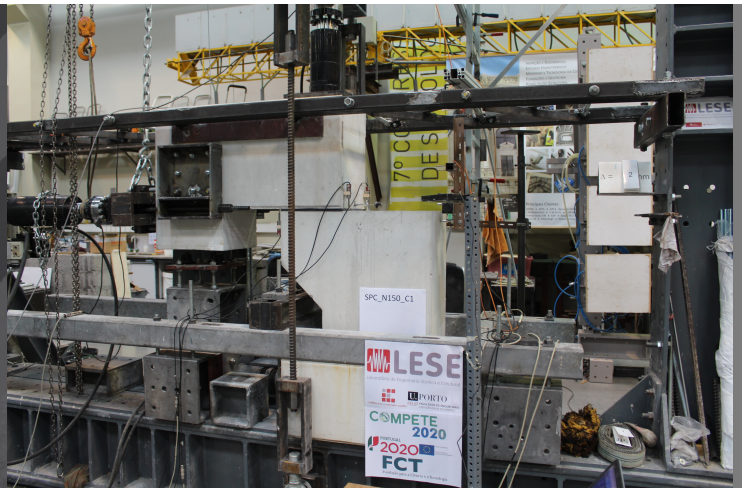


# SEISMIC PRECAST

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



Estudo de ligações viga-pilar de estruturas pré-fabricadas de betão armado



Nádia Batalha

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP)

Estudo de ligações viga-pilar de estruturas pré-fabricadas de betão armado

Seminário de Encerramento do Projeto

## Comportamento cíclico de Ligações Viga-Pilar PBA

### Objetivos

#### • Parâmetros em estudo

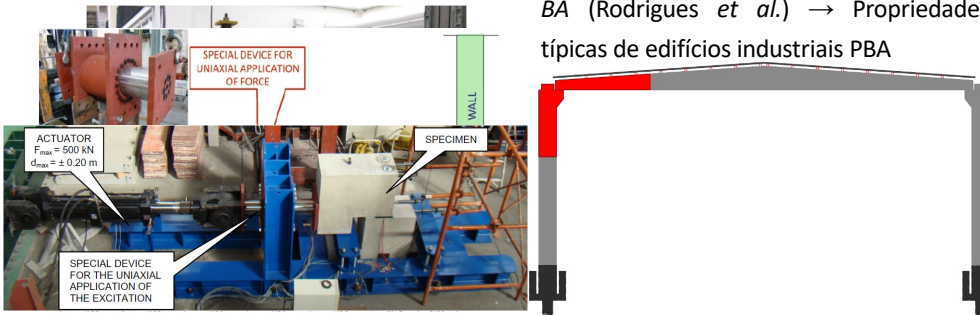
- *Atrito entre as faces de betão*
- *Atrito entre o neoprene e o betão*
- *Influência do uso do neoprene*
- *Resposta de ligações com ferrolhos*
- *Influência da posição do ferrolho no cachorro*
- *Efeito de diferentes níveis de cargas axiais*



# Comportamento cíclico de Ligações Viga-Pilar PBA

## Geometria e pormenorização dos provetes

- **Configuração do ensaio** → Revisão do estado da arte de trabalhos experimentais em ligações pré-fabricadas viga-pilar
- **Pormenorização dos provetes** → Resultados obtidos no artigo da *Caracterização do parque industrial português de edifícios pré-fabricados em BA (Rodrigues et al.)* → Propriedades típicas de edifícios industriais PBA



**Research Article**  
**Characterisation of Portuguese RC Precast Industrial Building Stock**

H. Rodrigues<sup>1</sup>, R. Sousa<sup>2</sup>, H. Vitorino<sup>1</sup>, N. Batinha<sup>3</sup>, H. Varum<sup>4</sup> and P. Fernandes<sup>5</sup>

<sup>1</sup>ISECO, Civil Engineering Department, University of Aveiro, Aveiro, Portugal  
<sup>2</sup>CEOP, Politecnico Institute of Leiria, Leiria, Portugal  
<sup>3</sup>CONSTRUCT LEIS, Faculty of Engineering (FEUP), University of Porto, Porto, Portugal  
<sup>4</sup>CEBIL, ISTIS-Politecnico Institute of Leiria, Leiria, Portugal

Correspondence should be addressed to H. Rodrigues, hrodrigues@ua.pt  
 Received 2 January 2020; Revised 1 July 2020; Accepted 20 July 2020; Published 8 August 2020  
 Academic Editor: Zhenbo Liu  
 Copyright © 2020 H. Rodrigues et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

