

ER

***Risco sísmico na região de
Lisboa e Vale do Tejo***

***Diagnóstico da vulnerabilidade
dos edifícios existentes***

Paulo Candeias
LNEC – DE – NESDE



Seminário - 12 de Outubro de 2011 - Ordem dos Arquitectos - Lisboa

Vulnerabilidad sísmica



L'Aquila – 26/05/2009



Lorca – 26/05/2011

Diagnóstico da vulnerabilidade dos edifícios existentes



- Comportamento sísmico de edifícios correntes
 - Princípios básicos de concepção sísmica
 - Aspectos condicionantes da vulnerabilidade sísmica de edifícios de betão armado
 - Aspectos condicionantes da vulnerabilidade sísmica de edifícios de alvenaria
- Avaliação experimental da vulnerabilidade sísmica

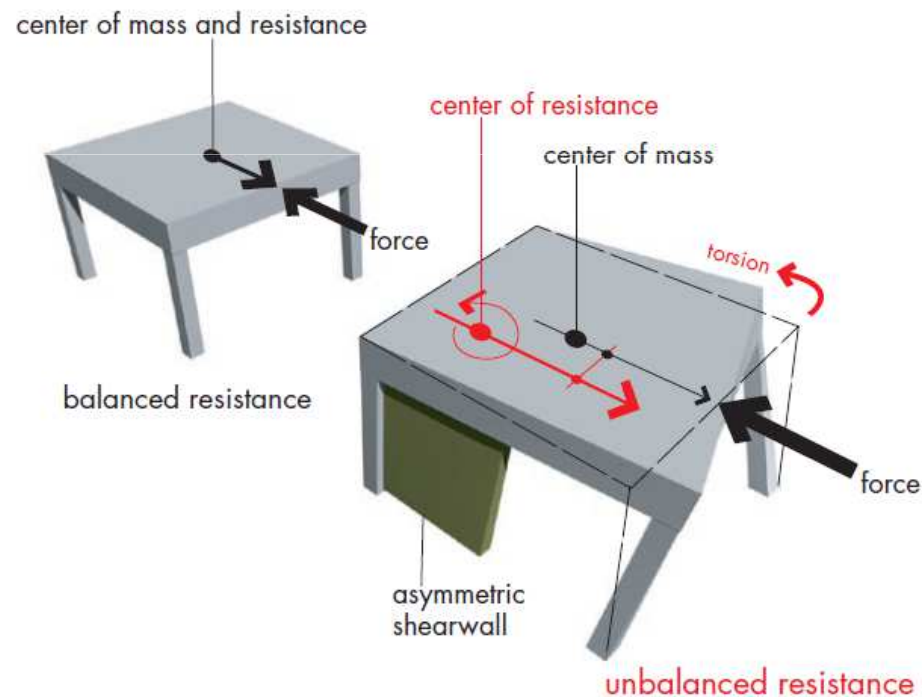
Princípios básicos de concepção sísmica (EN1998-1)



- Simplicidade estrutural
- Uniformidade, simetria e redundância da estrutura
- Resistência e rigidez nas duas direcções e também à torção
- Acção de diafragma ao nível dos pisos
- Fundação adequada

Simplicidade estrutural

■ Comportamento sísmico



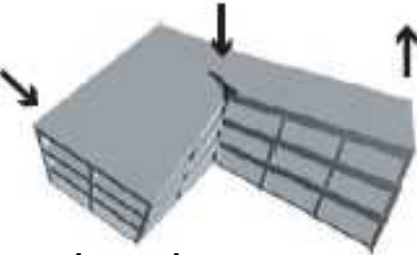
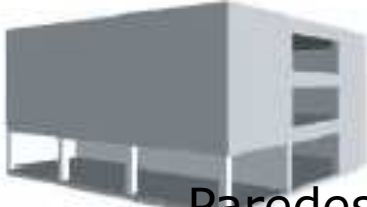
Google Maps

"Designing for Earthquakes: A Manual for Architects" (FEMA454)

Uniformidade, simetria e redundância da estrutura



■ Irregularidade em planta

plan conditions	resulting failure patterns	plan conditions	resulting failure patterns
			
Resistência desequilibrada		Excentricidade do diafragma	
			
Cantos reentrantes		Pórticos irregulares	
		Paredes descontínuas	

"Designing for Earthquakes: A Manual for Architects" (FEMA454)

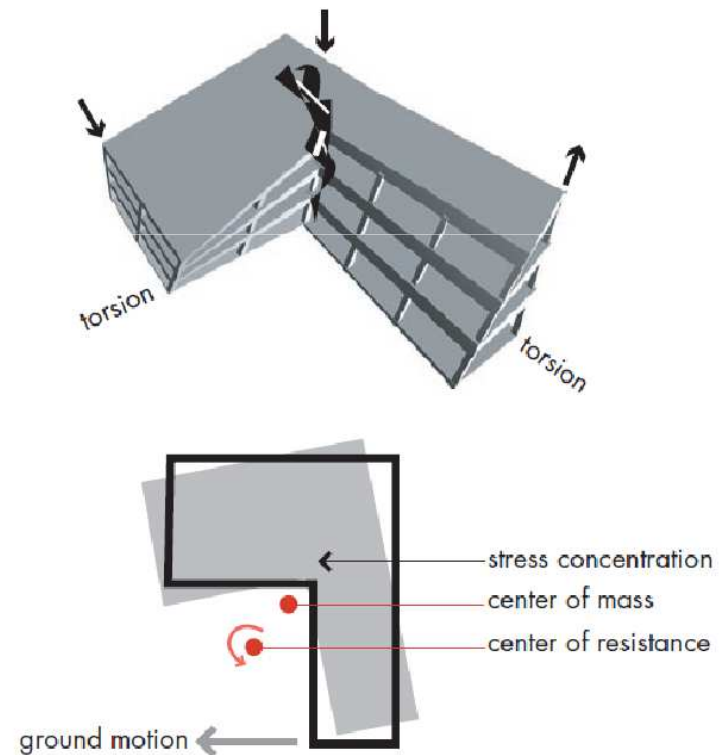
Uniformidade, simetria e redundância da estrutura



■ Irregularidade em planta



Google Maps

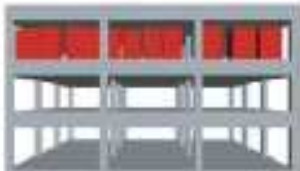


"Designing for Earthquakes: A Manual for Architects" (FEMA454)

