

ESTRATÉGIAS PARA MELHORIA DO COMPORTAMENTO SISMICO DE EDIFÍCIOS

E CANSADO CARVALHO
GAPRES SA



Seminário – Reabilitação Sísmica de Edifícios. GECORPA/Ordem dos Arquitectos, Outubro 2011

OS SISMOS SÃO INEVITÁVEIS

MAS AS **CONSEQUÊNCIAS**

NÃO !

Dependem da nossa ACÇÃO ou INACÇÃO



Fotografia de Jorge Rodrigues [1998]

SUMÁRIO

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

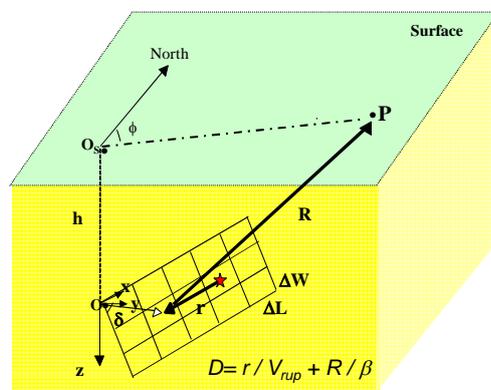
Resolução da Assembleia da República nº 102/2010:
Recomenda ao Governo a **Adopção de medidas para
reduzir os riscos sísmicos**

PERIGOSIDADE SÍSMICA

PERIGOSIDADE SÍSMICA

Geração e propagação

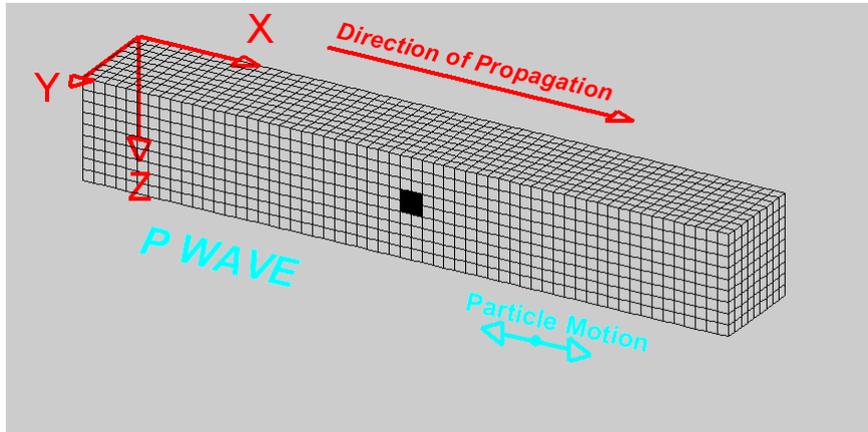
Atkinson et. al. (1998; 2002) – finite-fault modelling



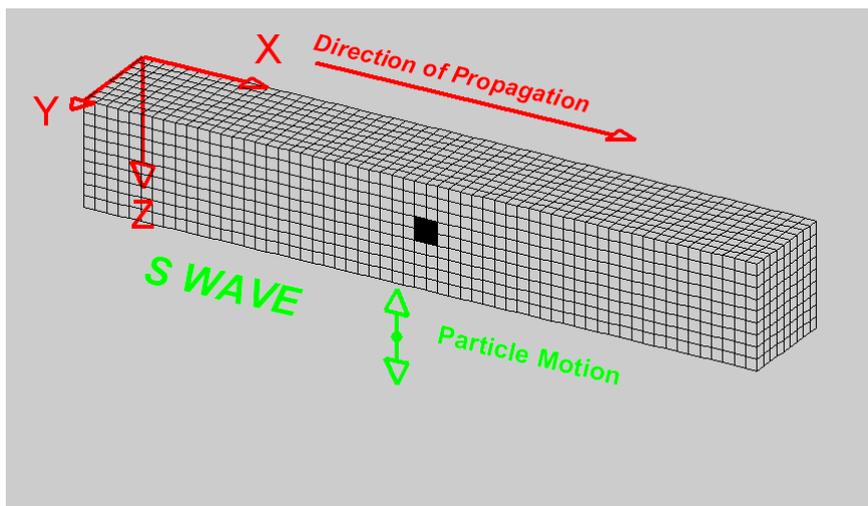
δ In depth inclination
 ϕ Orientation of the fault plan
 h depth of the origin of the fault plan
 ΔW width of the sub fault
 ΔL length of the sub fault
 R distance from the centre of the sub fault to the site
 r distance of the hypocenter to centre of the sub fault