The construction of a vulnerability model requires reliable information on the features of the buildings in the study. The purpose of this work is the characterisation of the precast industrial buildings in Portuguese industrial parks, based on the survey of 73 design projects of existing buildings. The collected data are based on a previous study on the features that influence the seismic response of this type of buildings. The parameters collected are associated with the global geometry and specific elements characteristics (e.g. column dimensions, reinforcement ratios and connection details), to the mechanical properties of the materials and other parameters that can give some important information in the characterisation of the buildings (e.g. construction year and localisation). In the end, a comparison with other available databases, namely from Italy and Turkey, is done in order to conclude about the similarity. This information is important to define representative experimental specimens and numerical simulation to conduct seismic risk analysis.

**1. Introduction**

The development of seismic risk studies requires the knowledge of the building characteristics of a given typology under analysis. The information of geometric and mechanical parameters allows the definition of reliable mechanical models that can be used to derive fragility functions capable of describing the relation between the seismic intensity and building limit states.

Contrarily to what is observed for residential buildings, limited information is available in regard to the properties of precast buildings. To the authors' knowledge, in Portugal, only the study developed for the European Commission [1] presents a general description of the main typologies of the industrial building stock, but its information is insufficient to enable the development of representative numerical models.

To overcome the previous limitation, a survey was carried out analysing the structural design project of dozens of industrial reinforced concrete (RC) buildings built in the Portuguese continental territory over the last 50 years. The statistical analysis of the information gathered provides indication on the material properties as well as the geometry typically used in industrial precast RC buildings.

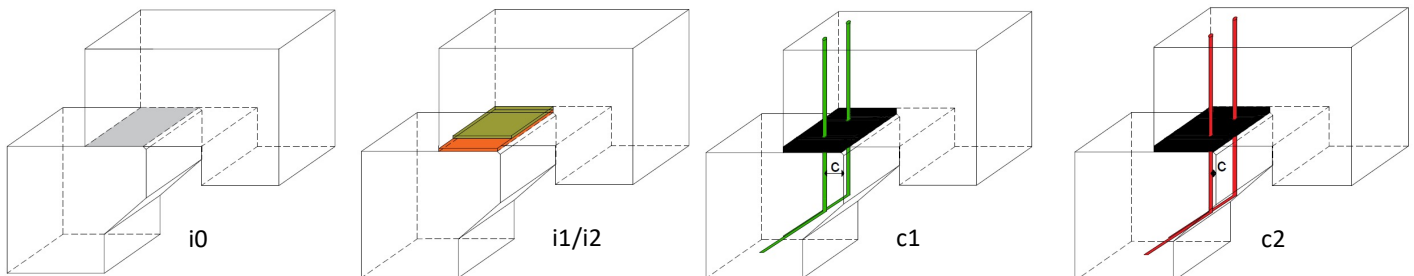
The present work provides the statistics associated with the properties that influence the seismic performance of these buildings. The information collected enabled the characterisation of the global geometry and the mechanical properties of the materials, as well as other local systems that may influence the seismic response of these buildings, such as column size and reinforcement ratios, beam-to-column connections, and cladding systems.

The results obtained were also compared against previous studies conducted in Italy [2] and Turkey [3], allowing the identification of common structural characteristics. The analysis of previous studies is also important to assess the possibility to derive common properties for the Mediterranean countries and assess the possibility to use common

# Comportamento cíclico de Ligações Viga-Pilar PBA

## Geometria e pormenorização dos provetes

- 12 provetes foram testados



Parâmetros em estudo

Atrito betão/betão

Atrito betão/neoprene

Influência dos ferrolhos

Influência da localização do ferrolho

## Comportamento cíclico de Ligações Viga-Pilar PBA

### Geometria e pormenorização dos provetes

- Parâmetro em estudo, o nome dos provetes, as placas de neoprene e os ferrolhos (número, diâmetro e localização)
- O 'c' refere-se à distância longitudinal da face interna do pilar até o centro do ferrolho