Uniformidade, simetria e redundância da estrutura



■ Irregularidade em altura

vertical conditions	resulting failure patterns	vertical conditions	resulting failure patterns
			
Rigidez irregular: "soft story"		Geometria irregular	
			
Massa irregular		Estrutura irregular	
			
		Capacidade irregular: "weak story"	

"Designing for Earthquakes: A Manual for Architects" (FEMA454)

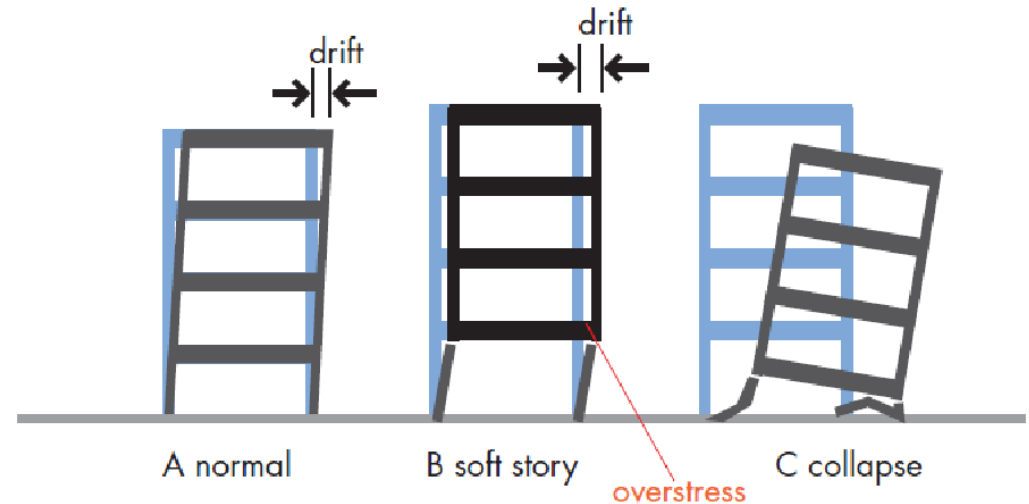
Uniformidade, simetria e redundância da estrutura



■ Irregularidade em altura



Pavillon de la Suisse,
Cliché Daniel Lebéé, SDIG
© Fondation Le Corbusier.



“Designing for Earthquakes: A
Manual for Architects” (FEMA454)

Resistência e rigidez nas duas direcções e também à torção



- Estruturas em pórtico viga-pilar
- Estruturas em pórtico contraventado
- Estruturas mistas pórtico-parede

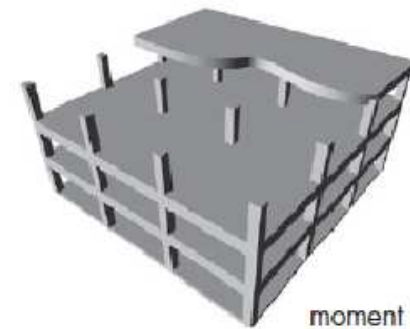
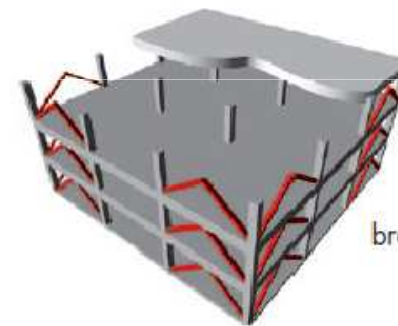


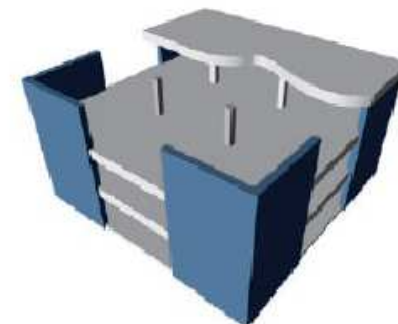
Figure 5-4

The optimized structural/
architectural configuration.

moment resisting frame



braced frame



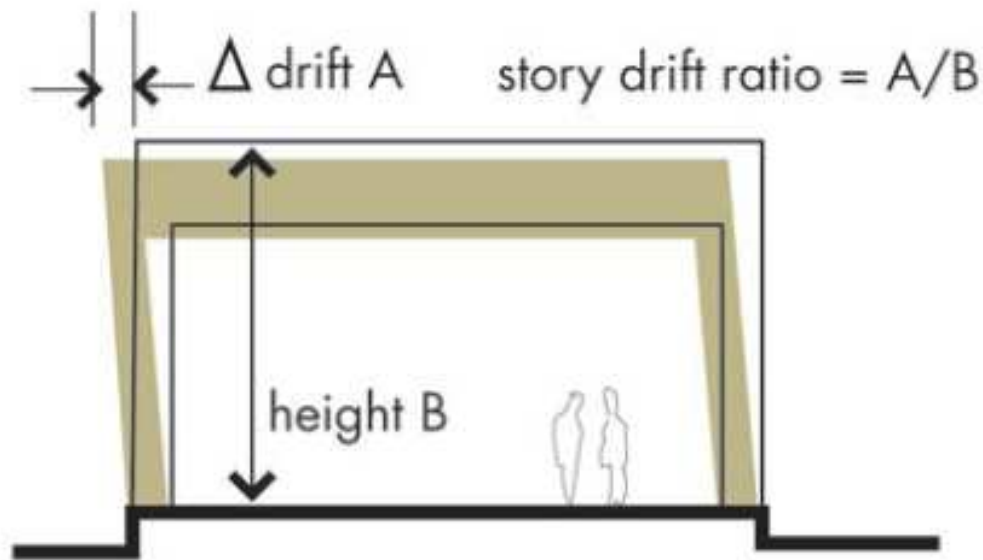
shear walls

“Designing for Earthquakes: A
Manual for Architects” (FEMA454)