$$D = r / V_{rup} + R / \beta$$

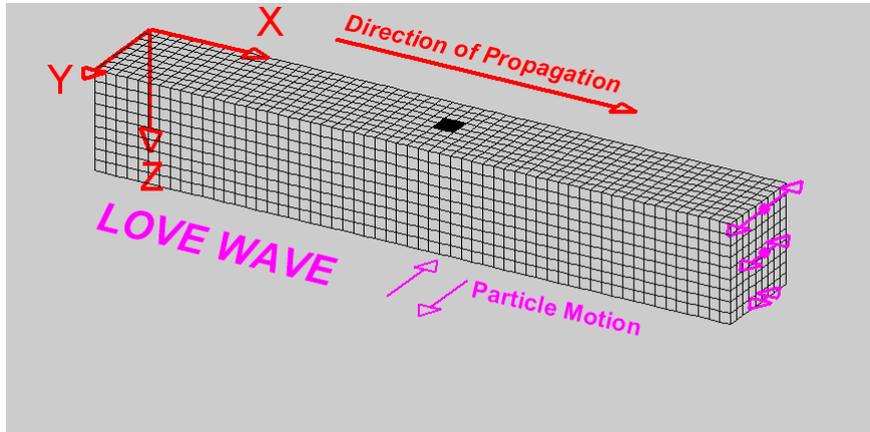
Ondas P (com variação de volume)



Ondas S (sem variação de volume)

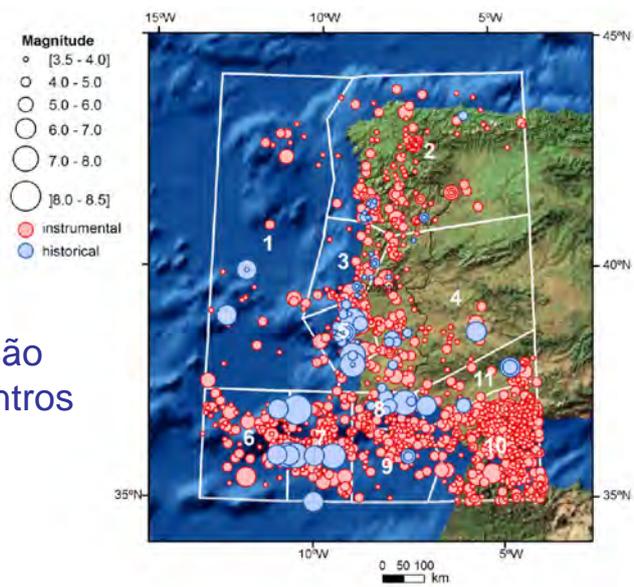


Ondas de superfície



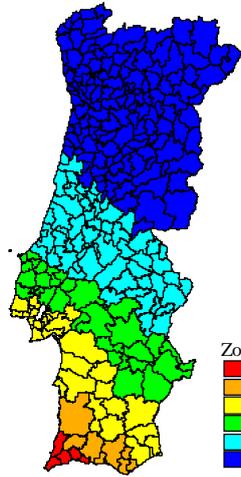
PERIGOSIDADE SÍSMICA

Distribuição de epicentros



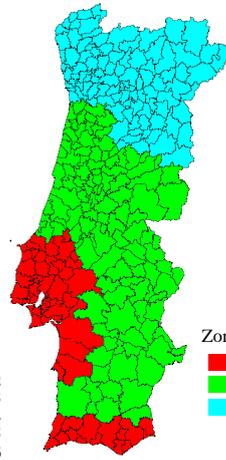
Zonamento Sísmico (NP EN1998-1)

