



**RISCOS**

**ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE RISCOS, PREVENÇÃO E SEGURANÇA**

**MULTIDIMENSÃO  
E  
TERRITÓRIOS DE RISCO**

**III Congresso Internacional  
I Simpósio Ibero-Americano  
VIII Encontro Nacional de Riscos**

**Guimarães  
2014**

# O PAPEL DA VULNERABILIDADE SÍSMICA NA MITIGAÇÃO DO RISCO SÍSMICO DE NÚCLEOS URBANOS ANTIGOS

**Romeu Vicente**

Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro  
romvic@ua.pt

**Tiago M. Ferreira**

Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro  
tmferreira@ua.pt

**Rui Maio**

Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro  
ruimaio@ua.pt

## RESUMO

Apesar da exposição a um determinado risco compreender responsabilidades políticas, económicas e sociais, na grande maioria dos casos, as estratégias de sensibilização e mitigação do risco sísmico surgem apenas na sequência de um evento de impacto significativo nas sociedades. Assim, a mitigação do risco é aqui abordada, incidindo na avaliação da vulnerabilidade sísmica de núcleos urbanos antigos, zonas particularmente vulneráveis das nossas cidades, na tentativa de contrariar esta tendência. Com esse objectivo aplicou-se uma metodologia simplificada que possibilitou a estimativa de cenários de dano e de perdas económicas e humanas. Através do mapeamento destes resultados, integrados num Sistema de Informação Geográfica, poderão ser elaborados planos estratégicos de reabilitação do edificado urbano, de emergência e evacuação em caso de ocorrência sísmica.

**Palavras-chave:** risco sísmico; vulnerabilidade sísmica; índice de vulnerabilidade; núcleos urbanos antigos; cenários de dano; estimativa de perdas.

## Introdução

Este artigo aborda a redução da vulnerabilidade do edificado como a medida mais sustentável na mitigação do risco sísmico. Dada a incerteza associada à ocorrência de um evento, a perigosidade sísmica é, de entre os três vetores definidores do risco, aquele que não é passível de ser minimizado. Quanto à exposição, a qual avalia o valor dos elementos em risco (humanos e materiais), esta pode contribuir para a mitigação do risco sísmico através da adopção de medidas no sentido de condicionar a construção e o desenvolvimento das cidades em locais de elevada perigosidade sísmica. Desta forma, a redução da vulnerabilidade sísmica do edificado apresenta-se como a estratégia mais sustentável na mitigação do risco sísmico.

## O centro histórico de Faro como caso de estudo

O Bairro Ribeirinho do núcleo urbano antigo de Faro, Portugal, foi a zona de estudo escolhida para a avaliação da vulnerabilidade sísmica segundo esta metodologia. A sua seleção baseou-se no facto de esta ser uma das zonas com elevada concentração de edifícios em alvenaria, muitos destes com níveis de alteração estrutural muito reduzidos. Refira-se ainda que, de forma a melhorar e otimizar a gestão de todas as propriedades do parque edificado, foi desenvolvido e utilizado um sistema de informação em software ArcGis 10.2® (ESRI, 2005), o qual combina dados georreferenciados com informação relativa a cada edifício avaliado.

## Metodologia do Índice de Vulnerabilidade

A formulação do índice de vulnerabilidade foi originalmente desenvolvida em Itália pelo GNDT II (1994), para a avaliação da vulnerabilidade sísmica de edifícios de alvenaria através da observação

e catalogação de danos e mecanismos após a ocorrência de um evento sísmico. Em Portugal, esta metodologia foi adaptada à realidade dos nossos edifícios por Vicente (2011), introduzindo uma análise e inspeção mais cuidada e ainda outros novos parâmetros contabilizando a interação entre edifícios adjacentes. Inicialmente aplicada à Baixa da cidade de Coimbra (Vicente, 2011), esta metodologia foi recentemente utilizada na avaliação do núcleo urbano antigo do Seixal (Ferreira *et al.*, 2013). A metodologia assenta na determinação de um índice de vulnerabilidade,  $I_v$ , o qual é calculado para cada edifício através de uma média ponderada de 14 parâmetros distribuídos em 4 classes de vulnerabilidade crescente,  $C_{vi}$ , de A a D, possuindo diferentes pesos relativos,  $p_i$ , consoante a sua relevância no comportamento sísmico do edifício. A definição detalhada de cada um destes 14 parâmetros pode ser consultada em Vicente (2011).