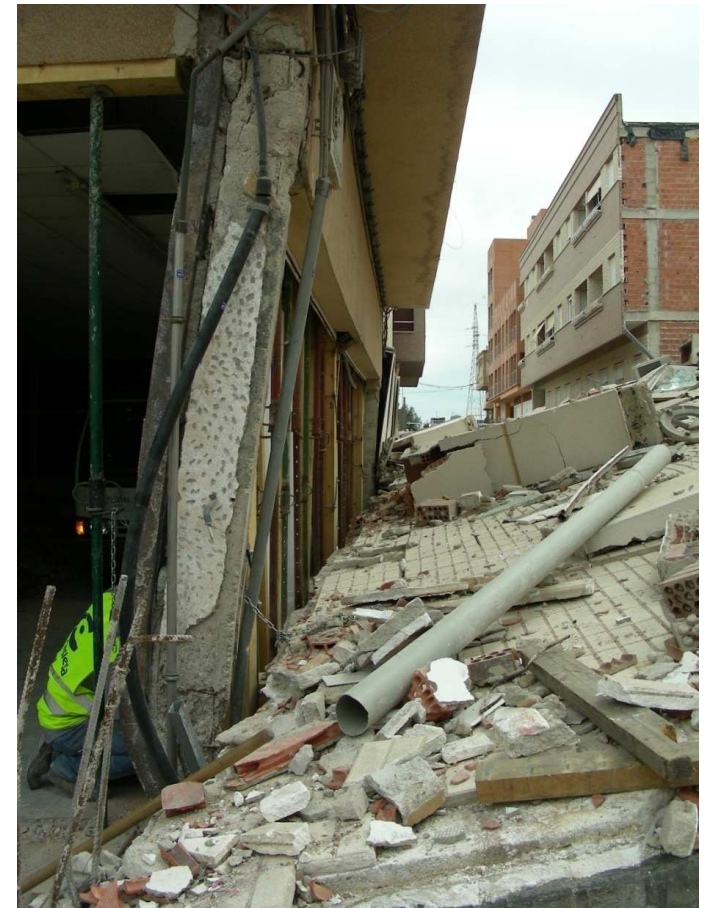
Resistência e rigidez nas duas direcções e também à torção



■ Capacidade de deformação



"Designing for Earthquakes: A Manual for Architects" (FEMA454)