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



Zonas
1.1
1.2
1.3
1.4
1.5
1.6

Ação Sísmica Tipo 1
Cenário afastado



Zonas
2.3
2.4
2.5

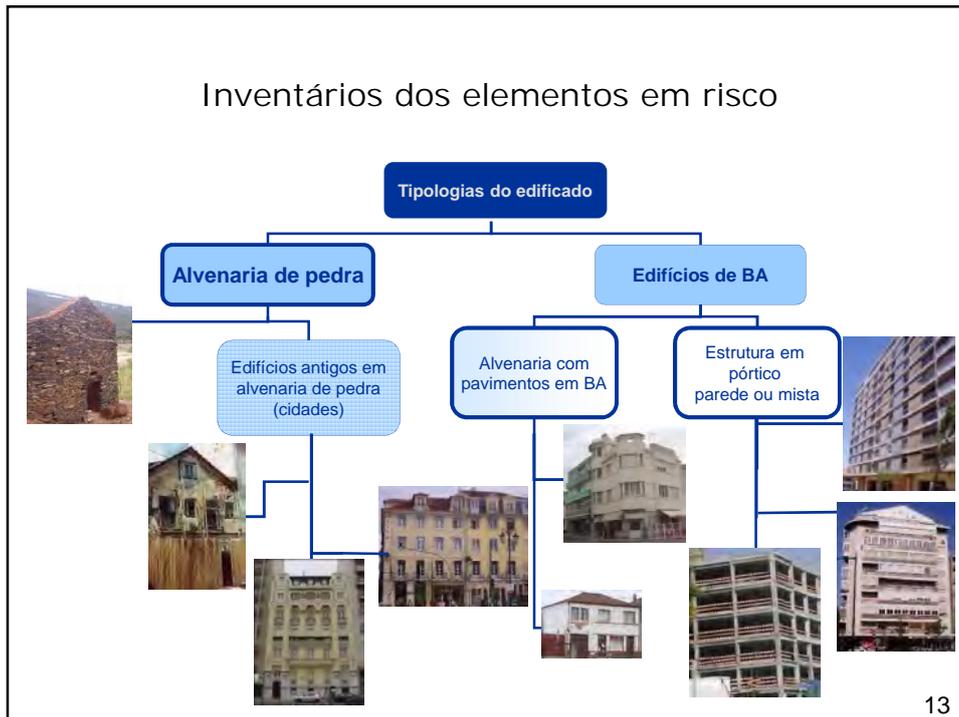
Ação Sísmica Tipo 2
Cenário próximo

Aceleração máxima de referência

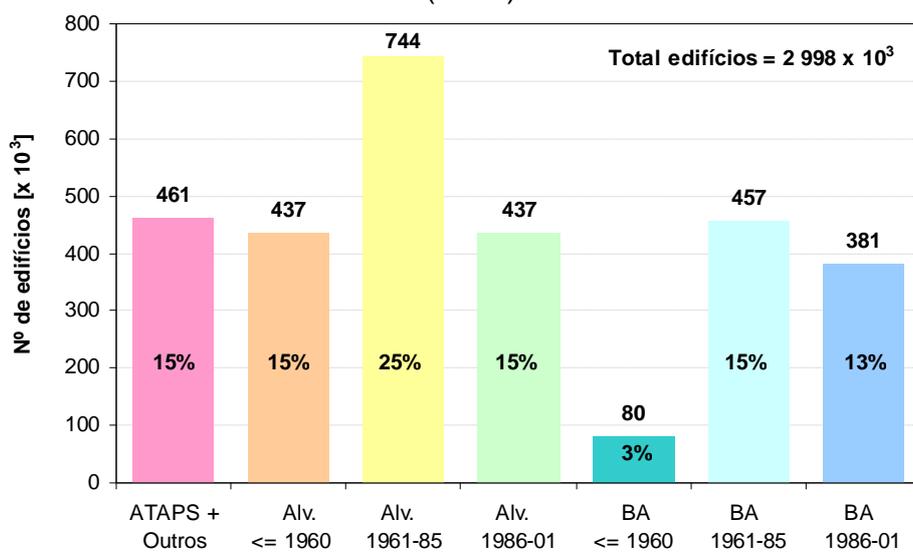
Zona	AS Tipo 1 a_{gR} (m/s ²)	AS Tipo 2 a_{gR} (m/s ²)
x.1	2,50	2,50
x.2	2,00	2,00
x.3	1,50	1,70
x.4	1,00	1,10
x.5	0,60	0,80
x.6	0,35	-

EXPOSIÇÃO

Inventários dos elementos em risco



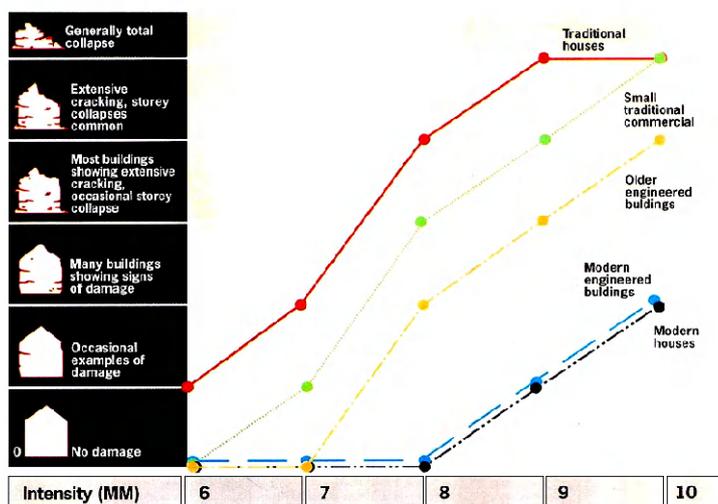
Distribuição do edificado em Portugal por tipologia construtiva (2001)



