

# OS EDIFÍCIOS DE BETÃO ARMADO SÃO ESTRUTURAS SEGURAS?

RITA BENTO

[rita.bento@tecnico.ulisboa.pt](mailto:rita.bento@tecnico.ulisboa.pt)

Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

5 junho 2023

# OS EDIFÍCIOS DE BA SÃO ESTRUTURAS SEGURAS?

## Edifícios de BA modernos

**Seguros**, desde que:

- O projeto seja feito de acordo com a regulamentação existente
- Construção com qualidade, cumprindo tudo o que é definido no projeto de estruturas (Fiscalização)

## Edifícios de BA antigos

- Falta de regulamentação, envelhecimento, alterações estruturais
- Avaliação e reforço sísmico estrutural – Parte 3 do Eurocódigo 8

# ESTRUTURA DA APRESENTAÇÃO

- Legislação Nacional
- Classificação, caracterização de edifícios existentes na cidade de Lisboa
- Danos Edifícios BA - Vulnerabilidades
- Reforço Estrutural de Edifícios BA Vulneráveis

# LEGISLAÇÃO NACIONAL

# REGULAMENTOS

1958 – Regulamento de Segurança das Construções Contra os Sismos, RSCCS

1961 – Regulamento de Solicitações em Edifícios e Pontes, RSEP

1983 – Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes, RSA | Regulamento de Betão Armado e Pré-Esforçado, REBAP

2010 – **Eurocódigo 8** – Projeto de estruturas para resistência aos sismos. **Parte 1:** Regras gerais, ações sísmicas e regras para edifícios (NP EN 1998-1:2010)

2014 – Regime Especial de Reabilitação Urbana, **RERU**

2017 – **Eurocódigo 8** – Projeto de estruturas para resistência aos sismos. **Parte 3:** Avaliação e reabilitação de edifícios (NP EN 1998-3:2017) | **Parte 3:** Avaliação e reabilitação de edifícios (NP EN 1998-3:2017)

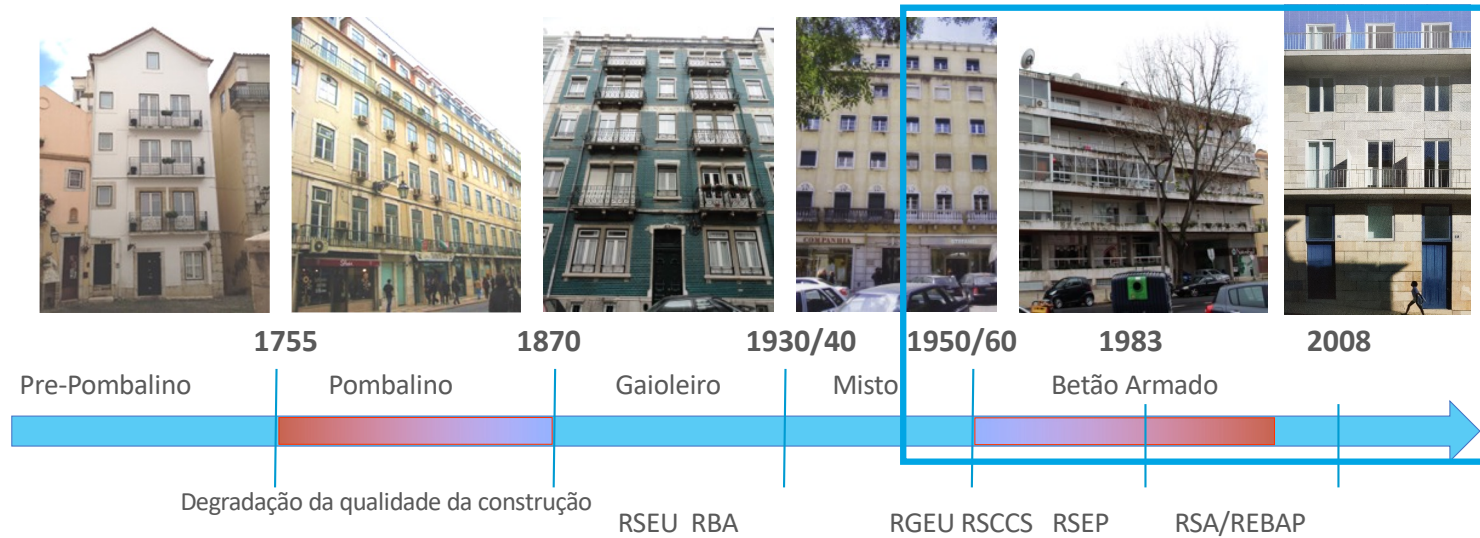
2019 – **Decreto-Lei nº 95/2019** – Estabelece o regime aplicável à reabilitação de edifícios ou frações autónomas