Parâmetro em estudo	ID	Ferrolhos [mm]	Espessura do Neoprene [mm]	Carga axial [kN]	c [mm]
Atrito entre as faces de betão	SPC_i0_50kN	-	-	50	-
	SPC_i0_100kN	-	-	100	-
	SPC_i0_150kN	-	-	150	-
Atrito entre as faces de betão e neoprene	SPC_i1_50kN	-	10 mm	50	-
	SPC_i1_100kN	-	10 mm	100	-
	SPC_i1_150kN	-	10 mm	150	-
	SPC_i2_50kN	-	2×10 mm	50	-
	SPC_i2_100kN	-	2×10 mm	100	-
	SPC_i2_150kN	-	2×10 mm	150	-
Influência do ferrolho	SPC_c1_150kN	2Ø16	2×10 mm	150	130
Influência da localização do ferrolho	SPC_c2_100kN	2Ø16	2×10 mm	100	60
	SPC_c2_150kN	2Ø16	2×10 mm	150	60



## Comportamento cíclico de Ligações Viga-Pilar PBA

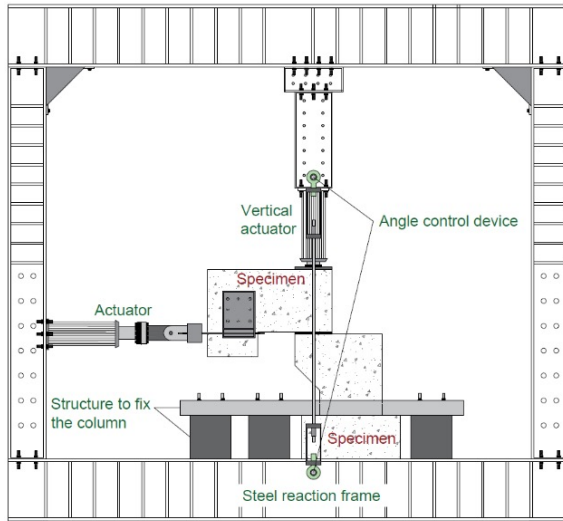
### Geometria e pormenorização dos provetes

- Os provetes foram construídos à escala real
- A ligação entre a viga e o pilar é feita
  - Embutir os ferrolhos nos furos/mangas deixados na viga
  - Preencher com argamassa →
- Foram coletadas amostras de betão para realizar 19 ensaios dos quais se obteve uma resistência à compressão média de 41,6MPa
- O aço dos provetes pertencia à classe A500NR