VULNERABILIDADE SÍSMICA

Vulnerabilidade sísmica das construções

Variação dos danos com a variação da intensidade sísmica



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

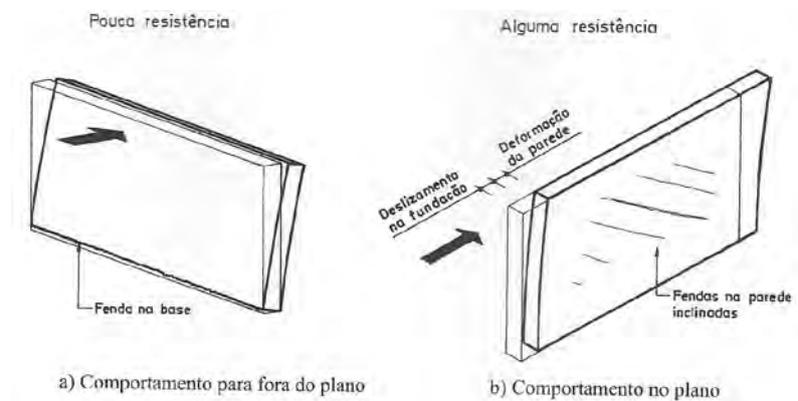
Source: Alexander Howden Group Ltd (1995), p. 6.

Efeito das técnicas de dimensionamento de estruturas na sua vulnerabilidade



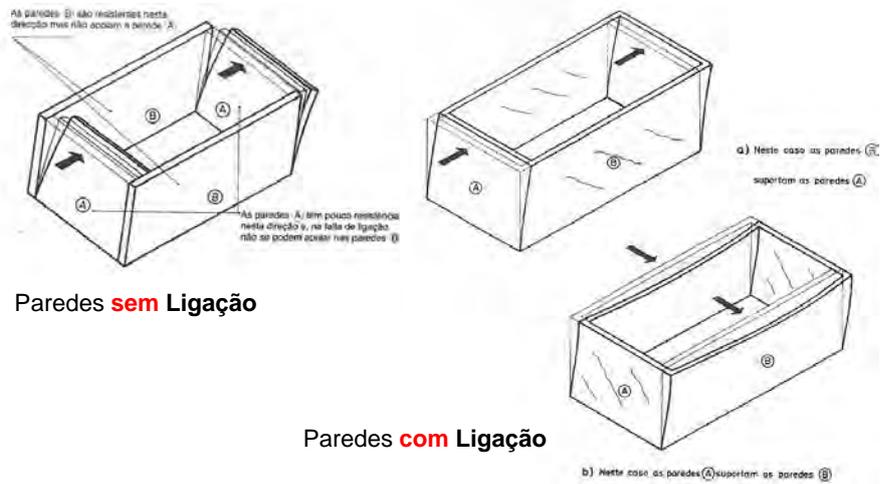
Os edifícios não são todos iguais

Comportamento de paredes em edifícios de alvenaria



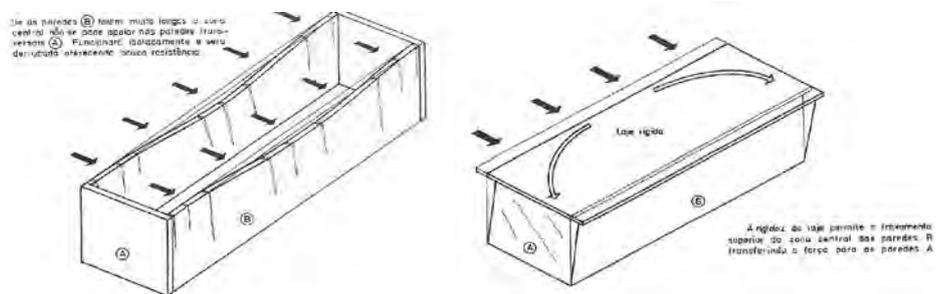
Diferente comportamento no plano e fora do plano

Efeito da ligação entre paredes



Grande importância do travamento entre paredes ortogonais

Efeito do travamento conferido pelos pavimentos



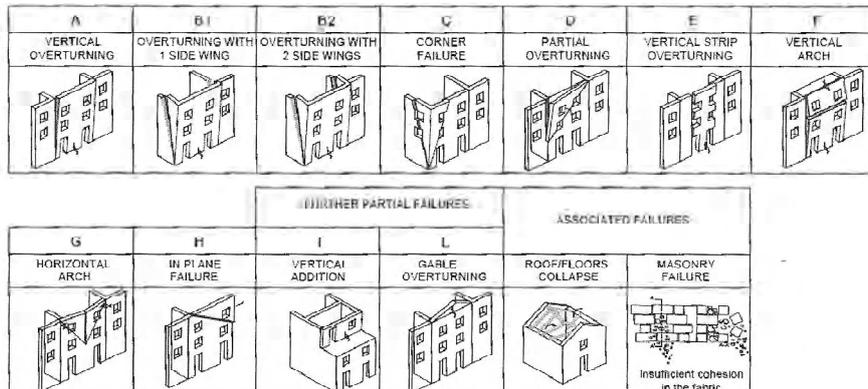
Rigidez e resistência dos pavimentos solidarizam a construção (efeito de diafragma)

