

# AVALIAÇÃO E REABILITAÇÃO SISMICA DE EDIFÍCIOS

E. CANSADO CARVALHO  
CHAIRMAN CEN/TC250/SC8 – EUROCODE 8  
GAPRES SA



**OS SISMOS SÃO INEVITÁVEIS**

**MAS AS CONSEQUÊNCIAS**

**NÃO !**

# Dependem da nossa ACÇÃO ou INACÇÃO



*Fotografia de Jorge Rodrigues [1998]*

# CONCEITOS FUNDAMENTAIS

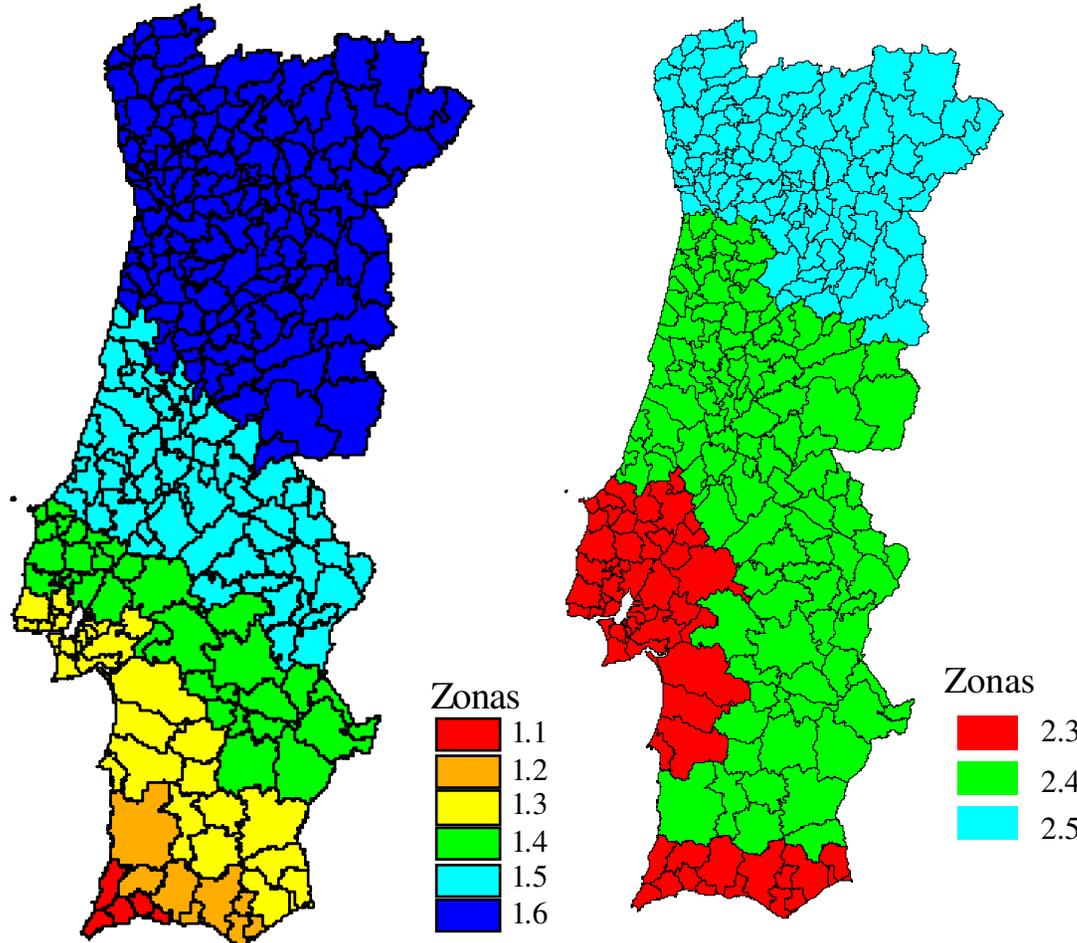
- > Perigosidade sísmica
- > Exposição
- > Vulnerabilidade sísmica
- > Risco sísmico
- > Reabilitação sísmica

Resolução da Assembleia da República nº 102/2010:  
Recomenda ao Governo a **Adopção de medidas para  
reduzir os riscos sísmicos**

# **PERIGOSIDADE SÍSMICA**

# Zonamento Sísmico (NP EN1998-1)

Período de retorno: 475 anos (10% de probabilidade em 50 anos)



