



Autoridade Nacional de Protecção Civil  
Câmara Municipal de Lisboa

# CONTRIBUIÇÕES PARA UMA APRECIACÃO NACIONAL DO RISCO SÍSMICO

**Simpósio Ibero-Afro-Americano de Riscos  
Faro, Novembro de 2015**

L. Sa, P. Pires, M.J. Telhado, P. Henriques

# Status Quo 1

1. Sabemos que as principais fontes sismogenicas no continente são:

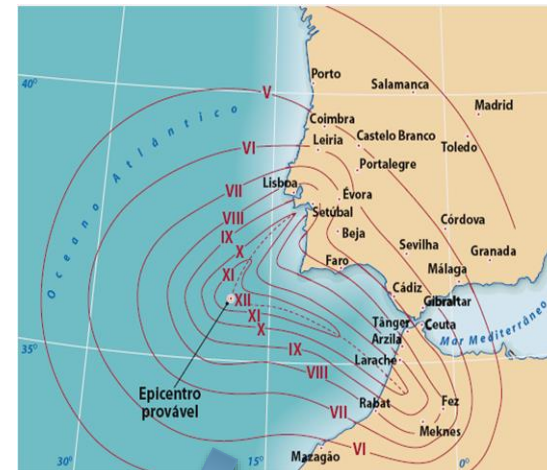
-Banco de Gorringe

-Vale Inferior do Tejo

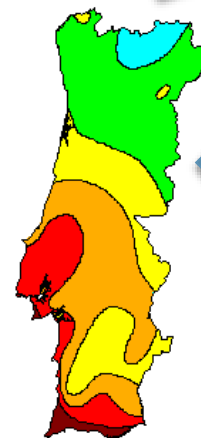
2. Originando intensidades históricas superiores a VII em boa parte do país:

- AML e Algarve (>VIII)

-Restante território a Sul do Mondego  
(VI a VIII)



Intensidade  
macrossísmica



# Status Quo 2

3. Para análise do risco sísmico e para execução de planeamento de emergência existem 3 simuladores oficiais:

-Concelho de Lisboa (1990's)

-AML (2005)

- Algarve (2010)

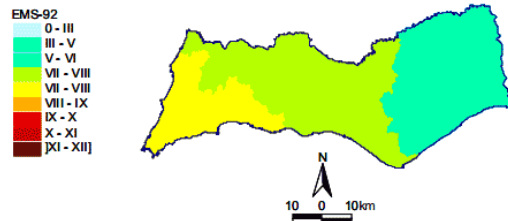
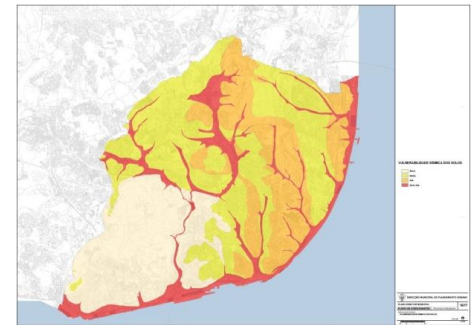
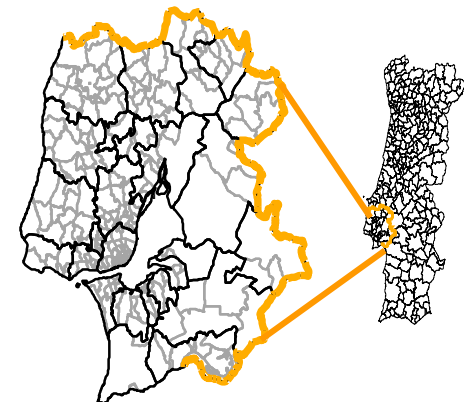
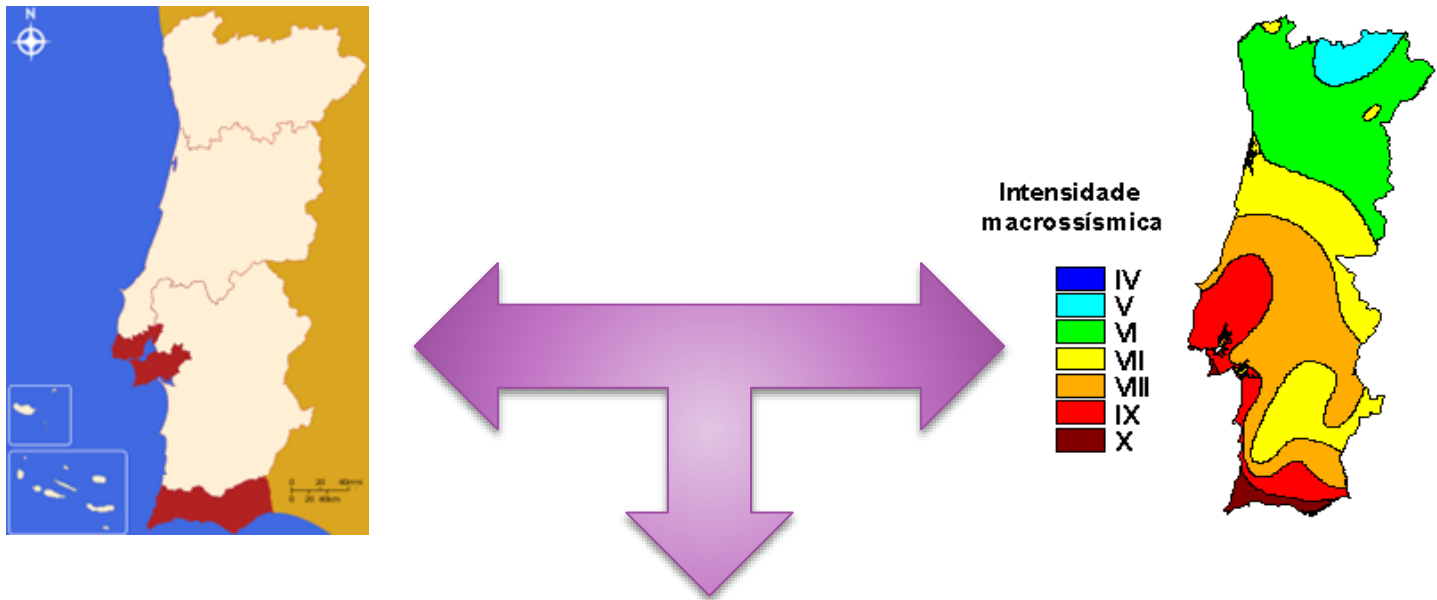