# Comportamento cíclico de Ligações Viga-Pilar PBA

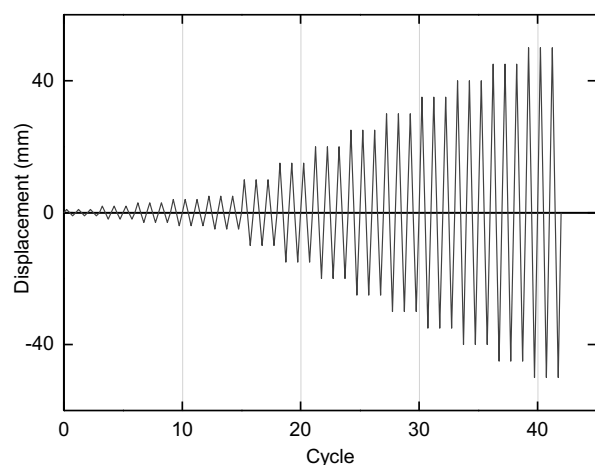
## Esquema de ensaio



# Comportamento cíclico de Ligações Viga-Pilar PBA

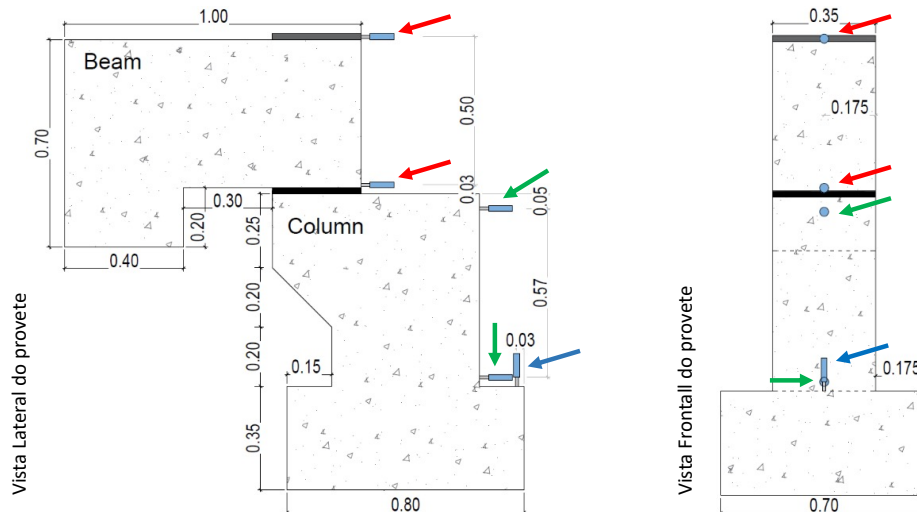
## Esquema de instrumentação

- Horizontalmente foi aplicado uma força cíclica controlada por deslocamento a uma velocidade constante de 0,2 mm/s
- Repetição de cada ciclo 3 vezes
- De 0-5 mm → incrementos de 1 mm
- De 5-45 mm → incrementos de 5 mm



# Comportamento cíclico de Ligações Viga-Pilar PBA

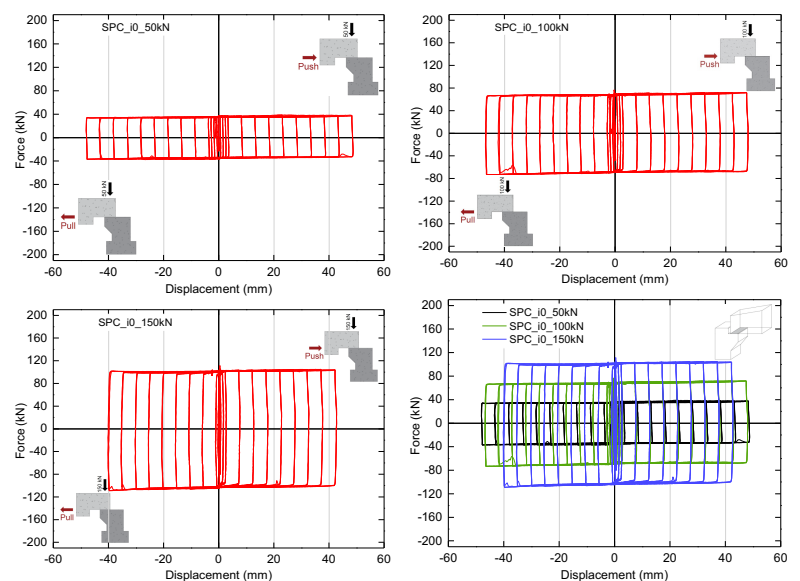
## Esquema de instrumentação



# Comportamento cíclico de Ligações Viga-Pilar PBA

## Resultados – Betão/betão

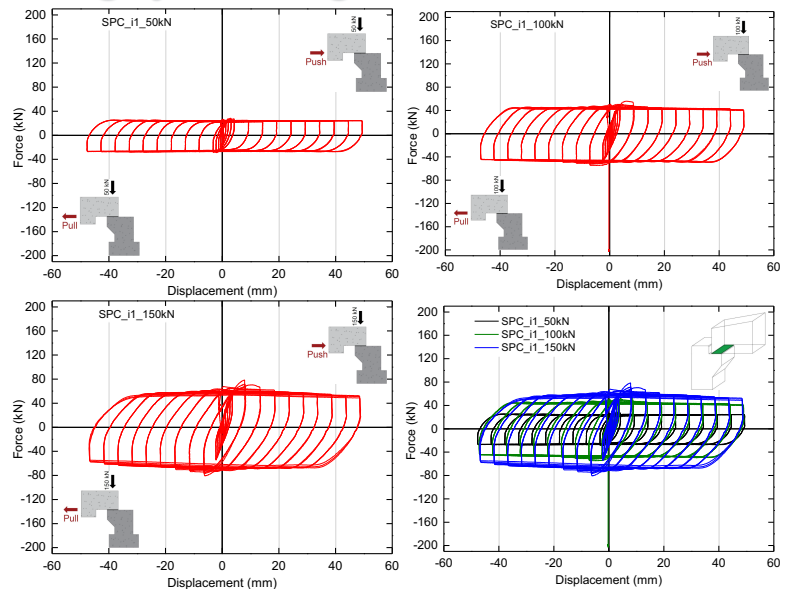
- Forma 'retangular' → Atrito entre betão/betão
- Força aplicada = Força de atrito → Não há necessidade de aumentar a força para a viga deslizar sobre o pilar
- Obteve-se um coeficiente de atrito de cerca de 0,75 → Os autores referiram que o coeficiente de atrito entre faces de betão varia entre 0,5 e 1,2



