

# VULNERABILIDADE SÍSMICA DAS CONSTRUÇÕES: OBSERVAÇÕES COM BASE EM SISMOS RECENTES NO SUL DA EUROPA

H. RODRIGUES, H. VARUM

Faculdade de Ciências Naturais, Engenharias e  
Tecnologias – Universidade Lusófona do Porto

X. ROMÃO, A. ARÊDE, J. GUEDES, A.A. COSTA, E. PAUPERIO

Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de  
Engenharia da Universidade do Porto

A.G. COSTA, R. VICENTE, A. TAVARES

Departamento de Engenharia Civil, Universidade de  
Aveiro

## Resumo

Após os sismos recentes ocorridos no sul da Europa nos últimos anos tem sido realizadas diversas visitas às zonas afetadas. Após cada visita foram analisados os dados recolhidos com o objetivo de interpretar os danos sofridos pelos diferentes tipos de construção, nomeadamente, as estruturas de alvenaria e de betão armado. Foram também observados os procedimentos de emergência desenvolvidos na gestão da catástrofe. Da análise das diversas observações realizadas foram retirados alguns ensinamentos para Portugal.

## 1. Introdução

Nos últimos anos o Sul da Europa sofreu vários sismos de magnitude moderada que provocaram num número elevado de vítimas e danos consideráveis no património construído, dos quais se destacam: i) um sismo de magnitude a região de Abruzzo, dia 6 de Abril de 2009, no centro de Itália com uma magnitude Mw 6.2 com uma profundidade do epicentro estimada em cerca de 10km, que vitimou cerca de 305 pessoas, tendo sido registados mais de 1500 feridos e mais de 70.000 desalojados e cerca de 15000 edifícios tiveram danos ou sofreram colapso; ii) O sismo no dia 11 de Maio de 2011, um sismo de magnitude Mw 5.1 atingiu a cidade de Lorca na região de Múrcia, no sudoeste de Espanha. O sismo vitimou 9 pessoas e foram registados 250 feridos; e os Sismo na região Emilia-

Romagna, no norte de Itália, que ocorreram a 20 e 29 de Maio de 2012 com magnitude Mw 5.9 e Mw 5.8 prospectivamente. O segundo sismo aumentou o grau de dano e alargou a região afetada resultando em 17 vítimas mortais e mais de 14000 desalojados.

Estes eventos representam para a comunidade técnica e científica uma fonte de informação relevante para a identificação das principais deficiências, para que possam ser corrigidas, assumindo particular interesse no caso de Portugal dada a semelhança construtiva. A possibilidade de observar a atuação em campo de várias atividades envolvidas na gestão de catástrofes é também uma oportunidade para analisar os procedimentos e as necessidades para fazer face a um evento semelhante.

Assim, o presente artigo reflete as observações e análises dos dados verificados pelos autores após as visitas aos locais afetados, tendo como referencia principais as missões à região de Abruzzo, 22 dias após o sismo, durante 6 dias e 3 anos após o sismo, durante 2 dias.

## **2. Sismo de L'Aquila, Itália de 6 de abril de 2009**

### **2.1. Descrição geral dos danos observados**

Os danos observados variaram bastante consoante o local, o tipo de construção, a sua idade e o seu estado de conservação. Durante as visitas, foi dada especial atenção a edifícios de alvenaria tradicional, a edifícios de betão armado recentes e construídos em épocas anteriores à existência de normas de dimensionamento sísmico.

De uma forma geral, observou-se que os edifícios de alvenaria tradicional tiveram um comportamento muito distinto dependendo das técnicas construtivas utilizadas. Os edifícios não reforçados apresentavam níveis de danos elevados, ou colapso, e os edifícios de alvenaria com intervenções pesadas, com utilização de pisos de betão armado, revelaram um mau comportamento. Por outro lado, os edifícios de alvenaria que utilizam tirantes metálicos bem distribuídos apresentaram um melhor comportamento, resistindo ao sismo e sofrendo apenas danos ligeiros. Em termos globais, os edifícios recentes de betão armado tiveram um bom comportamento, apenas com danos ligeiros, em especial nas paredes de alvenaria de enchimento. Não obstante, foram igualmente observados alguns edifícios em que ocorreu o colapso dos pisos inferiores.