Aceleração máxima de referência

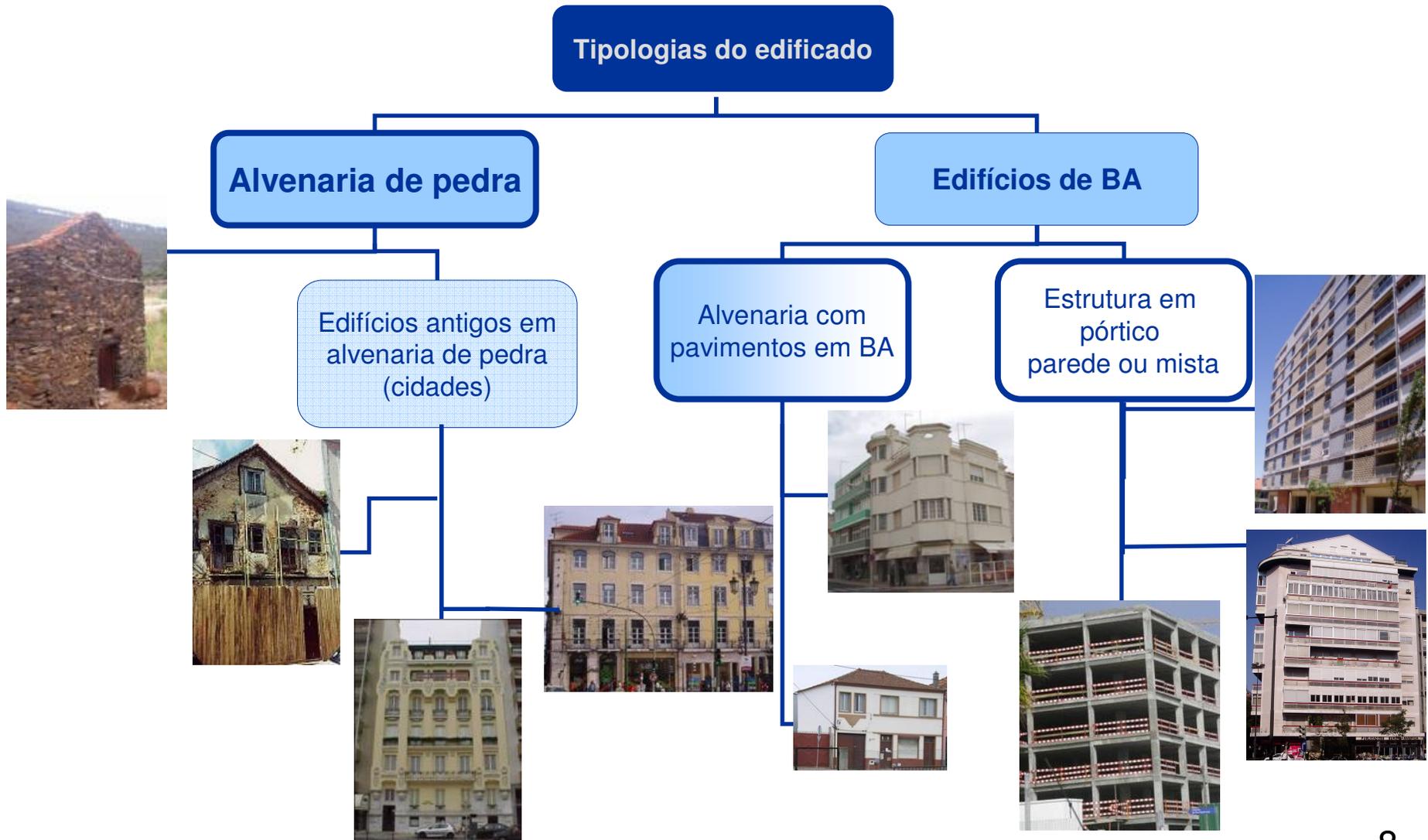
Zona	AS Tipo 1 $a_{gR}$ (m/s <sup>2</sup> )	AS Tipo 2 $a_{gR}$ (m/s <sup>2</sup> )
x.1	2,50	2,50
x.2	2,00	2,00
x.3	1,50	1,70
x.4	1,00	1,10
x.5	0,60	0,80
x.6	0,35	-