### Resultados

A aplicação da metodologia do índice de vulnerabilidade a cada um dos 191 edifícios avaliados é apresentada na Figura 1 (a), através do mapeamento do  $I_v$  para cada edifício. Na Figura 1 (b) são identificados os edifícios com um valor de  $I_v$  superior a 40, e que deverão por isso, ser motivo de maior atenção no estabelecimento de prioridades e estratégias de intervenção. Note-se que aproximadamente 15% dos edifícios apresentam um  $I_v$  superior a 40, com 5% acima de 45 (equivalente a uma classe de vulnerabilidade A na escala EMS-98). Por outro lado, apenas 4% dos edifícios avaliados apresentam um  $I_v$  inferiores a 20 (equivalente a uma classe de vulnerabilidade B na escala EMS-98).



**Figura 1. Mapeamento do índice de vulnerabilidade para o Bairro Ribeirinho de Faro (a) e identificação dos edifícios com  $I_v > 40$  (b).**

Relativamente aos valores médios do índice de vulnerabilidade,  $I_{v,mean}$ , foi efetuada uma primeira avaliação considerando apenas os 53 edifícios avaliados detalhadamente para a qual foi obtido um  $I_{v,mean}$  igual a 36.15.

De acordo com esta metodologia, o grau médio de dano,  $\mu_D$ , pode ser estimado para diferentes intensidades através da aplicação da Eq. (1), desenvolvida para esse fim por Bernardini *et al.* (2007).

$$\mu_D = 2.5 \times \left[ 1 + \tanh \left( \frac{I + 6.25 \times V - 13.1}{Q} \right) \right]; 0 \leq \mu_D \leq 5 \quad (1)$$

$$V = 0.592 + 0.0057 \times I_s \quad (2)$$

onde  $I$  representa a perigosidade sísmica descrita em termos de intensidade macrossísmica,  $V$  representa o índice de vulnerabilidade (ver Eq. (2)), e onde  $Q$  é o factor de ductilidade que descreve a ductilidade de certas tipologias construtivas (considerado igual a 3.0). A Figura 2 (a) e (b) apresenta os cenários de grau médio de dano para as intensidade macrossísmicas,  $I_{(EMS-98)}$ , VIII e IX, respetivamente.



Figura 2. Cenários de dano para intensidades  $I_{(EMS-98)} = VIII$  (a) e  $I_{(EMS-98)} = IX$  (b).

A estimativa de edifícios colapsados e inutilizáveis, de extrema utilidade para as entidades governamentais e de proteção civil, foi neste artigo avaliada com base num modelo desenvolvido por Bramerini *et al.* (1995) que define os estados de dano que relacionam a probabilidade de se exceder um determinado grau de dano com a probabilidade de colapso e perda funcional. A estimativa do número total de edifícios colapsados e inutilizáveis para diferentes intensidades sísmicas,  $I_{(EMS-98)}$  e para o valor  $I_{v,mean} = 34.12$ , encontra-se apresentada na Figura 3.

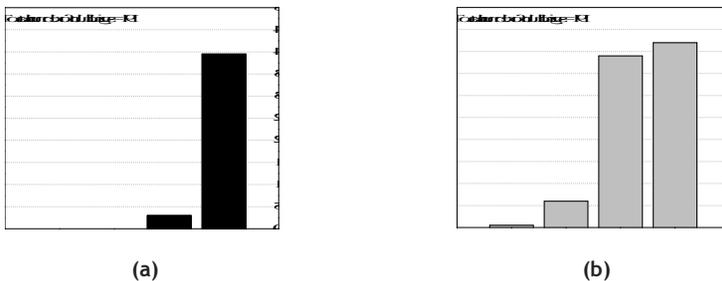


Figura 3. Estimativa do número de edifícios colapsados (a) e inutilizáveis (b).

Também na avaliação das perdas humanas e número de desalojados foi utilizado o modelo desenvolvido por Bramerini *et al.* (1995). Para isso, definiu-se a percentagem de mortos e feridos graves como sendo 30% do número total de habitantes residentes em edifícios colapsados e inutilizáveis. A estimativa do número de mortos e feridos graves e de desalojados, para o  $I_{v,mean} = 34.12$ , é apresentada na Figura 4. Note-se que estes números podem ser significativamente agravados em função da sazonalidade própria da região do Algarve e da hora a que ocorra o sismo.

