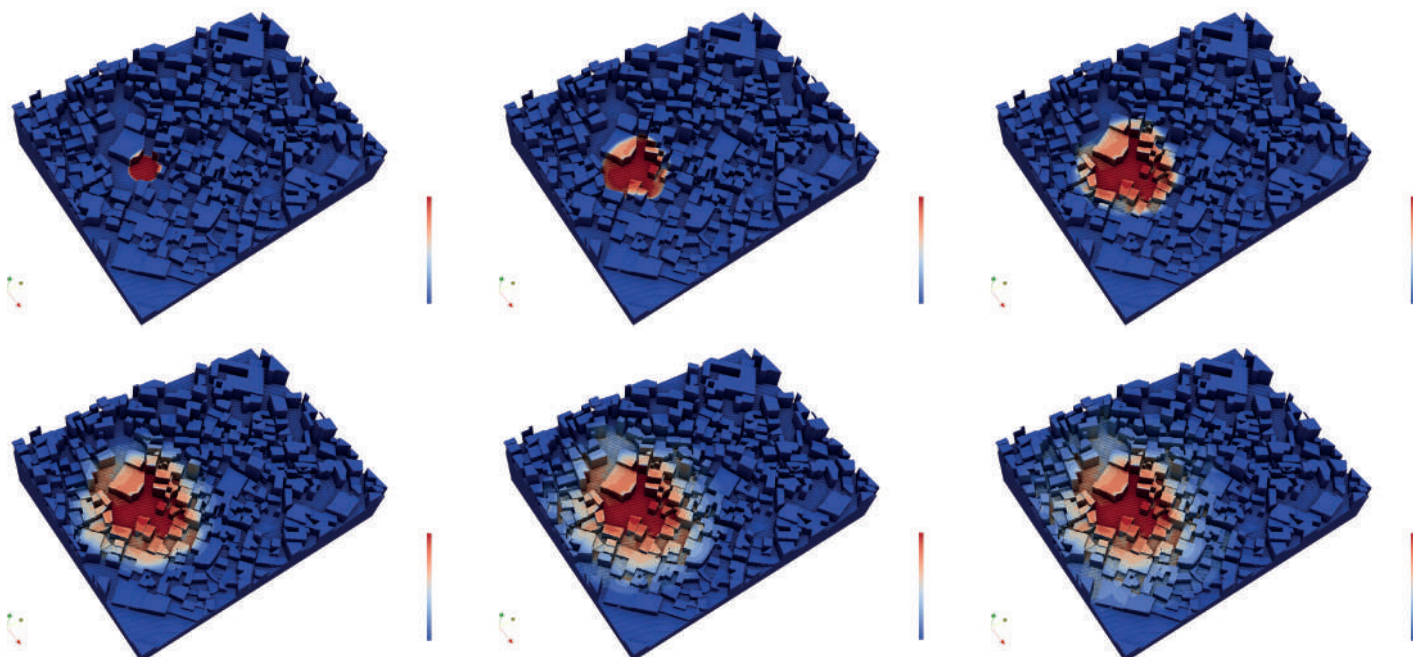
PERÍODO PERIOD 2025-2028 (B0008/2025); 2023-2025 (B0038/2023)

O projeto exploratório visa desenvolver o sistema AMIDA-UT, focado na segurança urbana através de uma abordagem multifacetada. Os principais objetivos delineados no caderno de encargos são:

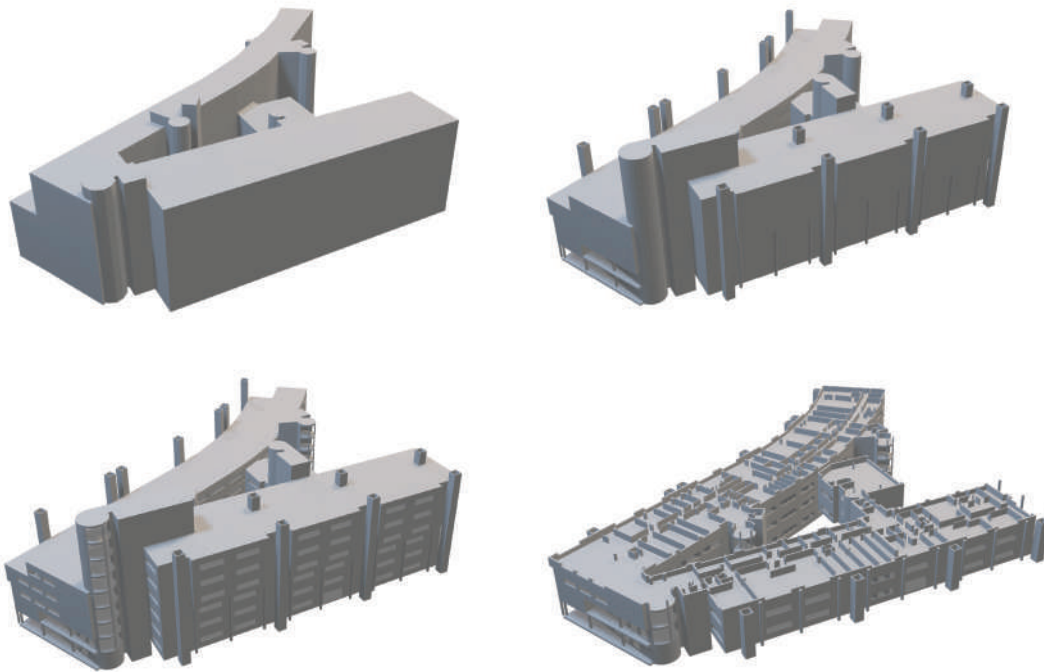
RO1 - Geração Automática de Malhas Estruturais: Desenvolver um sistema para criar automaticamente modelos 3D detalhados de edifícios a partir de dados georreferenciados. Este sistema permitirá a parametrização flexível de materiais e dimensões, edição manual e importação de modelos, gerando malhas estruturais precisas para análises avançadas.

The exploratory project aims to develop the AMIDA-UT system, focused on urban security through a multifaceted approach. The main objectives outlined in the terms of reference are:

RO1 – Automatic Generation of Structural Meshes: Develop a system to automatically create detailed 3D models of buildings from georeferenced data. This system will allow flexible parameterization of materials and dimensions, manual editing, and model import, generating accurate structural meshes for advanced analyses.



Exemplo de explosão numa zona densamente edificada: propagação do dano em edifícios de alvenaria simples. Example of an explosion in a densely built-up area: propagation of damage in simple masonry buildings



Níveis de pormenorização diferentes na modelação de um edifício de betão armado. [Different levels of detail in the modeling of a reinforced concrete building.](#)

R02 - Efeitos de Explosões em Elementos Estruturais e Não Estruturais: Avaliar os impactos de explosões em estruturas edificadas, combinando simulações CFD avançadas (aceleradas por GPU) com análises de danos. Inclui a criação de ferramentas para avaliar danos em componentes (como vidros) e quantificar riscos para os ocupantes, garantindo rigor técnico e usabilidade por não especialistas.

R02 – Effects of Explosions on Structural and Non-Structural Elements: Assess the impacts of explosions on built structures by combining advanced CFD simulations (GPU-accelerated) with damage analyses. This includes creating tools to assess damage to components (such as glass) and to quantify risks to occupants, ensuring technical rigor and usability for non-specialists.

R03 - Efeitos Resultantes de Fragmentação Primária: Analisar exaustivamente os efeitos de fragmentação de projéteis e bombas, estudando a distribuição espacial, massa e velocidade dos fragmentos. O objetivo é desenvolver métodos preditivos para avaliar a capacidade de penetração em diversos materiais (betão, aço, etc.), criando modelos robustos para antecipar efeitos destrutivos.

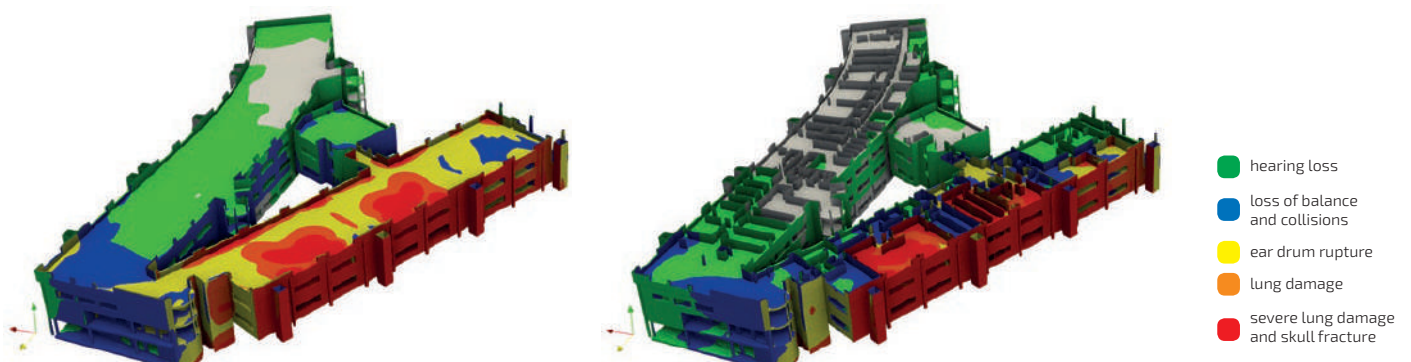
R03 – Effects Resulting from Primary Fragmentation: Thoroughly analyze the fragmentation effects of projectiles and bombs, studying the spatial distribution, mass, and velocity of fragments. The goal is to develop predictive methods for evaluating penetration capability in various materials (concrete, steel, etc.), creating robust models to anticipate destructive effects.

R04 - Outros Aspectos (Demonstrador): Desenvolver uma interface intuitiva para gerir o fluxo de trabalho, desde a localização de eventos de explosão até à visualização de resultados. O sistema será flexível, permitindo a configuração de novas substâncias explosivas e a gestão de uma biblioteca de munições pré-definidas, com documentação completa para assegurar precisão e usabilidade.

R04 – Other Aspects (Demonstrator): Develop an intuitive interface to manage the workflow, from locating explosion events to visualizing results. The system will be flexible, allowing configuration of new explosive substances and management of a library of predefined munitions, with complete documentation to ensure accuracy and usability.

Mais informação: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2025.120534>;
https://doi.org/10.1007/978-3-031-23888-8_9;
<https://doi.org/10.3390/buildings13030601>;
<https://doi.org/10.1177/20414196231183006>.

More information: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2025.120534>;
https://doi.org/10.1007/978-3-031-23888-8_9;
<https://doi.org/10.3390/buildings13030601>;
<https://doi.org/10.1177/20414196231183006>.



Lesões humanas provocadas por uma explosão dentro de um edifício. [Blast induced human injuries inside a building.](#)

ERIES-RecycleSlab – Comportamento Estrutural de lajes fungiformes com capitel em betão armado com agregados reciclados sob ações sísmicas e cíclicas

ERIES-RecycleSlab – Structural behaviour of recycled aggregate reinforced concrete flat slabs with drop panels under seismic and cyclic actions

COORDENAÇÃO LEADING INSTITUTION CERIS/NOVA FCT

PARCEIROS PARTNERS c5Lab, Imperial College London, HOLCIM Italia, IST-UL, Joint Research Centre, Politecnico di Milano, STUBA, Universidad Politécnica de Madrid

COORDENADOR(ES) COORDINATION António Ramos

EQUIPA TEAM NOVA FCT – António Ramos, Carla Marchão, Rui Marreiros; c5Lab – Francisco Capucha; Imperial College London – Lorenzo Macorini, Robert Vollum; HOLCIM Italia – Antonio Riggio, Leonardo Covotta, Luciano Nuccio, Massimo Perizzolo, Uriel Cinti; IST-UL: João Pacheco, Jorge de Brito; JRC – Georgios Tsionis, Marco Lamperti, Marco Peroni; Politecnico di Milano – Dario Coronelli, Fausta Fiorillo, GianPaolo Rosati, Luca Martinelli, Monica Lavagna; STUBA – Jaroslav Halvonik, Katarína Gajdošová; Universidad Politécnica de Madrid – Alejandro Enfedaque Díaz, Miguel Fernández Ruiz

FINANCIAMENTO FUNDING ERIES – Engineering Research Infrastructures for European Synergies, Transnational Access (TA) User Project under the ERIES project HORIZON-INFRA-2021-SERV-01-07 (Ref. 101058684)

PERÍODO PERIOD 2023-2026

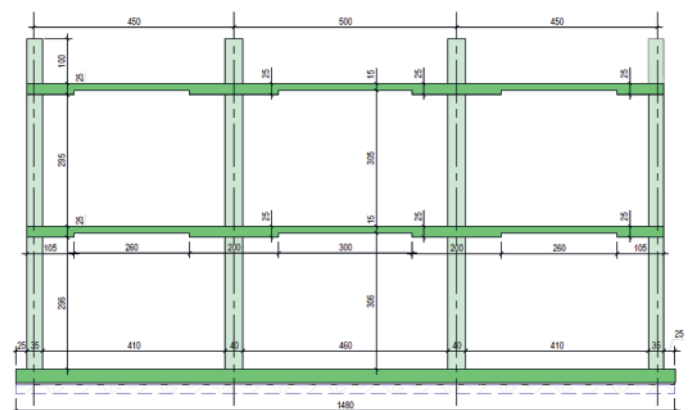
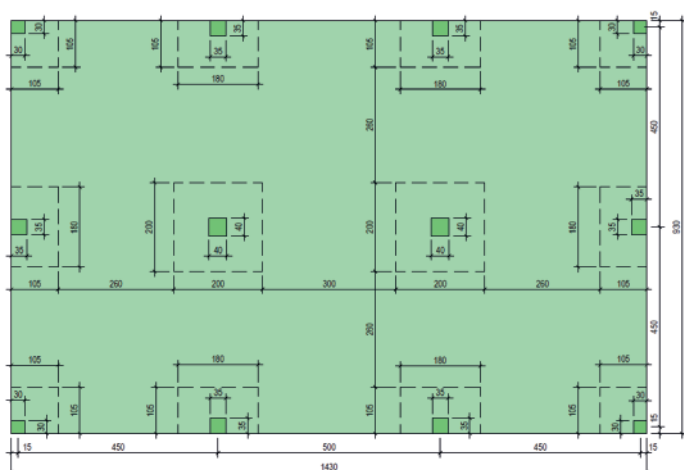
O objetivo do projeto RecycleSlab consiste em estudar o comportamento de lajes fungiformes com capiteis, produzidas com betão contendo agregado grosso reciclado de betão (CRCAC), quando sujeitas à atuação combinada de cargas gravíticas e horizontais, a uma escala representativa de estruturas reais. Estes ensaios serão os primeiros ensaios pseudodinâmicos e cíclicos realizados a nível mundial em lajes fungiformes de CRCAC. Nas últimas décadas, a tipologia estrutural dominante em edifícios e parques de estacionamento tem sido a laje fungiforme. Apesar das suas vantagens arquitetónicas decorrentes da face inferior plana, o consumo de materiais inerente a esta solução é elevado e estruturalmente pouco eficiente quando comparado com soluções com capiteis, resultando assim num impacto ambiental não justificável.

The goal of RecycleSlab (a Transnational Access project) is to study the response of flat slab floors with drop panels at a large scale (representative of real structures), made with concrete with coarse recycled concrete aggregate (CRCAC), under combined gravity and lateral loads. It will be the world's first pseudo-dynamic and cyclic tests on CRCAC flat slabs and methodologies for safety checking will be proposed for implementation in design codes.

In the last decades, the dominant structural typology with respect to buildings and parking garages has been flat slabs in ordinary concrete. Despite its architectural advantages due to a flat soffit, the material consumption of this type of structure, compared with the use of drop panels, is highly inefficient and thus associated to a non-justified environmental impact.

Slabs are the main portion of the total concrete volume used in a building and are a prime candidate for structural use of CRCAC. However, there are few studies on the punching behaviour of flat slabs made with CRCAC under gravity loading, hindering its practical

22



Geometria do edifício - vista superior e vista lateral. [Building geometry - top view and side view.](#)

As lajes representam a maior parcela do volume total de betão utilizado num edifício, constituindo uma oportunidade preferencial para a aplicação estrutural CRCAC. No entanto, existem ainda poucos estudos sobre o comportamento ao punçoamento de lajes fungiformes produzidas com CRCAC sob ação de cargas gravíticas, o que limita a sua implementação prática. Acresce que não existem estudos conhecidos sobre o comportamento sísmico desta tipologia estrutural, aspeto de elevada relevância em zonas com sismicidade moderada a elevada.

Dado que a motivação central do projeto reside na análise e demonstração de soluções estruturais eficientes em termos de uso de recursos e desempenho, será realizada uma análise ambiental recorrendo a uma Avaliação Comparativa do Ciclo de Vida (ACV). Esta ACV comparará os impactes ambientais relativos à produção do protótipo experimental (com CRCAC e capiteis) com os de uma solução convencional de laje fungiforme com desempenho estrutural equivalente. A análise permitirá quantificar a potencial redução da pegada de carbono associada ao uso combinado de capiteis e agregados reciclados. A investigação desenvolvida tem como prioridade a segurança dos utilizadores, assim como a economia e a sustentabilidade ambiental da indústria da construção.



Edifício em laje fungiforme com capiteis durante os ensaios pseudo-dinâmicos. **Flat slab building with drop panels during pseudo-dynamic tests.**

use. Furthermore, no studies exist on the seismic behaviour of CRCAC flat slabs, which is a subject of special importance in moderate to intense seismic areas.

Since the motivation of the project is the analysis and demonstration of structural-and resource-efficient flat slab system, an environmental analysis will be carried out through comparative life cycle assessment (LCA). This LCA will compare the environmental impacts of the production of the prototype to be tested (made with CRCAC and drop panels) with that of a conventional flat slab system designed with similar structural behaviour. This LCA will be used to quantify the potential reduction of the carbon footprint of the flat slab system associated with the use of drop panels and recycled aggregates. This research is focused on the safety of people, on the economy and sustainability of the construction industry.



Ligação de bordo pilar-laje. **Edge slab-column connection.**



Pormenor da célula de carga de um pilar de canto. **Corner column load cell detail.**

HiPerSlab – Melhoria do Comportamento Estrutural de Lajes Fungiformes Sujeitas a Ações Horizontais Cíclicas e Sísmicas Através da Utilização Racional de Betões de Elevado Desempenho Reforçados com Fibras

HiPerSlab – Enhancement of the Structural Behaviour of Flat Slabs under Cyclic and Seismic Actions through the Rational Use of High-Performance Fibre Reinforced Concrete

COORDENAÇÃO LEADING INSTITUTION CERIS/NOVA FCT

PARCEIROS PARTNERS FEUP, IST-UL

COORDENADOR(ES) COORDINATION António Ramos (PI), Válder Lúcio (co-PI)

EQUIPA TEAM NOVA FCT – Brisid Isufi, Carla Marchão, Micael Inácio, Nuno Gouveia, Rui Marreiros; FEUP – Aurélio Sine, Carlos Sousa, Mário Pimentel, Sandra Nunes; IST-UL – Eduardo Júlio, João Almeida, Jónatas Valença

FINANCIAMENTO FUNDING FCT – Portuguese Foundation for Science and Technology

ORÇAMENTO BUDGET Total: 230 997 €; NOVA FCT: 166 497 €; FEUP: 43 325 €; IST-UL: 21 175 €

PERÍODO PERIOD 2018-2022

Este projeto teve como principal objetivo aprofundar o conhecimento relativo ao comportamento de lajes fungiformes, recorrendo à utilização racional de HPFRC (High-Performance Fibre Reinforced Concrete) e UHPFRC (Ultra High-Performance Fibre Reinforced Concrete).

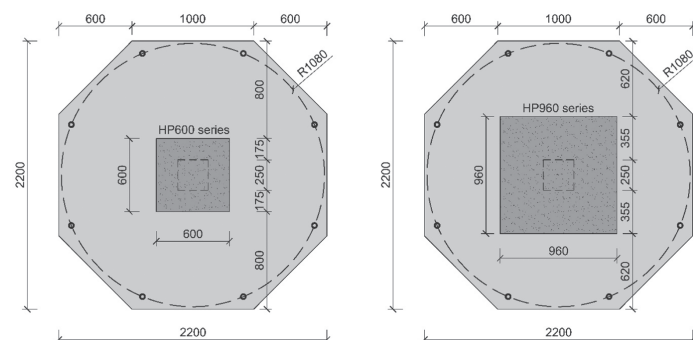
Estes materiais de elevado desempenho apresentam maior durabilidade e resistência mecânica, quando comparados com o betão de resistência normal (NSC), permitindo a execução de estruturas mais esbeltas e eficientes estruturalmente. Associada à maior eficiência estrutural, a sua aplicação possibilita uma redução do consumo de matérias-primas, contribuindo assim para a mitigação do impacto ambiental associado ao processo construtivo. Considerando que se trata de materiais com custos superiores aos do NSC, torna-se igualmente fundamental estudar a sua aplicação otimizada e economicamente racional. Neste enquadramento, uma das estratégias analisadas consistiu na utilização localizada de HPFRC/UHPFRC nas zonas críticas de ligação laje-pilar, mantendo o restante volume da laje em NSC, de forma a maximizar a eficiência estrutural e minimizar o impacto económico, potenciando simultaneamente a competitividade destes materiais.

This project aimed to increase knowledge about the behavior of flat slabs with the rational use of HPFRC (High-Performance Fibre Reinforced Concrete) and UHPFRC (Ultra High-Performance Fibre Reinforced Concrete).

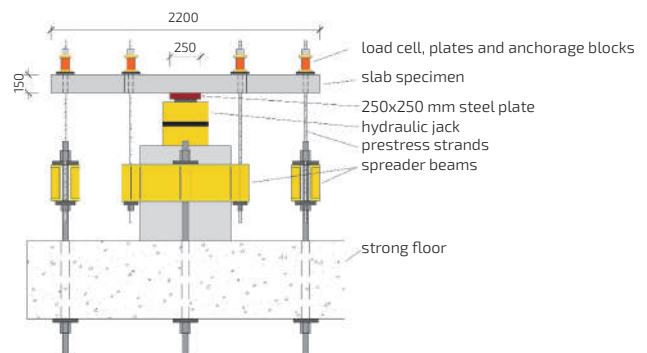
These high-performance materials present higher durability and mechanical resistance when compared to Normal Strength Concrete (NSC), enabling the design of slender, lightweight, elegant, and efficient structures. Another innovative aspect of using these materials, associated with leaner structures, is the use of smaller quantities of raw materials in their manufacture, resulting in less environmental impact.