Figura 5 - Mapa de intensidades macro sísmicas, por concelho, no distrito do Algarve [Sousa, 2006].



# Status Quo 3



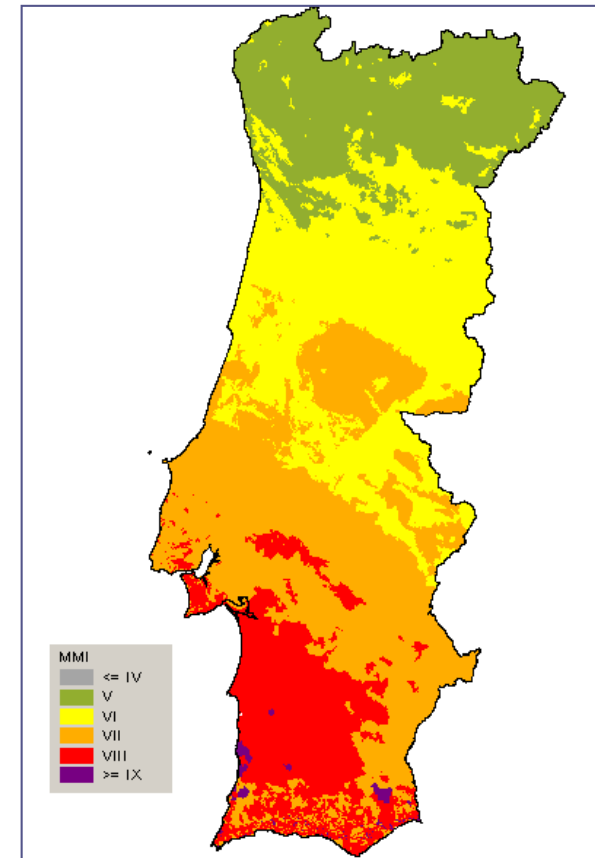
**E O RESTO DO PAÍS?**

# Repondo a Igualdade

É inestimável a existência de um simulador de danos resultantes de um sismo com a capacidade de visualização de um cenário que inclua todos os portugueses



Numa tentativa de colmatar esta realidade, a ANPC e a CML, unindo esforços, desenvolveram um protótipo de simulador cuja metodologia poderá ser aplicável ao continente português de forma transversal