2019 – **Portaria nº 302/2019** – Define os termos em que obras estão sujeitas à elaboração de relatório de avaliação de vulnerabilidade sísmica e as situações em que é exigível a elaboração de projeto de reforço sísmico

2019 – **Despacho Normativo nº 21/2019** – Aprova as condições para a utilização dos Eurocódigos Estruturais nos projetos de estruturas de edifícios

# CLASSIFICAÇÃO, CARACTERIZAÇÃO DE EDIFÍCIOS BA DA CIDADE DE LISBOA

# TIPOLOGIA DE EDIFÍCIOS - BA

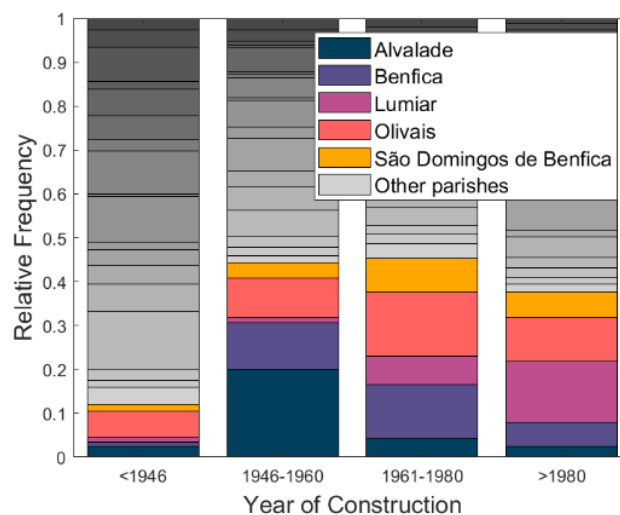


# TIPOLOGIA DE EDIFÍCIOS - BA

Em relação ao período de construção, os edifícios BA podem ser classificados em quatro grupos diferentes:

- Edifícios de transição ou edifícios mistos de alvenaria-BA, construídos até ~1950;
- 1ª fase de edifícios BA**, construídos antes da introdução dos códigos de resistência sísmica até 1958;
- 2ª fase de edifícios BA**, construídos entre ~1958 e 1983;
- Edifícios modernos de BA**, construídos após 1983.

Appleton, J. Tipificação do Parque Construído. In Sismos e Edifícios; Orion, Ed.; 2008.



Desagregação do parque imobiliário BA pelas várias freguesias de Lisboa

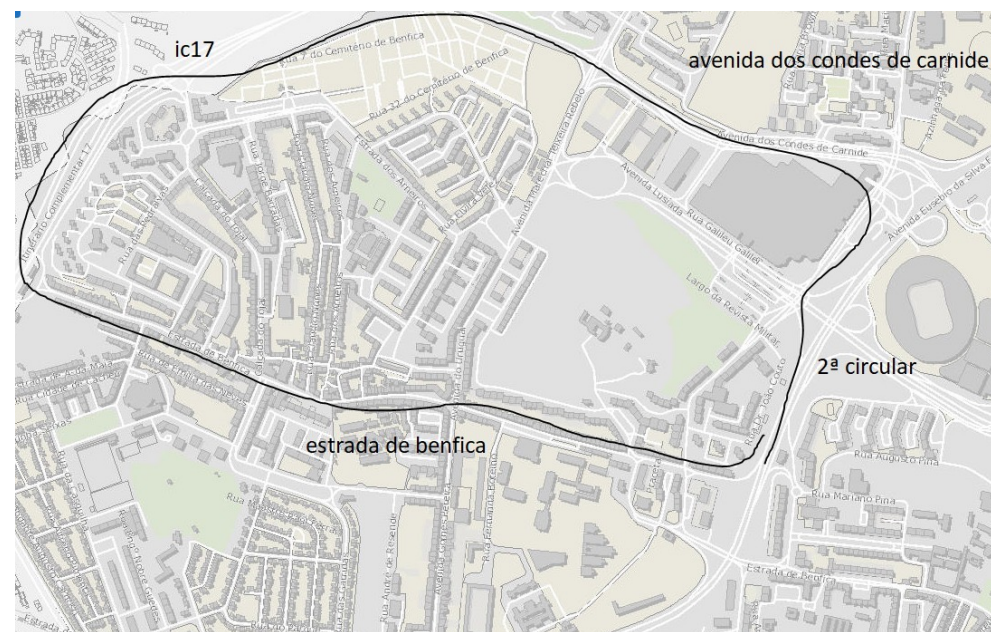
Xavier, V., Couto, R., Monteiro, R., Castro, J. M., Bento, R. - "Detailed Structural Characterization of Existing RC Buildings for Seismic Risk Assessment of the Lisbon Area", Buildings, MDPI, Special Issue intitulado " Assessment and Retrofit of Buildings " (ISSN 2075-5309, IF 2.648), Editores convidados Andreas Kappos e Leonidas Alexandros S. Kouris, Buildings 2022,12, 642. <https://doi.org/10.3390/buildings12050642> (2022).