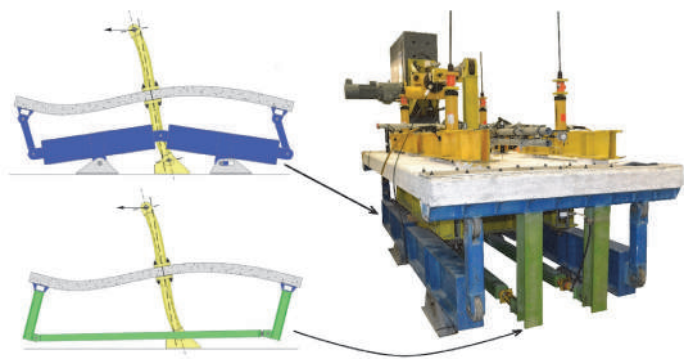
However, insufficient established design rules have been obstacles to a larger use of HPFRC and UHPFRC in structural design. Being more expensive materials, when compared to NSC, it is also imperative to study their rational structural use. One of our objectives was the use of HPFRC and UHPFRC in localized areas at the slab-column connection, being the remaining slab cast with NSC. This way, the economic impact of using the HPFRC/UHPFRC can be minimized and its competitiveness enhanced.

24

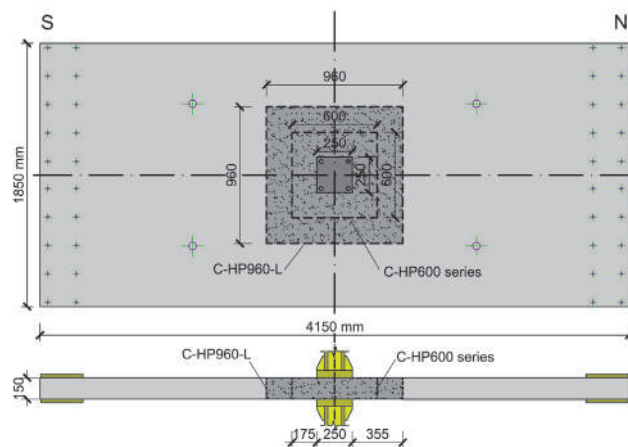


Geometria e sistema para ensaios monotónicos. [Geometry and setup for monotonic tests.](#)





Sistema para ensaios cíclicos. [Setup for the cyclic tests.](#)



Geometria das lajes para ensaios cíclicos. [Slab geometry for the cyclic tests.](#)

As estruturas constituídas por lajes fungiformes são comuns em edifícios comerciais, de serviços e habitacionais, tanto em Portugal como internacionalmente. Contudo, o conhecimento relativo ao seu comportamento sob ações gravíticas e sísmicas permanece insuficientemente consolidado, nomeadamente no que respeita à rigidez da ligação laje-pilar e à natureza frágil do mecanismo de rotura por punçoamento.

Numa fase preliminar, foram realizados ensaios de punçoamento em ligações laje-pilar sujeitas a carregamento vertical monotónico, com o objetivo de avaliar os benefícios estruturais resultantes de diferentes configurações geométricas e da aplicação localizada de HPFRC/UHPFRC. Subsequentemente, foram conduzidos ensaios adicionais com ações horizontais cíclicas reversíveis até à rotura, mantendo a carga vertical constante, com vista a aprofundar o conhecimento sobre o desempenho destas estruturas perante deformações induzidas por ação sísmica.

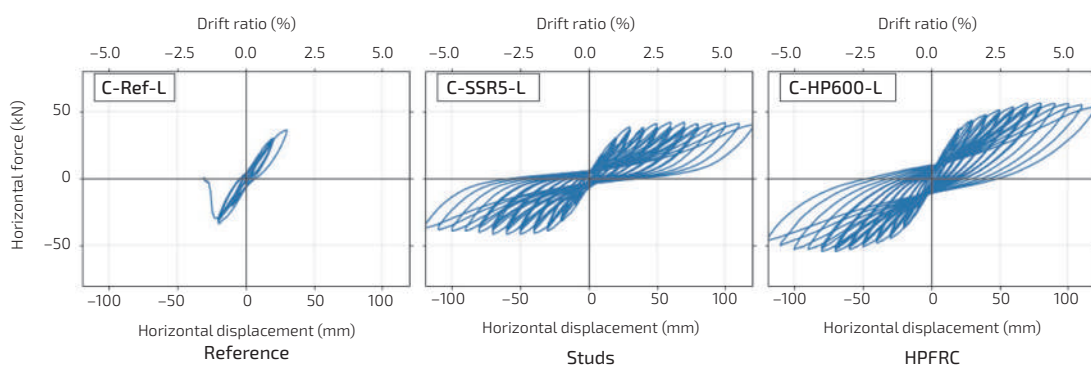
Este trabalho foi orientado pela premissa fundamental de reforçar a segurança dos utilizadores e aumentar a eficiência e sustentabilidade económica do setor da construção.

Flat slab buildings for commercial, office and residential use are a common solution in Portugal, as well as in many other countries. Nevertheless, its behavior under gravity and seismic actions is still not very well understood by the scientific community, especially the lack of knowledge about the stiffness of the slab-column connection and the brittleness of the punching failure.

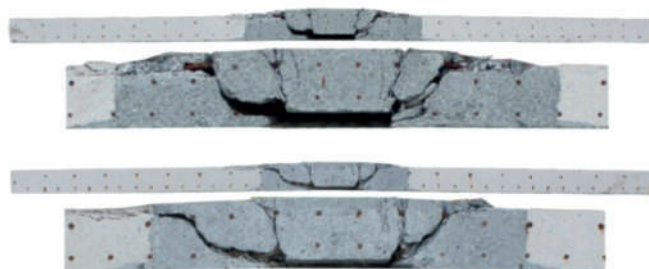
In a preliminary phase some punching tests of flat slab-column connections under vertical monotonic loading were performed, to assess the potential benefits of different geometry layouts, with the localized and rational use of HPFRC/UHPFRC.

Afterwards, some more tests were performed under reversed cyclic horizontal actions until failure, while keeping a constant vertical load, to better understand the behavior of this kind of structures under earthquake induced deformations.

The research was strong-minded in the safety of people and in the economy of the construction industry.



Relação entre carga horizontal e deslocamentos. [Horizontal load – displacement \(drift ratio\) relationships.](#)



Corte das lajes: roturas por punçoamento. [Slabs saw-cut: punching failures.](#)

PROTEDES – Proteção de Edifícios Estratégicos contra os Efeitos das Explosões

PROTEDES – Protection of Strategic Buildings against Blast Actions

COORDENAÇÃO LEADING INSTITUTION CERIS/NOVA FCT

PARCEIROS PARTNERS Estado-Maior do Exército, IST-UL

COORDENADOR(ES) COORDINATION Válter Lúcio (PI), Corneliu Cismasiu (co-PI)

EQUIPA TEAM NOVA FCT – Ana Gião, António Ramos, Carlos Chastre, Corneliu Cismasiu, Eduardo Cavaco, Fernando Pinho, Filipe Amarante dos Santos, Ildi Cismasiu, Peiman Ghaderi, Válter Lúcio; Estado-Maior do Exército – Gabriel Gomes, Hugo Rebelo, João Conceição, João Marques, Pedro Basto; IST-UL – Eduardo Júlio, José Oliveira Pedro

FINANCIAMENTO FUNDING FCT – Portuguese Foundation for Science and Technology

ORÇAMENTO BUDGET Total: 239 538,34 €; NOVA FCT: 187 994,69 €; Estado-Maior do Exército: 22 825,00 €; IST-UL: 28 718,65 €

PERÍODO PERIOD 2018–2022

O principal objetivo deste projeto é contribuir para o desenvolvimento de soluções estruturais que possam aumentar a segurança dos edifícios, e de outras infraestruturas, contra explosões. Foram conduzidos estudos experimentais, numéricos e analíticos para avaliar a resposta estrutural a cargas de explosão ou para avaliar o desempenho estrutural de diferentes técnicas de proteção e reforço.

A capacidade de proteger as infraestruturas críticas e os recursos essenciais é vital para a segurança nacional, a saúde e a segurança públicas, a vitalidade económica e o modo de vida. Por outro lado, os edifícios industriais, como refinarias, petroquímicas e instalações pirotécnicas, são também vulneráveis a explosões acidentais. Este projeto adotou uma abordagem multifacetada e integrada para a segurança, proteção e reforço de edifícios estratégicos contra explosões. Visava desenvolver soluções de proteção para infraestruturas críticas e recursos essenciais. Estes objetivos foram alcançados através de um projeto estrutural inovador, modelação numérica e ensaios com explosivos à escala real, realizados no Campo Militar de Santa Margarida e no Campo INTA "La Marañosa", em Madrid. As conclusões, recomendações e ferramentas desenvolvidas podem integrar o sistema de apoio à decisão para uma melhor preparação dos líderes locais ou governamentais, técnicos e equipas de emergências. A investigação abordou simultaneamente quatro áreas de investigação, que foram incluídas num manual: robustez de estruturas, proteção estrutural de edifícios sujeitos a explosões, reforço estrutural de edifícios e

The main objective of this project is to contribute to the development of protective concrete structural solutions that might increase the safety of buildings and other infrastructures. Experimental, numerical, and analytical studies were conducted either to evaluate the concrete structural response to blast loading or to assess the structural performance of different protective and strengthening techniques.

The ability to protect critical infrastructures and key resources is vital for national security, public health and safety, economic vitality, and way of life. On the other hand, industrial buildings, such as refineries, petrochemicals, and pyrotechnic facilities, are also vulnerable to accidental loads.

This Project took a multi-pronged and integrated approach to safety, protection, and strengthening of strategic buildings to blast actions. It aimed to develop protection solutions for critical infrastructure and key resources. These purposes were achieved through innovative structural design, numerical simulation and modelling, and full-scale blast tests, performed at the



Ensaio de paredes de alvenaria com proteção contra estilhaços no Campo Militar de Sta Margarida. **Testing of masonry walls with protection against fragmentation at the Sta Margarida Military Camp.**



Aspecto final da parede de alvenaria, com proteção contra estilhaços, após a explosão. **Final look of the masonry wall, with protection against fragmentation, after the explosion.**



Ensaio, com explosivos, de paredes fachada em betão armado com dissipadores de energia, realizado no Campo INTA "La Marañosa", em Madrid. [Testing, using explosives, of reinforced concrete facade walls with energy dissipators, performed at INTA Campus "La Marañosa", Madrid.](#)



Paredes fachada em betão armado com dissipadores de energia, no Campo INTA "La Marañosa", em Madrid. [Reinforced concrete facade walls with energy dissipators, at INTA Campus "La Marañosa", Madrid.](#)

desenvolvimento de medidas de controlo de danos para edifícios sob ações de explosão. O projeto contou com a colaboração das seguintes empresas: CONCREMAT S.A., SECIL Portugal, LINE-X, e ORICA S.A..

Mais informação:

- [Development of a high-performance blast energy-absorbing system for building structures. International Journal of Protective Structures. 2024, Vol. 15\(3\) 484–508; doi:10.1177/20414196231183006.](#)
- [Explosive energy dissipation connector - European Patent Office, EP 4 202 350 A1, Publicado em 28/06/2023, Bulletin 2023/26.](#)

Sta Margarida Military Campus and at INTA Campus "La Marañosa", San Martín de la Vega, Madrid. The findings, recommendations, and tools derived can become part of the decision support system for better preparedness for local or governmental leaders, technicians, and emergency responders. The research simultaneously addressed four research areas, which were included in a Design Guideline manual: robustness of structures, structural protection of buildings under the blast, structural strengthening of buildings for blast actions, and development of damage control measures for buildings under blast loading. The Project included the collaboration of the following companies: CONCREMAT S.A., SECIL Portugal, LINE-X, and ORICA S.A..



Muros em T, com proteção e dissipadores de energia, ensaiados no Campo INTA "La Marañosa", em Madrid. [T-walls, with protection and energy dissipators, tested at INTA Campus "La Marañosa", Madrid.](#)



Dissipadores de energia, dos muros em T, plastificados pela explosão após a explosão, no Campo INTA "La Marañosa", em Madrid. [Energy dissipators, of the T-walls, plasticised after the explosion, at INTA Campus "La Marañosa", Madrid.](#)

More information:

- [Development of a high-performance blast energy-absorbing system for building structures. International Journal of Protective Structures. 2024, Vol. 15\(3\) 484–508; doi:10.1177/20414196231183006.](#)
- [Explosive energy dissipation connector - European Patent Office, EP 4 202 350 A1, Published on 28/06/2023, Bulletin 2023/26.](#)

SCC-SMARTI – Sensores de betão com carbono para infraestruturas rodoviárias inteligentes

SCC-SMARTI – Smart carbon-concrete sensors for intelligent road infrastructures

COORDENAÇÃO LEADING INSTITUTION CERIS/UAveiro

PARCEIROS PARTNERS RWTH Aachen University

COORDENADOR(ES) COORDINATION Paulo Cachim (PI), Joaquim Macedo (co-PI)

EQUIPA TEAM UAveiro – André Monteiro, Emanuel Pereira, José Neto, Nathalia Siqueira; RWTH Aachen University – Markus Oeser

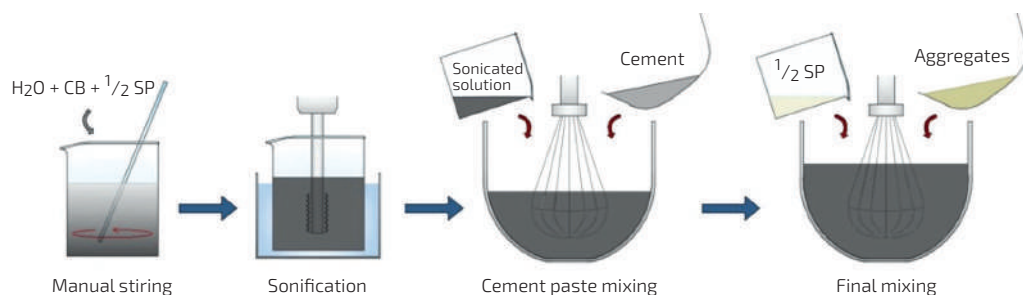
FINANCIAMENTO FUNDING FCT – Portuguese Foundation for Science and Technology

ORÇAMENTO BUDGET Total: 99 948,00 €

PERÍODO PERIOD 2018-2026

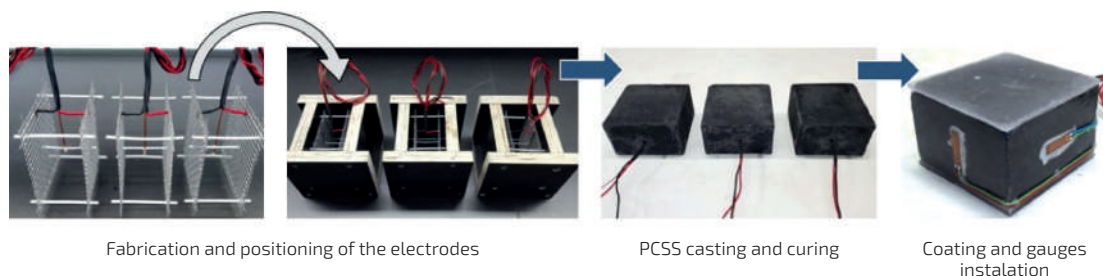
As infraestruturas inteligentes representam uma mudança significativa na forma de conceber, gerir e otimizar os sistemas que sustentam as sociedades modernas, promovendo maior eficiência, sustentabilidade e capacidade de resposta. Uma aplicação relevante é nas estradas e parques de estacionamento, onde redes de sensores, análise de dados em tempo real e ferramentas de IA permitem uma gestão dinâmica, aumentando a segurança, otimizando o tráfego e reduzindo congestionamentos. Para o funcionamento eficaz destes sistemas, a monitorização em tempo real é essencial. No entanto, os sistemas tradicionais, baseados em sensores externos à estrutura, apresentam limitações como custos elevados, problemas de interface e incompatibilidades. Os avanços recentes na nanotecnologia possibilitaram o desenvolvimento de betões auto-sensores, abrindo novas perspetivas para a monitorização estrutural. Este projeto tem como objetivo o desenvolvimento de sensores inteligentes de betão-carbono para a gestão e monitorização de infraestruturas rodoviárias. Estes sensores exploram as

Smart infrastructures represent a significant shift in the way the systems that support modern societies are conceived, managed, and optimized, promoting greater efficiency, sustainability, and responsiveness. A particularly relevant application is in roads and parking facilities, where sensor networks, real-time data analysis, and AI-based tools enable dynamic management, enhancing safety, optimizing traffic flow, and reducing congestion. For these systems to operate effectively, real-time monitoring is essential. However, traditional monitoring systems, typically based on sensors external to the structure, present limitations such as high costs, interface issues, and compatibility problems. Recent advances in nanotechnology have enabled the development of self-sensing concretes, opening new perspectives for structural health monitoring. The aim of this project is the development of smart carbon-concrete sensors for the management and monitoring of road infrastructures. These sensors exploit the electrical properties of concrete when carbon black (CB) is incorporated into the mix,

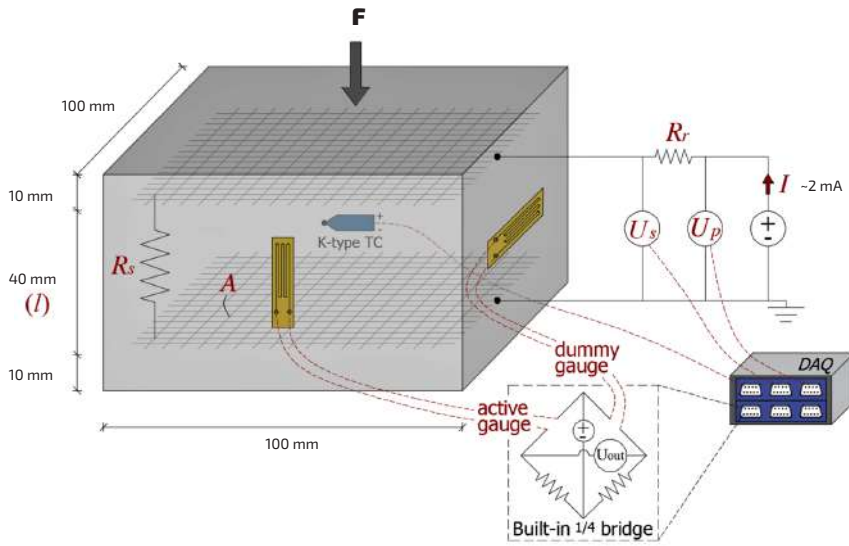


Procedimento de mistura. [Mixing procedure.](#)

28



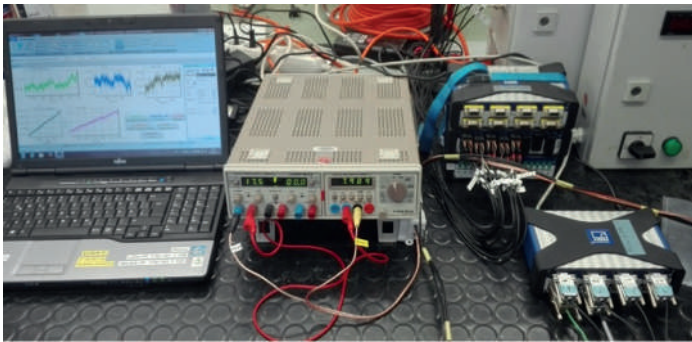
Preparação dos provetes. [Sample preparation.](#)



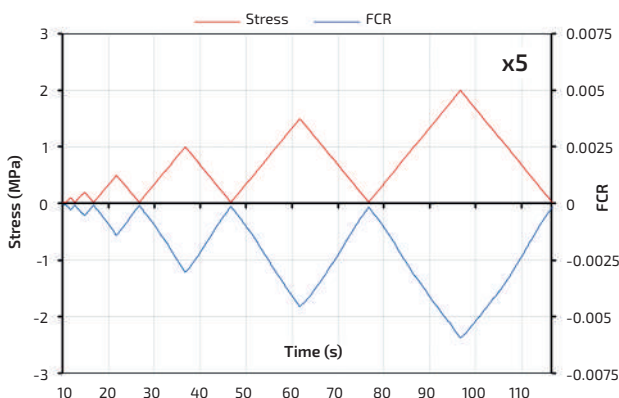
Esquema elétrico. [Electrical scheme.](#)

propriedades elétricas do betão quando é incorporado negro de fumo (CB) na mistura, resultando em compósitos cimentícios condutivos capazes de detetar esforços mecânicos. Os sensores baseiam-se no princípio da piezorresistividade, integrando um filler condutor de CB. Foram realizados ensaios com ciclos de carregamento de amplitude variável, em condições quase-estáticas e dinâmicas, e a temperaturas entre 15 °C e 45 °C, com teores de CB entre 4 % e 10 % da massa de cimento. Os resultados demonstraram respostas piezorresistivas lineares e reversíveis, adequadas à simulação de carregamentos associados à passagem de tráfego. Graças ao baixo custo dos materiais e à durabilidade do betão, estes sensores apresentam elevado potencial para aplicação em sistemas de monitorização de infraestruturas inteligentes.

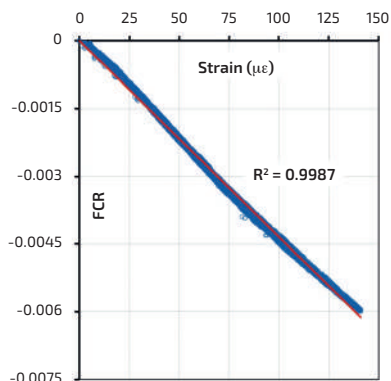
resulting in conductive cementitious composites capable of detecting mechanical stresses. The sensors are based on the principle of piezoresistivity, integrating a conductive CB filler. Experimental tests were carried out using variable-amplitude loading cycles under quasi-static and dynamic conditions, and at temperatures ranging from 15 °C to 45 °C, with CB contents between 4 % and 10 % of the cement mass. The results demonstrated linear and reversible piezoresistive responses, suitable for simulating traffic-induced loading conditions. Owing to the low cost of the materials and the durability of concrete, these sensors show high potential for application in smart infrastructure monitoring systems.