Acção Sísmica Tipo 1  
Cenário afastado

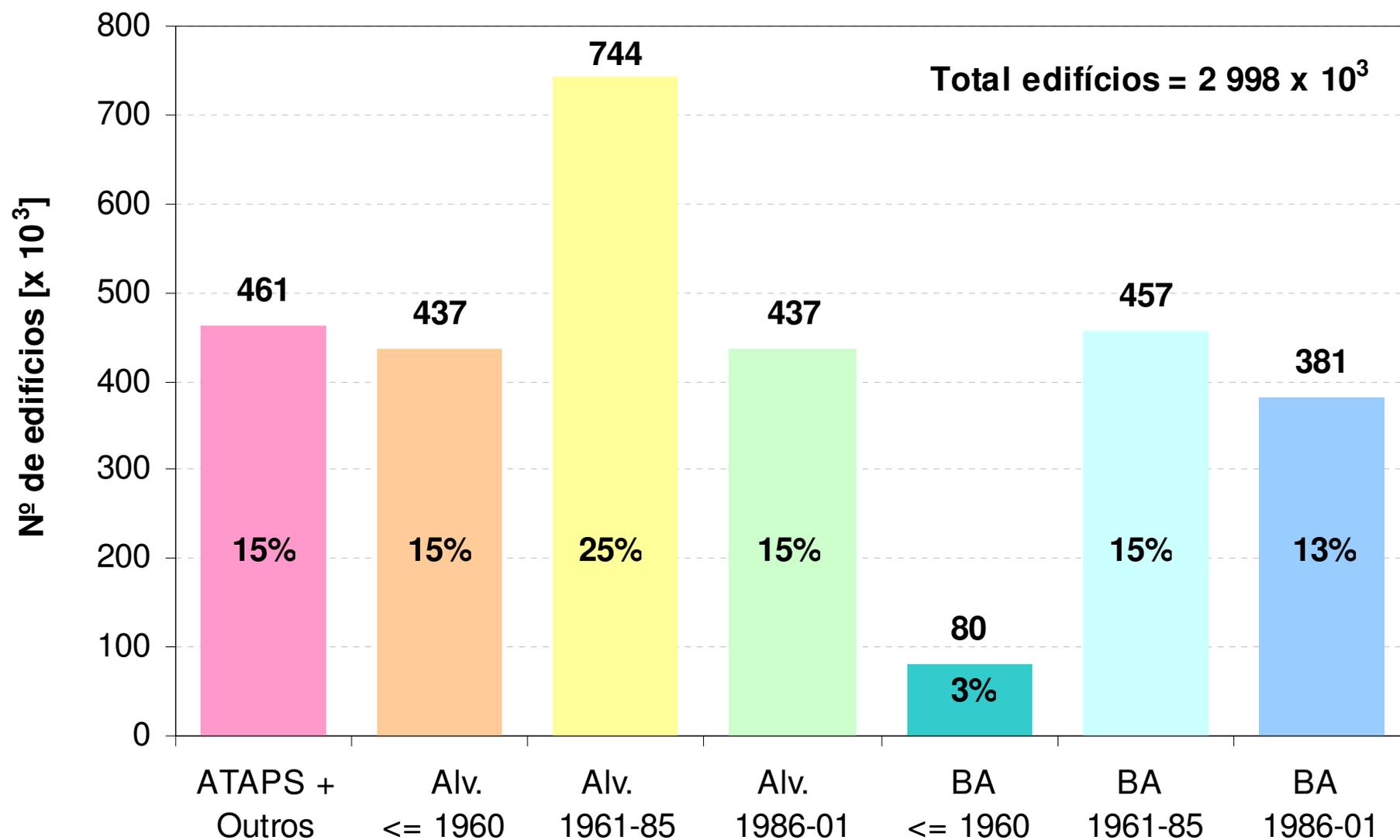
Acção Sísmica Tipo 2  
Cenário próximo

**EXPOSIÇÃO**

# Inventários dos elementos em risco



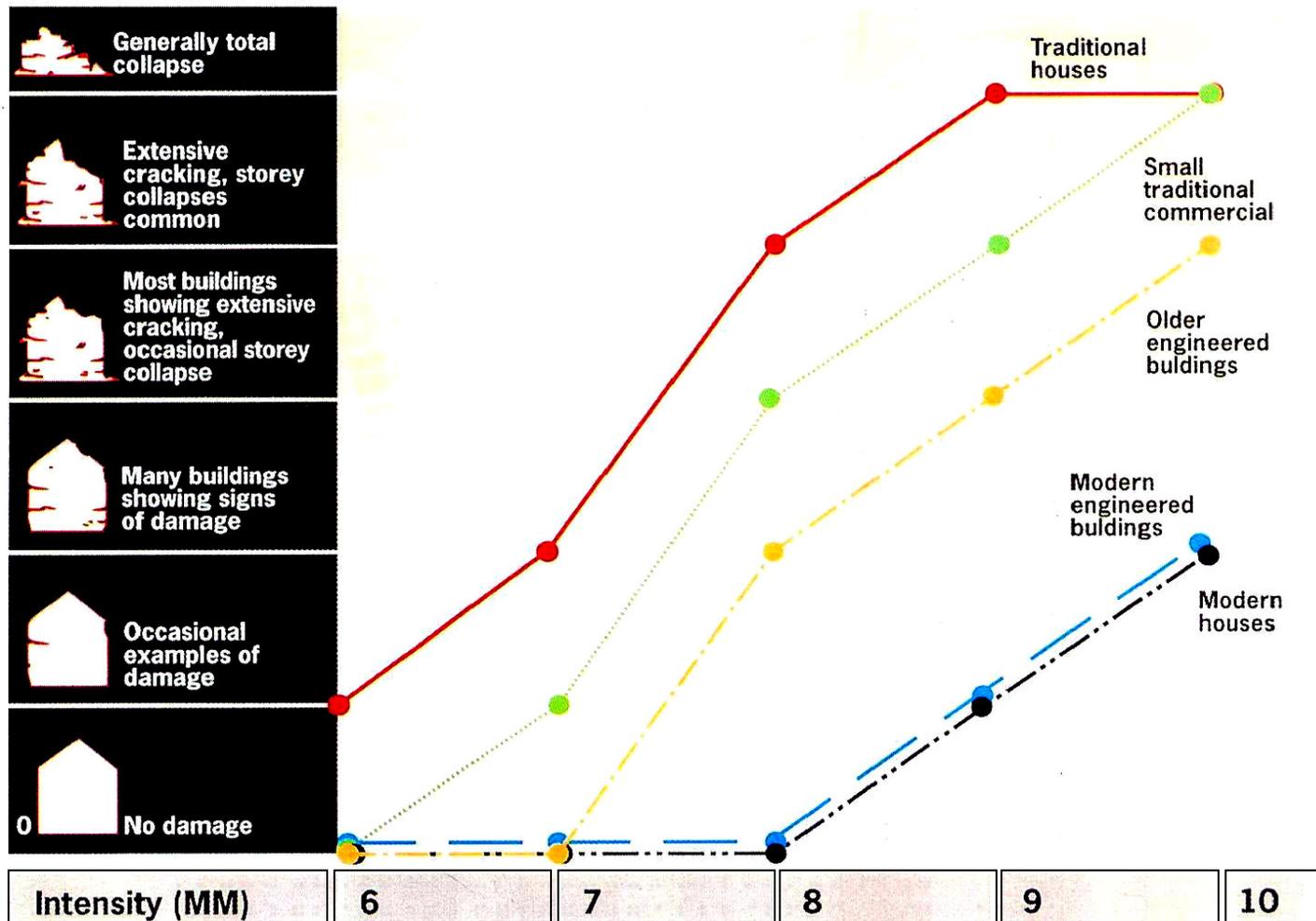
# Distribuição do edificado em Portugal por tipologia construtiva (2001)



# **VULNERABILIDADE SÍSMICA**

# Vulnerabilidade sísmica das construções

Variação dos danos com a variação da intensidade sísmica



Estatística dos danos observados durante o sismo de KOBE de 17 Jan. 1995

Source: Alexander Howden Group Ltd (1995), p. 6.

feito das técnicas de dimensionamento de estruturas na sua vulnerabilidade



Os edifícios não são todos iguais

# **RISCO SÍSMICO**

# Fundamentos dos estudos de risco sísmico

(perdas esperadas no futuro devidas a eventos sísmicos)

$$R_S = f(H, V, E)$$

Fotografia de Jorge Rodrigues [1998]



Fotografia Robert E. Wallace [U]



Vulnerabilidade,  $V$

Perigosidade,  $H$



Exposição,  $E$

## **Como diminuir o risco no parque edificado existente**

> Diminuir a Perigosidade? **Não é possível!**

> Diminuir a Vulnerabilidade? **Sim, é possível!**

### **Reabilitação sísmica**

> Diminuir a Exposição? **Sim, é possível!**

**Demolição total ou parcial. Limitação de uso**

## **Reabilitação sem reabilitação sísmica?**

- > Diminuiu a Perigosidade? **Não!**
- > Diminui a Vulnerabilidade? **Não!** (Por vezes aumenta!)
- > Diminui a Exposição? **Pelo contrário, aumenta-a!**