## Comportamento cíclico de Ligações Viga-Pilar PBA

### Resultados – Betão/neoprene i1

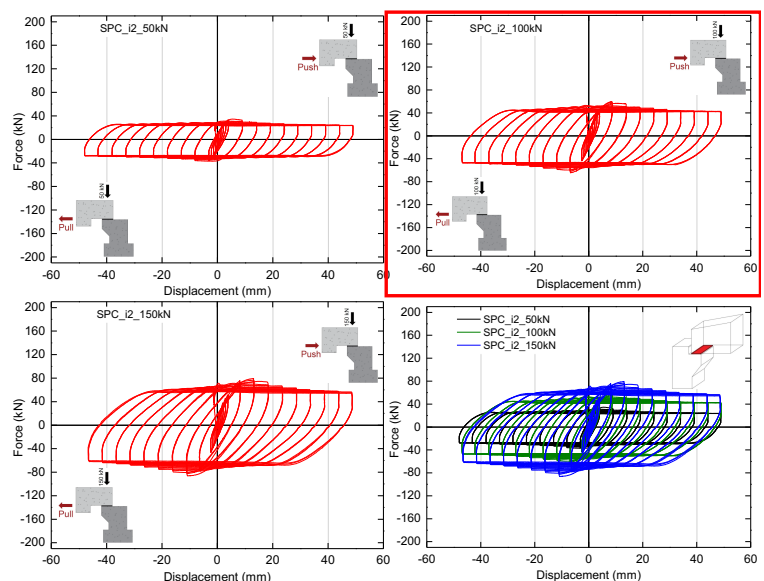
- As curvas têm aproximadamente a mesma forma
- Com um aumento da carga axial para o dobro e triplo, obteve-se cerca em acréscimo de 48% e 64% da força lateral para SPC\_i1\_100kN e SPC\_i1\_150kN em comparação com SPC\_i1\_50kN
- As diferentes fases do ensaio experimental podem ser observadas:
  - i) Viga move-se conforme o neoprene se deforma;
  - ii) Quando o neoprene atingiu o limite de sua deformação elástica, o provete continua a deslizar sem a necessidade de um aumento de força;
  - iii) No ramo de descarga da curva histerética, a seção inicial é quase vertical que corresponde ao momento de mudança de direção da carga lateral;
  - iv) Por fim, o neoprene deforma-se novamente.



## Comportamento cíclico de Ligações Viga-Pilar PBA

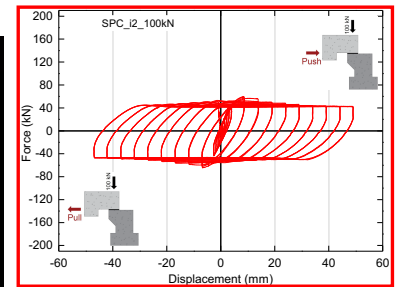
### Resultados – Betão/neoprene i2

- 2 camadas de placas de neoprene → 10mm + 10mm
- Usar uma > espessura não afeta a resistência da ligação
- A diferença mais significativa que pode ser observada ao comparar os provetes i1 com i2 é a maior flexibilidade da ligação → Menor energia dissipada
- A rigidez do neoprene depende do módulo de elasticidade do neoprene, da área de contato entre o betão e a placa de neoprene e da espessura da placa de neoprene



# Comportamento cíclico de Ligações Viga-Pilar PBA

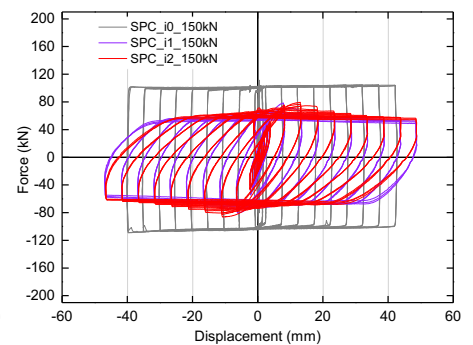
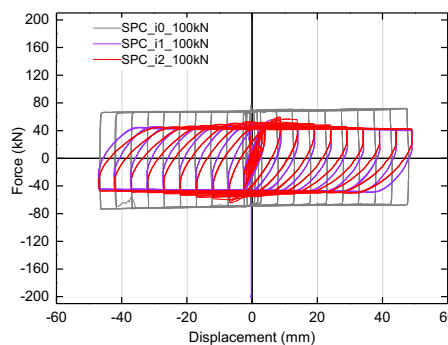
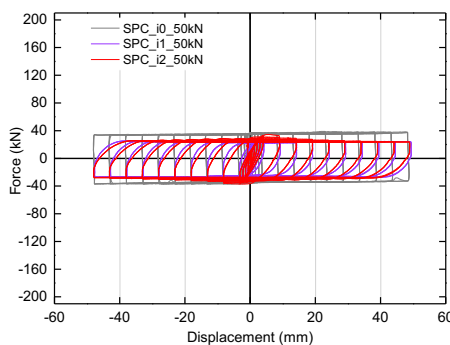
## Resultados – Betão/neoprene i2