Sistema de aquisição de dados. [Data Acquisition system.](#)



Resposta do provete. [Sample response.](#)



SeismicPRECAST – Avaliação da Segurança Sísmica de Estruturas Industriais Pré-fabricadas de Betão Armado Existentes e Desenvolvimento de Soluções Inovadoras de Reforço sustentáveis

SeismicPRECAST – Seismic Performance Assessment of Existing Precast Industrial Buildings and Development of Innovative Retrofitting Sustainable Solutions

COORDENAÇÃO LEADING INSTITUTION CERIS/UAveiro

PARCEIROS PARTNERS ESTG-IPLeia, FEUP

COORDENADOR(ES) COORDINATION Hugo Rodrigues (PI), Paulo Fernandes (co-PI)

EQUIPA TEAM UAveiro – Aníbal Costa, Fernanda Rodrigues, Hugo Rodrigues, Vitor Silva; ESTG-IPLeia – Hugo Vitorino, João Veludo, Liana Ostetto, Miguel Santos, Nádia Batalha, Paulo Fernandes, Romain Sousa; FEUP – André Furtado, António Arêde, Humberto Varum

FINANCIAMENTO FUNDING FCT – Portuguese Foundation for Science and Technology

ORÇAMENTO BUDGET Total: 236 050,14 €; UAveiro: 10 616,25 €; ESTG-IPLeia: 190 039,30 €; FEUP: 39 325,00 €

PERÍODO PERIOD 2019-2022

O projeto SeismicPRECAST – Avaliação da Segurança Sísmica de Estruturas Industriais Pré-fabricadas de Betão Armado Existentes e Desenvolvimento de Soluções Inovadoras de Reforço sustentáveis teve como principal objetivo caracterizar, avaliar e quantificar a vulnerabilidade sísmica de edifícios industriais existentes em betão armado pré-fabricado, com particular foco no contexto português e europeu. Estes edifícios, amplamente difundidos a partir da segunda metade do século XX, foram maioritariamente concebidos sem requisitos sísmicos adequados, apresentando vulnerabilidades significativas observadas em sismos recentes.

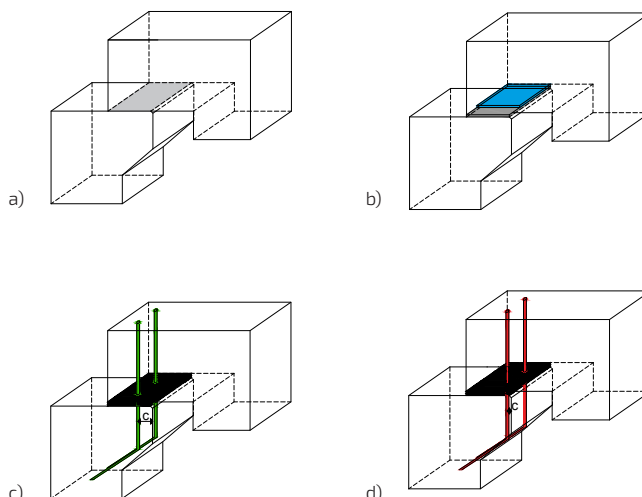
O projeto iniciou-se com a análise de danos observados neste tipo de construções em eventos sísmicos relevantes, permitindo identificar mecanismos de colapso recorrentes, com especial destaque para o comportamento inadequado das ligações viga-pilar, pilar-fundação, elementos de cobertura e painéis de fachada. Em paralelo, procedeu-se à caracterização do

The SeismicPRECAST project – Seismic Performance Assessment of Existing Precast Industrial Buildings and Development of Innovative Retrofitting Sustainable Solutions aimed to characterize, assess, and quantify the seismic vulnerability of existing precast reinforced concrete industrial buildings, with particular emphasis on the Portuguese and European building stock. Many of these structures, built in the latter half of the 20th century, lacked proper seismic design and have shown considerable weaknesses during recent earthquakes.

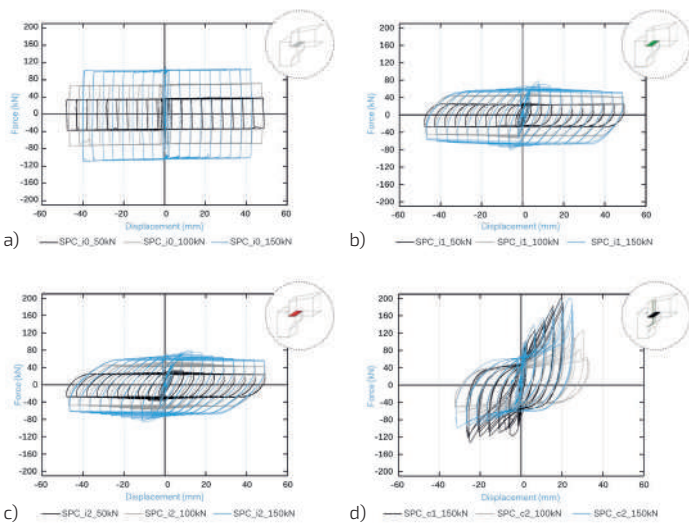
The project began with a review of damage observed in major seismic events, helping to spot common failure and collapse mechanisms. Particular attention was given to the inadequate performance of beam-to-column, column-to-foundation, roof, and cladding connections, which have been repeatedly identified as critical weaknesses in precast systems. In parallel, a detailed characterization of the Portuguese industrial building stock



Danos observados em edifícios industriais pré-fabricados sob ações sísmicas. **Damages observed in Precast industrial buildings under seismic actions**



Esquemas da ligação viga-pilar estudadas a) Interface betão-betão (i0) b) Interface betão-neoprene (i1 & i2) c) Interface com ferrolho centrado no cachorro (c1) d) Interface com ferrolho à face do cachorro (c2). **Schemes of the studied beam-column connection a) Concrete-concrete interface (i0) b) Concrete-neoprene interface (i1 & i2) c) Center Dowel in the corbel (c1 & c2) d) dowel located near the corbel face**



Resultados experimentais agrupados segundo o tipo de interface a) Interface betão-betão (i0) b) Interface betão-neoprene (i1) c) Interface betão-neoprene (i2) d) Interface com ferrolho (c1 & c2). [Experimental results, grouped according to interface type](#) a) Concrete-concrete interface (i0) b) Concrete-neoprene interface (i1) c) Concrete-neoprene interface (i2) d) Dowel interface (c1 & c2).

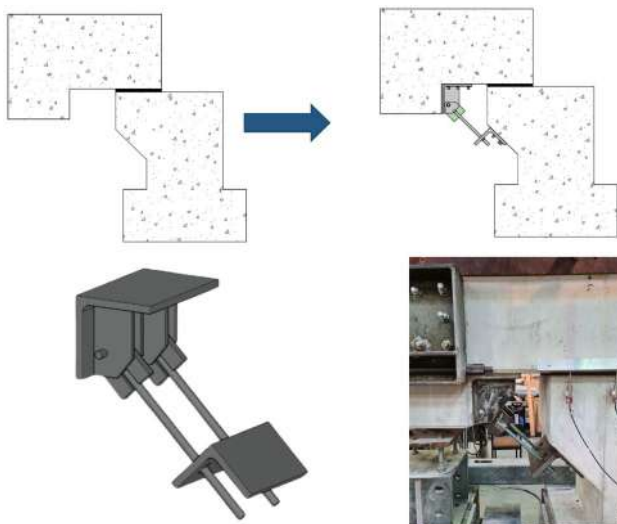
parque edificado industrial em Portugal, identificando tipologias estruturais, períodos construtivos, ligações e sistemas resistentes predominantes.

Com base nesta informação, foram desenvolvidas metodologias de avaliação sísmica de edifícios pré-fabricados existentes, enquadradas nos princípios do Eurocódigo 8 – Parte 3, recorrendo a análises lineares e não lineares, bem como a modelos simplificados orientados para a prática profissional. O projeto integrou ainda estudos experimentais e numéricos direcionados para a compreensão do comportamento sísmico das ligações, reconhecidas como o principal elemento condicionante do desempenho global destas estruturas.

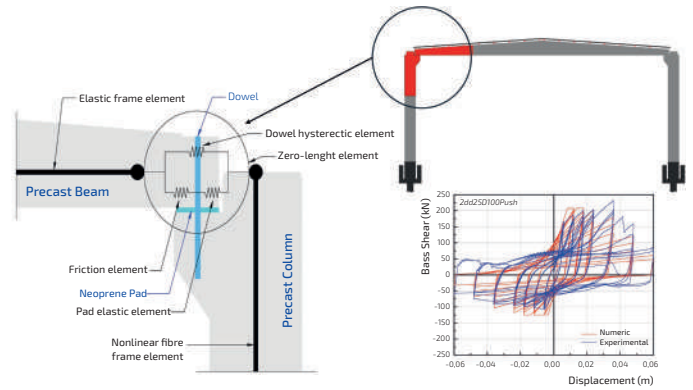
Adicionalmente, o SeismicPRECAST abordou a avaliação do risco sísmico, combinando perigosidade, vulnerabilidade e exposição, permitindo estimar perdas económicas diretas e indiretas associadas a diferentes cenários sísmicos. Os resultados do projeto fornecem uma base técnica sólida para a priorização de intervenções, definição de estratégias de reforço sísmico e apoio à tomada de decisão por parte de engenheiros, proprietários e entidades públicas, contribuindo para a redução do risco sísmico e para a resiliência do tecido industrial existente.

Mais informação:

<http://sweet.ua.pt/hrodrigues/seismicprecast/>



Solução de reforço estudada e ensaiada. [Strengthening solution studied and tested.](#)

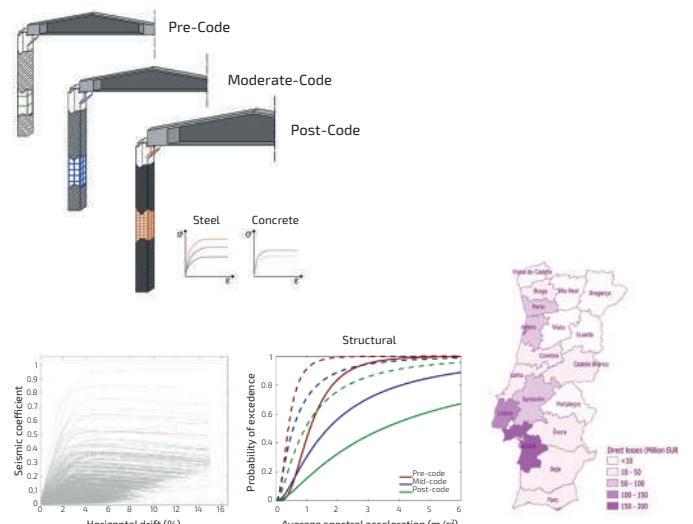


Modelação numérica da ligação viga-pilar considerando os diferentes componentes (atrito, neoprene e ferrolho). [Numerical modelling of the beam-column connection accounting for different components \(friction, neoprene, and dowel\).](#)

was done, covering structural typologies, construction periods, connection details, and typical lateral load-resisting systems. Based on this knowledge, seismic assessment methodologies tailored to existing precast industrial buildings were developed, framed within the principles of Eurocode 8 – Part 3. These methodologies include linear and nonlinear analysis approaches, as well as simplified assessment tools aimed at supporting engineering practice. Experimental and numerical studies were also conducted to improve the understanding of the seismic behaviour of precast connections, acknowledged as the key drivers of global structural performance. In addition, the SeismicPRECAST project addressed seismic risk assessment by combining hazard, vulnerability, and exposure, to estimate both direct and indirect economic losses under different seismic scenarios. The project outcomes provide a robust technical basis for prioritizing seismic interventions, defining retrofit strategies, and guiding informed decision by engineers, building owners, and public authorities, contributing to the mitigation of seismic risk and the enhancement of resilience in existing industrial facilities.

Detailed information:

<http://sweet.ua.pt/hrodrigues/seismicprecast/>



Estudo de risco sísmico à escala nacional. [Seismic risk assessment at the national scale.](#)

AR-SeismicRC – Avaliação e reforço de estruturas existentes de edifícios em betão armado sem conformidade sísmica e validação das correspondentes recomendações do Eurocódigo 8-3

AR-SeismicRC – Assessment and retrofitting of non-seismically conforming existing reinforced concrete building structures and validation of the corresponding Eurocode 8-3 recommendations

COORDENAÇÃO LEADING INSTITUTION CONSTRUCT/FEUP

PARCEIROS PARTNERS IST-UL, LNEC, UAveiro

COORDENADOR(ES) COORDINATION Humberto Varum (PI), José Melo (co-PI)

EQUIPA TEAM FEUP – António Arêde, Camila Carobeno, Hassan Jafarian, Humberto Varum, José Melo, Saied Koukaneh, Xavier Romão, Yuri Cesarino; IST-UL – André Furtado; LNEC – Alexandra Carvalho, António Correia, Filipe Ribeiro, Paulo Candeias, Vasco Bernardo; UAveiro – Aníbal Costa, Hugo Rodrigues, Jorge Fonseca, Peyman Sabbahfar

FINANCIAMENTO FUNDING FCT – Portuguese Foundation for Science and Technology

ORÇAMENTO BUDGET Total: 249 599,55 €; FEUP: 120 370,88 €; IST-UL: 1000,11 €; LNEC: 82 491,45 €; UAveiro: 45 737,22 €

PERÍODO PERIOD 2023-2026

O comportamento cíclico de nós viga-pilar de estruturas de betão armado existentes é muito complexo e condicionante do comportamento cíclico global da estrutura. Resultados experimentais são essenciais para desenvolver e validar expressões semiempíricas de dimensionamento e calibrar modelos numéricos que ainda hoje apresentam limitações.

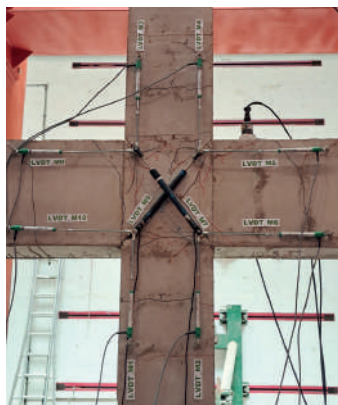
Os objetivos do projeto visam: 1) caracterizar o comportamento de estruturas existentes de BA sem conformidade sísmica; 2) validar a metodologia e expressões de avaliação da segurança sísmica de estruturas presentes na norma NP EN 1998-3:2017; 3) estudar, desenvolver, implementar e validar técnicas de reforço para estruturas em betão armado existentes; e 4) desenvolver e calibrar modelos numéricos capazes de reproduzir o comportamento dos elementos ensaiados.

Para alcançar os objetivos, uma campanha experimental alargada está a ser desenvolvida, nomeadamente: i) na mesa sísmica do LNEC, foram realizados 3 ensaios de pórticos planos de dois pisos e dois vãos e 2 ensaios de pórticos semelhantes reforçados com

The cyclic behaviour of beam-column joints in existing reinforced concrete structures is highly complex and strongly influences the global cyclic response of the structure. Experimental results are essential for the development and validation of semi-empirical design expressions and for the calibration of numerical models, which still present limitations today.

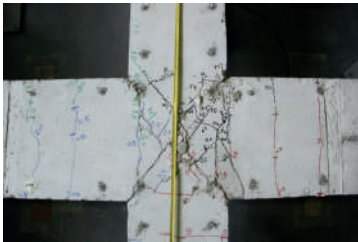
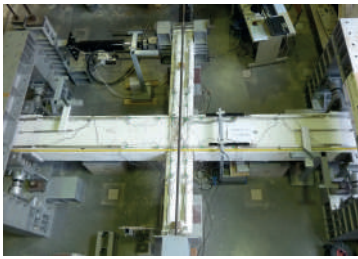
The objectives of the project are to: (1) characterise the behaviour of existing reinforced concrete (RC) structures without seismic compliance; (2) validate the methodology and expressions for the assessment of the seismic safety of structures included in the standard NP EN 1998-3:2017; (3) study, develop, implement and validate strengthening techniques for existing reinforced concrete structures; and (4) develop and calibrate numerical models capable of reproducing the behaviour of the tested elements.

To achieve these objectives, an extensive experimental campaign is being carried out, namely: (i) at the LNEC shaking table, three tests on two-storey, two-bay planar frames and two tests on similar frames strengthened with CFRP sheets were performed; (ii) at the

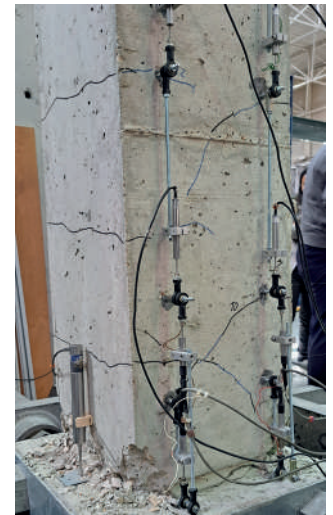


Ensaio de pórtico de betão armado em mesa sísmica. [Shake table test on RC frame.](#)

Reforço de pórticos com mantas de CFRP. [Strengthening of frames with CFRP sheets.](#)



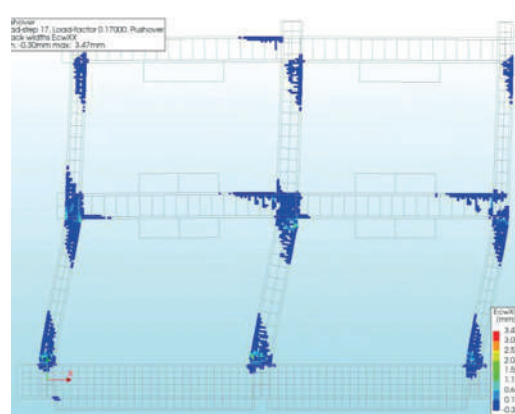
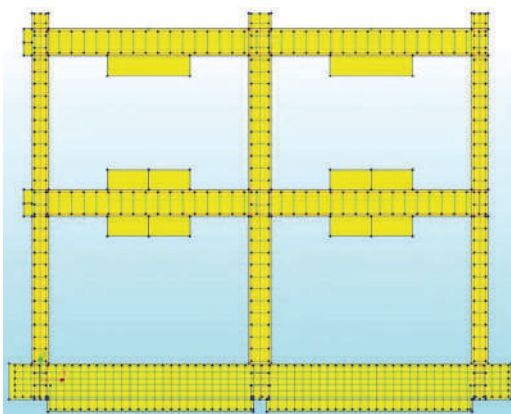
Ensaio cíclico de nó viga-pilar de betão armado.
Cyclic test of a RC beam-column joint.



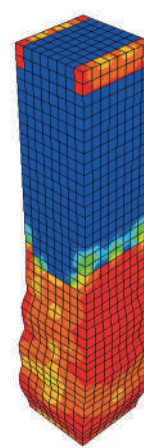
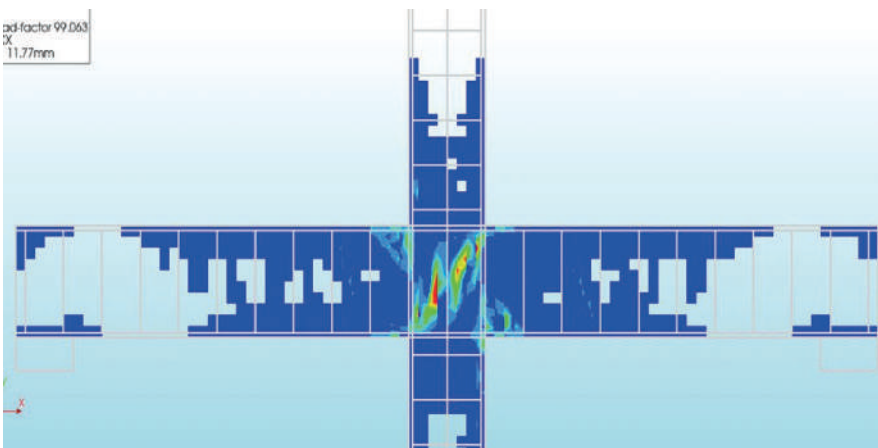
Ensaio cíclico de pilares de betão armado. Cyclic test of a RC column.

mantas de CFRP; ii) na plataforma de ensaios de nós viga-pilar existente na Universidade de Aveiro foram realizados 4 ensaios cíclicos de nós viga-pilar interiores e 2 ensaios com provetes reforçados com a mesma técnica usada no LNEC; iii) na plataforma de ensaios de pilares do laboratório de estruturas da FEUP foram realizados 6 ensaios uniaxiais e biaxiais em pilares não reforçados e 6 ensaios em pilares reforçados. De realçar que o detalhamento dos pórticos, nós e pilares é o mesmo, diferindo na escala de 2/3 nos pórticos e real nos outros provetes. Estão também a ser desenvolvidos modelos numéricos, calibrados com os resultados experimentais, capazes de reproduzir o comportamento cíclico das estruturas existentes não reforçadas e reforçadas de betão armado.

beam-column joint testing facility at the University of Aveiro, four cyclic tests on interior beam-column joints and two tests on specimens strengthened using the same technique applied at LNEC were conducted; (iii) at the column testing platform of the Structural Laboratory of FEUP, six uniaxial and biaxial tests on as-built columns and six tests on strengthened columns were carried out. It should be noted that the detailing of the frames, joints and columns is the same, differing only in scale: 2/3 scale for the frames and full scale for the other specimens. Numerical models are also being developed and calibrated using the experimental results, capable of reproducing the cyclic behaviour of existing unstrengthened and strengthened reinforced concrete structures.



Modelo numérico do pórtico de betão armado. Numerical model of a RC frame.