**Aumenta o Risco Sísmico  
em termos humanos e económicos**

**Não podemos cometer este erro**

# O perigo de aumento da vulnerabilidade sísmica em intervenções de reabilitação

- > Eliminação de elementos de contraventamento horizontal (eliminação de paredes)
- > Fragilização de paredes (abertura de roços de grande profundidade) ou das ligações dos pavimentos e coberturas às paredes
- > Aumento de massa (aumento do número de pisos) sem estruturação adequada
- > Introdução de elementos dissonantes da tipologia construtiva pré-existente

# **REABILITAÇÃO SÍSMICA**

## **Princípios Gerais**

# Objectivos

- > **Proteger as vidas humanas**
- > Limitar as perdas económicas
- > Assegurar a manutenção em funcionamento das instalações de protecção civil importantes

Objectivos iguais aos estabelecidos para construções novas mas sendo a de **Protecção das vidas humanas a primordial**

# Eurocódigo 8: Projecto de estruturas para resistência aos sismos. **Parte 3: Avaliação e reabilitação de edifícios** (EN1998-3)

## **Exigências de desempenho**

### ESTADO LIMITE DE **COLAPSO IMINENTE**

- Estrutura severamente danificada, mantém a capacidade de suporte de cargas verticais mas  **muito próximo do colapso**, apresenta **importantes deslocamentos permanentes**
- Valor recomendado para a acção sísmica (casos correntes): 2% de probabilidade em 50 anos (**período de retorno de 2.475 anos**)