# Repondo a Igualdade 2

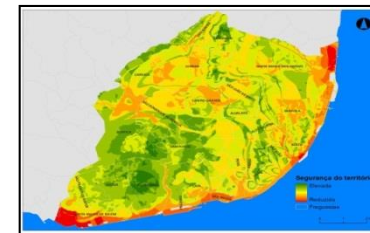
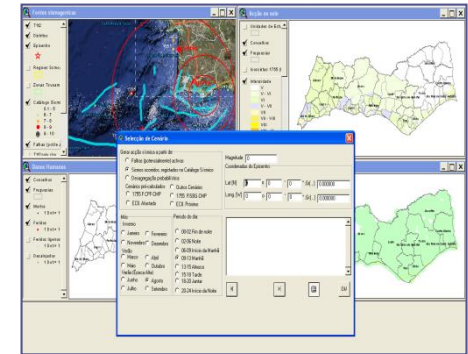
A principal tarefa foi programar o simulador com os principais modelos de cálculo nas seguintes áreas de desenvolvimento fazendo faces a necessidades do utilizador final:

- i) Leis de Atenuação, modelo de cálculo dos efeitos dos solos na propagação da onda sísmica desde o substrato rochoso até superfície e quantificação da acção sísmica à superfície;
- ii) distribuição espacial, por subsecção estatística, da população móvel e a população presente “in-house” e “out-house” para cada mês do ano e ao longo de vários períodos do dia;
- iii) modelos de cálculo de danos para o Edificado, População e para a componente financeira
- iv) resultados da modelação de Tsunamis, sob a forma de Altura de Onda,
- v) desenvolver e adaptar o simulador para utilização pela ANPC e posteriormente por outros serviços de protecção civil regionais ou municipais.

# Repondo a Igualdade 3

Como pré-requisitos, foram utilizadas como fonte de informação:

- *Estudo do Riscos Sísmico da Área Metropolitana de Lisboa e Concelhos Limítrofes (AML-CL) e do Estudo do Risco sísmico e Tsunamis do Algarve (ERSTA).*
- *O simulador da cidade de Lisboa, obtendo informações técnicas sobre o algoritmo de calculo desenvolvido para esta a cidade na década de 90, com a vantagem de recorrer ao uso de compilações em código aberto.*

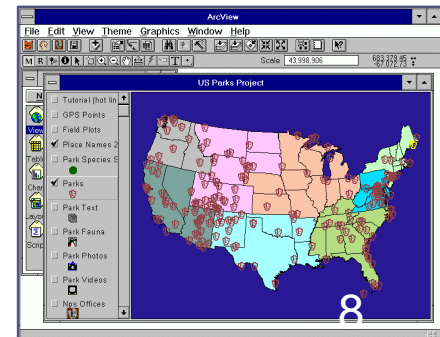


- Outras fontes de informação que merecem destaque são as informações técnicas apenas ao software HAZUS/FEMA e ao projeto de investigação EU FP-6 – NERIES.



# Repondo a Igualdade 4

- Desenvolvido sobre o ambiente EXCEL, em linguagem Visual Basic, todos os scripts presentes neste simulador são editáveis por um utilizador credenciado;
- Como ferramenta de visualização optou-se pelo já decano ArcView 3.2 da ESRI por ser:
  1. um software de utilização rápida, eficaz e com uma versatilidade enorme;
  2. ainda atualmente reconhecido como tal pela maioria dos utilizadores de SIG;
  3. Usado somente como visualizador espacial de dados que foram previamente calculados pelo Excel com recurso a algoritmos em VisualBasic





# Calculo da Acção Sísmica

O calculo da **ação** Sísmica:

- Foi baseado em leis de atenuação criadas com dados de diferentes áreas do globo, incluindo a Península Ibérica

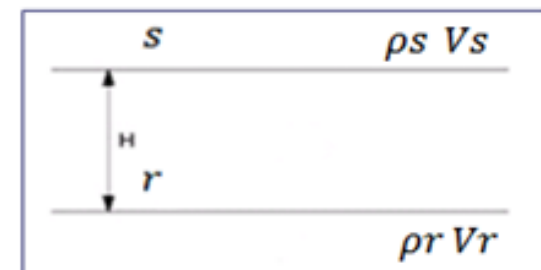
As leis de atenuação aplicadas seguiram a enunciação geral:

$$I_{MM} = C_1 + C_2 M_w + C_3 \ln(R_{epi}) + C_4 R_{epi}$$

$R_{epi}$  é a distância epicentral e  $C_1$  a  $C_4$  parâmetros adimensionais que são específicos à região em causa  
 $M_w$  é a magnitude do sismo.