# TIPOLOGIA DE EDIFÍCIOS - BA

CARACTERIZAÇÃO DE EDIFÍCIOS DE BETÃO ARMADO, FREGUESIA BENFICA, CONSTRUÍDOS ATÉ 1983

BENFICA



813 edifícios consultados no Arquivo Municipal. Dados recolhidos em aproximadamente **650 edifícios**.

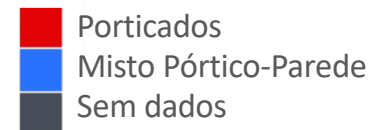
# TIPOLOGIA DE EDIFÍCIOS - BA

## CARACTERIZAÇÃO DE EDIFÍCIOS DE BETÃO ARMADO

ALVALADE



BENFICA



Xavier, V., Couto, R., Monteiro, R., Castro, J. M., Bento, R. - "Detailed Structural Characterization of Existing RC Buildings for Seismic Risk Assessment of the Lisbon Area", Buildings, MDPI, Special Issue intitulado " Assessment and Retrofit of Buildings " (ISSN 2075-5309, IF 2.648), Editores convidados Andreas Kappos e Leonidas Alexandros S. Kouris, Buildings 2022,12, 642. <https://doi.org/10.3390/buildings12050642> (2022).

# TIPOLOGIA DE EDIFÍCIOS - BA

## CARACTERIZAÇÃO DE EDIFÍCIOS DE BETÃO ARMADO

ALVALADE



BENFICA



- Período de construção < 1955
- 1955< Período de construção < 1970
- 1970< Período de construção < 1983
- Período de construção > 1983
- Sem dados

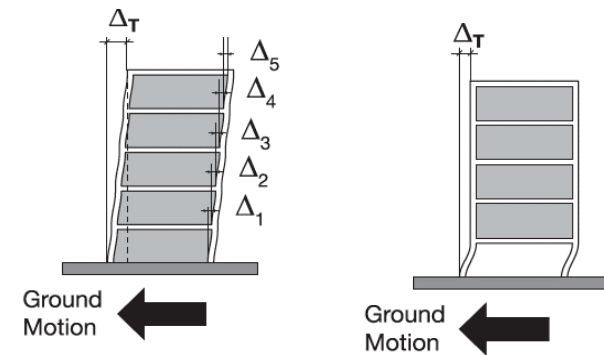
Xavier, V., Couto, R., Monteiro, R., Castro, J. M., Bento, R. - "Detailed Structural Characterization of Existing RC Buildings for Seismic Risk Assessment of the Lisbon Area", Buildings, MDPI, Special Issue intitulado " Assessment and Retrofit of Buildings " (ISSN 2075-5309, IF 2.648), Editores convidados Andreas Kappos e Leonidas Alexandros S. Kouris, Buildings 2022,12, 642. <https://doi.org/10.3390/buildings12050642> (2022).

# TIPOLOGIA DE EDIFÍCIOS - BA

## CARACTERIZAÇÃO DE EDIFÍCIOS DE BETÃO ARMADO

Algumas características principais e frequentes nos edifícios antigos de BA:

- Princípio arquitetónico de *Le Corbusier*: **pisos vazados** (“*pilotis*”)
- **Varões Lisos**, prática comum nos edifícios de BA construídos até aproximadamente 1970. O regulamento REBA (1967) permite o uso de varões lisos e nervurados

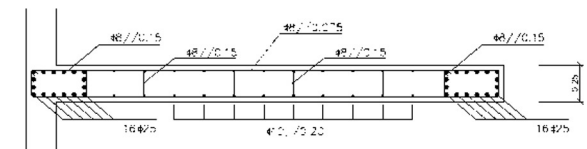
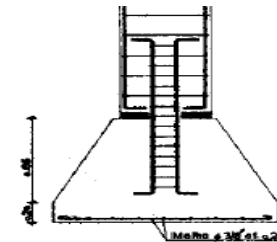


# TIPOLOGIA DE EDIFÍCIOS - BA

## CARACTERIZAÇÃO DE EDIFÍCIOS DE BETÃO ARMADO

Algumas características principais e frequentes nos edifícios antigos de BA:

- Reduzido comprimento de amarração, originando o escorregamento dos varões
- Ausência de vigas de fundação
- **Armaduras longitudinais das paredes** distribuídas em toda a secção.  
EC8-1: para garantir um comportamento dúctil das paredes de BA, armaduras verticais para resistência à flexão devem estar colocadas em **elementos de extremidade confinados**
- **Armaduras transversal das paredes** insuficiente