Não previsto explicitamente na Parte 1 do Eurocódigo 8

# Eurocódigo 8: Projecto de estruturas para resistência aos sismos. **Parte 3: Avaliação e reabilitação de edifícios** (EN1998-3)

## **Exigências de desempenho**

### ESTADO LIMITE DE **DANOS SEVEROS**

- Estrutura com danos significativos, **mantém a capacidade de suporte de cargas verticais**, alguns elementos de enchimento mantêm-se, apresenta **deslocamentos permanentes** mas poderá ainda resistir a eventos sísmicos moderados)
- Valor recomendado para a acção sísmica (casos correntes): 10% de probabilidade em 50 anos (**período de retorno de 475 anos**)

Por vezes também designado por E. L. de **Salvaguarda da Vida Humana**.  
Corresponde à exigência de **não colapso** prevista na Parte 1 do Eurocódigo 8

# Eurocódigo 8: Projecto de estruturas para resistência aos sismos. **Parte 3: Avaliação e reabilitação de edifícios** (EN1998-3)

## **Exigências de desempenho**

### ESTADO LIMITE DE **LIMITAÇÃO DE DANOS**

- **Estrutura com danos ligeiros**, mantém as suas características de rigidez e resistência iniciais pouco afectadas, os **elementos não-estruturais** de enchimento apresentam fendilhação mas são **reparáveis**, a estrutura não apresenta deslocamentos permanentes e não necessita reparação
- Valor recomendado para a acção sísmica (casos correntes): 20% de probabilidade em 50 anos (**período de retorno de 225 anos**)

Corresponde à exigência de **limitação de danos** prevista na Parte 1 do Eurocódigo 8 mas aí o período de retorno recomendado é de 95 anos

# REABILITAÇÃO SÍSMICA

## Situação em outros Países

1. Existe um Plano Nacional de Reabilitação Sísmica?
2. A reabilitação sísmica é obrigatória?
3. Existe um regulamento específico? As exigências são idênticas ou reduzidas em comparação com os edifícios novos?

# Itália

- Não existe um Plano Nacional de Reabilitação Sísmica mas em 2003 (na sequência do sismo de 2002) foi estabelecido em lei que, **num prazo de 5 anos**, todos os **edifícios e infraestruturas críticos** deveriam ser **avaliados quanto à sua resistência sísmica**.
- Essa avaliação incidiu sobre hospitais, quartéis militares, de bombeiros e de polícia, **escolas**, museus, estações de caminho de ferro, aeroportos, pontes nas auto-estradas, estradas nacionais e de caminho de ferro.
- Foi **estendida a outros edifícios da Administração Pública** e algumas grandes empresas privadas também submeteram os seus edifícios a uma avaliação sísmica.
- A avaliação encontra-se em conclusão.

# Itália

- O novo regulamento geral da construção (*Norme Tecniche per le Costruzioni – NTC -08*) tornou **obrigatória** (a partir de 2009) a **avaliação da segurança estrutural** (incluindo a sísmica) das **construções existentes** quando se verifique:
  - **Redução** evidente **da capacidade resistente** (devido a acções excepcionais ambientais ou acidentais e/ou degradação das características mecânicas dos materiais) ou **funcionamento estrutural anómalo**, designadamente assentamento de fundações.
  - Identificação de **erro grave de projecto**
  - **Alteração da utilização da construção** com alteração significativa das cargas variáveis ou da classe de importância.
  - **Intervenções** com objectivos não estruturais mas que **interfiram com a estrutura** e reduzam a sua resistência ou rigidez.
- Esta avaliação pode determinar:
  - A **manutenção em exploração** da construção sem intervenção
  - A **alteração do uso** ou imposição de limitações
  - A necessidade de **proceder ao reforço** estrutural

# Itália

- São introduzidos dois conceitos de intervenção (“*adeguamento*” e “*miglioramento*”)
- A *reabilitação* (“*adeguamento*”) de uma construção existente é *obrigatória* quando se pretenda:
  - *Aumentar a sua altura*
  - *Ampliar a construção* com novos elementos estruturais
  - *Alterar a classe de importância* e/ou o *tipo de utilização* que comporte um acréscimo de carga global nas fundações superior a 10%
- Proceder a *intervenção* que *modifique o funcionamento estrutural global*
- O *melhoramento* (“*miglioramento*”) cobre as situações de intervenção que conduzam ao *aumento da resistência* da estrutura e é aceitável quando não se verificarem as condições que impõem a reabilitação