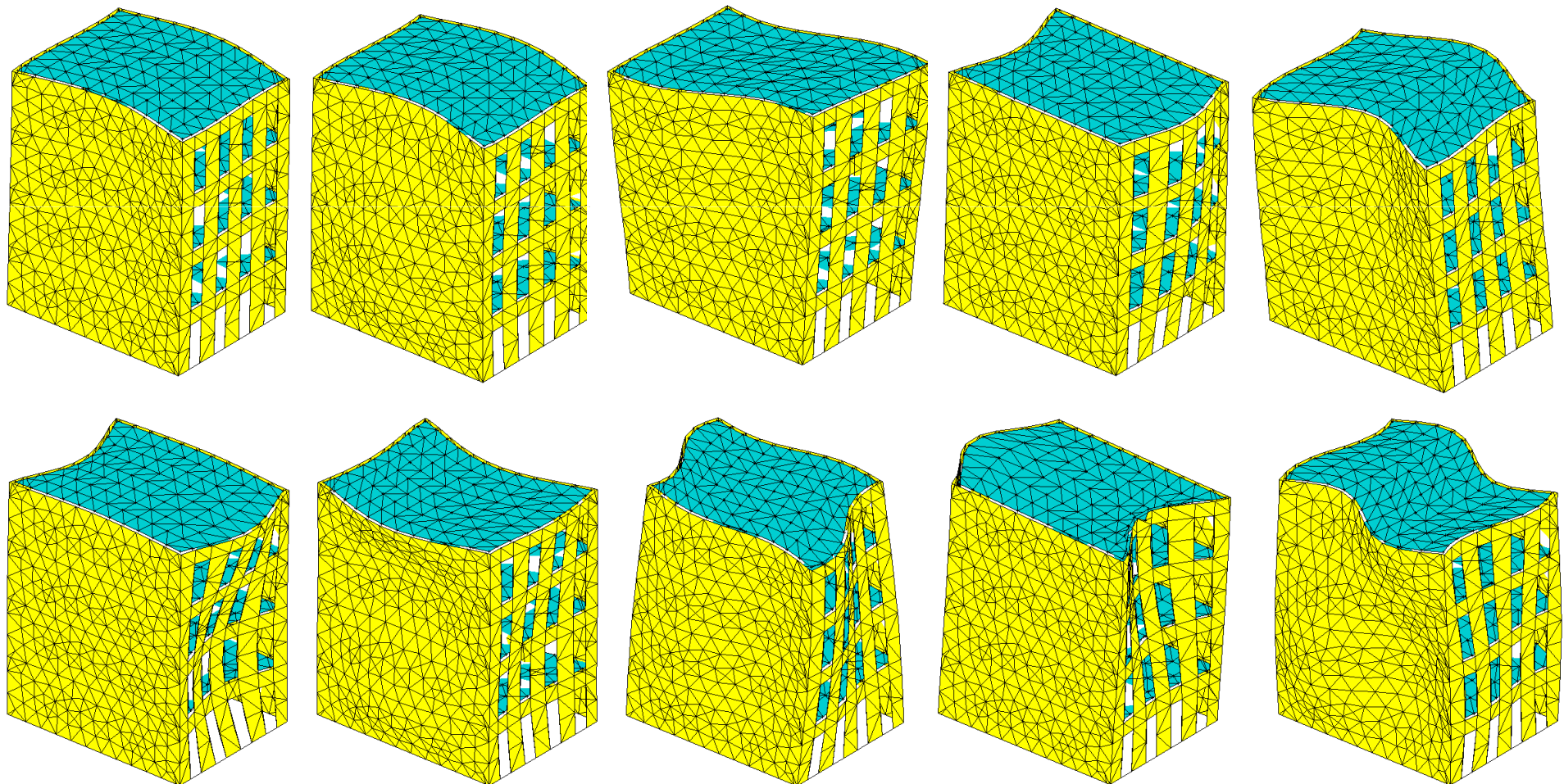


Lorca – 26/05/2011

Acção de diafragma ao nível dos pisos



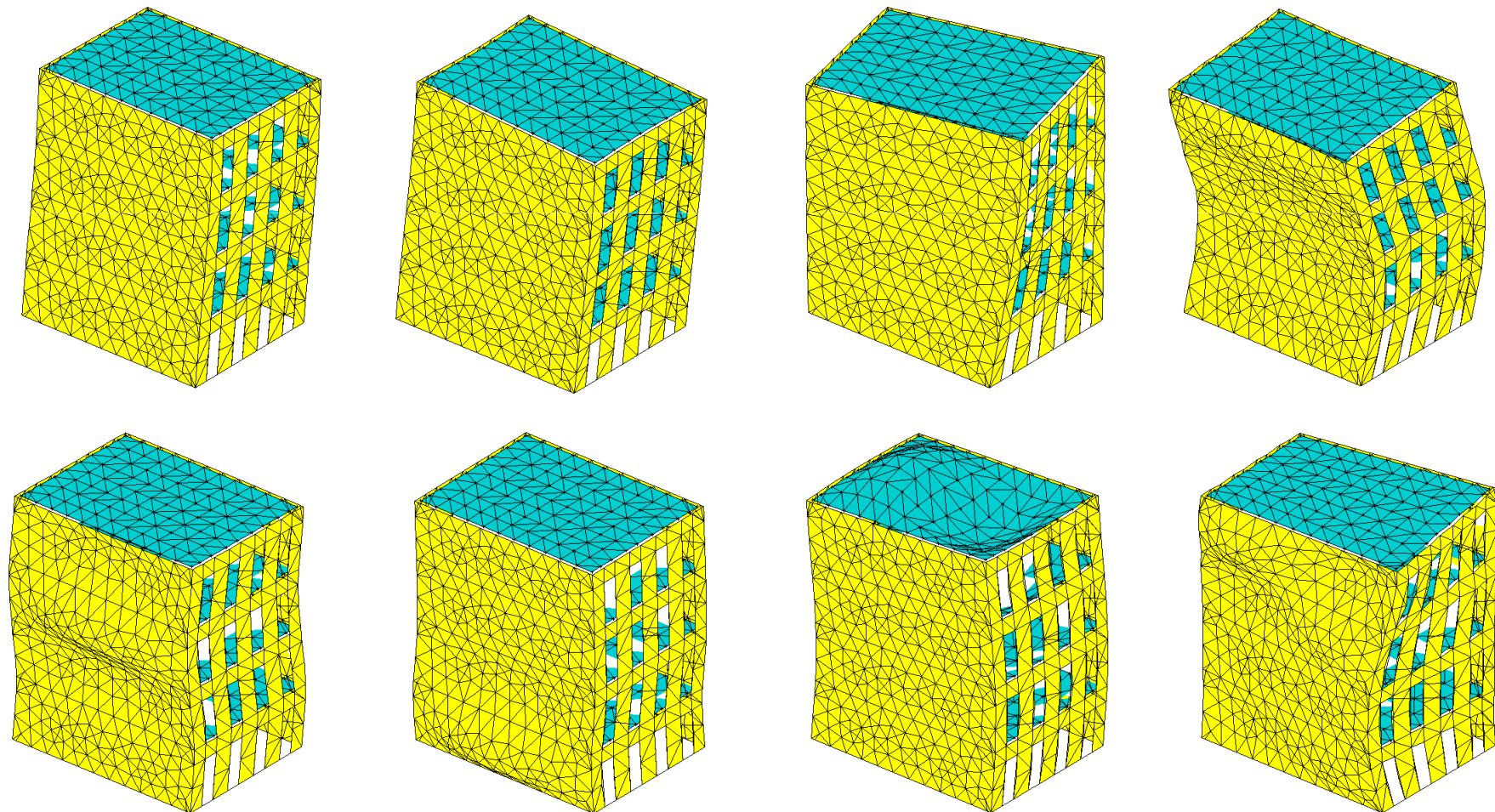
■ Diafragma flexível



Acção de diafragma ao nível dos pisos

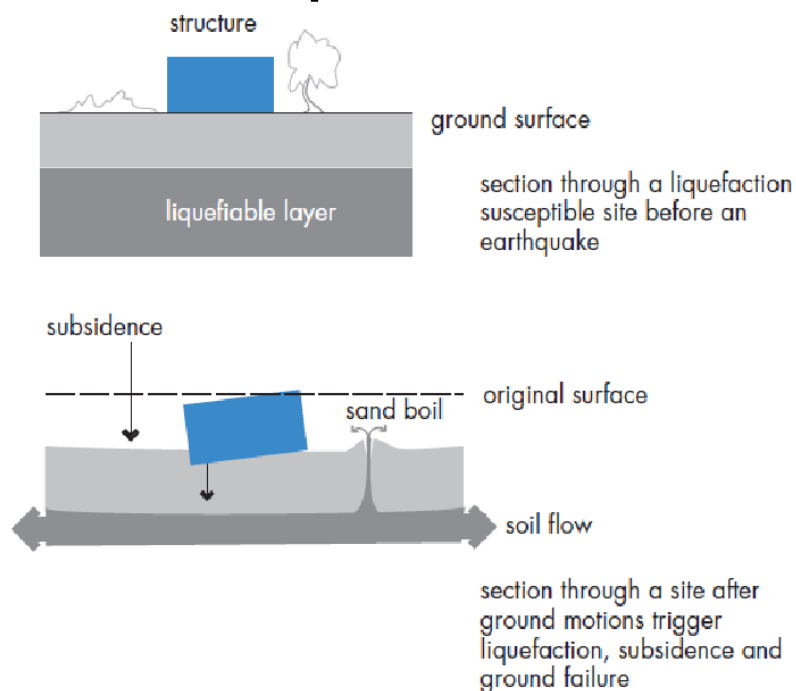


■ Diafragma rígido



Fundação adequada

■ Solos inadequados para fundações superficiais



“Designing for Earthquakes: A Manual for Architects” (FEMA454)



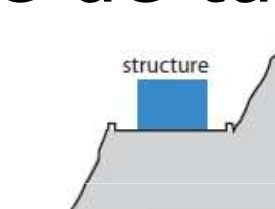
“Niigata Earthquake, 1964,” Japan National Committee on Earthquake Engineering, Proceedings of the 3rd World Conference in Earthquake Engineering, Volume III, pp s.78-s.105.

Fundação adequada

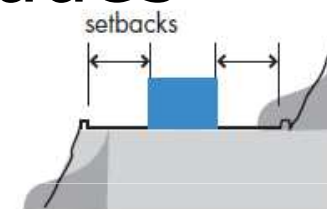
■ Protecção contra o deslizamento de terrenos na proximidade de taludes



Google Maps



structure on terraced slope

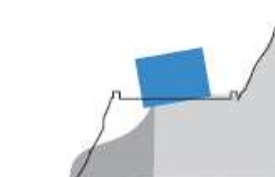


Terrace widened to provide setbacks that buffer structure from damage



upslope landslide

Upslope landslides and debris flows can inundate a site with debris, damaging structure cutting utilities, cutting off access and egress and triggering mud flows into buildings.



downslope landslide

Downslope slides can undermine building foundations and cut off utilities and access, rendering a facility non-operational and/or structurally unsafe.