- Os efeitos locais de amplificação, ou atenuação, foram obtidos comparando a resposta de um sítio com a de um local de referência, em funcao da densidade e da velocidade de propagacao das ondas sísmicas

$$\beta = \frac{\rho_s V_s}{\rho_r V_r}$$

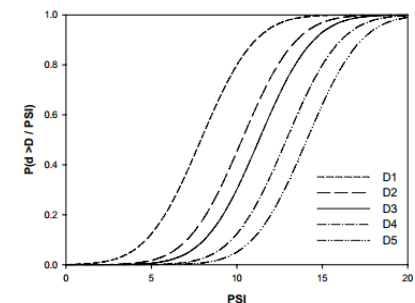


# Estimação da Vulnerabilidade

- Foi usada uma metodologia proposta por Giovinazzi e Lagomarsino (2004) que levou à definição de funções de probabilidade de dano com base na escala EMS-98

$$\mu_D = 2.5 \left[ 1 + \tanh \left( \frac{I + 6.25V_I - 13.1}{2.3} \right) \right]$$

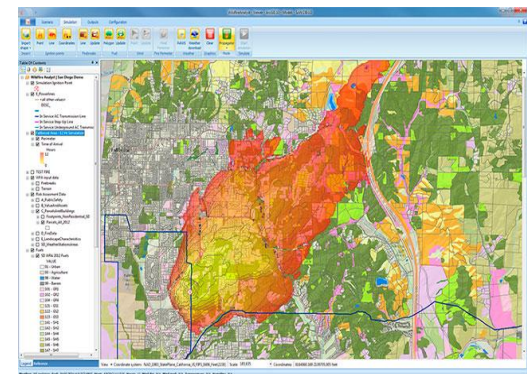
- Optou-se por cinco classes diferentes de vulnerabilidade e para cinco graus de danos no edificado (D1 a D5)
- Levando em consideração Teves-Costa *et al.* (2011), valores mínimos, médios e máximos de índices de vulnerabilidade foram escolhidos por tipologia.



Data de Construção	Processo Construtivo		
	Betão	Alvenaria	Adobe/Outros
Antes de 1920	--	B	A
1920 - 1960	C	C	A
1961 - 1985	D	C	A
1986 - 2010	E	D	A

# Estimado da Vulnerabilidade 2

- A partir dos danos no edificado (D1 a D5) e através de dados compilados por *Coburn&Spencer* e também recorrendo as bibliotecas do software *Hazus* podemos projectar:
  - i) nº edifícios colapsados; nº edifícios com danos severos; nº edifícios com danos moderados; nº edifícios com danos ligeiros;
  - ii) nº de vítimas mortais; nº de vítimas com ferimentos ligeiros; nº de pessoas desalojadas;



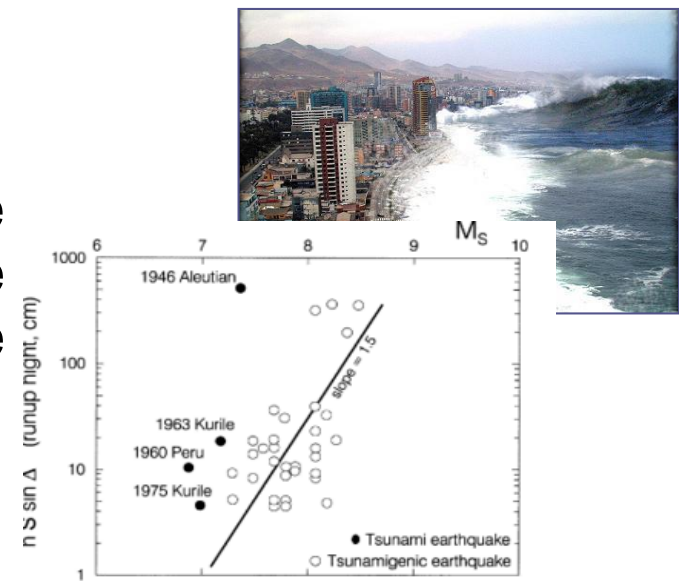
# Estimação da Vulnerabilidade 3

- Foi também possível recorrendo a trabalhos de Maria Luisa Sousa, LNEC, obter um valor de reconstrução de edificado danificado associado ao sismo