# Itália

- Os aspectos específicos da **reabilitação sísmica** são cobertos por **regulamentação complementar** mas a reabilitação sísmica **não é obrigatória** em termos gerais.
- Para a reabilitação sísmica devem ser seguidas **genericamente as exigências de projecto para edifícios novos** mas admitem-se as seguintes excepções:
- As **verificações** em relação ao Estado Limite de Utilização (**Limitação de Dano**) **podem ser dispensadas** por acordo entre o projectista e o Dono de Obra
- Para o **Estado Limite Último** a **acção sísmica** de projecto pode ser **reduzida** pelas **Autoridades Locais até 65%** da acção prevista para construções novas

# França

- O Decreto (*“Classification et règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite “à risque normal”* - Outubro 2010) que impõe, por força de lei, a aplicação obrigatória do Eurocódigo 8 para edifícios ordinários inclui a definição das condições da sua **aplicação a edifícios existentes**.
- O zonamento sísmico prevê 5 zonas com acelerações  $a_{gR}$  de **0,4; 0,7; 1,1; 1,6 e 3 m/s<sup>2</sup>** respectivamente para as **zonas 1 a 5**.
- Os edifícios (**novos e existentes**) são classificados em **4 Categorias de Importância**, em linha com o previsto no Eurocódigo 8 – Parte 1.
- Os trabalhos a realizar em edifícios existentes, qualquer que seja a sua natureza, **não devem agravar a vulnerabilidade sísmica**
- As condições em que é **obrigatório aplicar** o regulamento a edifícios existentes **depende da zona sísmica e categoria de importância**.

# França

Condições de obrigatoriedade na **Zona sísmica 2**

- Para edifícios das Categorias de **Importância III e IV**, no caso de substituição ou acrescento de elementos não estruturais, esses elementos devem ser verificados.
- Para edifícios da Categoria de **Importância IV** a estrutura deve ser verificada para **60% da aceleração em edifícios novos** quando os trabalhos envolvam:
  - **aumento de mais de 30% da área de construção**
  - **supressão de mais de 30% de um pavimento**

# França

Condições de obrigatoriedade na **Zona sísmica 3**

- Para edifícios das Categorias de **Importância II, III e IV** no caso de substituição ou acrescento de elementos não estruturais, esses elementos devem ser verificados.
- Para edifícios das Categorias de **Importância II, III e IV** a estrutura deve ser verificada para **60% da aceleração em edifícios novos** quando os trabalhos envolvam:
  - **aumento de mais de 30% da área de construção**
  - **supressão de mais de 30% de um pavimento**

# França

## Condições de obrigatoriedade na **Zona sísmica 4**

- Para edifícios das Categorias de **Importância II, III e IV**, no caso de substituição ou acrescento de elementos não estruturais, esses elementos devem ser verificados.
- Para edifícios da **Categoria II** a estrutura deve ser verificada para **60% da aceleração em edifícios novos** quando os trabalhos envolvam:
  - aumento de mais de 30% da área de construção
  - supressão de mais de 30% de um pavimento
- Para edifícios das **Categoria III e IV** a estrutura deve ser verificada para **60% da aceleração em edifícios novos** quando os trabalhos envolvam:
  - aumento de mais de 20% da área de construção
  - supressão de mais de 30% de um pavimento
  - supressão de mais de 20% do contraventamento horizontal
  - colocação de equipamentos pesados na cobertura

# França

## Condições de obrigatoriedade na **Zona sísmica 5**

- Para edifícios das Categorias de **Importância II, III e IV**, no caso de substituição ou acrescento de elementos não estruturais, esses elementos devem ser verificados.
- Para edifícios da **Categoria II** a estrutura deve ser verificada para **60% da aceleração em edifícios novos** quando os trabalhos envolvam:
  - aumento de mais de **20%** da área de construção
  - supressão de mais de 30% de um pavimento
  - supressão de mais de 20% do contraventamento horizontal
- Para edifícios das **Categoria III e IV** a estrutura deve ser verificada para **60% da aceleração em edifícios novos** quando os trabalhos envolvam:
  - aumento de mais de **20%** da área de construção
  - supressão de mais de 30% de um pavimento
  - supressão de mais de 20% do contraventamento horizontal
  - colocação de **equipamentos pesados** na cobertura

# Nova Zelândia

- O Regulamento Geral da Construção (Building Act – 2004) introduziu o conceito de edifício vulnerável em relação aos sismos (“*earthquake prone building*”) e **remeteu para as Autoridades Territoriais a obrigação de (num prazo de 18 meses) definir a política** em relação a esses edifícios.
- O **edifício perigoso** é definido como sendo um edifício que, para um sismo moderado (com **1/3 da severidade do sismo de projecto** de edifícios novos), atinge a sua capacidade última sendo **provável o seu colapso provocando ferimentos ou a morte dos ocupantes** e danos em propriedades vizinhas.
- Na prática, **o efeito da introdução desse conceito** e a atribuição de responsabilidade às Autoridades Territoriais **foi reduzido** e muito variado nas várias zonas do País.
- Mesmo **nas zonas aonde foi lançado um processo de identificação** sistemática do edifícios perigosos foram estabelecidos **prazos muito longos** para a reabilitação ou demolição compulsória (15 a 30 anos).