Modelo numérico de um nó viga-pilar e de um pilar. Numerical model of a RC beam-column joint and column.

iPBRail – Soluções inovadoras para pontes pré-fabricadas ferroviárias

iPBRail – Innovative precast bridges for railways

COORDENAÇÃO LEADING INSTITUTION CONSTRUCT/FEUP

PARCEIROS PARTNERS Mota-Engil, Engenharia e Construção

COORDENADOR(ES) COORDINATION Mário Pimentel (since 2022), Rui Calçada

EQUIPA TEAM FEUP – António Arêde, Carlos Sousa, Letícia Corrêa, Lucas Carvalho, Mário Pimentel, Nelson Vila Pouca, Pedro Delgado, Rui Faria, Rui Valente, Sandra Nunes

FINANCIAMENTO FUNDING ANI, the Portuguese National Innovation Agency

ORÇAMENTO BUDGET Total: 944 887,71 € (funding 609 315,43 €); FEUP: 475 515,49 € (funding 356 636,61 €);

Mota-Engil: 469 372,22 € (funding 252 678,82 €)

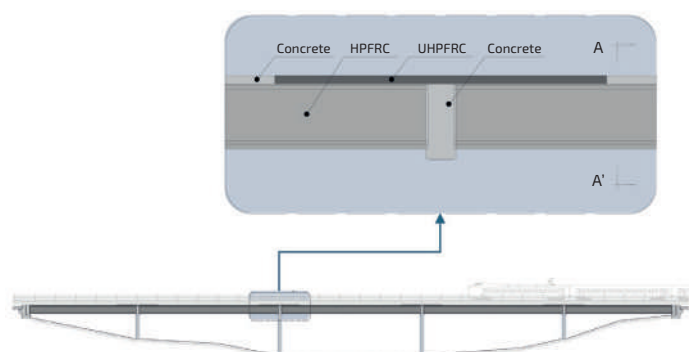
PERÍODO PERIOD 2020-2023

Atualmente, a indústria da pré-fabricação em betão não ainda explora o potencial oferecido pelos materiais do tipo HPFRC (betão de alto desempenho reforçado com fibras) e UHPFRC (compósitos cimentícios de ultraelevado desempenho reforçados com fibras). O HPFRC é capaz de suportar tensões de tração significativas após a fissuração e permite a produção de elementos esbeltos e leves. O UHPFRC apresenta uma permeabilidade muito baixa a líquidos e gases, resistência à compressão superior a 150 MPa, resistência característica à tração na gama de 8-10 MPa e endurecimento à tração após o aparecimento das primeiras microfissuras. Este tipo de material é adequado para aplicação em locais críticos das estruturas, como ligações entre elementos pré-fabricados. Neste projeto, foram desenvolvidas novas soluções de tabuleiros contínuos pré-fabricados com vigas pré-tensionadas em HPFRC. O HPFRC desenvolvido é da classe de resistência C100/115 e é reforçado com 1 % de fibras de aço, garantindo tensões características pós-fissuração em estado limite último superiores a 4,5 MPa. As vigas HPFRC contêm armadura de corte apenas nas zonas mais solicitadas junto aos apoios. A continuidade à flexão nos momentos negativos é assegurada com um segmento de laje moldado em UHPFRC, garantindo resistência, rigidez e durabilidade à flexão sem necessidade de pós-tensão in situ. Demonstrou-se que este conceito pode ser utilizado para vãos contínuos até 35 m em pontes ferroviárias sujeitas a tráfego ferroviário pesado.

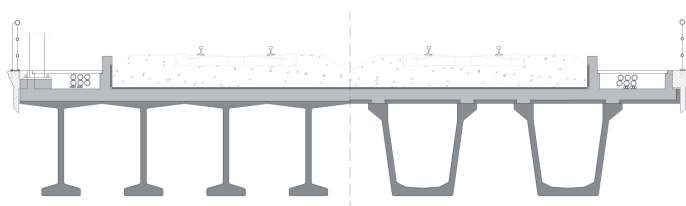
Presently, the precast concrete industry does not fully exploit the potential offered by materials of the types HPFRC (high performance fibre reinforced concrete) and UHPFRC (ultra-high performance fibre reinforced cementitious composites). HPFRC is able to carry significant tensile stresses after cracking and enables slender and lightweight concrete elements. UHPFRC exhibits very low permeability to liquids and gases, compressive strength exceeding 150 MPa, characteristic tensile strength typically in the range 8-10 MPa and tensile hardening after the first thin cracks occur. This type of material is suitable for application in critical locations of structures, such as connections between precast elements.

In this project, new continuous precast deck solutions with pretensioned thin-web HPFRC girders were developed. The developed HPFRC complies with the C100/115 strength class and is reinforced with 1% of steel fibres ensuring characteristic post cracking stresses at the ultimate limit state exceeding 4.5 MPa. The HPFRC girders contain shear reinforcement only in the most heavily loaded areas near the supports. Flexural continuity in the hogging bending moments is ensured with a slab segment cast in UHPFRC, ensuring flexural strength, stiffness and durability without post-tensioning applied in situ. It was shown that this concept can be used for continuous spans up to 35 m in railway bridges subjected to heavy rail traffic.

34



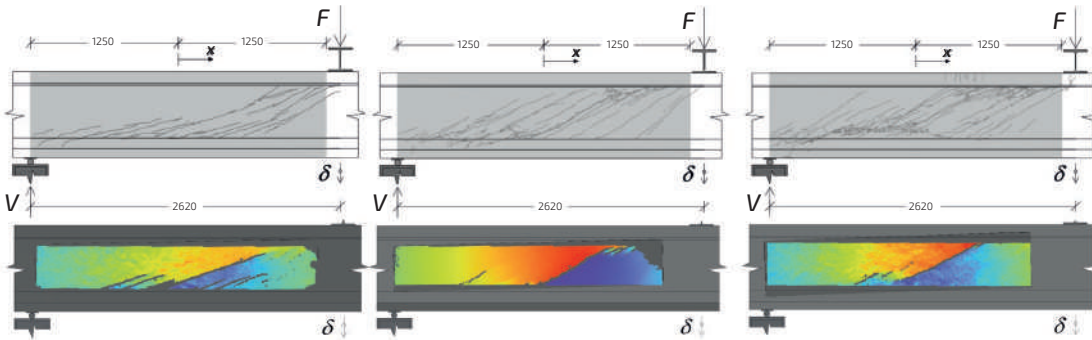
Viaduto ferroviário tipo integralmente pré-fabricado e ligação de continuidade em UHPFRC.
Elevation of the typical precast railway viaduct with hogging moment connection using UHPFRC.



Secção transversal para tabuleiro de via-dupla, com soluções de vigas I ou vigas U.
Cross-section for decks with two ballasted tracks, using I- or U-girders.



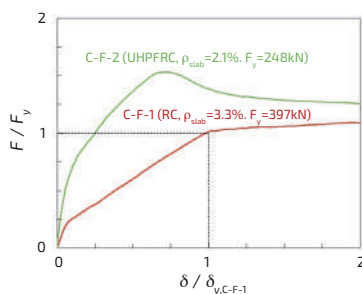
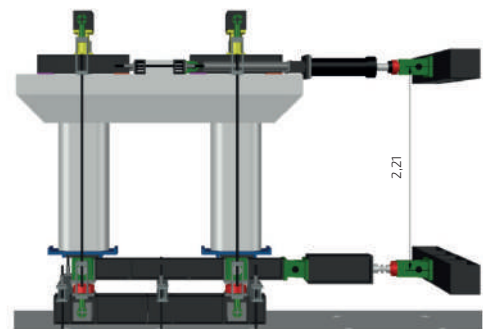
Solução para a subestrutura usando pilares e travessas pré-fabricadas. **Fully precast concept for the bridge substructure using two-column bents.**



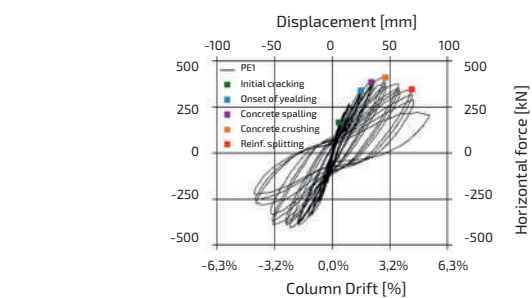
Ensaio à rotura de vigas em HPFRG com taxas de armadura de corte de 0, 0.2 e 0.4%. **Shear tests of HPFRG girders with shear reinforcement ratios of 0, 0.2 and 0.4%.**

Para a subestrutura, foi desenvolvido um sistema totalmente pré-fabricado de pórticos com dois pilares compatível com a solicitação sísmica do sul da Europa. Foi realizada uma extensa campanha experimental para validar: (1) modelos de resistência ao corte das vigas em HPFRG; (2) modelos de dimensionamento à flexão e estimativas de rigidez sob carregamento cíclico para a ligação de momento negativo em UHPFRG; e (3) o comportamento dos pórticos totalmente pré-fabricados de dois pilares sob carregamento cíclico alternado.

For the substructure, a fully prefabricated two-column bent-frame system was developed to withstand the seismic actions of southern Europe. An extensive experimental campaign was developed to validate: (1) shear strength models for the HPFRG girders; (2) flexural design models and stiffness estimates, under cyclic loading for the UHPFRG hogging bending moment connection; and (3) the behaviour of the fully precast two-column bent frames under reversed cyclic loading.



Ensaio monotónico e cíclicos da zona de ligação entre vigas. Gráfico força-deslocamento normalizado evidenciando a contribuição da laje em UHPFRG. **Monotonic and cyclic tests of the hogging moment connection. Normalized force-displacement plot evidencing the contribution of the UHPFRG slab.**



Ensaio cíclicos do sistema pré-fabricado de apoio do tabuleiro para avaliação do comportamento sísmico. **Tests on the precast substructure system under horizontal cyclic loading to assess seismic performance.**

SMART-OPS – Sistema de Monitorização Inteligente para Equipamentos de Grande Dimensão usados na Construção Pontes

SMART-OPS – Smart Monitoring System for Large Equipment adopted in Bridge Construction

COORDENAÇÃO LEADING INSTITUTION CONSTRUCT/FEUP, BERD

COORDENADOR(ES) COORDINATION Pedro Pacheco, Filipe Magalhães

EQUIPA TEAM FEUP – Álvaro Cunha, Carlos Moutinho, Filipe Magalhães, João Costa, Luís Noites, Luís Silva; BERD – André Resende, Artur Louçano, Dânia Pinto, Pedro Pacheco

FINANCIAMENTO FUNDING ANI, the Portuguese National Innovation Agency

ORÇAMENTO BUDGET Total: 546 532,16 €; FEUP: 186 224,86 €; BERD: 360 307,30 €

PERÍODO PERIOD 2018-2022

O projeto SMART-OPS introduz soluções de monitorização inteligente para Cimbres Autolancáveis, especificamente concebidas para serem utilizadas em conjunto com o Sistema de Pré-esforço Orgânico (OPS) patenteado pela BERD. A colaboração entre a BERD e o grupo de investigação CONSTRUCT da FEUP permitiu desenvolver ferramentas que contribuem para a modernização de um setor que permanece altamente tradicional. Um dos componentes centrais do SMART-OPS foi a implementação de estratégias de monitorização destinadas a apoiar processos de construção mais seguros e eficientes. O sistema de monitorização proposto:

- (i) valida pressupostos de projeto relacionados com a ação do vento, garantindo conceções estruturais mais adequadas e apoiando uma operação segura sob condições de vento forte;
- (ii) permite a monitorização de tensões em elementos críticos para validação de modelos numéricos;
- (iii) caracteriza as cargas transferidas entre o cimbra e a ponte, contribuindo para a otimização do projeto da estrutura;

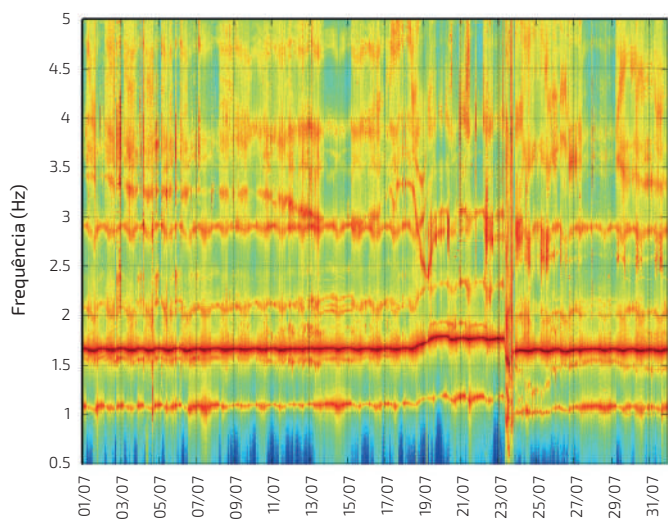
The SMART-OPS project introduces smart monitoring solutions for Moving Scaffolding Systems, specifically designed to be used in conjunction with the Organic Prestressing System (OPS) patented by BERD. The collaboration between BERD and the research group CONSTRUCT at FEUP enabled the development of tools that contribute to the modernization of a sector that remains highly traditional.

A core component of SMART-OPS was the implementation of monitoring strategies that support safer and more efficient construction processes. The proposed monitoring system:

- (i) validates design assumptions related to wind loading, ensuring more accurate structural designs and supporting safe operation under strong wind conditions;
- (ii) enables stress monitoring in critical components for the validation of numerical models;
- (iii) characterizes the loads transferred between the MSS and the bridge, contributing to the optimization of bridge design;



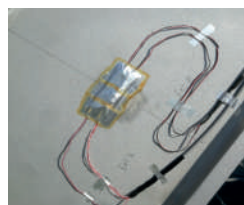
Caso de estudo do projeto em cimbra a operar na Eslováquia – vista geral do cimbra. [Project case study of a scaffolding system operating in Slovakia – overview of the MSS.](#)



Mapa de cores com evolução das frequências naturais. **Colour map showing the evolution of the natural frequencies.**

(iv) acompanha a evolução das frequências naturais do cimbra para detetar anomalias de montagem e monitorizar o processo de endurecimento do betão, apoiando decisões mais fundamentadas quanto ao momento de aplicação do pré-esforço e, conseqüentemente, contribuindo para redução dos prazos de construção.

O projeto integrou a instrumentação de quatro cimbres em operação, abrangendo duas infraestruturas internacionais de elevada relevância: o Bratislava Bypass, na Eslováquia, e o Viaduto de Heilbronn, na Alemanha. Estes casos de estudo forneceram dados essenciais e importantes oportunidades de validação, demonstrando a robustez e aplicabilidade das soluções de monitorização. O SMART-OPS gerou resultados significativos, incluindo o desenvolvimento de hardware de monitorização inovador, económico e customizado; a criação de software para processamento de dados e publicação de resultados através de interfaces web de fácil utilização; a submissão de um pedido de patente nacional; várias publicações científicas internacionais; e a conclusão de uma tese de doutoramento.



Detalhes de instrumentação: extensómetros. **Details of the instrumentation: strain gauges.**



Detalhes de instrumentação: caixas de acelerómetros. **Details of the instrumentation: accelerometer boxes.**



Detalhes de instrumentação: anemómetros. **Details of the instrumentation: anemometers.**



(iv) tracks the natural frequencies of the MSS to detect assembly anomalies and to monitor the concrete hardening process, supporting more informed decisions regarding the timing of prestressing and consequently accelerating construction schedules.

The project included the instrumentation of four MSS units in operation, covering two relevant international infrastructures: the Bratislava Bypass in Slovakia and the Heilbronn Viaduct in Germany. These case studies provided essential data and valuable validation opportunities, demonstrating the robustness and applicability of the monitoring solutions. SMART-OPS delivered substantial outputs, including the development of innovative, cost-effective, and customized sensing hardware; the creation of software tools for data processing and for publishing results through user-friendly web interfaces; the submission of a national patent application; several international scientific publications; and the completion of a PhD thesis.



Caso de estudo do projeto em cimbra a operar na Alemanha. © Imagem: VIA6West/Endres. **Project case study of scaffolding system operating in Germany. © Image: VIA6West/Endres**

UHPGRADE – Nova geração de compósitos cimentícios de ultra-elevado desempenho para a reabilitação e reforço de estrutura

UHPGRADE – Next generation of ultra-high performance fibre-reinforced cement-based composites for rehabilitation and strengthening of the existing infrastructure

COORDENAÇÃO LEADING INSTITUTION CONSTRUCT/FEUP

PARCEIROS PARTNERS ISEL-IPL

CORDENADOR(ES) COORDINATION Mário Pimentel

EQUIPA TEAM FEUP – Adriano Carvalho, Amin Abrishambaf, Aurélio Sine, Carlos Sousa, Mário Pimentel, Paria Mokhberdorran, Rui Faria, Rui Valente, Sandra Nunes; ISEL-IPL – Carla Costa

FINANCIAMENTO FUNDING FCT – Portuguese Foundation for Science and Technology

ORÇAMENTO BUDGET Total: 225 770,87 €; FEUP: 203 583,37 €; ISEL-IPL: 22 187,50 €

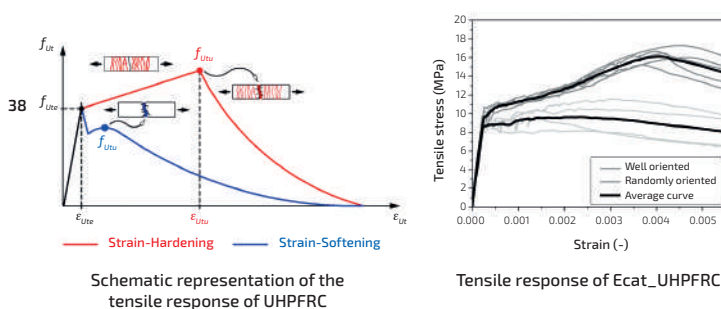
PERÍODO PERIOD 2018-2022

O financiamento da reabilitação, reforço ou substituição de estruturas deterioradas é muito significativo e, no caso português, prevê-se que aumente nas próximas décadas. No futuro, as estruturas sustentáveis serão aquelas que requerem apenas manutenção preventiva mínima com poucas, ou nenhuma, interrupções de funcionamento. A atividade de investigação deve assim centrar-se no desenvolvimento de tecnologias que melhorem as estruturas existentes, minimizando as intervenções e garantindo um período de vida útil longo.

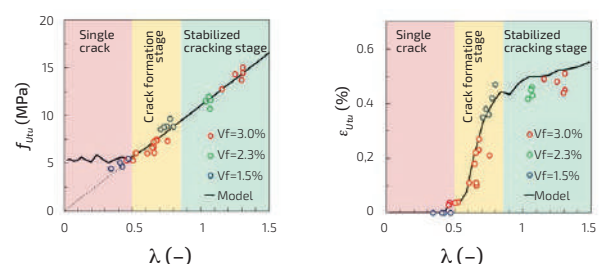
A aplicação de camadas de materiais cimentícios de ultra-elevado desempenho reforçado com fibras (UHPFRC) tem-se revelado uma técnica promissora para atingir este objetivo, especialmente na reabilitação e reforço de estruturas de betão. O UHPFRC destaca-se pelas excelentes propriedades mecânicas e pela permeabilidade praticamente nula, permitindo reforçar as estruturas e melhorar a durabilidade. A aplicação deste material está ainda associada a intervenções rápidas.

O primeiro objetivo do projeto é o desenvolvimento de uma segunda geração de UHPFRC, mais ecoeficiente, com menor dosagem de cimento e incorporando um resíduo da indústria de refinação de petróleo (Ecat). O Ecat, além de apresentar atividade pozolânica, reduz a retração autógena do UHPFRC, o que representa uma melhoria importante para aplicação em camadas finas sobre betão endurecido.

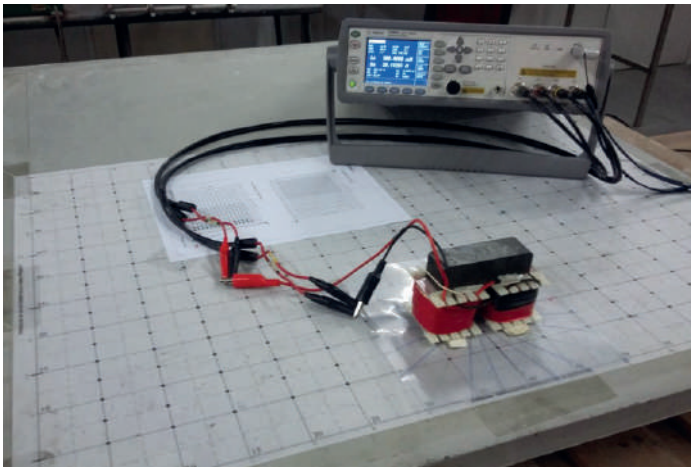
The funding required for the rehabilitation, strengthening or replacement of deteriorated structures is very significant and, in the Portuguese case, is expected to increase in the next decades. Future sustainable structures will be those that require minimal preventive maintenance and cause little to no service disruption. Research should therefore focus on developing technologies that enhance existing structures, minimizing construction interventions while ensuring long and safe service lives. A promising technique in this context is the use of thin Ultra-High Performance Fibre-Reinforced Cement-based Composites (UHPFRC) layers for the rehabilitation and strengthening of concrete structures. UHPFRC offers outstanding mechanical properties and extremely low permeability, which not only strengthens structures but also improves their durability. Its compatibility with concrete and tailored rheological properties allows for efficient, short-duration interventions. The first objective of this project was to develop a second generation of UHPFRC that is more eco-efficient. This was achieved by reducing cement content and incorporating spent equilibrium catalyst (Ecat), a byproduct of the Portuguese oil refinery industry. Ecat not only contributes pozzolanic activity but also helps reduce the strong autogenous shrinkage of UHPFRC, which is particularly beneficial when applying thin layers over hardened concrete substrates.