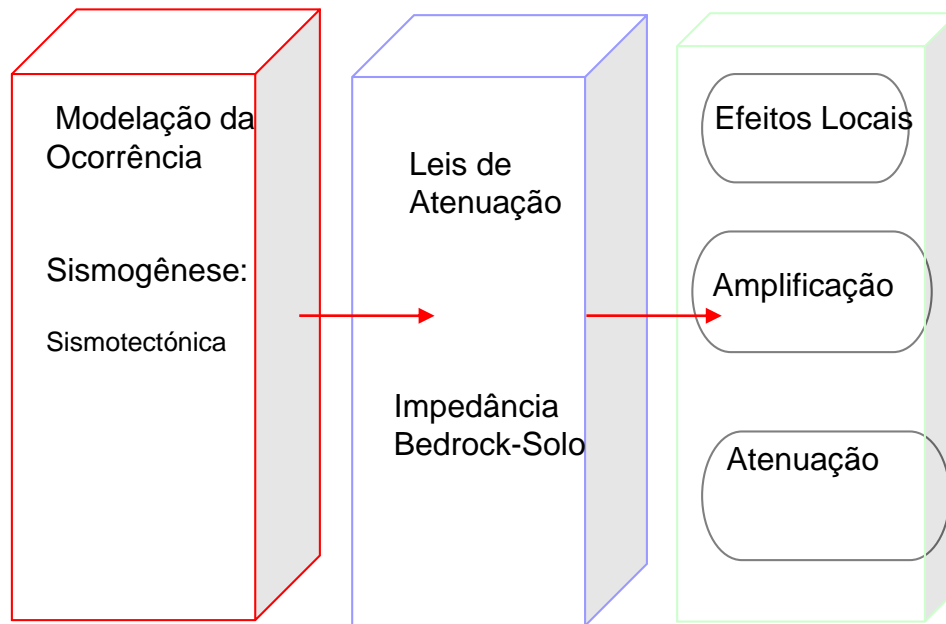


Ano	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Diploma legal
<b>Zona I</b>				
Municípios sede de distrito: Municípios de Almada, Amadora, Barreiro, Cascais, Gondomar, Loures, Maia, Matosinhos, Moita, Montijo, Odivelas, Oeiras, Póvoa de Varzim, Seixal, Sintra, Vilvoeiro, Vila do Conde, Vila Franca de Xira e Vila Nova de Gaia.				
2014	679,35€	602,92€	557,91€	Portaria n.º 156/2014, 12 de agosto
2013	659,59€	585,36€	541,66€	Portaria n.º 79/2013, 19 de fevereiro
2012	634,19€	562,85€	520,83€	Portaria n.º 64/2012, 20 de março
2011	609,80€	541,20€	500,80€	Portaria n.º 143/2011, 6 de abril
2010	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
2009	589,69€	523,31€	484,33€	Portaria n.º 669/2009, 22 de junho
2008	570,30€	506,10€	468,40€	Portaria n.º 1529-A/2008, 26 de dezembro
2007	553,90€	491,60€	455,00€	Portaria n.º 1374/2007, 22 de outubro
2006	534,30€	474,20€	438,90€	Portaria n.º 430/2006, 3 de maio
2005	521,30€	462,60€	428,20€	Portaria n.º 233/2005, 25 de fevereiro
2004	503,20€	446,50€	413,30€	Portaria n.º 686/2004, 19 de junho
2003	485,70€	431,00€	398,90€	Portaria n.º 311/2003, 14 de abril
<b>Zona II</b> — municípios de Abrantes, Albufeira, Alenquer, Caldas da Rainha, Chaves, Covilhã, Elvas, Entroncamento, Espinho, Estremoz, Figueira da Foz, Guimarães, Ilhavo, Lagos, Loulé, Odivelas, Palmela, Peniche, Peso da Régua, Portimão, São João da Madeira, Santiago do Cacém, Sesimbra, Silves, Sines, Tomar, Torres Novas, Torres Vedras, Vila Real de Santo António e Vizela.				
2002	467,00€	414,40€	383,60€	Portaria n.º 201/2002, 6 de março
2001	89.600\$	79.500\$	73.600\$	Portaria n.º 191/2001, 10 de março
2000	85.500\$	75.900\$	70.300\$	Portaria n.º 106/2000, 25 de fevereiro
<b>Zona III</b> — restantes municípios do continente.				

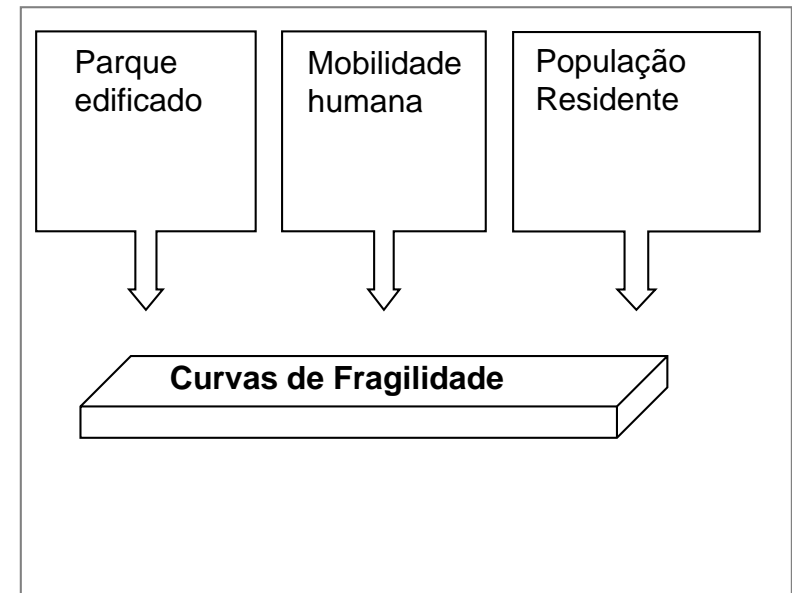
- Por fim também tentou-se estimar uma altura de potencial tsunami, em caso de cenário costeiro e  $M_g > 7$  através de trabalhos de Gusiakov e Chubarov (1987).