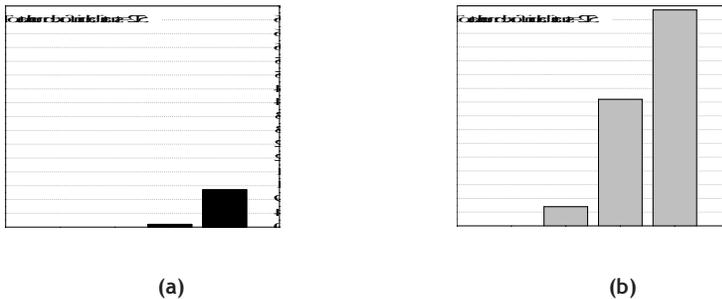


Figura 4. Estimativa do número de mortos e feridos graves (a) e desalojados (b).

De acordo com Vicente *et al.* (2011) a probabilidade de custo de reparação para um determinado evento sísmico caracterizado por uma intensidade  $I$ ,  $P[R|I]$ , pode ser calculada através do produto da probabilidade condicional do custo de reparação para cada grau de dano,  $P[R|D_k]$  com a probabilidade condicional de condição de dano para cada nível de vulnerabilidade e intensidade sísmica,  $P[D_k|I_v, I]$ . Assim, de forma a estimar o custo de reparação associado a diferentes valores de vulnerabilidade na estimativa de perdas, considerou-se um custo unitário de 482 €/m<sup>2</sup> em função do valor sugerido pela Portaria n.º370/2013 (Portugal, 2013). A Figura 5 apresenta a estimativa global dos custos de reparação para o Bairro Ribeirinho de Faro.

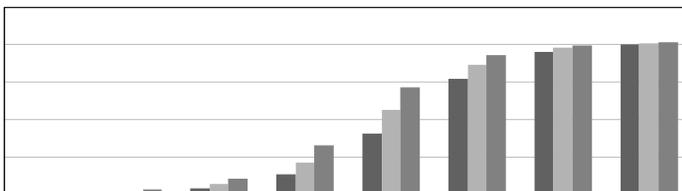


Figura 5. Estimativa dos custos de reparação.

#### Comentários Finais

De um modo geral os resultados estão coerentes com as características e o estado de conservação do edificado do Bairro Ribeirinho de Faro. Estando associada à cidade de Faro uma perigosidade sísmica moderada, estes resultados revelam que a ocorrência de evento sísmico de intensidade

moderada poderá causar danos e perdas significativas, motivadas, quer pela vulnerabilidade do próprio edificado, quer pela falta de preparação das entidades responsáveis e da população. Por último, sublinhe-se que uma avaliação rigorosa e competente da vulnerabilidade sísmica dos núcleos históricos antigos, complementada com soluções apropriadas de reforço estrutural e sísmico, podem reduzir significativamente os danos e as perdas humanas e económicas causados por futuros eventos.

### Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) ao abrigo do projeto de investigação URBSIS: Avaliação da Vulnerabilidade e Gestão do Risco Sísmico à Escala Urbana (PTDC/ECM-URB/2564/2012).

### Bibliografia

- Bernardini, A.; Giovinnazzi, S.; Lagomarsino, S. e Parodi, S. (2007) - Vulnerabilità e previsione di danno a scala territoriale secondo una metodologia macrosismica coerente con la scala EMS-98. *ANIDIS*, In: XII Convegno Nazionale l'ingegneria sismica in Italia. 10-14 Junho, Pisa, Itália
- Bramerini, F.; Di Pasquale, G.; Orsini, A.; Pugliese, A.; Romeo, R. e Sabetta, F. (1995) - *Rischio sismico del territorio italiano: proposta per una metodologia e risultati preliminari*. Servizio Sismico Nazionale, Relatório Técnico SSN/RT/95/01, Roma;
- ESRI (2005) - *Geographic Information Systems*. Nova Iorque nº310, Redlands, 92373-8100, E.U.A.
- Ferreira, T.M.; Vicente, R.; Mendes da Silva, J.A.R.; Varum, H. e Costa, A. (2013) - Seismic vulnerability assessment of historical urban centres: case study of the old city centre in Seixal, Portugal. *Bulletin of Earthquake Engineering, Springer*, vol. 11, p. [1753-1773], DOI: 10.1007/s10518-013-9447-2;
- GNDT (1994) - *Scheda di esposizione e vulnerabilità e di rilevamento danni di primo e secondo livello (murata e cemento armato)*, Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma, Itália.
- Portugal (2013) - *Portaria nº370/2013, de 27 de Dezembro de 2013*. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Diário da República, 1ª série, nº251, Portugal.
- Vicente, R.S.; Parodi, S.; Lagomarsino, S.; Varum, H. (2011) - Seismic vulnerability and risk assessment: case study of the historic city centre of Coimbra, Portugal. *Bulletin of Earthquake Engineering, Springer*, Holanda, vol. 9(4), p. [1067-1096];