# Comportamento cíclico de Ligações Viga-Pilar PBA

## Resultados – Comparação entre ligações sem neoprene (i0, i1 & i2)

- Provetes sem neoprene entre as faces de betão possuem uma resistência maior
- Energia dissipada mais significativa quando comparados com os provetes com neoprene
- Diferença entre as duas interfaces (i0 e i1/i2) é mais perceptível à medida que o esforço axial aumenta



## Comportamento cíclico de Ligações Viga-Pilar PBA

### Resultados – Danos observados i0

- Apresentaram os danos mais significativos em geral
- Único que apresentou danos ao nível das vigas (betão confinado) → O dano concentrou-se principalmente na parte inferior (próximo à interface)
- A magnitude do dano aumentou com o incremento do nível de carga axial
- O dano do pilar consiste no destacamento superficial do betão na zona do cachorro (recobrimento)



## Comportamento cíclico de Ligações Viga-Pilar PBA

### Resultados – Danos observados i1

- Danos leves ao nível dos pilares & nenhum dano visível nas vigas
- Como Zhang *et. al* (2018) mencionou, mesmo uma fina placa de borracha (neoprene) adicionada na interface pode modificar a resposta mecânica de duas estruturas de betão interagindo mecanicamente, alterando o atrito e a condição de contato





## Comportamento cíclico de Ligações Viga-Pilar PBA

### Resultados – Danos observados i2

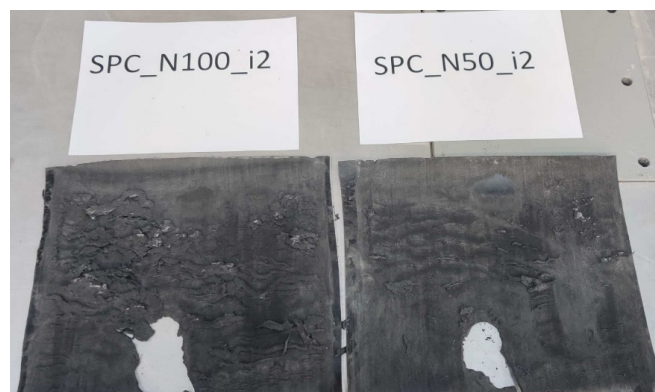
- Nenhum dano visível identificado



## Comportamento cíclico de Ligações Viga-Pilar PBA

### Resultados – Danos observados

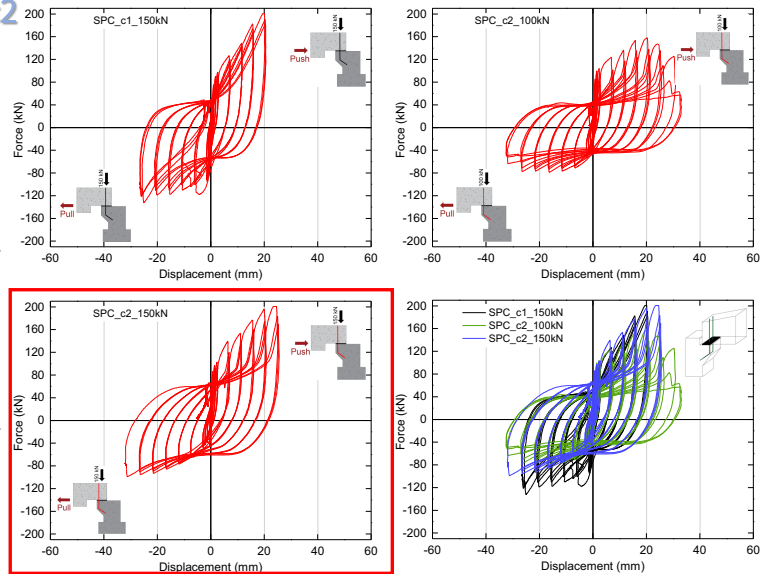
- Desgaste mais significativo do neoprene corresponde ao maior carregamento axial (SPC\_i2\_100kN) → Forças > de atrito