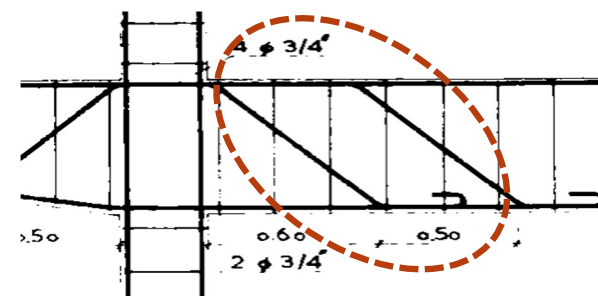
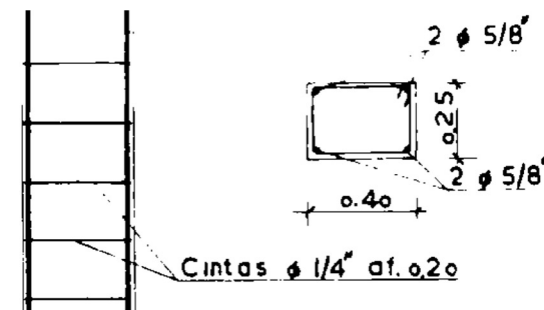


# TIPOLOGIA DE EDIFÍCIOS - BA

## CARACTERIZAÇÃO DE EDIFÍCIOS DE BETÃO ARMADO

Algumas características principais e frequentes nos edifícios antigos de BA:

- **Pilares:** cintagem das armaduras verticais insuficiente, originando a rotura prematura da secção por esforço transverso e encurvadura dos varões comprimidos
- **Armaduras de esforço** transverso insuficientes e espaçamento excede o limite previsto pelo EC8-1 ( $\approx 20\text{cm}$ )
- Utilização de **varões inclinados a  $45^\circ$**  apresenta mau comportamento em caso de inversão de esforços

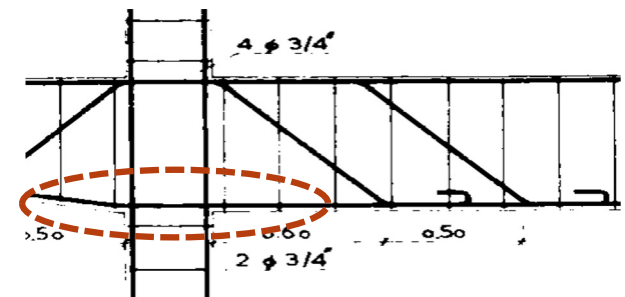


# TIPOLOGIA DE EDIFÍCIOS - BA

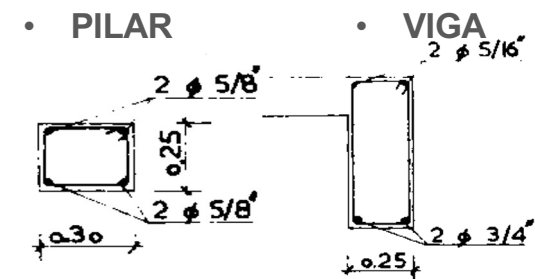
## CARACTERIZAÇÃO DE EDIFÍCIOS DE BETÃO ARMADO

Algumas características principais e frequentes nos edifícios antigos de BA:

- Vigas com as armaduras inferiores nas zonas dos apoios muito **reduzidas**, dado que não se consideravam nos cálculos os efeitos das ações sísmicas que podem originar momentos positivos significativos.



- Os pilares são mais “fracos” que as vigas, em oposição aos princípios de dimensionamento atuais, baseados no conceito de “capacity design”.