## Geração da acção sísmica



## Elementos em risco



Intensidade por BGRI

Danos por Intensidade

SIMULADOR

Danos por BGRI

# Resumindo

- Para a análise das vulnerabilidades do parque habitacional, da demografia e dos pontos vitais foram desenvolvidas acções em matéria de:
  - I. Acção sísmica e geotecnia;
  - II. Identificação e caracterização dos elementos em risco;
  - III. Estabelecimento de vulnerabilidades;
  - IV. Danos em função de cenários de ocorrência;
  - V. Desenvolvimento computacional do simulador sísmico;
  - VI. Inclusão em SIG.

# Resumindo 2

- A simulação realiza rapidamente estimativas de danos permitindo visualizar os resultados:
  - a. Carta de distribuição da intensidade macrossísmica, com base na avaliação da perigosidade. e pela escolha das leis de atenuação
  - b. Carta de distribuição de danos no parque edificado por 5 classes de danos (*de acordo com o método HAZUS*).
  - c. Carta de distribuição de perdas na população (mortos e feridos) (*HAZUS e Coburn/Spencer*).
  - d. Carta de distribuição de perda financeira associada as infra-estruturas afectadas pela intensidade da acção sísmica
  - e. Valor potencial de altura de onda para um tsunami no caso de fonte oceânica e  $M_g > 7$

# Mais Valias

Como consequências positivas temos:

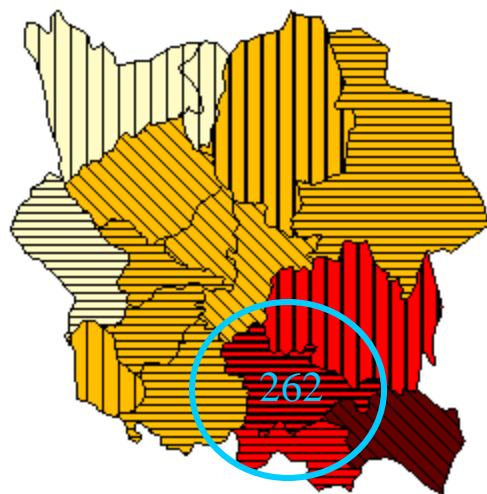
- Identificação detalhada das zonas com potencial de efeitos locais;
- Utilização da metodologia Hazus na análise das vulnerabilidades estruturais (mais próxima da realidade e sustentadas sobre a reputação da FEMA);
- Análise detalhada do comportamento do edificado referenciado ao Censos
- Estudo da dinâmica da população;
- Base de dados com integração de todos os elementos:
  - Quando se gera um cenário, os danos estão associados em tabelas (código INE, por subsecção estatística), com vária informação disponível.