# Comportamento cíclico de Ligações Viga-Pilar PBA

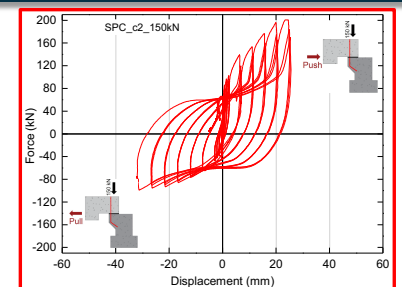
## Resultados – Ligações com ferrolhos c1 & c2

- A resposta da ligação não é simétrica em termos de resistência lateral
- A força máxima na direção de tração foi praticamente a metade da força verificada na direção de compressão
- No caso dos provetes com os ferrolhos mais centrados (c1), a resistência é maior, pois apresenta maior recobrimento dos ferrolhos (não tão propenso ao destacamento do betão)
- Provetes com os ferrolhos mais próximos da face do cachorro (c2) apresentaram uma diferença mais significativa entre as direções de aplicação da carga, mostrando maior vulnerabilidade na direção de tração (destacamento de betão)



# Comportamento cíclico de Ligações Viga-Pilar

## Resultados – Ligações com ferrolhos c1 & c2



# Comportamento cíclico de Ligações Viga-Pilar PBA

## Resultados – Danos observados c1 & c2

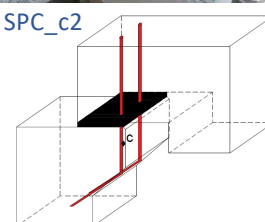
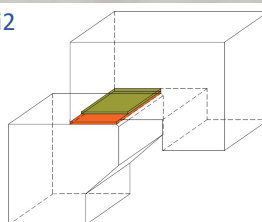
- Os danos concentraram-se apenas nos pilares, nomeadamente ao nível do cachorro, não havendo danos ao nível das vigas
- Todos os provetes apresentaram fissuras desenvolvidas a partir da localização dos ferrolhos devido a tensões locais
- A interface c2 apresentou fendas mais cedo (ciclo de 2 e 3 mm) vs c1 (ciclo de 10 mm)
- Nenhuma falha visível das cintas do cachorro



# Comportamento cíclico de Ligações Viga-Pilar PBA

## Reforço da Ligação

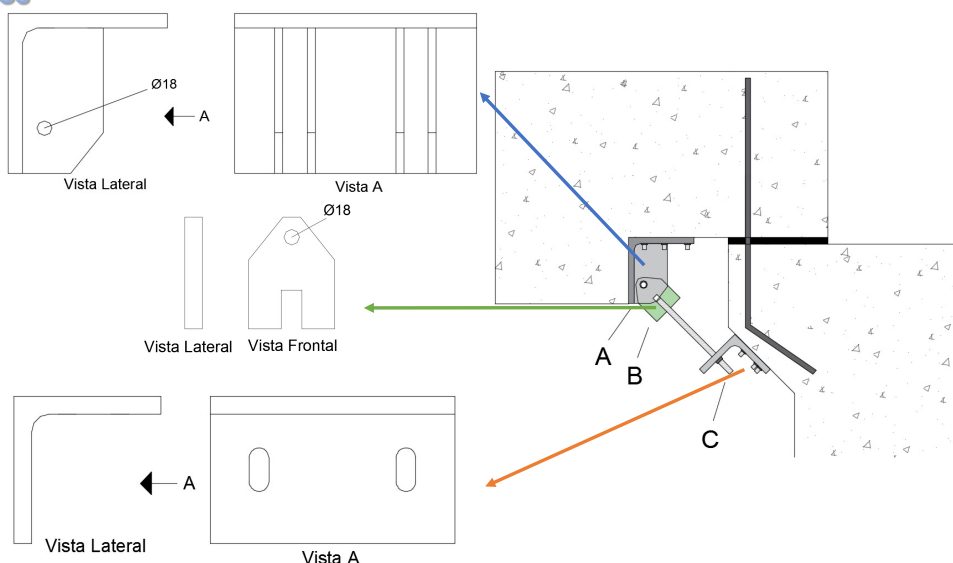
- Provetes a Reforçar: SPC\_i2 & SPC\_c2
- Razões para a escolha dos provetes a reforçar:
  - SPC\_i2 → Ligação comumente utilizada e sem qualquer elemento mecânico (ligações mais vulneráveis face às ações sísmicas)
  - SPC\_c2 → Apresenta uma resposta mais fraca devido à posição do ferrolho junto da face do cachorro