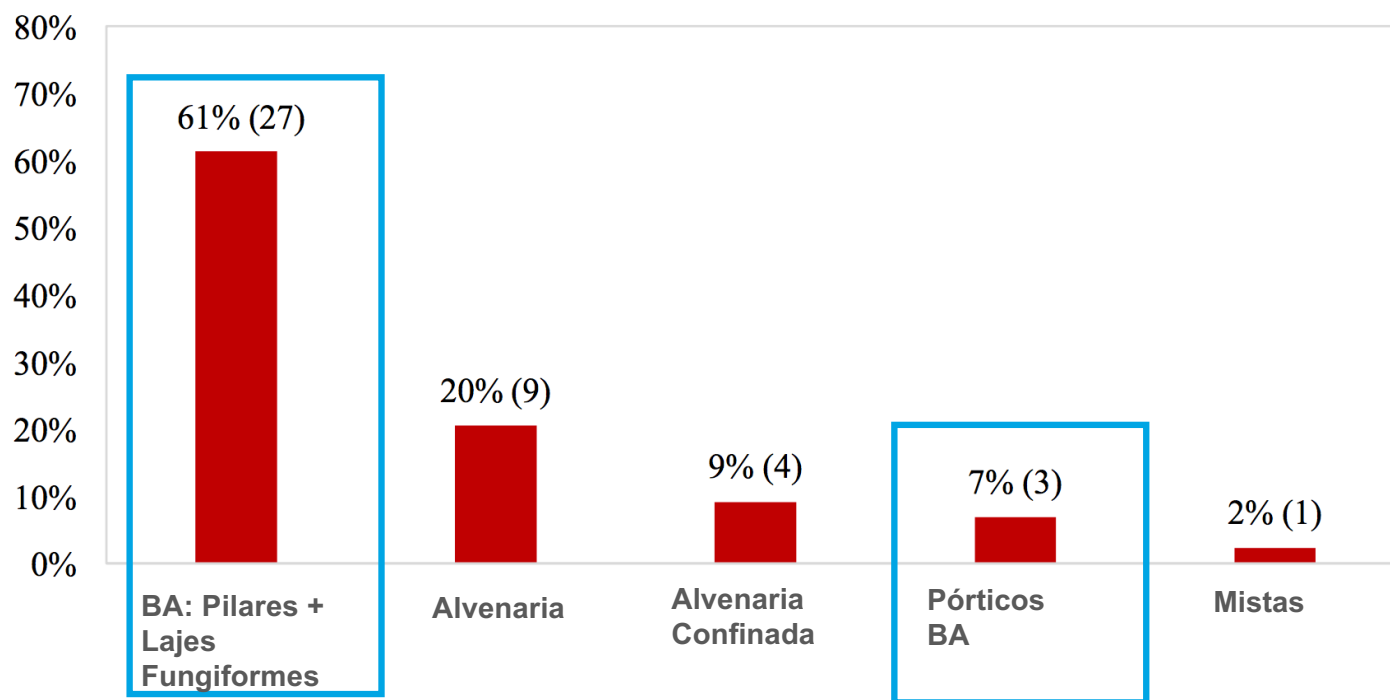


# DANOS EDIFÍCIOS DE BA - VULNERABILIDADES



# DANOS EDIFÍCIOS DE BA - VULNERABILIDADES

**México** - Cidade do México, após o sismo de Setembro de 2017 – 46 Edifícios Colapsaram



# DANOS EDIFÍCIOS DE BA - VULNERABILIDADES

Cidade do México, **México**, após o sismo de Setembro de 2017 –  
Edifício com Lajes Fungiformes



**Antes**

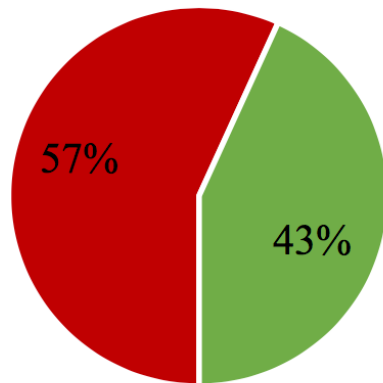


**Depois**

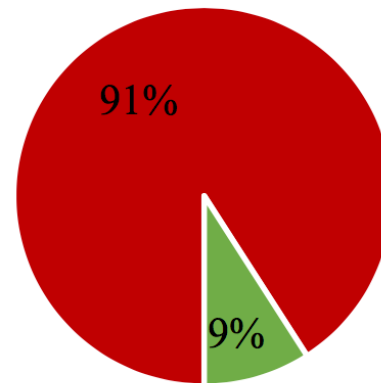
(F. Galvis, E. Miranda, P. Heresi, H. Dávalos, J. Ramón Silos, 'Preliminary Statistics of Collapsed Buildings in Mexico City in the September 19, 2017 Puebla-Morelos Earthquake', John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford University)

# DANOS EDIFÍCIOS DE BA - VULNERABILIDADES

Cidade do México, **México**, após o sismo de Setembro de 2017 –  
Características dos Edifícios que colapsaram



■ Com Piso Vazado  
■ Sem Piso Vazado



■ < 1985  
■ > 1985

# DANOS EDIFÍCIOS DE BA - VULNERABILIDADES

Cidade do México, **México**, após o sismo de Setembro de 2017 –  
Edifício com piso vazado



Antes



Depois

(F. Galvis, E. Miranda, P. Heresi, H. Dávalos, J. Ramón Silos, 'Preliminary Statistics of Collapsed Buildings in Mexico City in the September 19, 2017 Puebla-Morelos Earthquake', John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford University)