Rigidez e resistência dos pavimentos



Pavimentos com e sem efeito de diafragma

Tipos de colapso em edifícios correntes de alvenaria



D'Ayala & Speranza, 2002

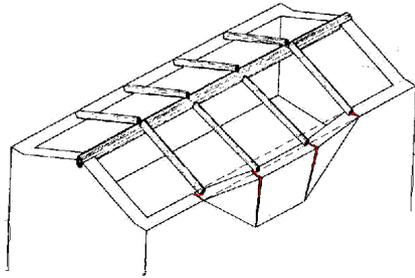


Edifícios em alvenaria de pedra em L'Áquila



Sismo do Faial, 1998

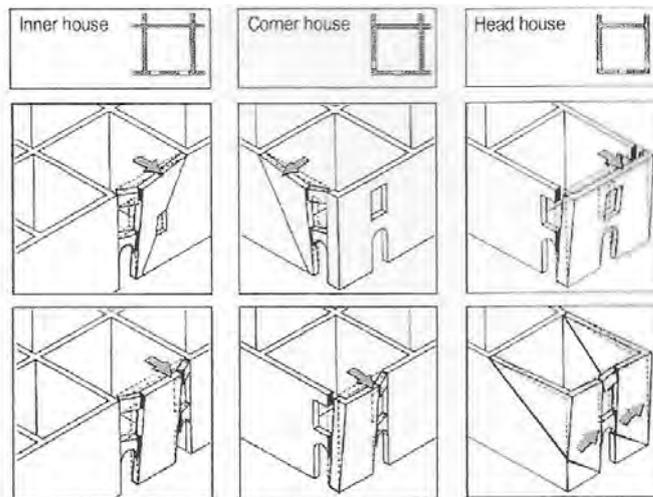
Telhados pesados que induzem forças horizontais elevadas perpendiculares ao plano da parede



Edifício em alvenaria de pedra em L'Áquila



Efeito da localização do edifício no tipo de colapso



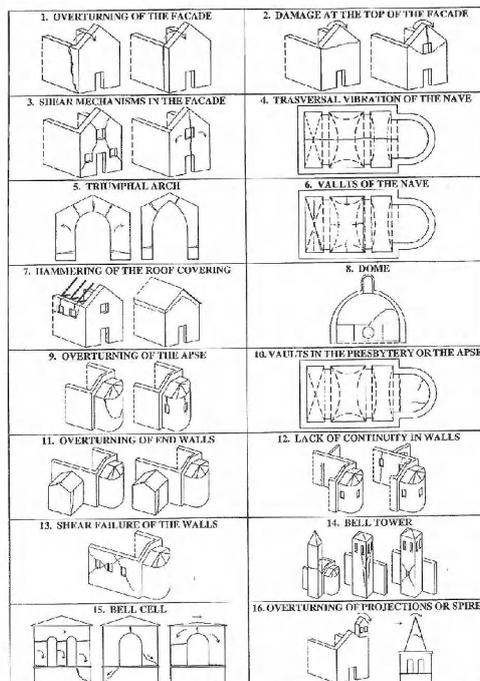
Carocci, 2001

Localização dos edifícios – a realidade



Necessidade de considerar o comportamento de conjunto e/ou a interacção entre edifícios

Tipos de colapso em igrejas



Lagomarsino, 1998



Sismo do Faial 1998

Comportamento de edifícios de betão

Betão Armado e mistos: Ductilidade baixa (em geral anteriores 1980)



Edifício em frente à da Residência dos Estudantes em L'Áquila



Edifício público no centro de L'Áquila de meados do século XX

Edifícios de Betão Armado anteriores a 1980. Sem resistência sísmica



Edifício junto à Via Porta Napoli, L'Áquila

Betão Armado e mistos: Ductilidade baixa



Edifício em Pianola



Betão Armado: Ductilidade média/alta (posteriores a 1990)



Edifício nos arredores L'Áquila

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]



Perigosidade, H

Vulnerabilidade, V



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!**
- > Diminuiu a Vulnerabilidade? **Não!** (Por vezes aumenta!)
- > Diminuiu 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

Não podemos cometer estes erros

REABILITAÇÃO SÍSMICA

Princípios Gerais

Objectivos

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

Exigências de desempenho (NP EN1998-1)

EXIGÊNCIA DE NÃO COLAPSO

Acção sísmica de projecto (“design seismic action”)

- Valor recomendado (e adoptado em Portugal) para casos correntes:
10% de probabilidade em 50 anos (**período de retorno de 475 anos**)