# Comportamento cíclico de Ligações Viga-Pilar PBA

## Reforço da Ligação – Elementos

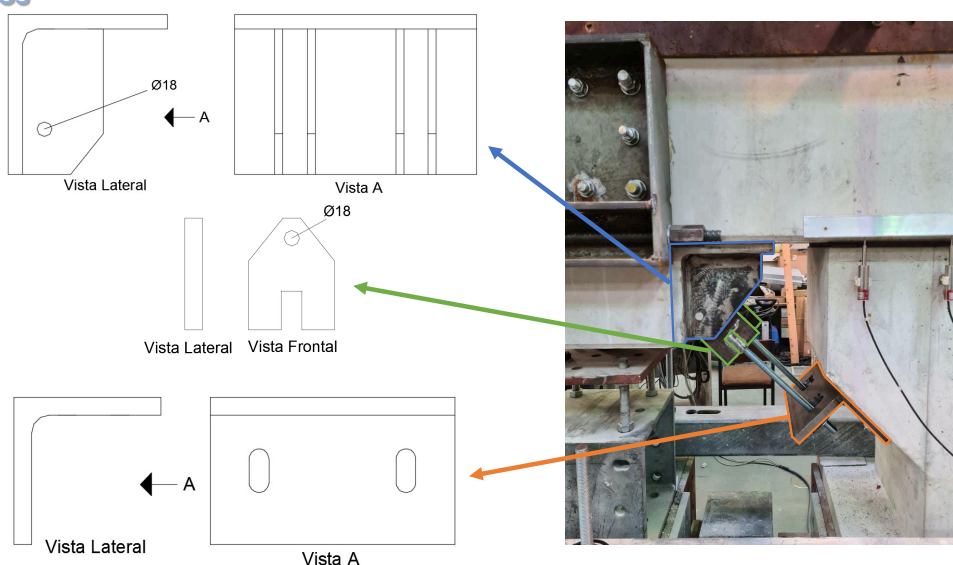
- **Objetivo:** Limitar os deslocamentos na direção considerada como a mais vulnerável
- **Reforço**
  - Configuração simples
  - Aplicação expedita na estrutura
  - Sem interrupções significativas das atividades laborais
  - Baixo custo de produção
- **4 Peças metálicas**
  - 2 cantoneiras 150x150x18 mm
  - 2 varões roscados de 310 mm de comprimento e  $\varnothing 16$  mm
  - 1 chapa soldada aos varões que faz a ligação à peça superior



# Comportamento cíclico de Ligações Viga-Pilar PBA

## Reforço da Ligação – Elementos

- **Objetivo:** Limitar os deslocamentos na direção considerada como a mais vulnerável
- **Reforço**
  - Configuração simples
  - Aplicação expedita na estrutura
  - Sem interrupções significativas das atividades laborais
  - Baixo custo de produção
- **4 Peças metálicas**
  - 2 cantoneiras 150x150x18 mm
  - 2 varões roscados de 310 mm de comprimento e  $\varnothing 16$  mm
  - 1 chapa soldada aos varões que faz a ligação à peça superior



# Comportamento cíclico de Ligações Viga-Pilar PBA

## Reforço da Ligação



Seismic Performance Assessment of Existing Precast Industrial Buildings and Development of Innovative Retrofitting Sustainable Solutions  
POCI-01-0145-FEDER-028439

## Agradecimentos

Este trabalho foi financiado por: Projeto POCI-01-0145-FEDER-028439 SeismicPRECAST – Seismic performance Assessment of existing Precast Industrial buildings and development of Innovative Retrofitting sustainable solutions” – financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), através do COMPETE2020 – Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (POCI) e com o apoio financeiro da FCT/MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC). O primeiro autor agradece à FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia pela Bolsa de Doutoramento com a referência SFRH/BD/139723/2018.

Cofinanciado por:



Seismic Performance Assessment of Existing Precast Industrial Buildings and Development of Innovative Retrofitting Sustainable Solutions  
POCI-01-0145-FEDER-028439