# DANOS EDIFÍCIOS DE BA - VULNERABILIDADES

Cidade do México, **México**, após o sismo de Setembro de 2017 –  
Edifício com piso vazado e lajes funiformes



(F. Galvis, E. Miranda, P. Heresi, H. Dávalos, J.Ramón Silos, 'Preliminary Statistics of Collapsed Buildings in Mexico City in the September 19, 2017, Puebla-Morelos Earthquake', John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford University)

# DANOS EDIFÍCIOS DE BA - VULNERABILIDADES

Cidade do México, **México**, após o **sismo de Setembro de 2017** –  
– **Edifício com Solução de Reforço** (pórtico metálico contraventado)



(‘M7.1 CENTRAL MEXICO EARTHQUAKE September 19, 2017’, MRP Engineering Summary Report.)

# DANOS EDIFÍCIOS DE BA - VULNERABILIDADES

**Turquia**, sismos a 6 de fevereiro 2023



<https://www.cbsnews.com/news/turkey-earthquake-damage-many-buildings-collapsed-like-pancakes/>

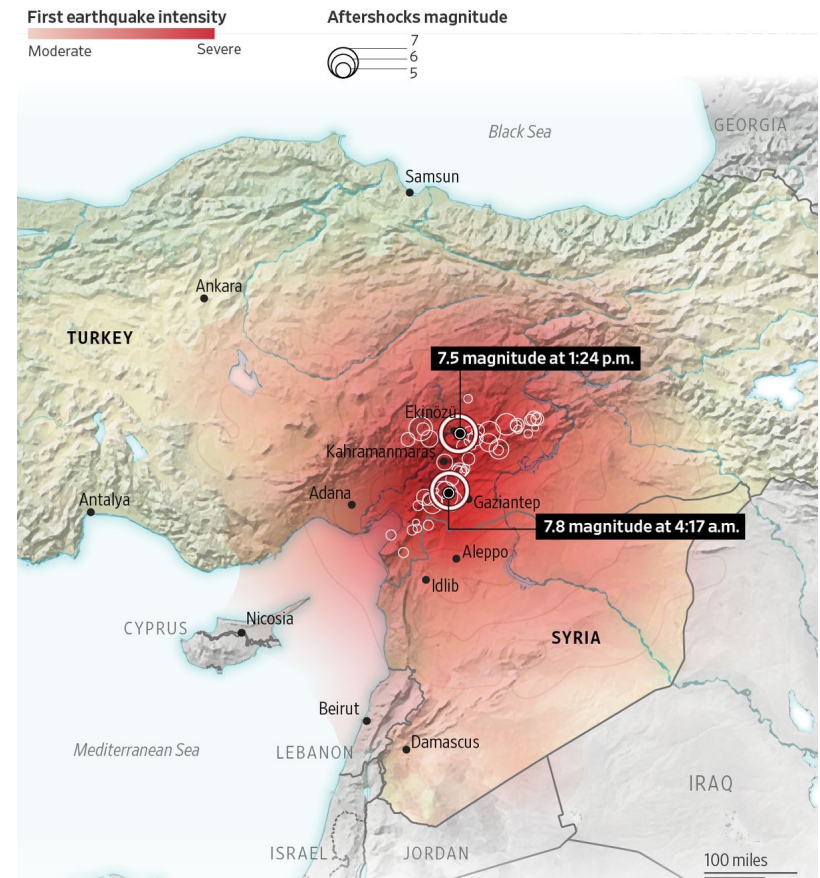
# DANOS EDIFÍCIOS DE BA - VULNERABILIDADES

## Turquia, sismos a 6 de fevereiro 2023

- **1º Sismo** - 34 km a oeste da cidade de Gaziantep, 1h17 UTC, **M= 7,8**, profundidade de **18 km**
- **2º Sismo** – 9h após o 1º, 90 km a norte do primeiro, 10h24 UTC, **M= 7,5**, profundidade de **10 km**

Zona mais afetada – Província Hatay/Hatai. Acelerações muito elevadas **superiores a g**, componente **horizontal e vertical**, em simultâneo.