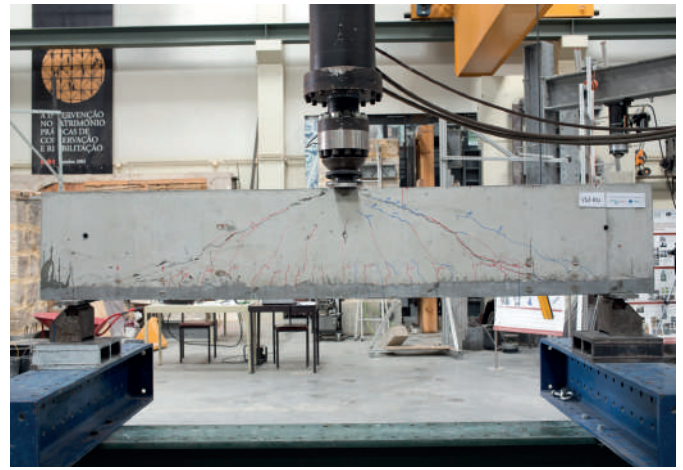
Representação esquemática do comportamento à tração do UHPFRC e caracterização experimental do comportamento do Ecat_UHPFRC desenvolvido no projeto com diferentes perfis de orientação das fibras. [Schematic representation of the tensile response of the UHPFRC and tensile response of Ecat-UHPFRC developed in the project with different fibre orientation profiles.](#)



Efeito da dosagem e orientação das fibras nos parâmetros definidores do comportamento à tração do UHPFRC: validação do modelo meso-mecânico com evidência experimental. [Effect of fibre dosage and orientation on the parameters defining the tensile behaviour of UHPFRC: validation of the meso-mechanical model with experimental evidence.](#)



Método de ensaio não destrutivo para determinar a distribuição e orientação das fibras em elementos laminares de UHPFRC. **Non-destructive test method for determining the fibre content and orientation in thin UHPFRC elements.**



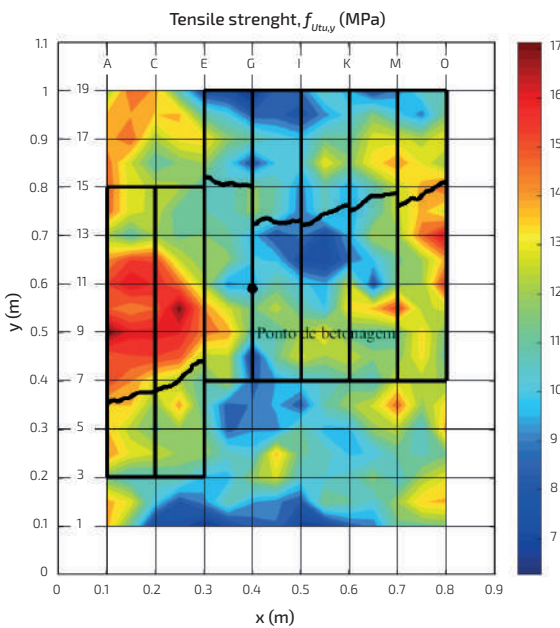
Ensaio em vigas de grandes dimensões reforçadas com uma camada de Ecat-UHPFRC para avaliação do efeito de escala na rotura por corte. **Tests on large beams strengthened with an Ecat-UHPFRC layer to address size-effect in shear strength.**

O segundo objetivo é criar uma metodologia para prever a resposta à tração do UHPFRC aplicado nas estruturas. Este comportamento é crítico para a eficiência do reforço e impermeabilização, e depende da dosagem e orientação das fibras. Como estes parâmetros podem variar ao longo da estrutura em função da reologia do material e da metodologia de betonagem, foi desenvolvido um ensaio não destrutivo (NDT) baseado nas propriedades ferromagnéticas das fibras de aço, permitindo caracterizar *in situ* a sua dosagem e orientação.

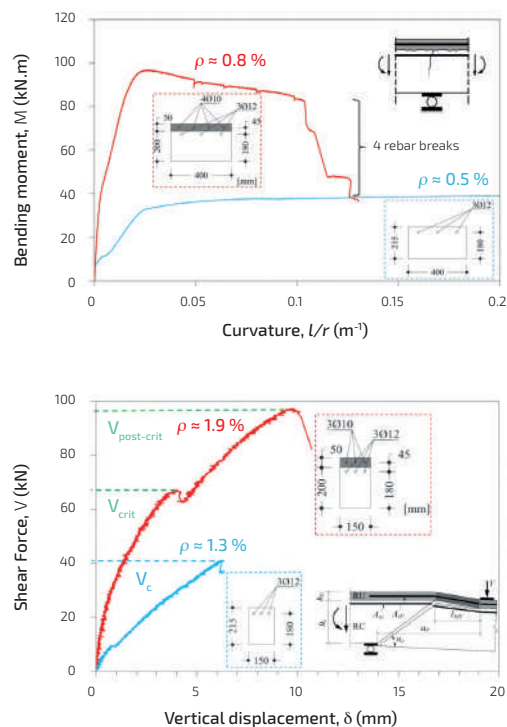
O terceiro objetivo envolveu uma campanha experimental sobre o comportamento estrutural de lajes e vigas reforçadas com UHPFRC e a validação de modelos da resistência das estruturas reforçadas.

The second objective was to establish a methodology for predicting the tensile response of UHPFRC as placed in structures. This response is critical for both strengthening and waterproofing efficiency and depends on fibre content and orientation, which can vary throughout a structure. To address this, a non-destructive test (NDT) based on the magnetic properties of steel fibres was developed for in-situ characterization of fibre content and orientation in UHPFRC layers.

The third objective involved an experimental campaign to provide evidence of the structural behavior of slabs and beams strengthened with UHPFRC layers and to validate models for strength prediction.



Mapa com a resistência à tração UHPFRC na direção vertical (f_{uty}) determinada numa placa de 30 mm de espessura com base no método NDT e no modelo meso-mecânico. Indicação da localização das fendas observadas nos ensaios em flexão de 4 pontos de vigas cortadas da placa. **Map of the UHPFRC tensile strength in the vertical direction (f_{uty}) determined on a 30 mm thick slab using the NDT method and the meso-mechanical model. Indication of the location of cracks observed in four-point bending tests on beams cut from the slab.**



Comportamento de lajes reforçadas com Ecat-UHPFRC com roturas por flexão (em cima) e por corte (em baixo). **Structural behaviour of slab strips strengthened with Ecat-UHPFRC failing in bending (top) and in shear (down).**

S4Bridges – Uma abordagem inteligente para a manutenção de pontes existentes

S4Bridges – A smart approach for the maintenance of existing bridges

COORDENAÇÃO LEADING INSTITUTION CONSTRUCT/ISEP

PARCEIROS PARTNERS FEUP

COORDENADOR(ES) COORDINATION Carlos Félix (PI), Mário Pimentel (co-PI)

EQUIPA TEAM ISEP – Alexandre Costa, António Pestana, Carlos Félix, Carlos Rodrigues; FEUP – Carlos Sousa, Emanuel Tomé, Filipe Cavadas, Isabel Horta, Joaquim Figueiras, Mário Pimentel, Vera Miguéis; Colaboradores – André Morais, Bernardo Tavares, Lucas Lima, Manuel Mota, Miguel Rodrigues

FINANCIAMENTO FUNDING FCT – Portuguese Foundation for Science and Technology

ORÇAMENTO BUDGET Total: 237 620,43 €; ISEP: 118 249,47 €; FEUP: 119 370,96 €

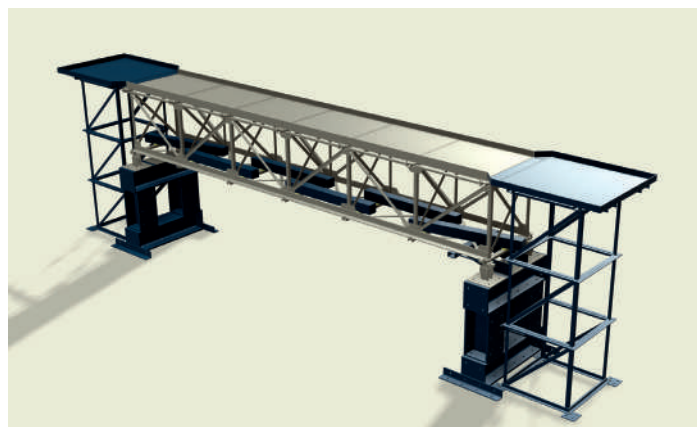
PERÍODO PERIOD 2019-2023

É reconhecido que a monitorização da integridade estrutural apresenta valiosas potencialidades na gestão eficiente do património construído, e em particular das obras de arte existentes. A automatização do processo de monitorização e diagnóstico, desde a recolha de dados, passando pela interpretação da condição da estrutura, até à geração de alarmes aquando da deteção de danos estruturais, dá origem ao conceito de estrutura inteligente. S4Bridges foi um projeto dedicado à exploração deste conceito de estrutura inteligente, aplicado a obras de arte. Combinou um conjunto de técnicas experimentais de medição de grandezas que melhor refletem o desempenho da estrutura, com o desenvolvimento de modelos numéricos de análise de dados, de forma a detetar alterações no comportamento da estrutura, evidenciando a ocorrência de danos e, sempre que possível, localizando-os e quantificando a sua gravidade. Visando a componente experimental, desenvolveram-se sistemas integradores capazes de proceder à monitorização das principais componentes da resposta destas estruturas e das ações que lhe dão origem. Neste âmbito, foram exploradas e testadas técnicas de instrumentação capazes de integrar um sistema de medição que respeite os requisitos colocados pelas estruturas existentes. No que concerne à componente numérica, desenvolveram-se e aplicaram-se algoritmos para deteção de danos estruturais. Foram processados e analisados indicadores de desempenho tendo em conta a resposta da estrutura, nas suas componentes estática e dinâmica, aos diferentes efeitos ambientais e operacionais,

It is widely recognised that structural health monitoring offers significant potential for the efficient management of the built heritage, particularly existing bridges and viaducts. The automation of the monitoring and diagnostic process—from data acquisition, through interpretation of the structural condition, to the generation of warnings when structural damages are detected—leads to the concept of the smart structure.

S4Bridges was a project dedicated to exploring this concept of smart structures applied to existing bridges. It combined a set of experimental techniques for measuring quantities that best reflect the performance of the structure with the development of numerical data analysis models, aiming to detect changes in structural behaviour, evidencing the occurrence of damages and, if possible, locating them and quantifying their severity. Regarding the experimental component, integrated systems were developed to monitor the actions and the main components of the structural response. In this context, instrumentation techniques capable of integrating a measurement system compliant with the constraints imposed by existing structures were explored and tested.

Concerning the numerical component, algorithms for structural damage detection were developed and applied. Performance indicators were processed and analysed considering the structural response, in both its static and dynamic components, to the various environmental and operational effects inherently involved. Different data-driven methodologies, based on historical



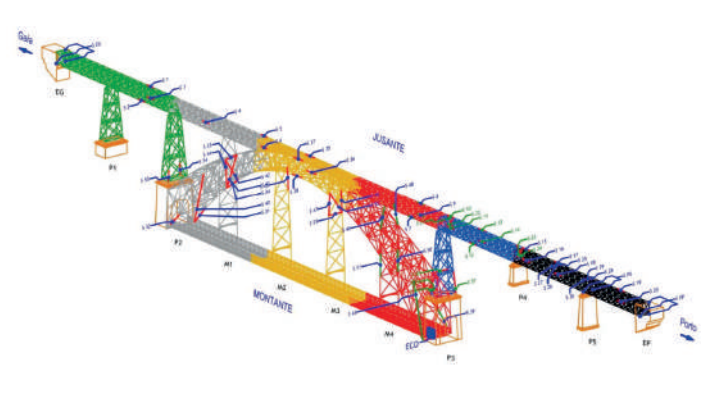
Render 3D do modelo laboratorial. [3D render model](#)



Modelo laboratorial construído no ISEP. [Laboratory-scale model built at ISEP.](#)



Instalação de sensores em fibra ótica na Ponte Luiz I. [Fiber optic sensor installation on the Luís I Bridge.](#)



naturalmente envolvidos. Diferentes metodologias, baseadas no histórico de dados, foram exploradas e combinadas com vista à deteção de alterações comportamentais. No final, procurou-se que a informação processada fosse disponibilizada, em tempo útil, através de um número mínimo de indicadores representativos. Estas metodologias foram testadas e caracterizadas experimentalmente em laboratório, recorrendo-se a modelos laboratoriais representativos, e validadas em casos de obras de arte reais, permitindo concluir acerca da sua verdadeira contribuição para o desenvolvimento do conceito de estruturas inteligentes.

Mais informação: 'Modelo Laboratorial de Suporte ao Desenvolvimento de Um Sistema SHM', JPEE2022, LNEC, Nov. 2022.

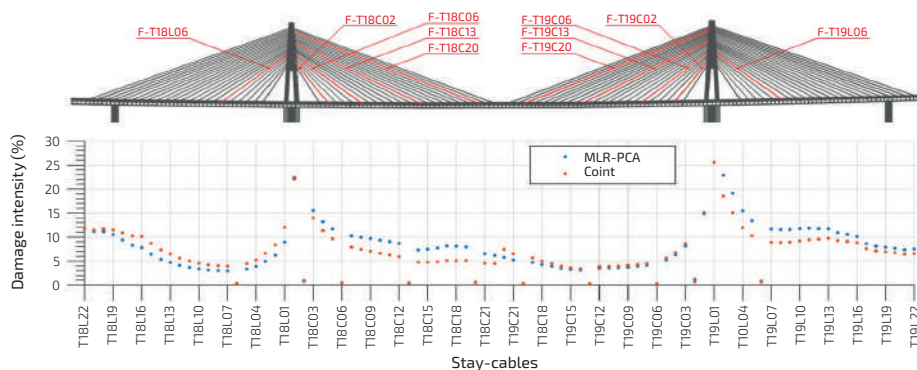
records, were explored and combined to detect changes in structural behaviour. In the end, the processed information was made available in a timely manner through a minimal set of representative indicators.

These methodologies were experimentally tested and characterised in the laboratory conditions using representative physical models and validated through real case studies of existing structures. This approach made it possible to assess their effective contribution to the development and implementation of the smart structures concept.

Detailed information: 'Damage detection under environmental and operational effects using cointegration analysis – Application to experimental data from a cable-stayed bridge', *Mechanical Systems and Signal Processing*, Elsevier, 135, 2020.



Viaduto do Corgo: vista geral. [Corgo Viaduct: general view](#)



Dano mínimo detetável em cada um dos 88 tirantes da Ponte do Corgo, utilizando os dados recolhidos em 10 tirantes instrumentados (identificados a vermelho). Foram testados dois algoritmos: Regressão Multilinear e Análise de Componentes Principais (MLR-PCA) e Cointegração (Coint). A intensidade do dano é expressa como redução da área da secção transversal. [Minimum detectable damage in each of the 88 stay-cables of the Corgo Bridge using the data collected on the 10 instrumented cables \(identified in red\). Two algorithms were tested: Multilinear Regression & Principal Component Analysis \(MLR-PCA\) and Cointegration \(Coint\). Damage intensity expressed as the cross-sectional area reduction.](#)

FRPLongDur – Comportamento estrutural a longo prazo e de durabilidade de elementos de betão armado reforçados à flexão com laminados de CFRP

FRPLongDur – Long-term structural and durability performances of reinforced concrete elements strengthened in flexure with CFRP laminates

COORDENAÇÃO LEADING INSTITUTION ISISE/Universidade do Minho

PARCEIROS PARTNERS LNEC

COORDENADOR(ES) COORDINATION José Sena-Cruz

EQUIPA TEAM Universidade do Minho – Aloys Dushimimana, José Ricardo Cruz, José Sena-Cruz, Luís Correia, Miguel Azenha, Mohammadali Rezazadeh, Pedro Fernandes; LNEC – Susana Cabral da Fonseca

FINANCIAMENTO FUNDING FCT – Portuguese Foundation for Science and Technology

ORÇAMENTO BUDGET Total: 199 983,00 €; Universidade do Minho: 174 988,32 €; LNEC: 24 996,00 €

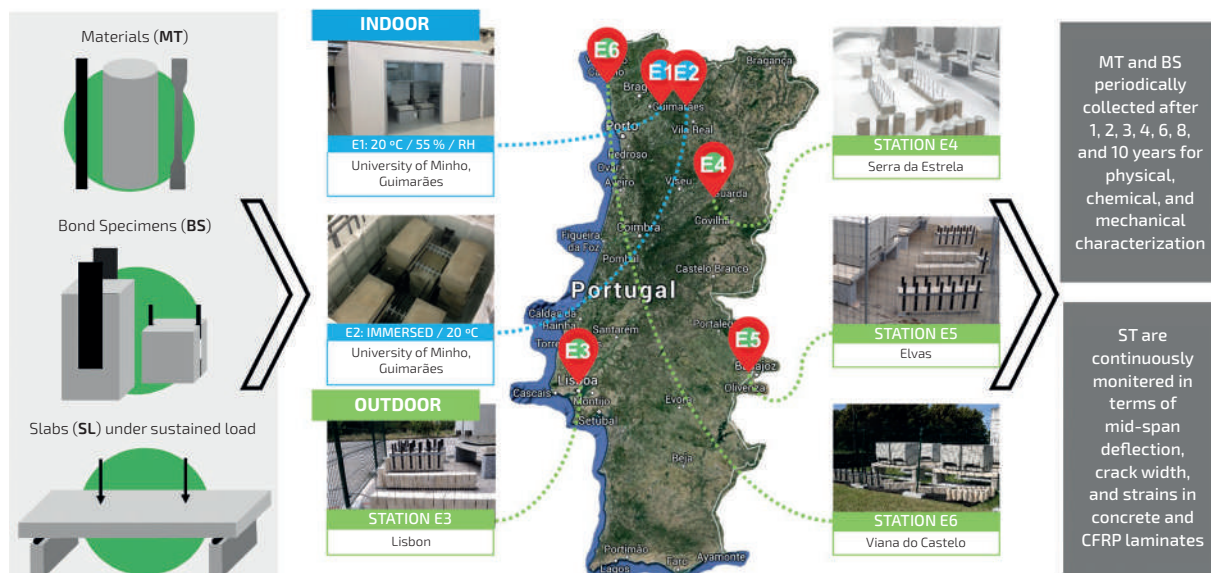
PERÍODO PERIOD 2016–2026

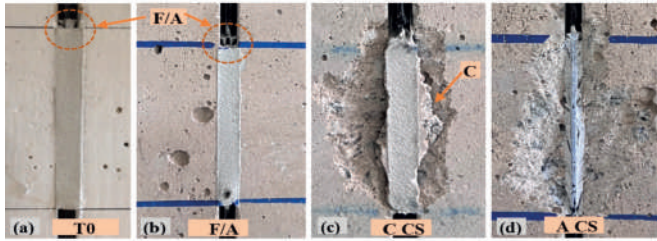
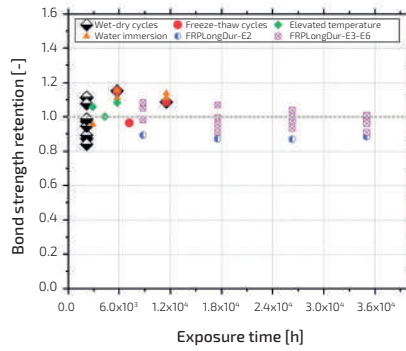
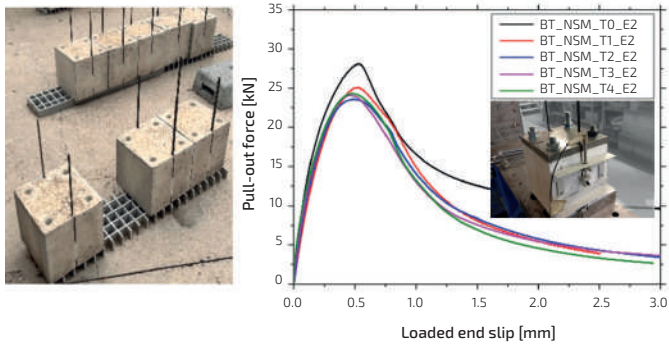
O principal objetivo do projeto de investigação FRPLongDur é aprofundar o conhecimento sobre o comportamento estrutural a longo prazo e o desempenho em termos de durabilidade de elementos de betão armado reforçados à flexão com laminados CFRP utilizando as técnicas EBR e NSM, sob o efeito de condições ambientais naturais. O projeto compreende três componentes: (i) um extenso programa experimental, (ii) simulações numéricas e (iii) o desenvolvimento de recomendações de projeto.

O programa experimental inclui: (i) amostras de caracterização de materiais (MT) e provetes para a caracterização da aderência (BT) à mesoescala e (ii) de lajes à escala real (ST). Esses protótipos foram usados para investigar os efeitos da fluência, carbonatação, humidade, cloretos, ciclos térmicos, ciclos de congelamento-degelo e nível inicial de deformação do FRP (pós-tensão). Foram considerados seis ambientes de envelhecimento diferentes. Os ambientes laboratoriais compreendem: E1 - amostras condicionadas a 20 °C e 55 % de humidade relativa; e E2 - amostras totalmente imersas em água a 20 °C. Os ambientes naturais foram

The main objective of the FRPLongDur research project is to advance knowledge on the long-term structural behaviour and durability performance of reinforced concrete (RC) elements strengthened in flexure with CFRP laminates using the EBR and NSM techniques, under natural environmental conditions. The project comprises three main components: (i) an extensive experimental program, (ii) numerical simulations, and (iii) the development of design recommendations.

The experimental program includes: (i) material (MT) and bond (BT) characterization specimens at the meso-scale, and (ii) full-scale RC slab specimens (ST). These prototypes were used to investigate the effects of sustained stress (creep), carbonation, moisture, chlorides, thermal cycles, freeze-thaw cycles, and initial FRP strain level (post-tensioning). Six different environments were considered, including two laboratory-based and four outdoor exposure conditions. The laboratory environments comprised: E1 - specimens conditioned at 20 °C and 55 % relative humidity; and E2 - specimens fully immersed in tap water at 20 °C. The outdoor environments





Environmental conversion factors:

- All agents: **0.85**

Durabilidade da aderência betão/CFRP de acordo com a técnica NSM. [Bond durability of concrete/CFRP according to the NSM technique.](#)

selecionados em quatro regiões de Portugal, representando os mecanismos de degradação dominantes: E3 - Lisboa, clima urbano mediterrânico ameno com CO₂ atmosférico elevado; E4 - Serra da Estrela, região de alta altitude com grandes amplitudes térmicas, as temperaturas mais baixas do país, radiação UV intensa e ação de gelo-degelo; E5 - Elvas, clima quente com amplitudes térmicas muito elevadas, as temperaturas mais altas do país e alta radiação UV; E6 - Viana do Castelo: ambiente marítimo atlântico com alta humidade, salinidade e exposição a cloretos.

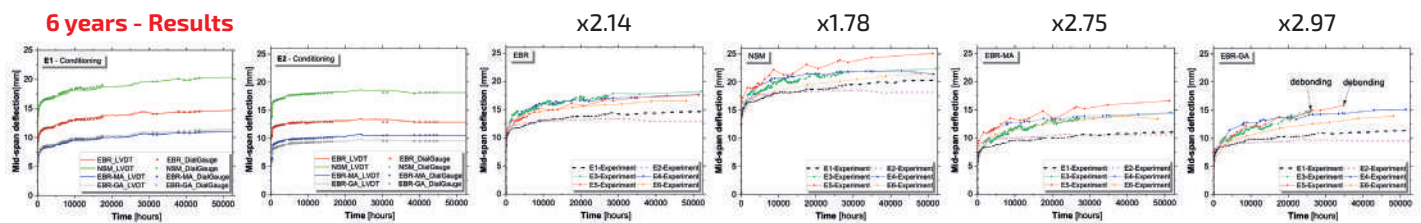
Amostras MT e BT são coletadas periodicamente após 1, 2, 3, 4, 6, 8 e 10 anos de envelhecimento para caracterização física, química e mecânica em laboratório. As lajes ST são monitoradas continuamente em termos de flexão no meio do vão, largura da fendas e extensões no betão e laminados CFRP.