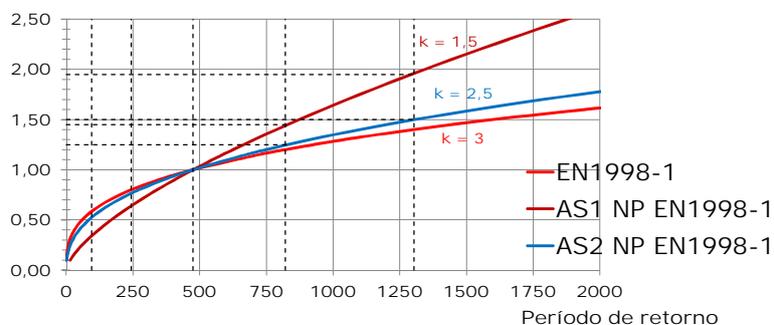
EXIGÊNCIA DE LIMITAÇÃO DE DANOS

Acção sísmica de serviço

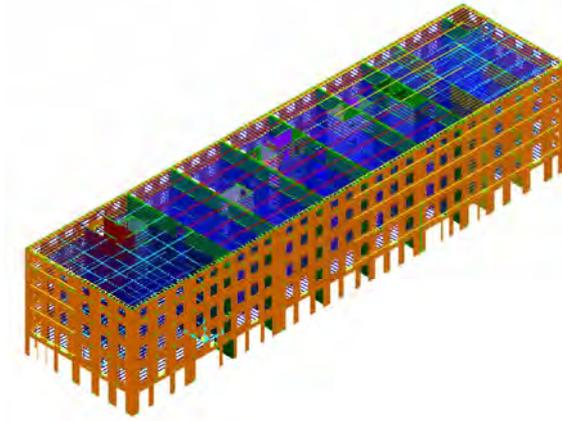
- Valor recomendado (e adoptado em Portugal) para casos correntes:
10% de probabilidade em 10 anos (**período de retorno de 95 anos**)

Metodologia

- Recolha de informação
- Estimativa da intensidade sísmica que conduz ao colapso e respectivo período de retorno

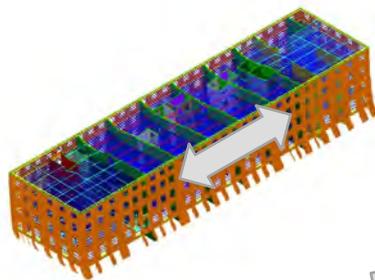


Modelação e análise sísmica



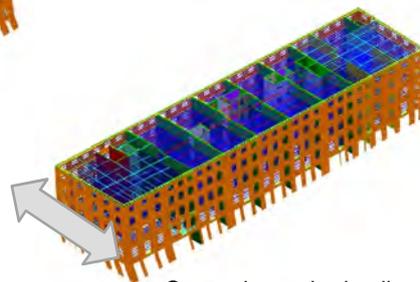
Modelação global de um edifício de alvenaria

Modos de vibração



Primeiro modo de vibração
(longitudinal)

$$f_1 = 1,71 \text{ Hz}$$

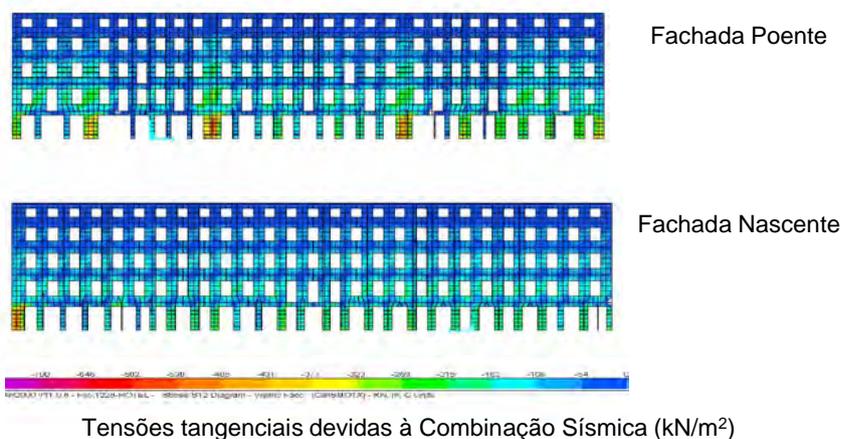


Segundo modo de vibração
(transversal/torsional)

$$f_1 = 2,04 \text{ Hz}$$

Modelação global de um edifício de alvenaria

Distribuição de Tensões de Corte



Efeito da irregularidade das aberturas no piso térreo

Metodologia

- Avaliação da Vulnerabilidade Sísmica (em função do período de retorno da acção que causa o colapso)