Portugal, máxima aceleração de projeto, Sagres:  
Horizontal – 0,25g-0,5g  
Vertical – 0,10g-0,2g



<https://www.booksonturkey.com/earthquake-in-turkey/>



# DANOS EDIFÍCIOS DE BA - VULNERABILIDADES

**Turquia**, sismos a 6 de fevereiro 2023

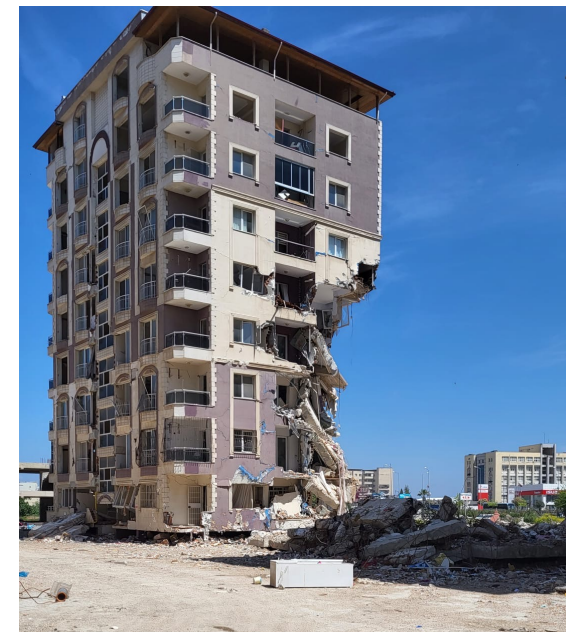
Em geral Betão de Boa Qualidade nos edifícios  
Modernos

Exemplo de Betão de Baixa Qualidade



# DANOS EDIFÍCIOS DE BA - VULNERABILIDADES

**Turquia**, sismos a 6 de fevereiro 2023



Missão Portuguesa de Reconhecimento dos Danos dos Sismos de 6 de fevereiro 2023, Turquia-Síria

# DANOS EDIFÍCIOS DE BA - VULNERABILIDADES

## Turquia, sismos a 6 de fevereiro 2023

Irregularidades – Pisos vazado | *soft-storey*



<https://www.theguardian.com/world/2023/feb/21/two-weeks-after-the-turkey-syria-earthquakes-a-photo-essay>



Source: AIR

# DANOS EDIFÍCIOS DE BA - VULNERABILIDADES

**Turquia**, sismos a 6 de fevereiro 2023

Base de um pilar muito danificado:

- Sem betão de recobrimento; varões não protegidos
- Varões aos pares; empalmes na zona critica



Missão Portuguesa de Reconhecimento dos Danos dos Sismos de 6 de fevereiro 2023, Turquia-Síria

# DANOS EDIFÍCIOS DE BA - VULNERABILIDADES

**Turquia**, sismos a 6 de fevereiro 2023

Armadura Transversal inadequada:

1. Saída do betão de recobrimento
2. Armadura transversal mal amarrada
3. Encurvadura dos varões longitudinais



Missão Portuguesa de Reconhecimento dos Danos dos Sismos de 6 de fevereiro 2023, Turquia-Síria

# DANOS EDIFÍCIOS DE BA - VULNERABILIDADES

**Turquia**, sismos a 6 de fevereiro 2023

Armadura Transversal

insuficiente → Encurvadura

Varões Longitudinais



Missão Portuguesa de Reconhecimento dos Danos dos Sismos de 6 de fevereiro 2023, Turquia-Síria