“Designing for Earthquakes: A Manual for Architects” (FEMA454)

Aspectos condicionantes da vulnerabilidade sísmica



- Ausência de redundância da estrutura



Sismo de Kobe – 17/01/1995

Aspectos condicionantes da vulnerabilidade sísmica



■ Irregularidade em planta/altura



L'Aquila – 26/05/2009

Aspectos condicionantes da vulnerabilidade sísmica



■ Piso flexível (*soft story*)



Aspectos condicionantes da vulnerabilidade sísmica



■ Colunas curtas



Lorca – 26/05/2011

Aspectos condicionantes da vulnerabilidade sísmica



■ Choques entre edifícios



Cansatessa – Sismo de L'Aquila – 23/04/2009

Aspectos condicionantes da vulnerabilidade sísmica



■ Danos não estruturais



L'Aquila – 26/05/2009

Aspectos condicionantes da vulnerabilidade sísmica



■ Danos não estruturais



L'Aquila – 26/05/2009

Aspectos condicionantes da vulnerabilidade sísmica



■ Danos não estruturais



Lorca – 25/05/2011

Aspectos condicionantes da vulnerabilidade sísmica



■ Edifícios industriais



Arredores de Monticchio – 25/04/2009

Aspectos condicionantes da vulnerabilidade sísmica



■ Edifícios industriais



Arredores de Monticchio – 25/04/2009

Aspectos condicionantes da vulnerabilidade sísmica



■ Edifícios industriais



Arredores de Lorca – 25/05/2011

Aspectos condicionantes da vulnerabilidade sísmica



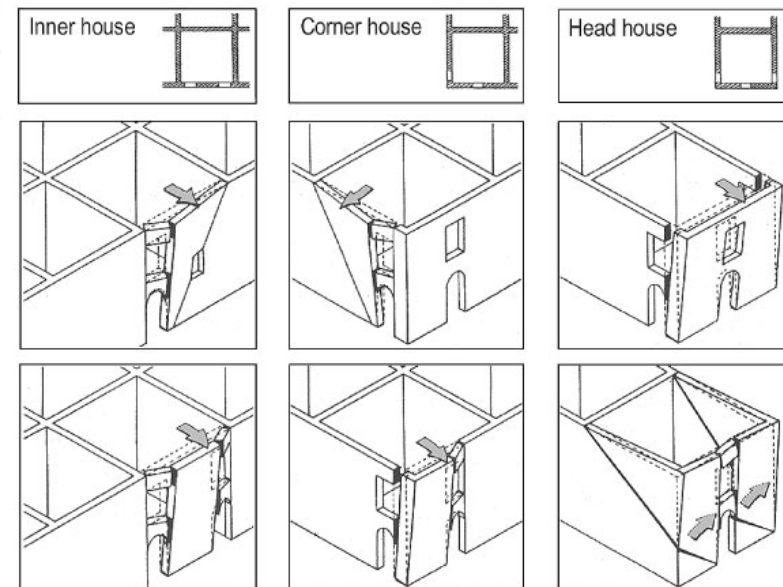
■ Mecanismos de colapso

A	B1	B2	C	D	E	F
VERTICAL OVERTURNING	OVERTURNING WITH 1 SIDE WING	OVERTURNING WITH 2 SIDE WINGS	CORNER FAILURE	PARTIAL OVERTURNING	VERTICAL STRIP OVERTURNING	VERTICAL ARCH

FURTHER PARTIAL FAILURES				ASSOCIATED FAILURES	
G	H	I	L	ROOF/FLOORS COLLAPSE	MASONRY FAILURE
HORIZONTAL ARCH	IN PLANE FAILURE	VERTICAL ADDITION	GABLE OVERTURNING		
					Insufficient cohesion in the fabric

(D'Ayala & Speranza, 2002)

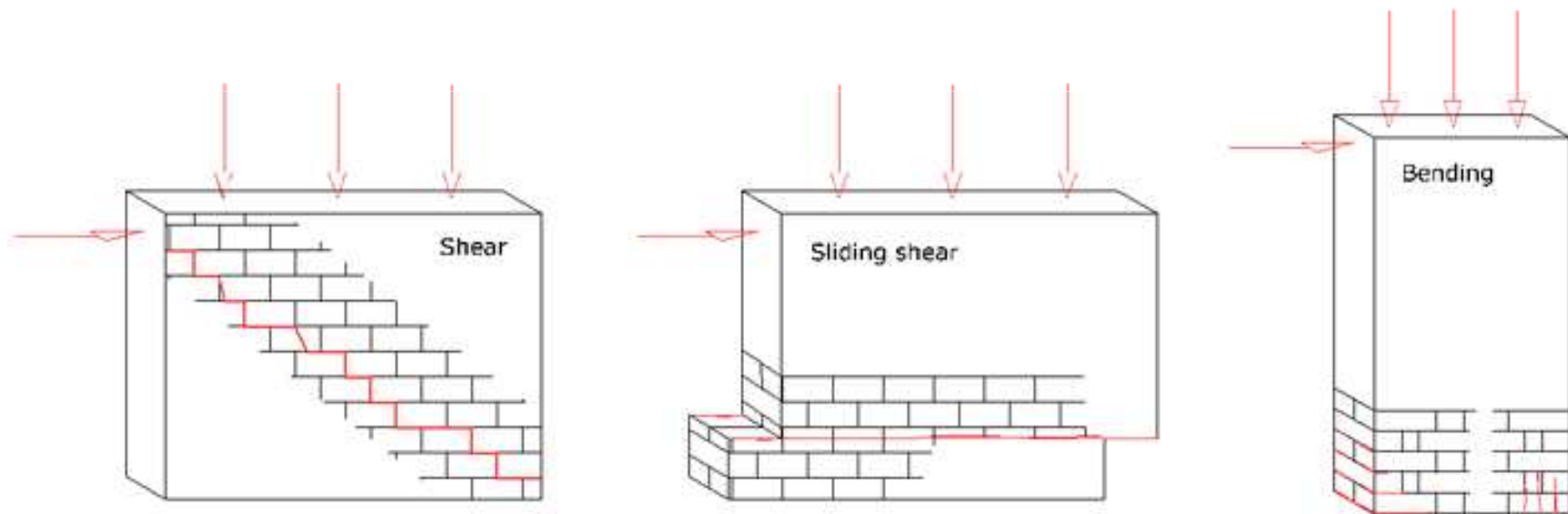
(Carocci, 2001)