Os resultados experimentais são utilizados para prever o comportamento da vida útil a longo prazo, apoiados por modelos numéricos, levando à proposta de recomendações de projeto na forma de fatores de conversão ambiental.

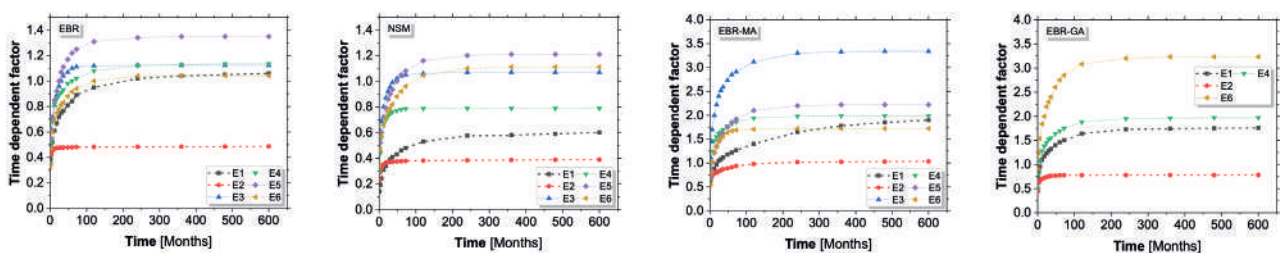
were selected in four Portuguese regions, representing dominant degradation mechanisms: E3 - Lisbon, mild Mediterranean urban climate with elevated atmospheric CO₂; E4 - Serra da Estrela, high-altitude region with large thermal amplitudes, the lowest national temperatures, intense UV radiation, and freeze-thaw action; E5 - Elvas, warm climate with very high thermal amplitudes, the highest national temperatures, and high UV radiation; E6 - Viana do Castelo: maritime Atlantic environment with high humidity, salinity, and chloride exposure.

MT and BT specimens are periodically collected after 1, 2, 3, 4, 6, 8, and 10 years of ageing for physical, chemical, and mechanical characterization at laboratory. The slab specimens ST are continuously monitored in terms of mid-span deflection, crack width, and strain development in both the concrete and CFRP laminates.

The experimental results are used to predict long-term service-life behaviour supported by numerical models, leading to the proposal of design recommendations in the form of environmental conversion factors.



50 years - Extrapolation



Generalized Kelvin model + ACI 318R-19

Comportamento a curto e longo prazo de lajes de betão armado reforçadas à flexão com laminados de CFRP sob o efeito de carregamento constante no tempo. [Short- and long-term behaviour of reinforced concrete slabs strengthened with CFRP laminates under the effect of constant loading over time.](#)

PreSlabTec – Sistema construtivo inovador para laje aligeirada integralmente pré-fabricada de elevado desempenho comportamental

PreSlabTec – Innovative construction system for fully prefabricated lightweight slab of high behavioural performance

COORDENAÇÃO LEADING INSTITUTION ISISE/Universidade do Minho

PARCEIROS PARTNERS CiviTest, Serralharia Cunha

COORDENADOR(ES) COORDINATION Inês Costa (PI), Isabel Valente (co-PI) e Ricardo França (co-PI)

EQUIPA TEAM Universidade do Minho – Alexandre Salles, Eduardo Pereira, Isabel Valente, José Sena Cruz, Ricardo Mateus, Talita Lima; CiviTest – Cristina Frazão, Delfina Gonçalves, Felipe Salomão, Inês Costa, Lúcio Lourenço, Tiago Valente; Serralharia Cunha – José Costa, José Fernandes, Luís Costa, Rui Costa, Xavier Araújo

FINANCIAMENTO FUNDING ANI, the Portuguese National Innovation Agency

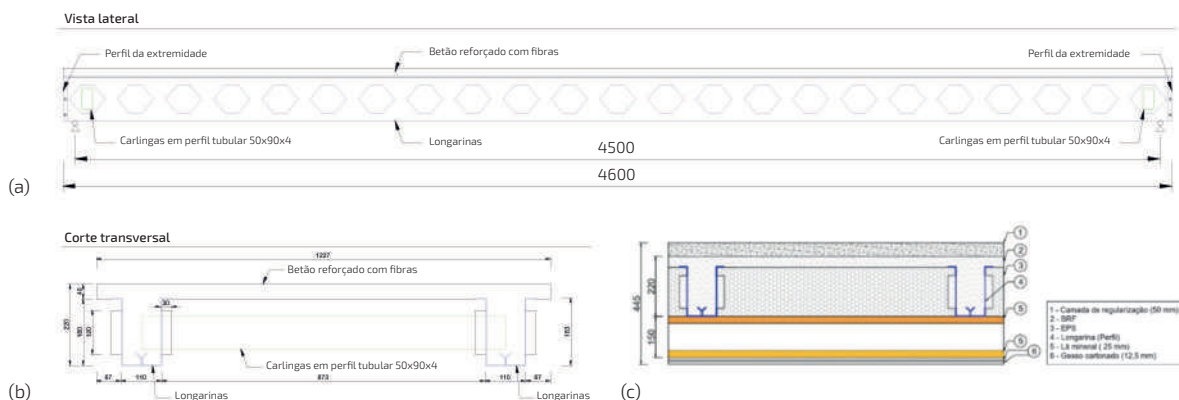
ORÇAMENTO BUDGET Total: 502 951,11€; Universidade do Minho: 136 395,08 €; CiviTest: 214 378,87 €;

Serralharia Cunha: 152 177,16 €

PERÍODO PERIOD 2018–2020

O PreSlabTec teve como principal objetivo utilizar novos materiais e métodos de fabrico para o desenvolvimento de um inovador tipo de lajes aligeiradas com desempenho estrutural e funcional superior ao de lajes existentes e com elevada competitividade económica e de impacto ambiental. As lajes PreSlabTec podem ser integralmente ou parcialmente pré-fabricadas. O seu extraordinário desempenho estrutural foi avaliado por completo programa experimental

The main objective of the PreSlabTec project was to use new materials and manufacturing methods to develop an innovative type of lightweight slab, which can be either fully or partially prefabricated, with higher structural and functional performance than existing slab constructions systems at competitive price and environmental impact. Its outstanding structural performance was assessed through a comprehensive experimental programme,



Conceito PreSlabTec: a) Perfis metálicos enformados a frio; blocos de EPS que servem de molde ao betão reforçado com fibras (BRF) e de isolamento, bem como o BRF preenchendo os perfis e formando o deck; secção transversal b) sem e c) com materiais de isolamento. **PreSlabTec slab concept: a) Cold-formed steel profiles; EPS blocks that serve as moulds for the fibre-reinforced concrete (FRC) and as insulation, as well as the FRC filling the profiles and forming the deck; cross-section b) without and c) with insulation materials.**

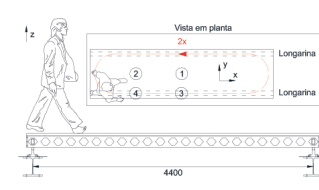
44



(a)



(b)



(c)

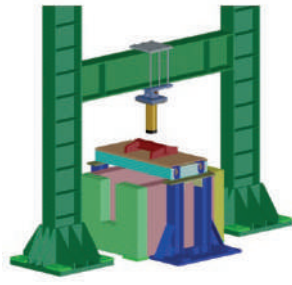


Ensaio de avaliação da deformação a longo prazo de um protótipo de laje PreSlabTec submetido a flexão sob carga uniformemente distribuída. **Test to evaluate the long-term deformation of a PreSlabTec slab prototype subjected to bending under a uniformly distributed load.**

Ensaio estático para avaliação do comportamento estrutural de protótipos de lajes PreSlabTec sob carregamento para induzir rotura por: a) flexão, e b) esforço transversal; c) ensaios dinâmicos. **Static tests to assess the structural behaviour of PreSlabTec slab prototypes under loading to induce failure by: a) bending, and b) shear; c) dynamic tests.**

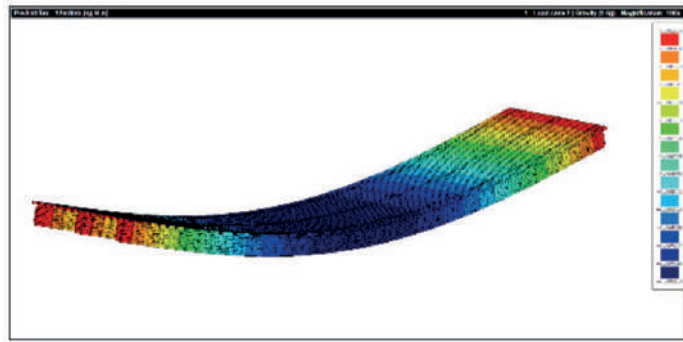


(a)

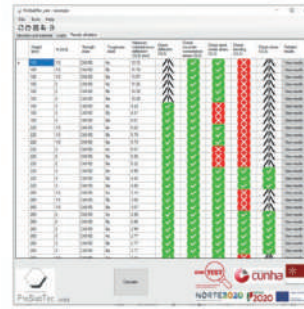


(b)

Ensaio de protótipo de laje PreSlabTec para caracterização: a) do seu comportamento funcional em câmara térmica; e b) da sua resistência ao fogo sob carga. **Tests on a PreSlabTec slab prototype to characterise its: a) functional performance in a thermal chamber; and b) fire resistance under loading.**



Modelação numérica de protótipo de laje PreSlabTec com 12 metros de vão. **Numerical simulation of a prototype of PreSlabTec of 12 meters span.**



Software desenvolvido para projeto de lajes de edifícios recorrendo ao conceito PreSlabTec. **Software developed for the design of building slabs using the PreSlabTec concept.**

que incluiu ensaios estáticos e dinâmicos, de avaliação da sua deformação a longo prazo. Apesar de terem sido adotadas configurações de carregamento para forçar a ocorrência de rotura por esforço transversal, o comportamento dos protótipos foi dúctil. Foram ainda executados ensaios para avaliar o seu comportamento funcional e sob temperaturas representativas de incêndio com protótipo submetido a carga. Os ensaios foram acompanhados por modelações numéricas avançadas para verificação da fiabilidade de um software desenvolvido para apoio a projetistas que pretendam utilizar o PreSlabTec nos seus projetos. A construção de um protótipo recorrendo a este conceito estrutural permitiu avaliar a competitividade técnica e económica do sistema construtivo desenvolvido, e serve como laboratório de escala real para estimar o comportamento estrutural, funcional e durabilidade deste sistema. Esta laje encontra-se patenteada, PT 116162, (<https://inpi.justica.gov.pt/Boletim-da-propriedade-Industrial>).

Mais informação: Barros, J.A.O.; Costa, I.G.; Frazão, C.M.V.; Valente, T.D.S.; Lourenço, L.A.P.; Melo, F.J.S.A., "Innovative prefabricated lightweight slab system of high structural performance", *Engineering Structures Journal*, 259, 114146, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.114146>.

which included static and dynamic tests and the evaluation of its long-term deformation. Although loading configurations were adopted to induce shear failure, the behaviour of the prototypes was highly ductile. Additional tests were carried out to assess the slab's functional performance and its behaviour under fire-representative temperatures with a loaded prototype. The tests were supported by advanced numerical modelling, used to verify the reliability of a software developed to assist designers wishing to use PreSlabTec in their projects. The construction of a prototype based on this structural concept enabled the assessment of the technical and economic competitiveness of the developed construction system and serves as a full-scale laboratory for estimating its structural, functional, and durability performance. This slab is patented, PT 116162, (<https://inpi.justica.gov.pt/Boletim-da-propriedade-Industrial>).

Detailed information: Barros, J.A.O.; Costa, I.G.; Frazão, C.M.V.; Valente, T.D.S.; Lourenço, L.A.P.; Melo, F.J.S.A., "Innovative prefabricated lightweight slab system of high structural performance", *Engineering Structures Journal*, 259, 114146, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.114146>.



(a)



(b)



(c)



(d)

Instalação piloto: construção dos protótipos do sistema de lajes (a) Preparação dos perfis de aço enformados a frio, (b) Colocação do material de isolamento, (c) Colocação do BRFA, (d) Montagem dos protótipos na instalação piloto. **Pilot installation: construction of the slab system prototypes – (a) preparation of the cold-formed steel profiles, (b) placement of the FRC, (d) assembly of the prototypes in the pilot installation.**

RecycleBIM – Planeamento e Registo Integrados da Circularidade de Materiais de Construção através de Modelação Digital

RecycleBIM – Integrated Planning and Recording Circularity of Construction Materials through Digital Modelling

COORDENAÇÃO LEADING INSTITUTION ISISE/Universidade do Minho

PARCEIROS PARTNERS ACCA Software, Gaiurb EM, Holcim, Lezama Demoliciones, Marta Campos Arquitectura, Newton, SHW Messel, Stellenbosch University, TU Darmstadt, Universidade de Vigo, University of the Western Cape

COORDENADOR(ES) COORDINATION Miguel Azenha

EQUIPA TEAM Universidade do Minho – Miguel Azenha, Paulo Lourenço, Ricardo Mateus; ACCA Software – Gerardo Carpentieri, Giovanni Alessandro Esposito, Michelangelo Cianciulli; Gaiurb EM – Carla Pires, Marco Lima Carvalho; Holcim – Arnaud Delaplace, H el ene Lombois-Burger, Mihaela Louis; Lezama Demoliciones – Enrique Pelluz, Erik Sandonis, German Pardo; Marta Campos Arquitectura – Marta Campos; Newton – João Vieira, José Carlos Lino; SHW Messel – Bernd L osch; Stellenbosch University – Adewumi Babafemi, Gideon van Zijl, Wibke de Villiers; TU Darmstadt – Christoph Mankel, Eduardus Koenders, Neven Ukrainczyk; Universidade de Vigo – Antonio Fernández, Henrique Lorenzo, Lucía Díaz-Vilariño; University of the Western Cape – Leslie Petrik

FINANCIAMENTO FUNDING ERA-MIN

ORÇAMENTO BUDGET Total: 2 001 664 €; Universidade do Minho: 152 568 €; ACCA Software: 461 498 €; Gaiurb EM: 8 307 €; Holcim: 239 690 €; Lezama Demoliciones: 299 000 €; Marta Campos Arquitectura: 12 000 €; Newton: 13 200 €; SHW Messel: 146 000 €; Stellenbosch University: 183 514 €; TU Darmstadt: 232 800 €; Universidade de Vigo: 153 985 €; University of the Western Cape: 99 102 €

PERÍODO PERIOD 2022-2025

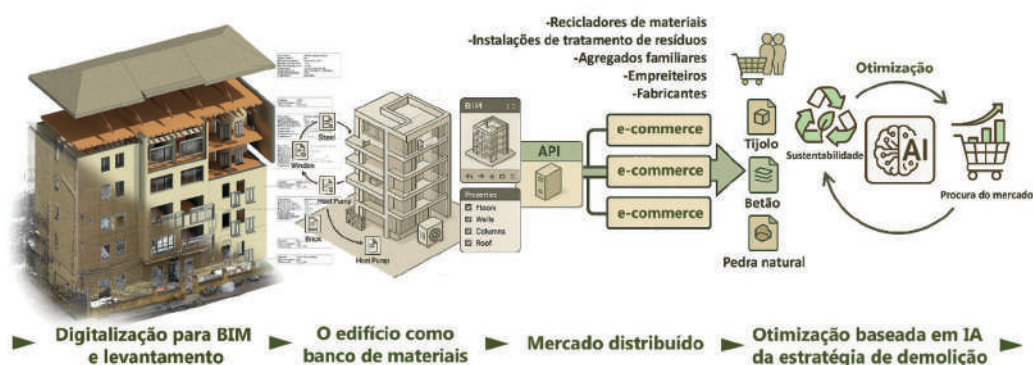
A investiga o recente em estruturas de betão tem vindo a demonstrar que a sustentabilidade não depende apenas do desempenho mecânico dos materiais, mas também da forma como estes são planeados, caracterizados, transacionados e reutilizados ao longo do ciclo de vida das constru es. Neste contexto, o projeto RecycleBIM propôs uma abordagem integrada que combinou tecnologias digitais, avalia o estrutural e análise ambiental e econ mica para promover a circularidade no setor da constru o. O objetivo global do projeto foi criar um enquadramento metodológico que permitisse antecipar, quantificar e valorizar os fluxos de materiais provenientes da constru o e da demoli o, recorrendo   informa o digital como suporte   decisão.

O RecycleBIM baseou-se na utiliza o de modelos digitais de edifícios (BIM), complementados por metodologias de *scan-to-BIM* e auditorias de pr -demoli o, permitindo a caracteriza o rigorosa dos materiais existentes. A partir desta informa o, foram gerados invent rios digitais de r sduos de constru o e demoli o,

Recent research in concrete structures has shown that sustainability depends not only on the mechanical performance of materials, but also on how they are planned, characterised, traded, and reused throughout the construction lifecycle. In this context, the RecycleBIM project proposed an integrated approach that combined digital technologies, structural assessment, and environmental and economic analysis to promote circularity in the construction sector. The overall objective of the project was to establish a methodological framework capable of anticipating, quantifying, and valorising material flows arising from construction and demolition activities, using digital information as a basis for decision-making.

RecycleBIM was based on the use of Building Information Modelling (BIM), complemented by scan-to-BIM methodologies and pre-demolition audits, enabling the rigorous characterisation of existing materials. From this information, digital inventories of construction and demolition waste were generated, including

46





(a)



(b)

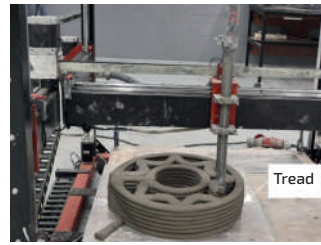


(c)



(d)

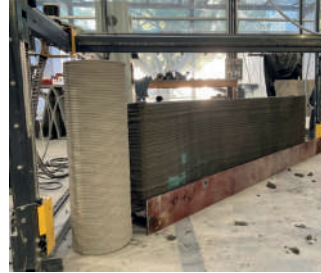
Caso de estudo RecycleBIM "Sestao" – exemplos de inspeção de elementos construtivos: (a) visão exterior; (b) janela; (c) escadas; (d) parede. [RecycleBIM "Sestao" case study – examples of building element inspection: \(a\) exterior view; \(b\) window; \(c\) stairs; \(d\) wall](#)



(a)



(b)



(c)



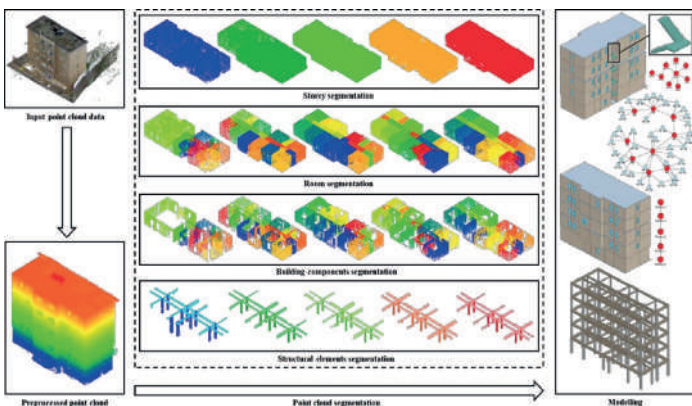
(d)

Impressão 3D de elementos construtivos com incorporação de betão reciclado: (a) pilar; (b) ensaio à compressão do pilar; (c) parede; (d) ensaio à compressão da parede. [3D printing of building elements incorporating recycled concrete: \(a\) column; \(b\) column compression test; \(c\) wall; \(d\) wall compression test](#)

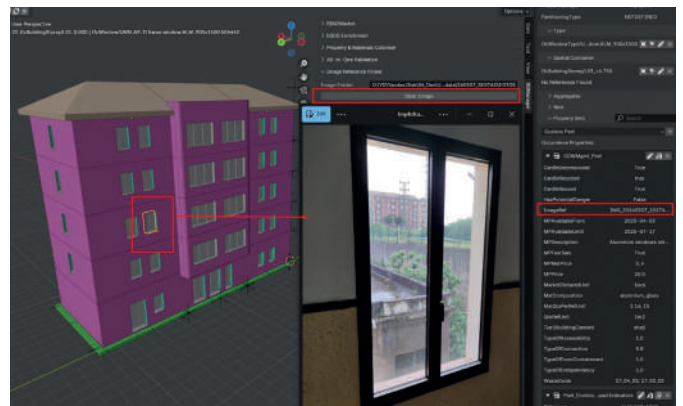
incluindo materiais cimentícios, que assumiram particular relevância pelo seu volume, impacto ambiental e potencial de reutilização. Estes inventários alimentaram modelos de Custos e Análise do Ciclo de Vida (LCC/LCA), bem como ferramentas de otimização multiobjetivo, possibilitando a comparação fundamentada entre soluções convencionais e cenários mais circulares.

Adicionalmente, o projeto introduziu um paradigma *BIM-to-Market*, no qual a informação gerada em BIM suportou a criação de marketplaces digitais de materiais circulares. Estes ambientes permitiram ligar o planeamento da demolição, o projeto estrutural e a disponibilização de materiais secundários a potenciais utilizadores, promovendo transparência, rastreabilidade e novas dinâmicas económicas. Neste enquadramento, a impressão 3D em betão surgiu como um utilizador natural destes mercados, permitindo integrar agregados reciclados e ligantes alternativos em misturas imprimíveis com requisitos controlados de resistência, durabilidade e construtibilidade. O RecycleBIM demonstrou, assim, como o betão pôde desempenhar um papel central em cadeias de valor circulares suportadas por informação digital fiável.

cementitious materials, which proved particularly relevant due to their volume, environmental impact, and reuse potential. These inventories fed Life Cycle Cost and Life Cycle Assessment (LCC/LCA) models, as well as multi-objective optimisation tools, allowing for a technically sound comparison between conventional solutions and more circular alternatives. In addition, the project introduced a *BIM-to-Market* paradigm, in which BIM-generated information supported the creation of digital marketplaces for circular materials. These environments enabled the linkage between demolition planning, structural design, and the availability of secondary materials to potential users, promoting transparency, traceability, and new economic dynamics. Within this framework, 3D concrete printing emerged as a natural user of such markets, enabling the integration of recycled aggregates and alternative binders into printable concrete mixtures with controlled requirements in terms of strength, durability, and constructability. RecycleBIM thus demonstrated how concrete can play a central role in circular value chains supported by reliable digital information.