# Nova Zelândia

- Os sismos de Christchurch (2010/2011) alteraram radicalmente a situação uma vez que **muitos dos edifícios que colapsaram** (particularmente de alvenaria simples) **já estavam reconhecidos** antes da crise sísmica **como “*earthquake prone*”** e não tinha havido intervenção sobre eles.
- Por outro lado também alguns edifícios que tinham sido avaliados e considerados não “*earthquake prone*” colapsaram com elevado número de vítimas (evidenciando a **necessidade de melhorar o processo e meios de avaliação**).
- Antes do sismo **não estava regulamentarmente definido o nível de acção sísmica** para que deveriam ser **reforçados** os edifícios vulneráveis mas existia uma **recomendação** da Sociedade Neo-Zelandesa de Engenharia Sísmica para se adoptar **2/3 da acção de projecto de edifícios novos**.
- **Após o sismo** o Município (City Council) de Christchurch **tornou obrigatório o reforço para 67% da acção** de projecto em edifícios novos.

# Nova Zelândia

- Esta decisão causou **controvérsia e reacção** por parte dos proprietários e seguradores (com discussão sobre quem deveria suportar o custo do reforço).
- A controvérsia foi agravada por **em simultâneo a aceleração de projecto em Christchurch ter aumentado de 0,22 para 0,30 g**.
- O assunto está a ser fortemente debatido a nível nacional e espera-se que **a curto seja publicada nova legislação** sobre a avaliação e a reabilitação sísmica.
- Entre outros aspectos discute-se a **eventual adopção de prioridades** no processo de reabilitação sísmica ou de eliminação (demolição) dos edifícios mais vulneráveis de alvenaria simples.

# REABILITAÇÃO SÍSMICA

## A proposta para Portugal

Passo importante para a redução do risco sísmico em Portugal.

Destina-se a:

1. **Desencadear a avaliação sísmica de edifícios correntes** aquando de intervenções de reabilitação com alguma expressão económica
2. Definir as **condições** em que, em função dessa avaliação, será **obrigatório o reforço sísmico**
3. Definir a **exigência, quanto à acção sísmica** a considerar no projecto do reforço
4. Definir as **qualificações** dos técnicos envolvidos.

# REABILITAÇÃO SÍSMICA

## A proposta para Portugal

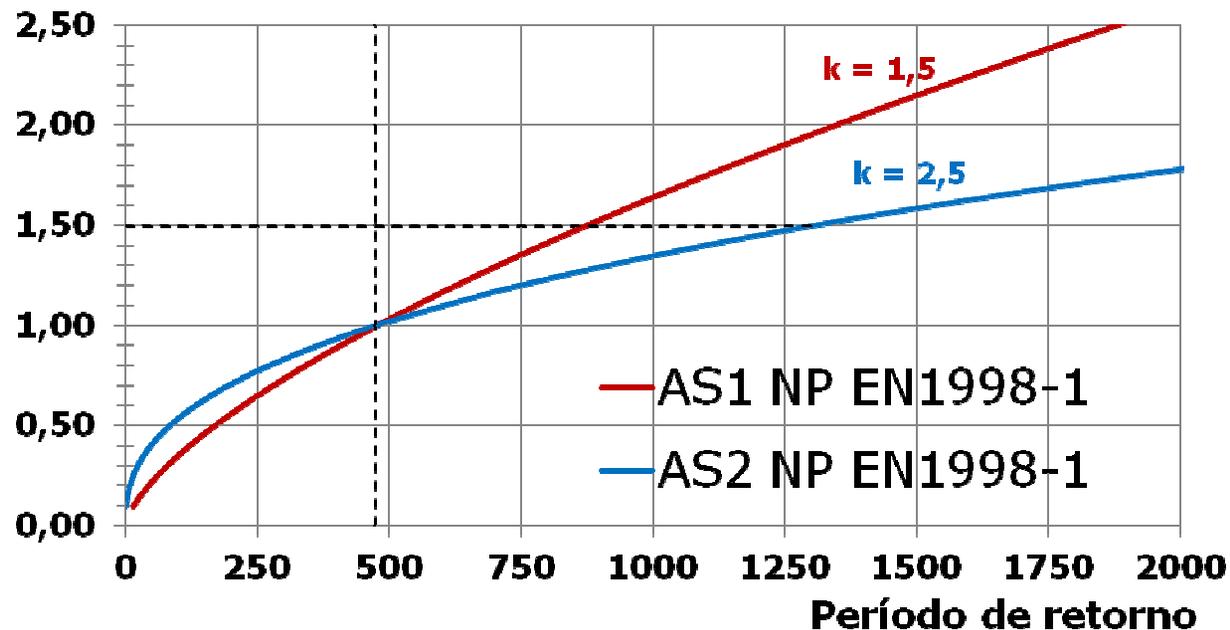
1 - Nos elementos instruindo o pedido de licenciamento ou de comunicação prévia numa situação de reabilitação urbana, deverá **obrigatoriamente ser incluído um relatório de avaliação da vulnerabilidade sísmica do edifício** sempre que se verifique uma das seguintes condições:

- i) a intervenção de reabilitação **umenta a área bruta** de construção
- ii) a intervenção de reabilitação **altera a altura** do edifício
- iii) ) a intervenção de reabilitação prevê a **alteração do tipo de uso** do edifício
- iv) a intervenção de reabilitação inclui **alterações na estrutura do edifício**, excepto se não interferem no comportamento sísmico do edifício
- v) a **área a intervir excede 25% da área bruta** de construção do edifício. No cálculo da área a intervir, à área de intervenção presente devem ser adicionadas as áreas relativas a todas as intervenções realizadas nos 5 anos antecedentes
- i) o **custo da intervenção de reabilitação é superior a 25% do custo de construção de raiz** de um edifício equivalente ao existente (considerando o preço por metro quadrado de área de construção fixo por portaria em cada ano consoante as zonas do País, para efeitos de cálculo da renda condicionada). No cálculo do custo da intervenção, ao custo intervenção presente devem ser adicionados os custos de todas as intervenções realizadas nos 5 anos antecedentes

# REABILITAÇÃO SÍSMICA

## A proposta para Portugal

2 - O relatório de avaliação da vulnerabilidade sísmica deve **estabelecer a capacidade resistente do edifício** relativamente à acção dos sismos em percentagem da capacidade resistente que seria exigida para satisfação da acção sísmica regulamentar, definida para o projecto de edifícios novos no mesmo local.



# REABILITAÇÃO SÍSMICA

## A proposta para Portugal

3 - Se o valor da capacidade resistente do edifício obtido na avaliação de vulnerabilidade for **inferior a 65% é obrigatório proceder ao seu reforço sísmico**, incluindo-o na intervenção de reabilitação.

O **reforço sísmico** do edifício deve **assegurar**, no mínimo, uma capacidade resistente à acção dos sismos correspondente a **75% da acção sísmica regulamentar** no local.

Vida útil TL	50 anos		AS1	AS2
Probabilidade de excedencia em TL	Período de Retorno	Classe de Vulnerabilidade	$a_g/a_{gR}$	$a_g/a_{gR}$
0,02	2.475		3,01	1,94
0,05	975	1 - muito reduzida	1,62	1,33
0,1	475	2 - reduzida	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>
0,125	374		0,85	0,91
0,15	308		<b>0,75</b>	0,84
0,175	260		0,67	0,79
0,182	249		<b>0,65</b>	0,77
0,194	232			<b>0,75</b>
0,2	224	3 - média	0,61	0,74
0,25	174		0,51	0,67
0,265	162		0,49	<b>0,65</b>
0,3	140		0,44	0,61
0,4	98		0,35	0,53
0,41	95	4 - elevada	0,34	0,52
0,5	72		0,28	0,47
0,6	55		0,24	0,42
0,63	50	5 - muito elevada	0,22	0,41
0,7	42		0,20	0,38
0,81	30		0,16	0,33
0,9	22		0,13	0,29

# **REABILITAÇÃO SÍSMICA**

**Qualificação profissional**

# **REABILITAÇÃO SÍSMICA**

## **Meios de Intervenção**

# REABILITAÇÃO SÍSMICA

## Meios de intervenção

- > Solidarização global dos edifícios
  - Ligação entre paredes
  - Ligação entre paredes e pavimentos e coberturas
- > Eliminação de irregularidades
- > Reforço/substituição de elementos deficientes
- > Inclusão de novos elementos estruturais
- > Demolições parciais
- > Isolamento sísmico

Fundamental compreender o funcionamento sísmico e identificar as debilidades para uma intervenção otimizada. Em muitos casos requer a desocupação temporária

# Regulamentação

EN 1998-3: Eurocode 8 – Design of Structures for Earthquake Resistance. Part 3: Assessment and retrofitting of buildings

(a publicar brevemente em Portugal)

- > Diferente do projecto de edifícios novos
- > Inclui orientação para recolha de informação
- > Novo paradigma: Displacement Based design
- > Conceito de coeficiente de comportamento muito dificilmente aplicável
- > Tratamento diferenciado para elementos dúcteis e frágeis

**OS SISMOS SÃO INEVITÁVEIS**

**MAS AS CONSEQUÊNCIAS**

**NÃO !**



**Obrigado**