Aspectos condicionantes da vulnerabilidade sísmica



- Comportamento de nembos de alvenaria sujeitos a acções no plano



O comportamento dos nembos depende da relação entre a sua largura e a sua altura

Aspectos condicionantes da vulnerabilidade sísmica



L'Aquila – 26/05/2009



Programas experimentais realizados no NESDE



- ECOEST I - 4.º PQ Europeu (Acess)
- ECOEST II - 4.º PQ Europeu (Acess)
- ECOLEADER - 5.º PQ Europeu (Acess)
- SPEAR - 5.º PQ Europeu (Research)
- PRECAST - 5.º PQ Europeu (Research)
- COMREAHAB - Projecto da STAP (AI) - Colaboração do LNEC
- MITRIS - Mitigação do Risco Sísmico em Portugal – FCT (2003)

Programas experimentais realizados no NESDE

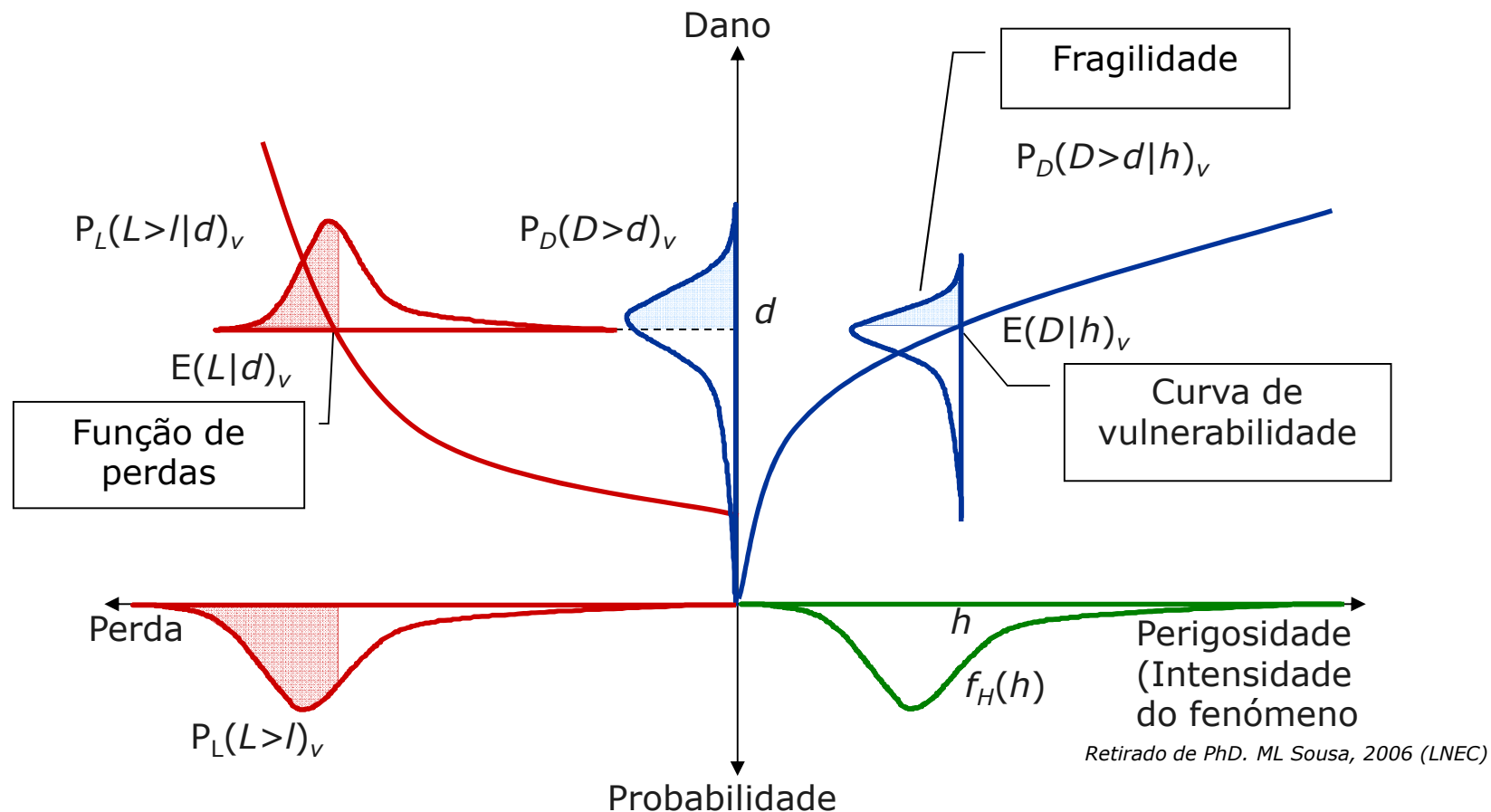


- FCT - Alvenarias antigas e soluções inovadoras (UMinho+LNEC)
- SAFECAST – 7.º Programa Quadro Europeu (SMEs)
- SERIES – 7.º Programa Quadro Europeu (I3)
- FCT - Caracterização do desempenho sísmico de edifícios regulamentares de betão armado (SPARCS)

1. Conceito matemático Vulnerabilidade & Fragilidade



$$P(L > I) = \int \int_{DH} P(L > I | d) P(D > d | h) f_H(h) dh dd$$



1. Conceito matemático Vulnerabilidade & Fragilidade



Vulnerabilidade:

Conceito fisicamente determinístico traduzido por uma *função biunívoca*, crescente, entre uma variável independente que é medida de *intensidade da acção sísmica* e uma variável dependente que está associada a uma *resposta estrutural*.

A *resposta estrutural* é uma medida do *dano global* atingido pela estrutura quando sujeito a acções sísmicas.



China 2008 - Sichuan



Argélia 2003 - Boumerdes

Fragilidade:

Conceito probabilístico associado à incerteza da *resposta estrutural*.