Processo Scan-to-BIM do caso de estudo "Sestao", desde nuvem de pontos a modelo BIM. [Scan-to-BIM process of the "Sestao" case study, from point cloud to BIM model.](#)



Ferramenta RecycleBIM para interação com modelo digital, incluindo previsão de volumes de materiais de demolição e ligação ao Marketplace digital. [RecycleBIM tool for interaction with digital model, including forecasting demolition material volumes and connection to the digital Marketplace.](#)

RENEW – Resíduos na construção para uma economia circular: de indústria intensiva em recursos naturais a solução competitiva para a incorporação de resíduos em grande escala

RENEW – Construction waste for a circular economy: from a resource-intensive industry to competitive large-scale waste incorporation solutions

COORDENAÇÃO LEADING INSTITUTION ISISE/Universidade do Minho

PARCEIROS PARTNERS DST, UTAD, Centro para a Valorização de Resíduos (CVR)

COORDENADOR(ES) COORDINATION Eduardo Pereira

EQUIPA TEAM Universidade do Minho – Ana Neves, Carlos Loureiro, Caroline Moura, Eduardo Pereira, Hugo Silva, Isabel Pereira, João Almeida, Joel Oliveira, Norma Gaibor, Rafael Santos, Tiago Miranda, Vítor Cunha; DST – José Costa, Mafalda Rodrigues; UTAD – Nuno Cristelo; CVR – André Ribeiro, Jorge Araújo, Lucas Nascimento

FINANCIAMENTO FUNDING ANI, the Portuguese National Innovation Agency

ORÇAMENTO BUDGET Total: 1 616 624,62 €; Universidade do Minho: 464 683,17 €; DST: 832 684,74 €; UTAD: 158 662,33 €; CVR: 160 594,38 €

PERÍODO PERIOD 2019-2023

O projeto RENEW tem como principal objetivo promover a transição do setor da construção de um modelo linear, intensivo no consumo de recursos naturais, para um modelo de economia circular, baseado na incorporação sistemática, tecnicamente sustentada e em larga escala de resíduos e subprodutos industriais em materiais de construção. Para além da redução da pegada de carbono associada aos constituintes do betão, o projeto visa aumentar a sustentabilidade global das soluções desenvolvidas através da extensão da vida útil das estruturas e da introdução de funcionalidades avançadas.

O RENEW centra-se no desenvolvimento de betões estruturais e de elevado desempenho com reduzido teor de ligantes convencionais e elevada incorporação de resíduos, como escórias de forno elétrico a arco, cinzas volantes, resíduos cerâmicos e fibras metálicas recicladas. Paralelamente, são desenvolvidas funcionalidades avançadas, incluindo melhoria da durabilidade, controlo e limitação da fissuração, capacidade de autorregeneração (*self-healing*), aumento da ductilidade e desenvolvimento de betões com propriedades funcionais adicionais.

The RENEW project aims to support the transition of the construction sector from a linear, resource-intensive model to a circular economy paradigm, based on the systematic, technically sound and large-scale incorporation of industrial waste and by-products into construction materials. Beyond reducing the embodied CO₂ of concrete constituents, the project seeks to enhance overall sustainability by extending service life and introducing advanced material functionalities.

RENEW focuses on the development of low-carbon structural and high-performance concretes with reduced conventional binder content and high incorporation of materials such as electric arc furnace slag, fly ash, ceramic waste and recycled steel fibres. In parallel, the project develops advanced functionalities, including enhanced durability, improved crack control, self-healing capacity, increased ductility and the integration of additional functional properties that expand the service features of concrete.

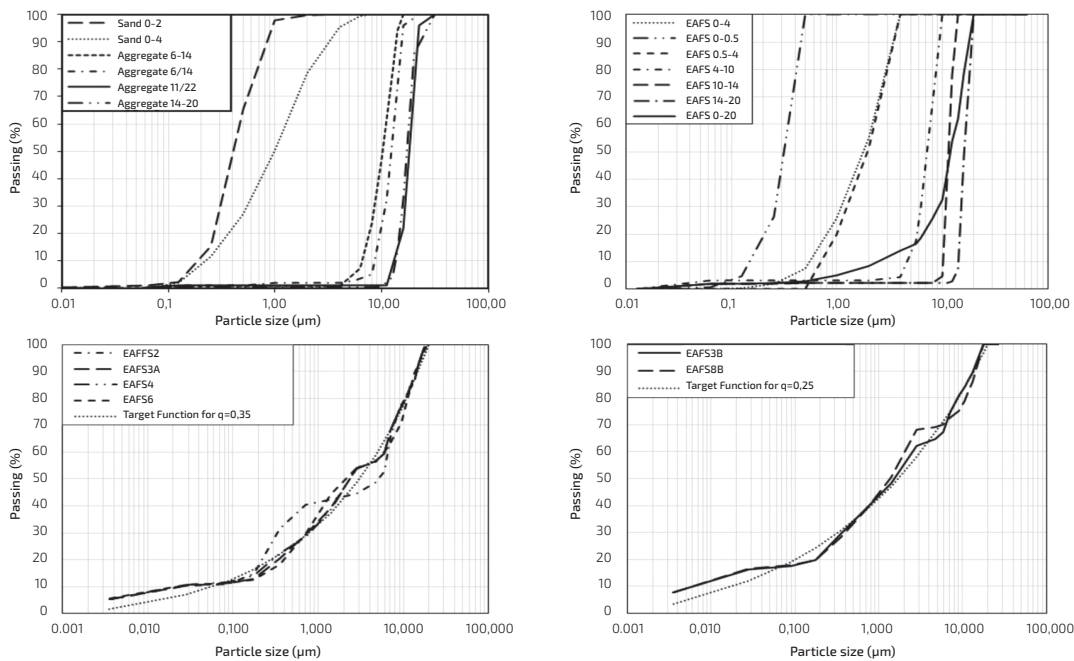
48



O projeto RENEW. RENEW Project.



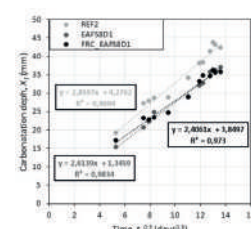
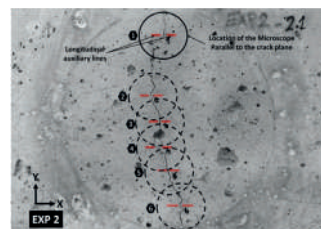
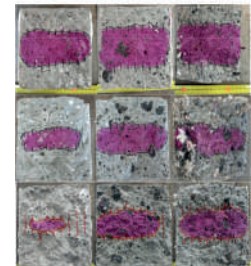
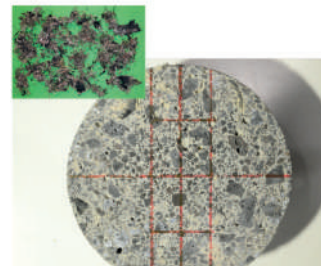
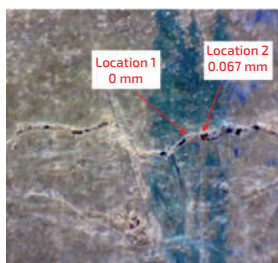
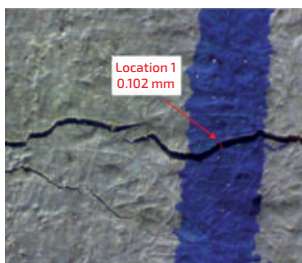
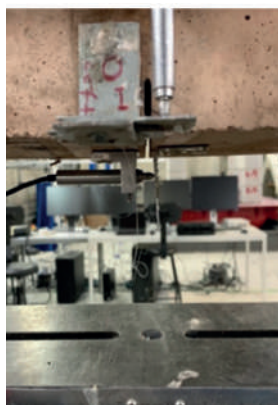
Materiais reciclados e subprodutos industriais utilizados. Recycled and industrial by-product materials used.



Desenho avançado de misturas e otimização da compactidade. **Advanced mix design and particle packing optimisation.**

A estratégia do projeto baseia-se numa abordagem integrada que combina metodologias avançadas de formulação, nomeadamente otimização granulométrica e conceção orientada ao desempenho, com uma campanha experimental extensa. Esta inclui a caracterização do comportamento no estado fresco, propriedades mecânicas, desempenho em termos de durabilidade e avaliação de funcionalidades específicas, permitindo analisar o impacto simultâneo da incorporação de resíduos e das funcionalidades desenvolvidas no desempenho global do material. O projeto encontra-se estruturado em várias atividades complementares, desde a definição de especificações técnicas e requisitos normativos, ao desenvolvimento e validação experimental de soluções inovadoras, culminando na avaliação do seu potencial de aplicação industrial. Os resultados do RENEW contribuem para soluções de betão mais sustentáveis, resilientes e multifuncionais, alinhadas com as políticas europeias de economia circular e com uma abordagem de sustentabilidade baseada no ciclo de vida.

The project adopts an integrated research strategy that combines advanced mix-design methodologies—such as particle packing optimisation and performance-based design—with an extensive experimental programme. This programme includes the assessment of fresh behaviour, mechanical performance, durability indicators and the evaluation of specific functionalities, allowing a comprehensive analysis of how recycled constituents and advanced features jointly influence long-term performance. RENEW is structured into complementary activities covering the definition of technical specifications and normative requirements, the development and experimental validation of innovative concrete formulations, and the assessment of their industrial applicability. By addressing sustainability through both material efficiency and service-life extension, the project contributes to more resilient, multifunctional and environmentally responsible concrete solutions, fully aligned with European circular economy strategies and life-cycle-based sustainability principles.



Funcionalidades avançadas: controlo de fissuração e auto-reparação. **Advanced functionalities: crack control & self-healing.**

Da otimização do material à sustentabilidade em toda a vida útil. **From material optimisation to service-life sustainability.**

DamSwelling-II – Modelação dos efeitos das expansões do betão em barragens, para apoio à gestão e reabilitação das obras

DamSwelling-II – Modelling the effects of concrete swelling in dams to support management and rehabilitation

COORDENAÇÃO LEADING INSTITUTION LNEC

PARCEIROS PARTNERS EDP, Ottawa University

COORDENADOR(ES) COORDINATION António Lopes Batista, Ivo Figueiredo Dias

EQUIPA TEAM LNEC – António Lopes Batista, Carlos Serra, Ivo Figueiredo Dias, José Piteira Gomes, Nuno Monteiro Azevedo

FINANCIAMENTO FUNDING LNEC

ORÇAMENTO BUDGET Total: 532 272 €

PERÍODO PERIOD 2024-2027

As reações expansivas do betão de origem interna, que incluem a reação álcali-agregado e a reação sulfática interna, conduzem ao aumento de volume do betão na presença de água. Os danos induzidos variam entre pequenas fendas superficiais dispersas, no caso de expansões moderadas, e fendas de grande abertura com separação de material, no caso de expansões severas, que podem pôr em risco a segurança estrutural.

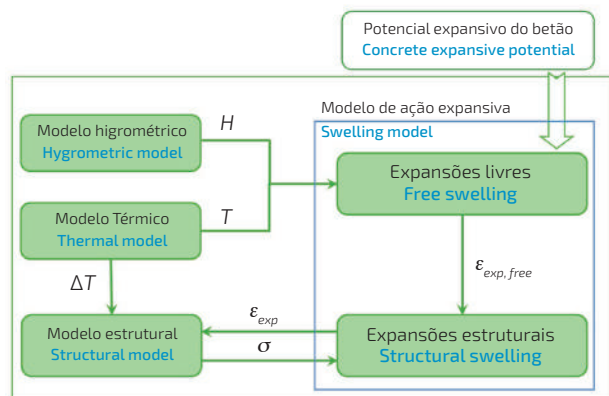
A modelação das expansões é uma tarefa complexa, pois depende das propriedades químicas intrínsecas do betão, que determinam o seu potencial de expansão, da temperatura e humidade internas, que influenciam fortemente a cinemática da reação, e do estado de tensão, dado que tensões de compressão elevadas restringem significativamente a expansão nas direções correspondentes, resultando num fenómeno altamente anisotrópico.

Os campos térmicos e higrométricos podem ser estimados recorrendo a modelos dedicados a resolver, respetivamente, os problemas térmico e higrométrico, enquanto os efeitos estruturais podem ser avaliados com um modelo mecânico capaz de representar o comportamento viscoelástico e não linear do betão, permitindo considerar a relaxação de tensões devida a deformações impostas, a fluência sob cargas aplicadas e os efeitos não lineares associados à fendilhação por tração.

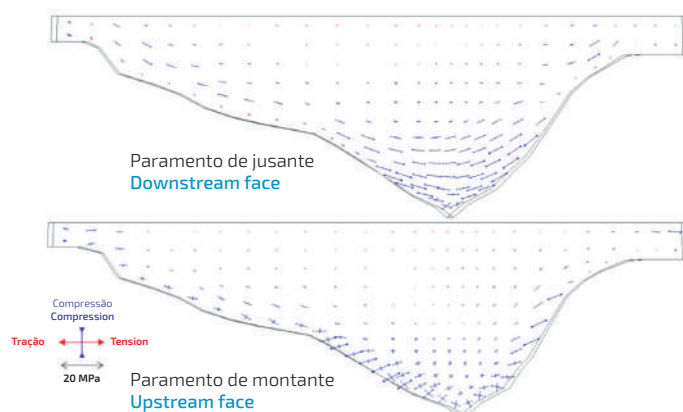
The expansive internal reactions of concrete, which include the alkali-aggregate reaction and the internal sulphate reaction, lead to concrete swelling in the presence of water. The induced damages range from small scattered surface cracks, for moderate expansions, to large cracks with material separation, in case of severe expansions, potentially endangering structural safety.

Modelling the expansive phenomena is a complex task because it depends on the intrinsic chemical properties of the concrete, which determine its expansion potential, on the internal temperature and humidity, as these strongly influence reaction kinematics, and on the stress state, since high compressive stresses significantly restrain expansion in the corresponding directions, resulting in a highly anisotropic phenomenon. The thermal and moisture fields can be estimated by using dedicated finite element models to solve the thermal and hygrometric problems, respectively, while the structural effects can be assessed using a mechanical model that has to be able to represent both the viscoelastic and nonlinear behaviour of concrete, in order to account for stress relaxation due to prescribed strains, creep under applied loads, and the nonlinear effects associated with tensile cracking.

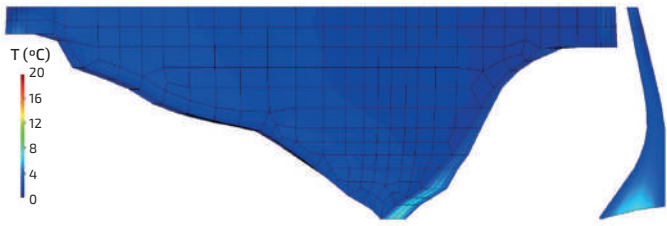
50



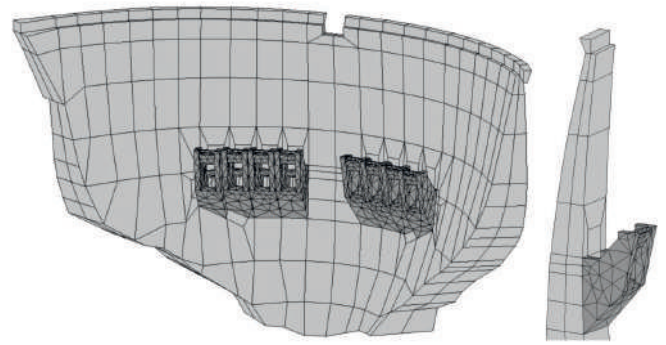
Modelos utilizados para simular a evolução das expansões do betão e dos seus efeitos estruturais. Models used to simulate the evolution of concrete expansion and its structural effects.



Barragem do Covão do Meio. Tensões principais nos paramentos devidas à ação conjunta do peso próprio, pressão hidrostática e expansões. Covão do Meio dam. Principal stresses on surfaces due to the combined actions of the dead weight, hydrostatic pressure and swelling.



Barragem do Covão do Meio. Campo de temperaturas calculado em época fria: paramento de jusante e consola central. **Covão do Meio dam. Computed temperature field in the dam in a cold season: downstream face and central cantilever.**

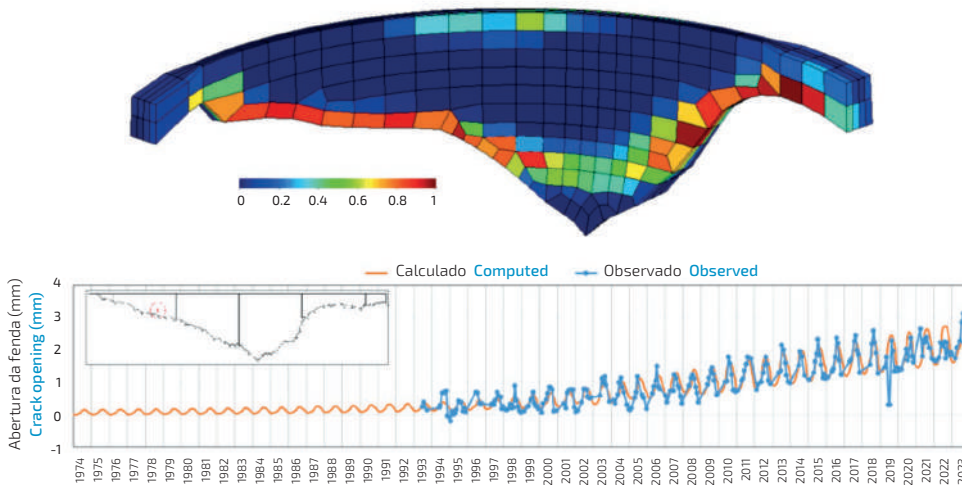


Barragem de Cahora Bassa. Malha de elementos finitos, incluindo as estruturas salientes do descarregador de meio fundo. **Cahora Bassa dam. Finite element mesh, including the mid-bottom spillway structures.**

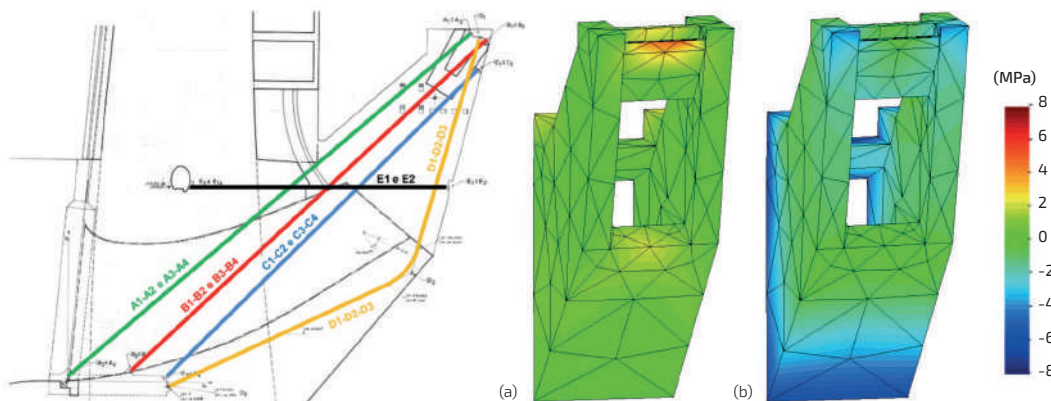
No âmbito deste projeto de investigação, o LNEC desenvolveu software de elementos finitos que incorpora estes efeitos, permitindo realizar análises mais rigorosas e fiáveis. A melhor compreensão da condição das estruturas permitirá aos donos de obra tomar decisões mais informadas relativamente à gestão ao longo do tempo e às intervenções de reabilitação mais adequadas, promovendo a segurança e durabilidade das barragens e melhorando a eficiência, o desempenho e a sustentabilidade da sua exploração. Os estudos já realizados incluem os casos das barragens de Santa Luzia, Pracana, Bemposta, Covão do Meio, Fratel e Fagilde, em Portugal, Cahora Bassa e Chicamba, em Moçambique, e Peti, no Brasil.

In the scope of this research project, LNEC developed a finite element software that can address these issues, so more accurate and reliable analysis can be performed. The better understanding of the structural condition will allow dam owners to make informed decisions regarding the management over time and the most appropriate rehabilitation interventions, promoting safety and durability of the dams and improving the efficiency, performance, and sustainability of their operation. The case studies already treated include the following dams: Santa Luzia, Pracana, Bemposta, Covão do Meio, Fratel and Fagilde, in Portugal, Cahora Bassa and Chicamba, in Mozambique, and Peti, in Brazil.