# Concelho de Alenquer

Danos nos edifícios + Intensidades

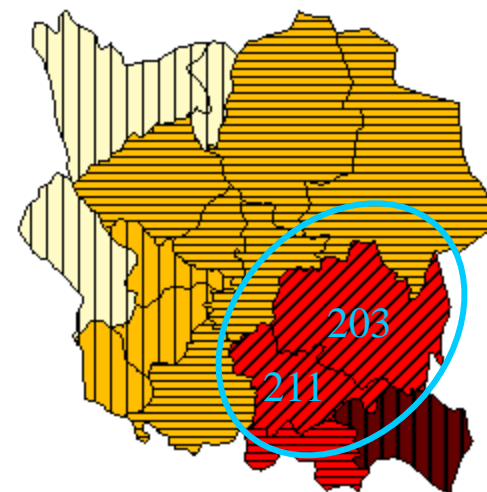
Danos Ligeiros



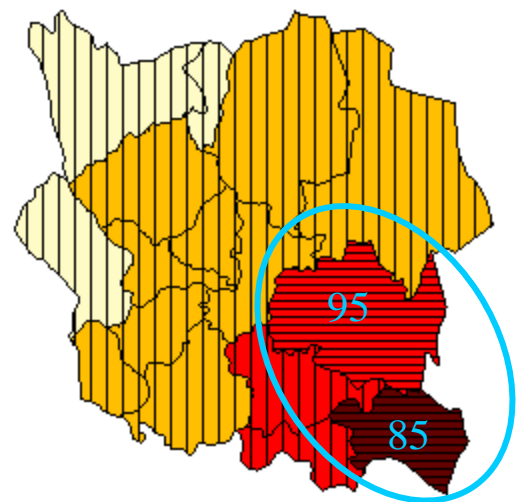
Freguesias



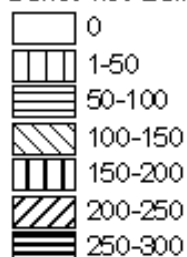
Danos Moderados



Danos Severos



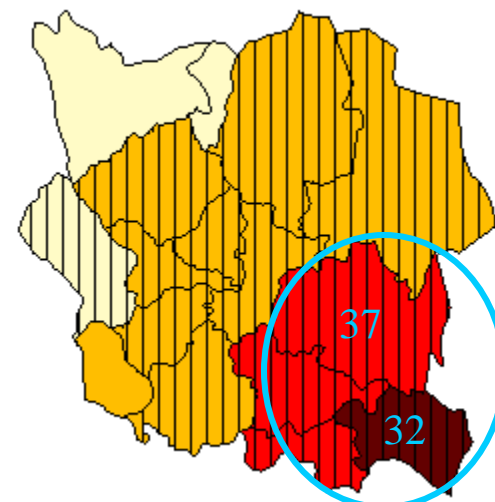
Danos nos Edifícios



Intensidade



Colapso

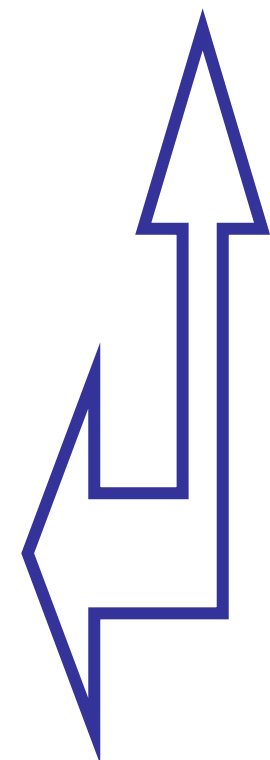


# Concelho de Alenquer

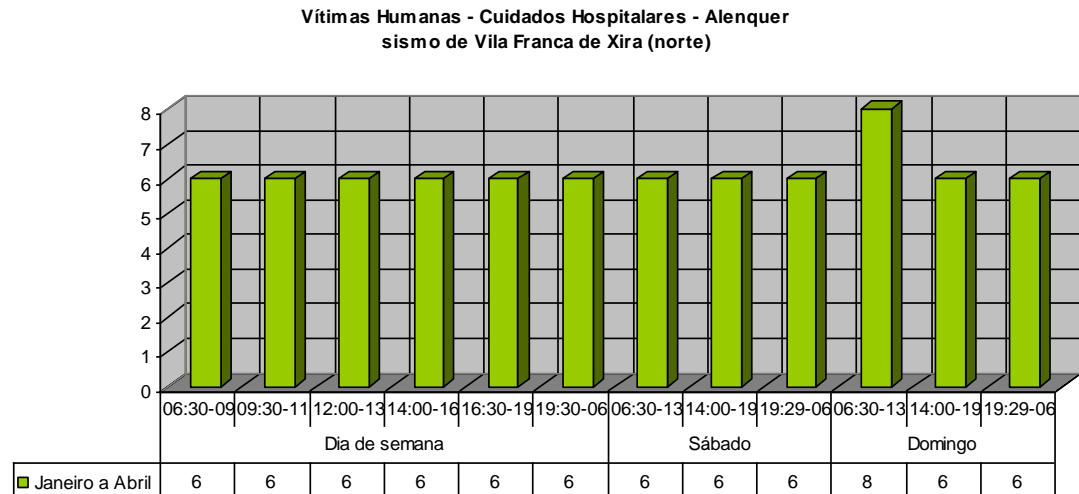
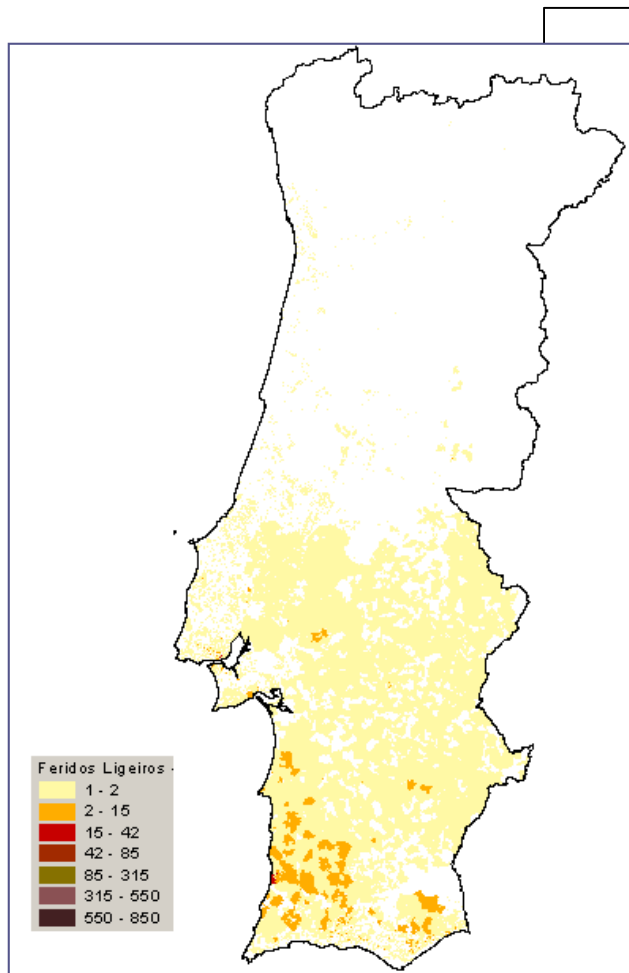
## Freguesias com DANOS