Depende de todas as incertezas de natureza *epistémica* (dos modelos) e de natureza *aleatória* (das variáveis).

2. Metodologia de realização de ensaios sísmicos.

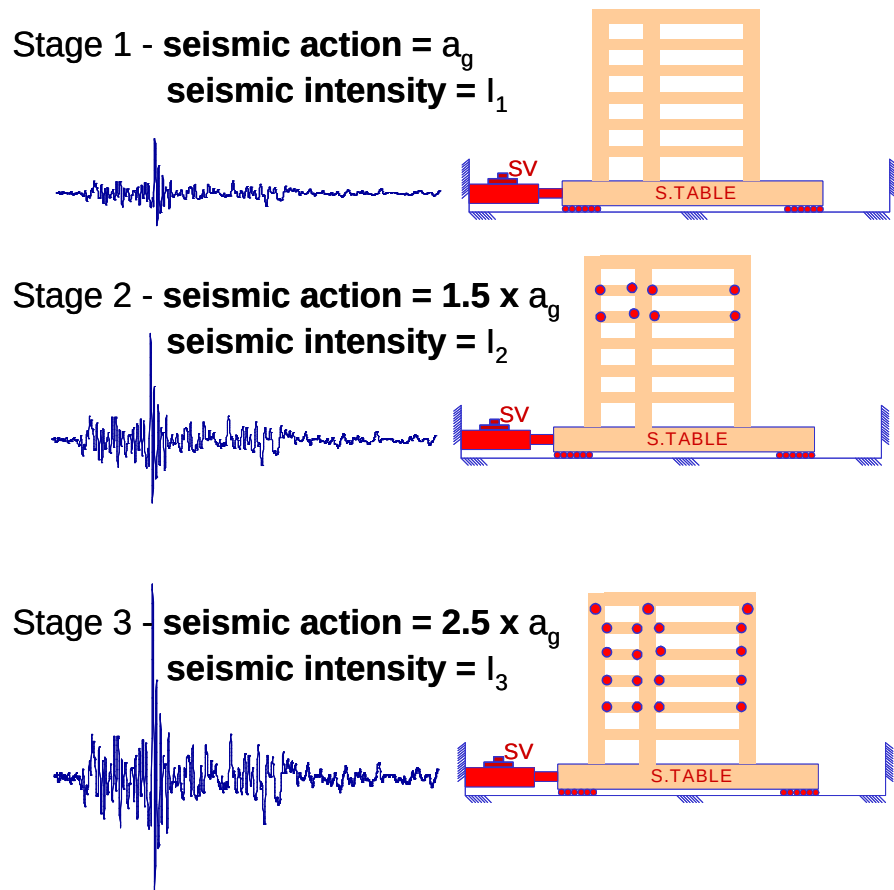


Methodology: Seismic Reliability Assessment Pf

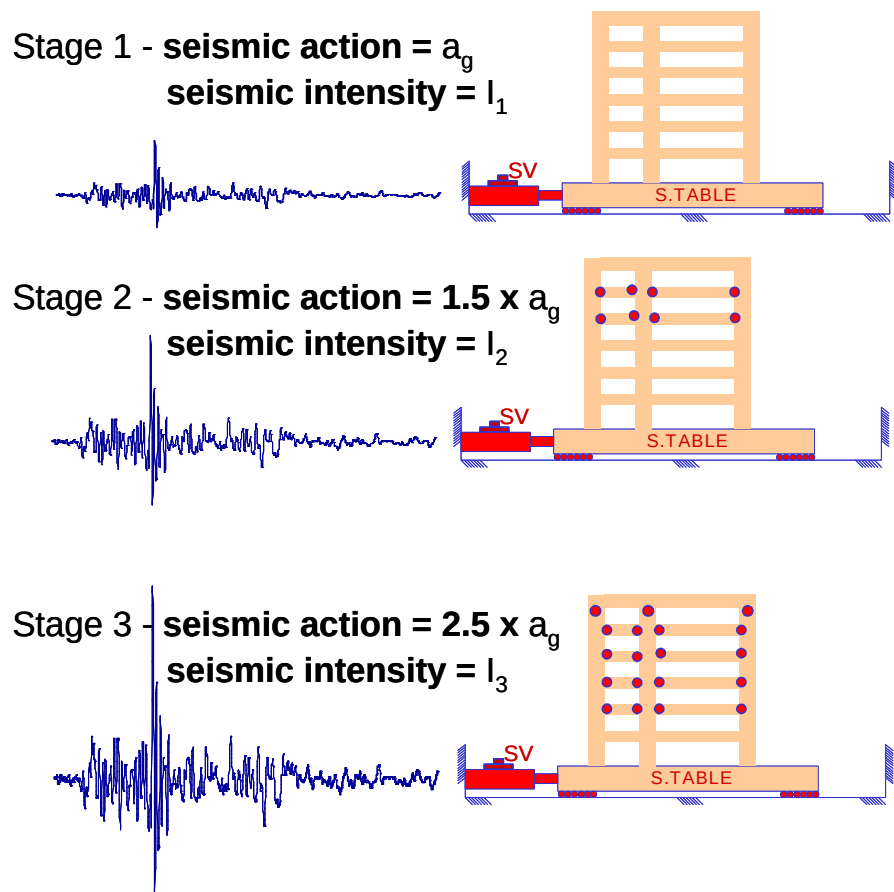
- Damage x Seismic Intensity Relationship

Major drawbacks:

- ✓ Seismic input should be scaled up in each stage according to some seismic hazard predefinition.
- ✓ In the beginning of each stage the structure already suffered some damage from the previous stage.
- ✓ Damage limit states definitions should be defined in the scaled model.