Período de retorno (anos)	Probabilidade de excedência em 50 anos (%)	Classe de vulnerabilidade	Intervenção para redução da vulnerabilidade sísmica
50	63	5 – muito elevada	Imperativa e urgente
95	41	4 – elevada	Muito aconselhável
225	20	3 – média	Aconselhável
475	10	2 – reduzida	Aconselhável em edifícios especiais
975	5	1 – muito reduzida	Dispensável

REABILITAÇÃO SÍSMICA

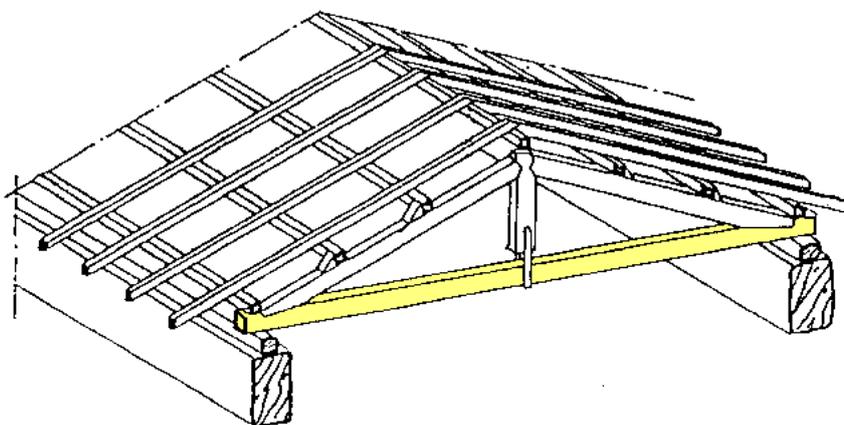
Meios de Intervenção

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

Solidarização de coberturas



Telhado que não induz forças laterais nas paredes

Travamentos de fachadas de alvenaria



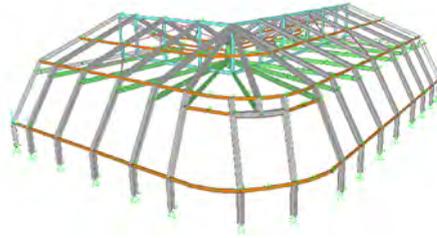
Corpo sem tirantes de reforço



Corpo com tirantes de reforço

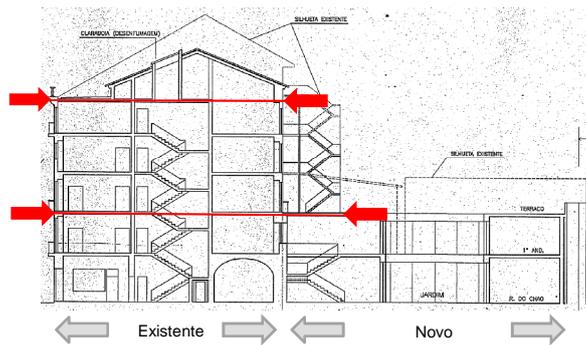
Travamento das coberturas

Cobertura a reconstruir

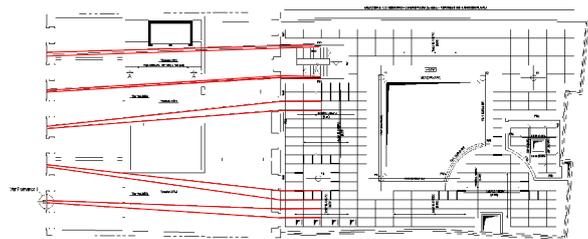


Nova cobertura em estrutura metálica com função de travamento do coroamento das fachadas (efeito diafragma)