# DANOS EDIFÍCIOS DE BA - VULNERABILIDADES

**Turquia**, sismos a 6 de fevereiro 2023

Colunas Curtas



# DANOS EDIFÍCIOS DE BA - VULNERABILIDADES

**Turquia**, sismos a 6 de fevereiro 2023

Golbasi



EERI - LFE Reconnaissance Webinar: Turkey – Ozgur Kozaci



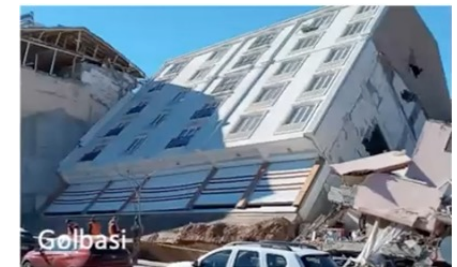
# DANOS EDIFÍCIOS DE BA - VULNERABILIDADES

**Turquia**, sismos a 6 de fevereiro 2023



Estrutura Boa  
Geotécnica Boa

Estrutura Boa  
**Geotécnica Má**



**Estrutura Má**  
Geotécnica Boa

**Estrutura Má**  
**Geotécnica Má**

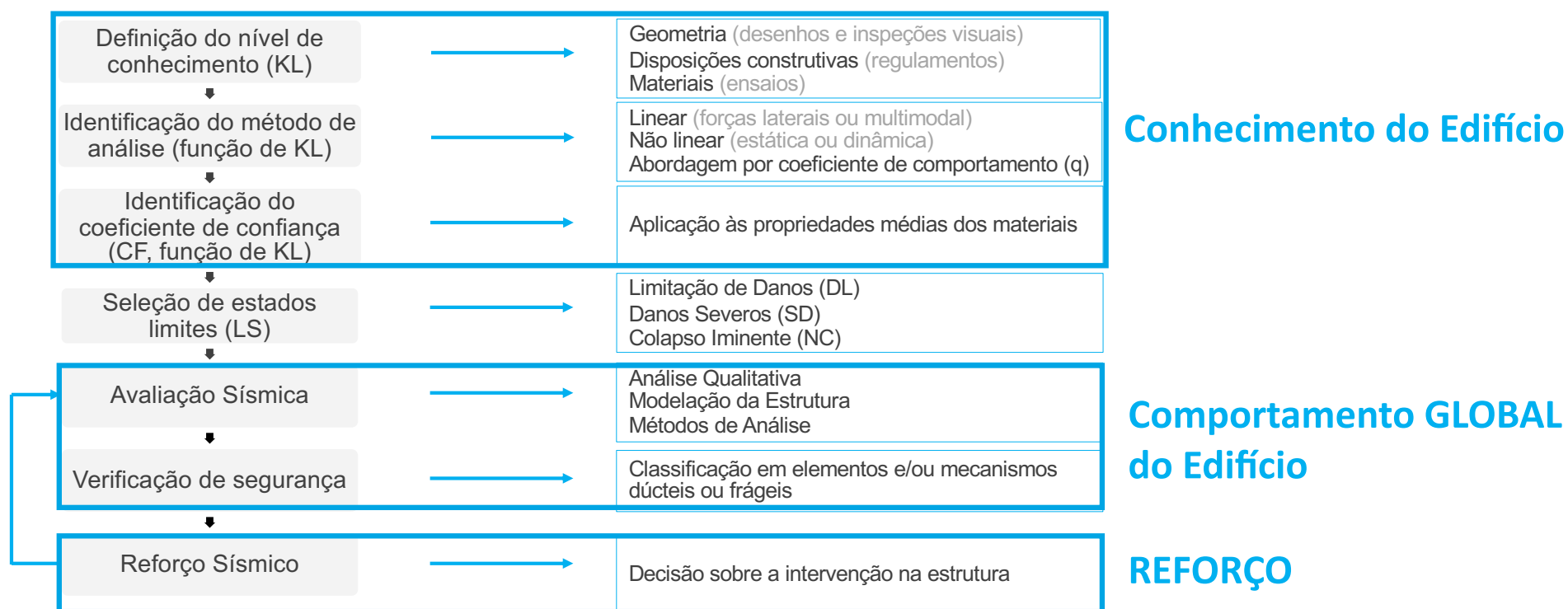


EERI - LFE Reconnaissance Webinar: Turkey – Rob Moss, Professor at California Polytechnic State University San Luis Obispo

# REFORÇO ESTRUTURAL DE EDIFÍCIOS BA VULNERÁVEIS

# REFORÇO ESTRUTURAL DE EDIFÍCIOS BA VULNERÁVEIS

## EC8-3: AVALIAÇÃO E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS (NP EN 1998-3:2017)



# REFORÇO ESTRUTURAL DE EDIFÍCIOS BA VULNERÁVEIS

Definir a estratégia de intervenção adequada para atingir os requisitos de desempenho sísmico estabelecidos para o edifício:

## 1. Redução das Exigências Sísmicas

Aumento da rigidez lateral global



Paredes BA



Contraventamentos  
Metálicos

Introdução de sistemas de dissipação de energia



Dissipadores  
[http://www4.kke.co.jp/stde/en/consulting/reinforce\\_design.html](http://www4.kke.co.jp/stde/en/consulting/reinforce_design.html)

# REFORÇO ESTRUTURAL DE EDIFÍCIOS BA VULNERÁVEIS

Definir a estratégia de intervenção adequada para atingir os requisitos de desempenho sísmico estabelecidos para o edifício:

## 2. Aumento da Capacidade de Deformação

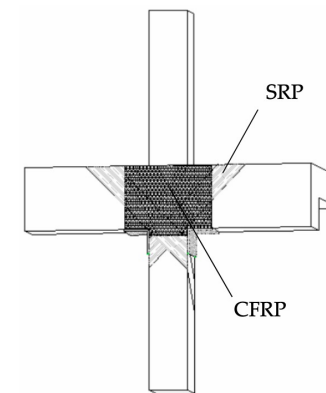
Aumentar a capacidade de deformação e/ou resistência ao corte dos elementos vulneráveis:  
**Reforço por confinamento dos pilares e paredes de BA e Reforço dos nós**



Encamisamento BA  
<https://epachon.wordpress.com/>



Colagem FRPs



Colagem SRP (*steel reinforced polymer*) e tela CFRP nós



**MUITO OBRIGADA!**

**RITA BENTO**  
[rita.bento@tecnico.ulisboa.pt](mailto:rita.bento@tecnico.ulisboa.pt)

Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

6 junho 2023