- Damage x Seismic Intensity Relationship

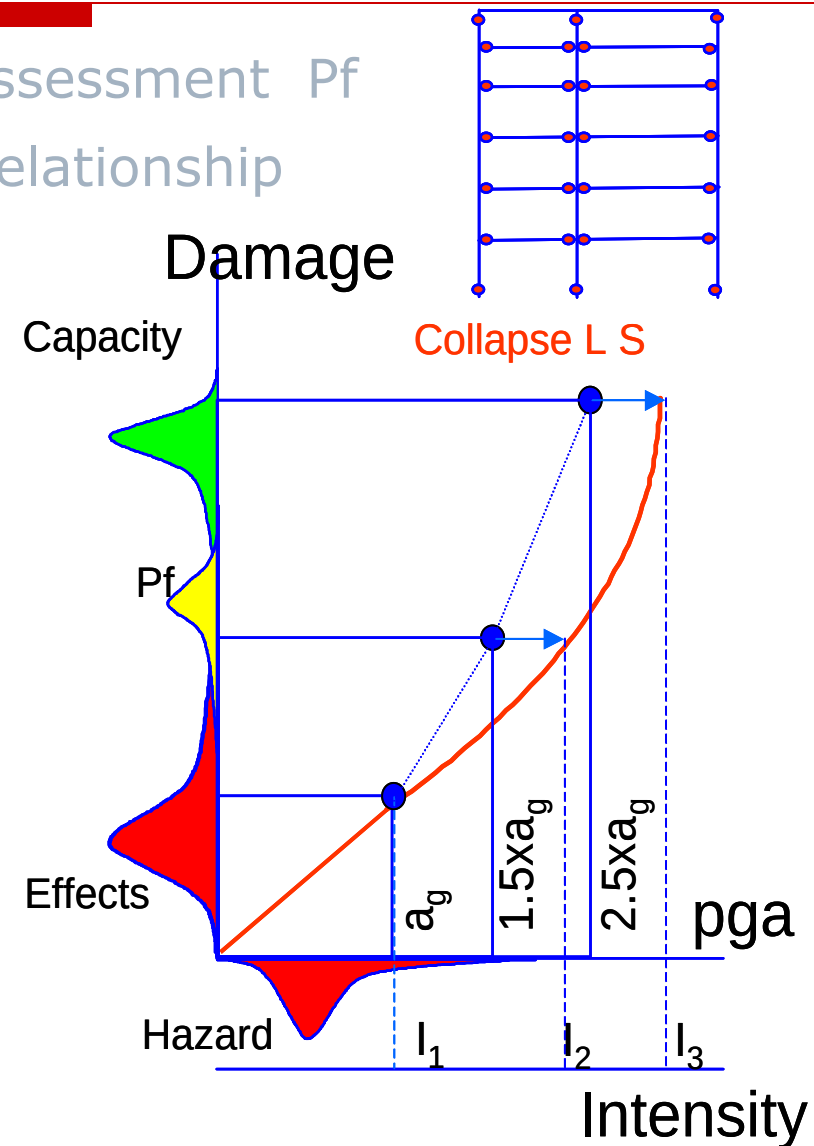
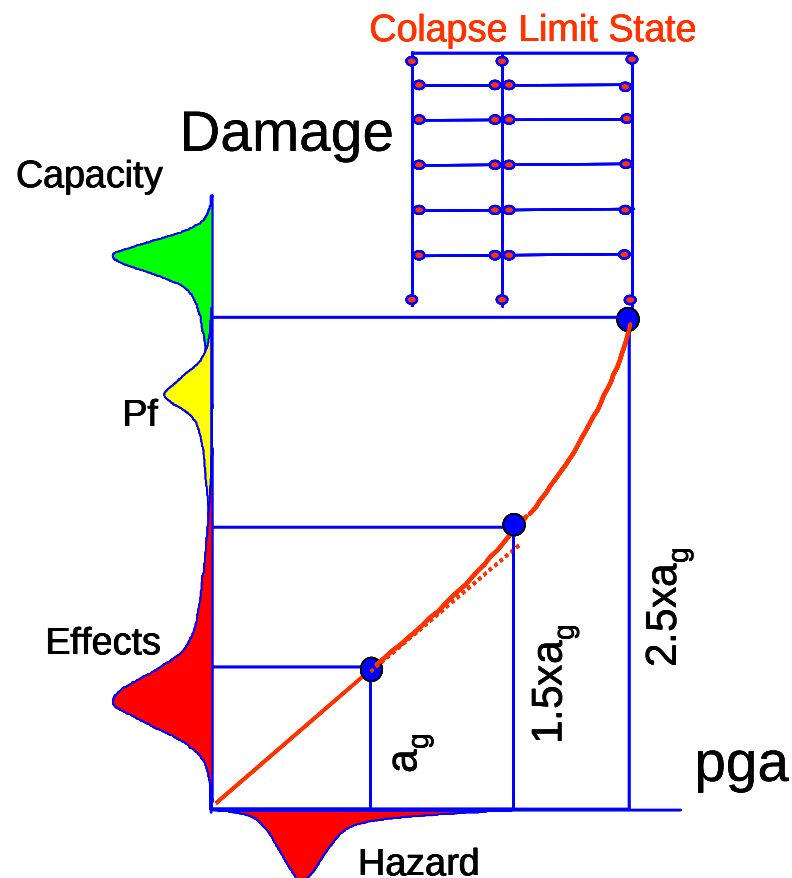


3. Avaliação experimental da Vulnerabilidade e Fragilidade



Methodology: Seismic Reliability Assessment Pf

- Damage x Seismic Intensity Relationship



Avaliação experimental

- Relação entre perigosidade sísmica e aceleração de referência à superfície (EC8)

$$H(a_{gR}) = k_0 \cdot a_{gR}^{-k}$$

- Relação entre período de retorno e perigosidade sísmica

$$T_R = \frac{1}{H(a_{gR})} = \frac{1}{k_0 \cdot a_{gR}^{-k}} = \frac{1}{k_0} \cdot a_{gR}^k$$

- Relação entre período de retorno e aceleração imposta na base

$$\frac{T_m}{T_R} = \left(\frac{a_{gm}}{a_{gR}} \right)^k \Leftrightarrow T_m = T_R \cdot \left(\frac{a_{gm}}{a_{gR}} \right)^k$$

3. Avaliação experimental da *Vulnerabilidade e Fragilidade*



Exemplo: MITRIS - Mitigação do Risco Sísmico em Portugal – FCT (2003) - PhD Tese Eng^o Paulo Candeias LNEC+UM



3. Avaliação experimental da *Vulnerabilidade e Fragilidade*



Exemplo: Alvenarias antigas e soluções inovadoras (UMinho+LNEC) – FCT (2010)



■ Agradecimentos:

- Eng.º Alfredo Campos Costa (LNEC)
- Dr.ª Luísa Sousa (LNEC)
- Eng.º Luís Mendes (LNEC)
- Eng.º Rogério Bairrão (LNEC)
- Eng.º Alejandro Lopez (ANDECE-Espanha)