Freguesia	Danos nos Edifícios - Alenquer					Total c/ danos
	Sem Danos	Ligeiros	Moderados	Severos	Colapso	
Abrigada	1405	166	89	13	0	268
Aldeia Galega da Merceana	828	95	46	7	0	148
Aldeia Gavinha	429	55	28	4	0	87
Cabanas de Torres	442	42	20	2	0	64
Cadafais	317	100	84	21	1	206
Carnota	541	89	51	8	0	148
Meca	545	112	64	12	1	189
Olhalvo	710	106	56	8	0	170
Ota	226	82	65	21	2	170
Pereiro de Palhacana	246	35	19	3	0	57
Alenquer (Santo Estevão)	1059	262	211	43	2	518
Alenquer (Triana)	414	174	203	95	9	481
Ventosa	1041	115	56	7	0	178
Vila Verde dos Francos	562	46	16	2	0	64
Carregado	516	140	187	85	8	420
Ribafria	363	62	36	7	0	105
Total	9644	1681	1231	338	24	3274



# Vítimas - cuidados hospitalares



Momento/Localização



Evacuação/Hospitalização

# Bibliografia

- Bernardini, A., Giovinazzi, S., Lagomarsino, S., & Parodi, S. (2007). *The vulnerability assessment of current buildings by a macroseismic approach derived from the EMS-98 scale.*
- Coburn, A. Spence, R. (2002) *Earthquake Protection, 2nd Edition* ISBN: 978-0-470-84923-1
- Giovinazzi, S., Lagomarsino, S. (2004). *A macroseismic method for the vulnerability assessment of buildings. In 13th WCEE, Vancouver, BC, Canada (pp. 1-6).*
- Gusakov, V. K., and L. B. Chubarov (1987), *Numerical modeling of generation and propagation of tsunami in coastal zone, Izv. Phys. Solid Earth, 23, (11), 53.*
- Grünthal, G. (ed.): *European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98). Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie 15, Luxembourg, 99 pp., 1998.*
- Oliveira, C. S., Pais, I. (1995). *Technical approaches for earthquake emergency planning: Recent application to the city of Lisbon.. London E and FN Spon, 58-72.*
- Sousa, M.L., (2007). *“Hierarquização das regiões de Portugal Continental em função do seu risco sísmico”. Sísmica 2007 – 7º Congresso de Sismologia e Engenharia Sísmica, 26-28 de Setembro, FEUP, Porto, Portugal.*
- Teves-Costa, P, Barreira E, Omira R (2011). *Estimativa de cenários de danos para a cidade de Lisboa. RISK-UE. [www.risk-ue.net](http://www.risk-ue.net)*



**Autoridade Nacional de Protecção Civil**  
**Câmara Municipal de Lisboa**

# Obrigado