Solidarização de fachadas



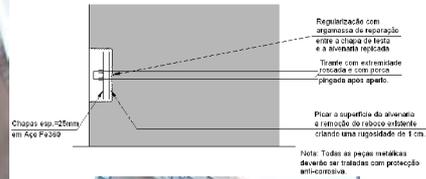
Aplicação de tirantes de travamento



Solidarização de fachadas



PORMENOR 1
PORMENOR TIPO DE LIGAÇÃO
DOS TIRANTES À FACHADA
ESCALA 1:10



Aplicação de tirantes de travamento

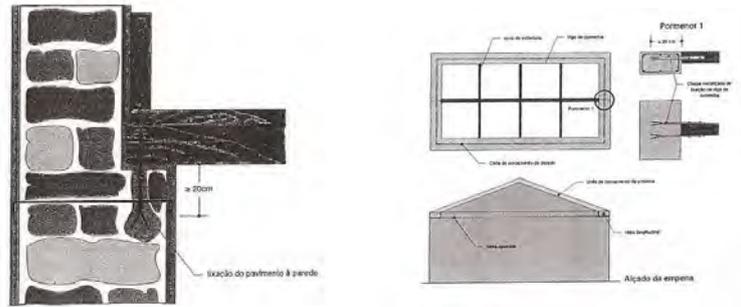


Rigidificação de pavimentos



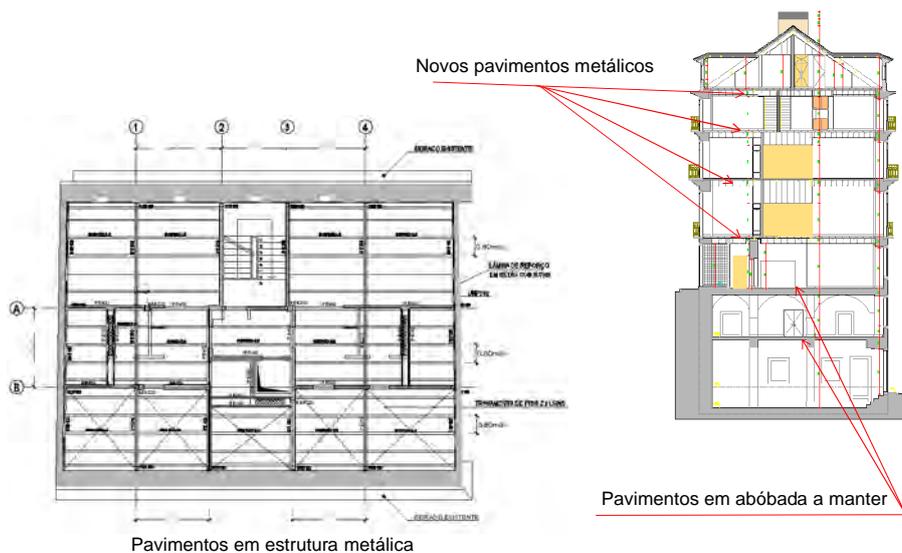
Introdução de novos elementos horizontais (efeito diafragma)

Reforço das ligações dos pavimentos às paredes



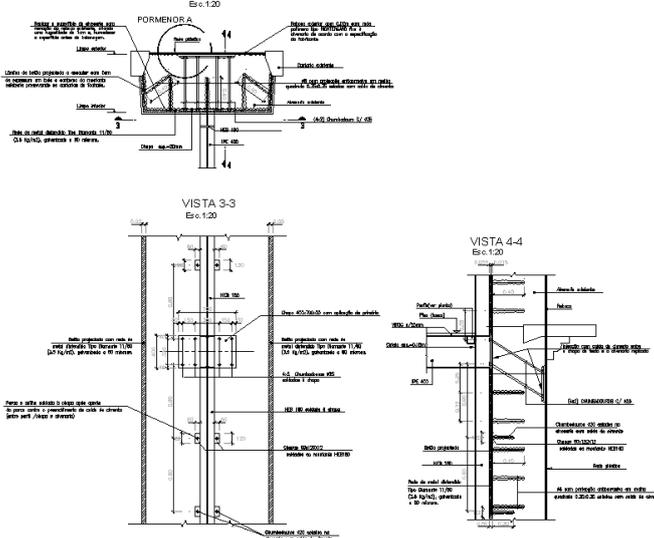
Melhoria da ligação entre elementos pré-existentes (efeito diafragma)

Ligação de novos pavimentos a paredes existentes



Ligação dos pavimentos às paredes existentes

Ligação dos perfis metálicos IPE400 às fachadas



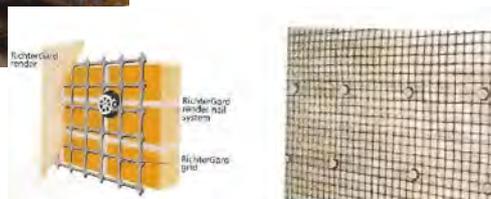
Reforço de fachadas



Rede Polímera



Rede de metal distendido (inox)



Aplicação de malhas de reforço

Eliminação de Irregularidades

Irregularidade em altura



Irregularidade em planta

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

Conclusão

> Definir os objectivos da Reabilitação Urbana para poder conciliá-los:

- Sociais
- Económicos
- Patrimoniais
- Ambientais
- Segurança



Que objectivo?

> Colocar a **reabilitação sísmica** na Agenda da reabilitação urbana

Conclusão

> Mobilizar todos os intervenientes para este objectivo:

- Governo
- Autarquias
- Promotores imobiliários
- Seguradoras
- Associações profissionais
- População

> Não desprezar esta janela de oportunidade para diminuir o risco sísmico em Portugal

> Papel muito importante dos Arquitectos

> Contar com a Engenharia de Estruturas

OS SISMOS SÃO INEVITÁVEIS

MAS AS CONSEQUÊNCIAS

NÃO !



Obrigado