Variável de dano à tração **Tension damage variable**



Barragem do Covão do Meio. Danos no paramento de jusante e evolução da abertura da fenda. **Covão do Meio dam. Damage on the downstream face and evolution of the crack opening.**



Barragem de Cahora Bassa. Esquema dos cabos de pré-esforço de ligação à abóbada e tensões nas estruturas do descarregador de meio-fundo devidas às ações do peso próprio, pressão hidrostática, pré-esforço e expansões: a) tensões principais máximas e b) tensões principais mínimas. **Cahora Bassa dam. Layout of the prestressing tendons anchoring to the arch and stresses in the mid-bottom spillway structures due to dead weight, hydrostatic pressure, prestressing and swelling: a) maximum principal stresses; and b) minimum principal stresses.**

Degradação do betão por reações expansivas internas – Prevenção, Mitigação, Diagnóstico e Prognóstico

Concrete degradation due to internal expansive reactions – Prevention, Mitigation, Diagnosis and Prognosis

COORDENAÇÃO LEADING INSTITUTION LNEC

COORDENADOR(ES) COORDINATION João Custódio (Núcleo de Materiais Cimentícios do Departamento de Materiais / Cementitious Materials Unit of the Materials Department)

DEPARTAMENTOS DEPARTMENTS Departamento de Materiais, Departamento de Barragens de Betão, Departamento de Estruturas / Materials Department, Concrete Dams Department, Structures Department

FINANCIAMENTO FUNDING LNEC (0202/1102/19982, 0202/1102/24228), FCT – Portuguese Foundation for Science and Technology (IF/00595/2015/CP1326/CT0001,0202/1101/21202)

PERÍODO PERIOD 2015–2027

As reações expansivas de origem interna no betão (REI), nomeadamente a reação álcali-silica (RAS) e a reação sulfática interna (RSI), constituem uma das principais causas da degradação de infraestruturas de betão (e.g. pontes, viadutos, barragens). A RAS e a RSI originam, em determinadas condições, a formação de compostos com características expansivas, que podem levar à fendilhação e perda acentuada da resistência do betão. A fendilhação promove outros processos de degradação do betão nas estruturas, pois facilita a penetração de agentes agressivos, como água, cloretos e dióxido de carbono. Em geral, as primeiras manifestações de dano no betão associadas à RSI ocorrem antes de uma década após a construção, enquanto as primeiras manifestações de dano associadas à RAS ocorrem após períodos mais dilatados, que podem atingir várias décadas. No entanto, se as condições forem propícias, ambas as reações podem ser identificadas no betão ao fim de poucos anos, podendo reduzir o seu tempo de vida útil e levar à interrupção do seu funcionamento, à desativação ou à sua demolição. Em Portugal, estas reações estão presentes em várias dezenas de estruturas. A maioria destas infraestruturas críticas tem importância vital para a sociedade, pois desempenha funções fundamentais para a economia e a segurança do país.

Expansive reactions originating within concrete, namely the alkali-silica reaction (ASR) and the internal sulphate reaction (ISR, a phenomenon usually referred to as delayed ettringite formation, DEF, or heat-induced internal sulphate attack), are among the main causes of degradation of concrete infrastructure (e.g. bridges, viaducts, dams).

Under certain conditions, ASR and ISR can form expansive compounds that can lead to cracking and a marked loss of concrete strength. Cracking promotes other processes of concrete degradation in structures by facilitating the penetration of aggressive agents such as water, chlorides, and carbon dioxide. In general, the first signs of damage to concrete associated with ISR occur within a decade after construction, whereas those associated with ASR occur after longer periods, sometimes reaching several decades. However, if conditions are favourable, both reactions can be identified in concrete after a few years, thereby reducing its service life and potentially leading to interruption of operation, decommissioning, or demolition. In Portugal, these reactions are present in several dozen structures. Most of these critical infrastructures are of vital importance to society, as they perform fundamental functions for the country's economy and security.



Ponte sobre a Foz do Rio Dão (Ponte Foz do Dão), com a nova ponte em primeiro plano e a ponte desativada em segundo plano (a RAS e a RSI causaram fendilhação significativa, bem como uma redução do desempenho mecânico do betão da ponte antiga; a reabilitação não foi possível devido à profundidade considerável do rio onde se situam as colunas e as fundações). **Bridge over the river Dão in Foz do Dão (Foz do Dão bridge), with the new bridge in the foreground and the decommissioned bridge in the background (ASR and ISR caused significant cracking, as well as a reduction of the mechanical performance of the concrete of the old bridge; rehabilitation was not possible, owing to the considerable depth of the river where the columns and foundations are situated).**

Existem atualmente diversas lacunas no conhecimento relativamente à sua prevenção em novas estruturas e à sua mitigação, diagnóstico e prognóstico em estruturas existentes. Nesse sentido, no âmbito dos projetos de investigação acima referidos, têm sido realizados diversos estudos específicos para colmatar essas lacunas, alguns deles em colaboração com entidades estrangeiras. Por exemplo, no que diz respeito à prevenção destas reações em novas estruturas de betão, a investigação realizada levou à atualização profunda da Especificação LNEC E 461 em 2021, enquanto a investigação em curso permitirá uma nova revisão no final da presente década. Contribuindo, assim, para que os donos de obra tomem decisões mais informadas quanto à construção de novas estruturas de betão. Relativamente a estruturas existentes afetadas, o conhecimento atual está num estado de avanço que não permite, ainda, estabelecer de forma fiável o grau de evolução da reação no betão de uma obra e o potencial expansivo residual do betão, o que condiciona a previsão do comportamento futuro das obras. O estado de conhecimento atual também não permite, ainda, que sejam feitas recomendações seguras relativas a opções de mitigação destas reações em estruturas afetadas. Os estudos específicos já realizados, visando contribuir para a resolução dessas situações, foram aplicados com sucesso em múltiplas estruturas em Portugal e no estrangeiro. Os resultados dos estudos já realizados e em curso permitirão aos donos de obra planear e definir, atempadamente, intervenções de mitigação, manutenção ou reabilitação mais adequadas, promovendo a segurança e a durabilidade das estruturas e melhorando a eficiência, o desempenho e a sustentabilidade da sua exploração. Com a realização de atividade no LNEC, no âmbito das REI, pretende-se contribuir para o aumento da resiliência das nossas infraestruturas, salvaguardando a capacidade de estas operarem de forma regular, assegurando a disponibilidade de bens e serviços vitais ao país, e diminuindo o risco do comprometimento de atividades estratégicas e da capacidade de resposta do Estado. Uma prevenção e gestão adequadas destas reações permitem evitar o gasto, público e privado, de milhões de euros em obras de reabilitação, desativação, reconstrução e/ou demolição, em disputas legais, na implementação de alternativas para enfrentar a inoperabilidade dessas estruturas, etc. Refira-se, também, o enorme impacto que a degradação prematura de infraestruturas críticas, tais como as associadas à mobilidade, ao abastecimento de água e à produção de energia, terá nas populações afetadas.

There are currently several knowledge gaps regarding the prevention of its occurrence in new structures, and the mitigation, diagnosis and prognosis in existing structures. In this regard, within the scope of the aforementioned research projects, several specific studies have been conducted to address these gaps, some in collaboration with international partners. For example, regarding the prevention of these reactions in new concrete structures, the research conducted led to a comprehensive update of LNEC Specification E 461 in 2021, and ongoing research will enable a further revision at the end of this decade. This helps project owners make more informed decisions about the construction of new concrete structures. With regard to existing structures affected, current knowledge is not yet advanced enough to reliably determine the degree of evolution of the reactions in the concrete of a structure and the residual expansive potential of the concrete. This limits the prediction of the future behaviour of structures. The current state of knowledge also does not yet allow reliable recommendations on options for mitigating these reactions in affected structures. Specific studies already conducted to address these situations have been successfully applied to multiple structures in Portugal and abroad. The results of studies already conducted and those currently underway will enable project owners to timely plan and define the most appropriate mitigation, maintenance or rehabilitation interventions, thereby promoting the safety and durability of structures and improving the efficiency, performance, and sustainability of their operations. With the activity carried out at LNEC, in the context of expansive reactions of internal origin in concrete, it is intended to contribute to the increase of the resilience of our infrastructure, safeguarding its ability to operate regularly, ensuring the availability of goods and services vital to the country, and reducing the risk of compromising strategic activities and the State's response capacity. Adequate prevention and management of these reactions can prevent the public and private expenditure of millions of euros on rehabilitation works, decommissioning of structures, reconstruction and/or demolition of structures, legal disputes, and the implementation of alternatives to address the inoperability of such structures, among other costs. It should also be noted that the premature degradation of critical infrastructure, such as that associated with mobility, water supply, and energy production, will have a substantial impact on affected populations.



Barragem do Alto Ceira, com a nova barragem em primeiro plano e a barragem desativada em segundo plano (a barragem do Alto Ceira I foi desativada e parcialmente demolida em 2014 devido a fendilhação significativa, com passagem de água pelas fendas, resultante do desenvolvimento deletério da RAS; foi substituída por uma nova barragem, barragem do Alto Ceira II, construída a jusante da barragem desativada). **The Alto Ceira II dam is shown in the foreground, with the decommissioned Alto Ceira I dam visible in the background. The Alto Ceira I dam was decommissioned and partially demolished in 2014 due to significant cracking and leakage caused by alkali-silica reaction (ASR). It was replaced by the new Alto Ceira II dam, which was constructed downstream of the original dam's site.**

ERIES @ LNEC - I&D Europeu através de acesso transnacional à plataforma de ensaios sísmicos

ERIES @ LNEC - European R&D through transnational access to the shaking table facility

COORDENAÇÃO LEADING INSTITUTION LNEC

PARCEIROS PARTNERS ENPC, Italgum, ISAE-SupMéca, ETH Zurich, NMBU, NTUA, UC Berkeley, UCLouvain, University of Bologna, University of Catania, University of Hanze, University of Ljubljana, University of Napoli, University of Pavia, University of Rome, University of Strathclyde, University of York

COORDENADOR(ES) COORDINATION António A. Correia (PI), Paulo Candeias (co-PI), Filipe Ribeiro (co-PI)

EQUIPA TEAM LNEC – António A. Correia, Fernando Oliveira, Filipe Ribeiro, Madalena Ponte, Paulo Candeias, Vasco Bernardo; Parceiros / Partners – Andrea Orgnoni, Claudio Mazzotti, Dan Palermo, Daniele Losanno, Dimitrios Konstantinidis, Dimitrios Vamvatsikos, Edoardo Marini, Enrico Tubaldi, Gwendal Cumunel, Ihsan Bal, João P. Almeida, Luigi Piga, Michalis Vassiliou, Paolo Franchin, Roberto Tomasi, Rui Pinho, Stefania Lo Feudo, Tatjana Isakovic

FINANCIAMENTO FUNDING Horizon Europe

ORÇAMENTO BUDGET LNEC: 767 000,00 € (orçamento, parceiros e equipa associados apenas ao acesso transnacional ao LNEC, no âmbito do projeto ERIES, relacionado com estruturas de betão armado / budget, partners and team related specifically to the transnational access to LNEC, within the ERIES project, related to reinforced concrete structures)

PERÍODO PERIOD 2022-2026

O projeto ERIES inclui o acesso transnacional de grupos de investigação europeus à plataforma de ensaios sísmicos triaxiais (ST3D) do LNEC, num trabalho colaborativo com os investigadores do LNEC para o avanço da engenharia sísmica.

A ST3D encontra-se em operação desde 1995, com elevadas capacidades de força, deslocamento e velocidade, e uma capacidade de carga até 40 toneladas. O seu sistema de controlo aberto e totalmente digital permite a adoção de estratégias avançadas de ensaio. A extensa instrumentação, as paredes de reação envolventes e a possibilidade de ensaiar estruturas até ao colapso, tornam esta infraestrutura adequada a ensaios sísmicos complexos e de grande escala.

No âmbito do ERIES, foram desenvolvidos 4 projetos de investigação centrados na resposta sísmica de estruturas de betão armado (BA).

O projeto ALL4wALL estudou o comportamento dinâmico não linear à flexão e à torção de um núcleo de BA em U, com especial enfoque na redução dos deslocamentos residuais pós-sismo. Foram ensaiadas duas paredes, uma com armadura convencional e outra com varões superelásticos de ligas com memória de forma (SMA) na base da parede. O projeto materializou ensaios experimentais com torção em resposta dinâmica, com instrumentação inovadora e avanços na modelação numérica e no projeto baseado no desempenho.

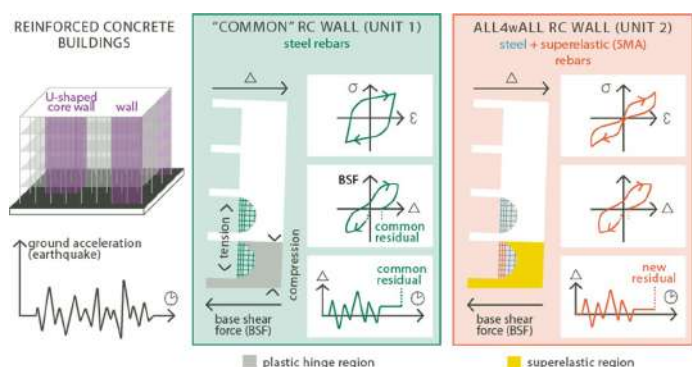
The ERIES project includes transnational access of European research groups to LNEC's large 3D shaking table (ST3D) facility for collaborative work with LNEC's researchers to advance earthquake engineering.

ST3D operates since 1995, with large force, displacement and velocity capacities, and a payload up to 40 tonnes. Its fully open and digital control system enables advanced testing strategies. The extensive instrumentation available, the reaction walls around ST3D and the ability to test structures up to collapse, make it suitable for complex, large-scale, seismic experimental activities.

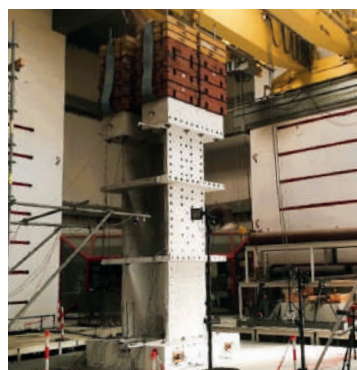
Within ERIES, 4 research projects focused on the seismic response of reinforced concrete (RC) structures.

ALL4wALL investigated the nonlinear dynamic torsional and flexural behaviour of RC U-shaped core walls, with emphasis on minimizing post-earthquake residual displacements. Two walls were tested: one conventionally reinforced and one incorporating superelastic shape memory alloy (SMA) rebars at the base of the wall. The project pioneered dynamic torsional testing of U-shaped walls, applied innovative instrumentation, and advanced numerical modelling and code-relevant performance-based design.

54



Redução de deslocamentos residuais pós-sismo. Reduction of post-earthquake residual displacements.



Modelo ALL4wALL. ALL4wALL specimen.



Modelo RE-Safe. RE-Safe specimen.

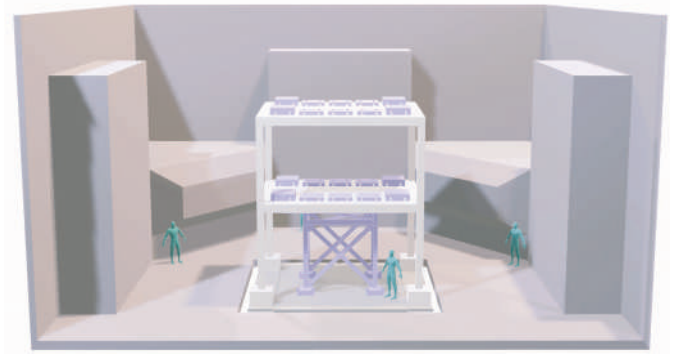


Ilustração da plataforma de ensaios sísmicos com o modelo ColCap. Illustration of the seismic testing facility with the ColCap specimen.

O projeto RE-Safe incidiu no reforço sísmico de edifícios existentes em BA através de uma camada estrutural exterior com painéis de madeira (CLT), ligada através de dissipadores por atrito. Os ensaios na mesa sísmica validaram o desempenho dinâmico do sistema, e avaliaram a redistribuição de rigidez em edifícios irregulares e a eficiência dos dissipadores, apoiando soluções de reabilitação sustentáveis e energeticamente eficientes.

O projeto FREISUST avaliou isoladores elastoméricos reforçados com fibras (FREI), incluindo soluções ecológicas com borracha reciclada. Foram testados dois sistemas de isolamento FREI instalados na base de uma estrutura de BA de dois pisos, à escala real, ensaiada sob excitação multicomponente, com o objetivo de validar a estabilidade, a redução de danos e a proteção de componentes não estruturais, contribuindo para o desenvolvimento normativo.

O projeto ColCap ensaiou até ao colapso dois pórticos de betão armado à escala real, projetados segundo os regulamentos sísmicos atuais, permitindo quantificar a capacidade real até ao colapso dos elementos de betão armado, validar modelos numéricos e apoiar o desenvolvimento futuro de modelos de fragilidade e de regulamentos sísmicos.

Na sua globalidade, os projetos promoveram avanços na resiliência sísmica, na sustentabilidade, nos métodos experimentais e no desenvolvimento normativo.

Informação detalhada: <https://eries.eu/>

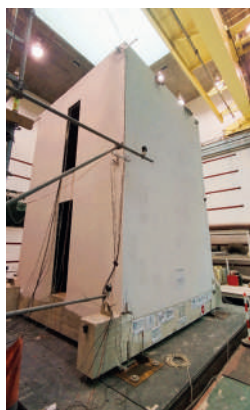
RE-Safe focused on seismic retrofitting of existing RC buildings using an external cross-laminated timber skin connected via friction dampers. Shaking table tests on a RC frame validated the dynamic performance of the system, assessed the stiffness redistribution in irregular buildings and damping efficiency. The project bridges the gap between laboratory testing and real pilot-building applications, supporting sustainable, energy-efficient retrofit solutions.

FREISUST evaluated fiber-reinforced elastomeric isolators (FREIs), including eco-friendly solutions using recycled rubber. Two FREI isolation systems were installed at the base of a full-scale two-storey RC structure and tested under multicomponent excitation, with the aim of validating stability, damage reduction, and the protection of nonstructural components, thereby contributing to the development of standards.

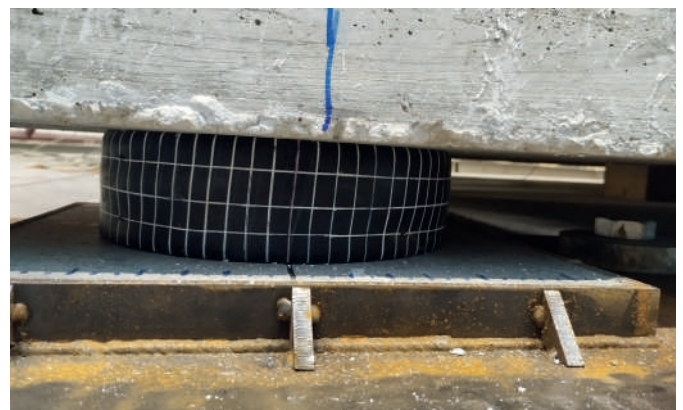
ColCap addressed a major knowledge gap by testing two full-scale, code-compliant RC frames up to collapse. The project quantified true collapse capacity of concrete members, validated numerical models, and informed future fragility models and seismic codes.

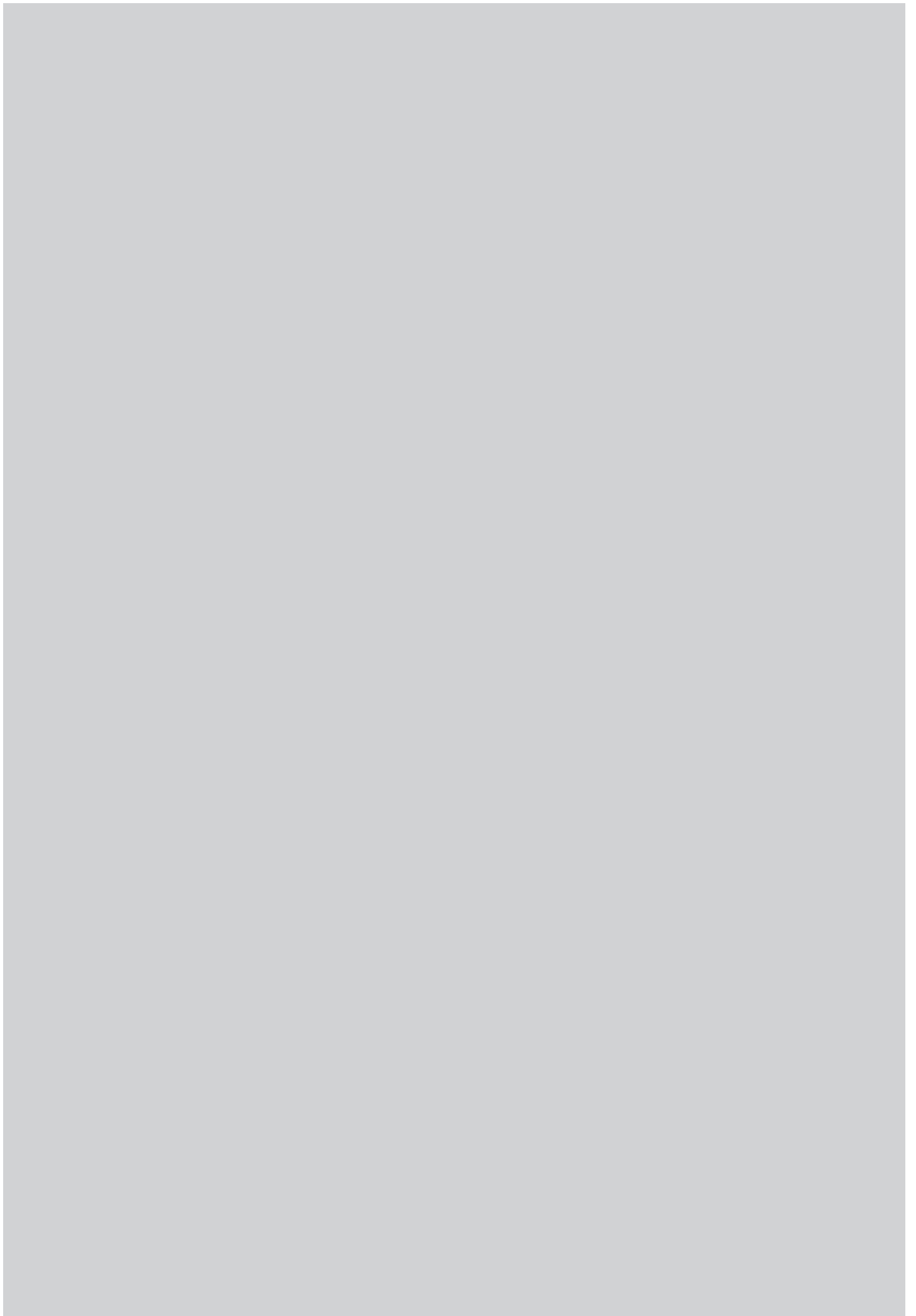
Overall, the projects collectively advanced seismic resilience, sustainability, experimental methods, and code development.

Detailed information: <https://eries.eu/>



Modelo FREISUST. Detalhe do sistema de isolamento de base. FREISUST specimen. Detail of the base isolation system.







GPBE

fib Portugal

www.gpbe.pt

Estruturas de Betão em Portugal

Concrete Structures
in Portugal

Investigação Research

2021-2025