A cidade de L'Aquila tem cerca de 20000 habitantes e é constituída por uma elevada densidade de construção, com habitação, comércio e edifícios administrativos. A maioria dos edifícios desta zona é de alvenaria tradicional (ver Figura 1). Nas áreas circundantes da cidade antiga existe uma percentagem considerável de edifícios de betão armado.



**Figura 1:** Danos em estruturas de alvenaria tradicional no centro de L'Aquila

Os edifícios de betão armado existentes na cidade, construídos desde os anos 1970 até aos anos 1990, apresentavam danos essencialmente nos painéis de alvenaria. No entanto, ocorreram também alguns colapsos: o caso do Hotel Duc degli Abruzzi e da residência de estudantes universitários que causou a morte de vários estudantes. Estes colapsos estão associados a edifícios construídos na década de 1970 após a introdução das primeiras normas sísmicas. No caso do Hotel Duc degli Abruzzi, o colapso estará associado a uma combinação de um mecanismo de soft-storey com o elevado declive do terreno. No caso da residência de estudantes, não foi impossível identificar a causa do colapso, devido à remoção dos elementos do edifício para missões de resgate às vítimas. No entanto, a partir da observação de fotografias tiradas antes do sismo, é possível identificar uma elevada irregularidade em planta do edifício e, pela observação dos destroços(ver Figura 2).



**Figura 2:** Danos em estruturas de betão armado no centro de L'Aquila

A zona suburbana de Pettino localizada a Noroeste da cidade de L'Aquila, é uma zona essencialmente composta por edifícios residenciais de betão armado de 3 a 6 pisos construídos durante a década de 1980. Os danos observados nos edifícios de betão amado são muito variáveis. Foram encontrados casos apenas com danos ligeiros e fendilhação em elementos não-estruturais, casos que exibiam o colapso de elementos não-estruturais, e casos de colapso de edifícios associados ao mecanismo de soft-storey (ver Figura 3).



**Figura 3:** Danos em estruturas de betão armado

Onna é uma pequena localidade situada a menos de 10km do centro de L'Aquila. Esta localidade era composta por cerca de 120 edifícios maioritariamente de alvenaria de pedra de qualidade muito variável, com 2 a 3 pisos. Todas as construções estavam fundadas em solos aluvionares calcários e em depósitos fluviais granulares. Os danos observados nas construções em alvenaria foram muito extensos, tendo ocorrido diversos colapsos completos. Os danos nas estruturas de betão armado vão desde danos ligeiros até casos mais severos de colapsos parciais (ver Figura 4). Montichio é uma localidade próxima de Onna, situada a menos de 1.5km, mas neste caso fundada em solos de calcário e brecha. As tipologias construtivas são muito semelhantes às encontradas em Onna. Dadas as condições dos solos de fundação, os fenómenos de amplificação dinâmica que ocorreram em Onna não se verificaram em Montichio, e os danos foram baixos (ver Figura 4).



**Figura 4:** Danos em estruturas de alvenaria: a) Vista geral de Onna; b) Vista da rua principal de Onna; c) Vista de uma rua de Montichio

## 2.2. Observações da gestão da catástrofe

As observações apresentadas em seguida não resultam numa análise aprofundada acerca dos procedimentos implementados para a gestão da catástrofe, mas sim de observações informais realizadas em campo, pelos elementos da equipa, e de alguma informação recolhida junto de civis, bombeiros e elementos da Proteção Civil.

## 2.3. Campos de desalojados

Os campos de desalojados visitados aparentavam estar a funcionar bem, apresentando condições mínimas de conforto e de salubridade. Foi igualmente observada a existência duma adequada coordenação entre os vários campos ao nível da gestão de bens

e de mantimentos. Verificou-se também que tinha sido implementada uma estratégia que envolvesse a população dos campos na sua gestão e manutenção, mantendo, dessa forma, as pessoas activas e, simultaneamente, libertando operacionais da Protecção Civil para outras operações (ver Figura 5).



Figura 5: Campo de desalojados

### 2.3.1. Atuação dos bombeiros, polícia e exército

Segundo informações da Protecção Civil, foram destacados cerca de 2250 bombeiros, 2000 polícias e 1500 militares para as zonas afetadas a partir de 8 de Abril. O número de bombeiros observados em campo pareceram ser insuficientes face às múltiplas solicitações de que eram alvo, nomeadamente no acompanhamento de civis às residências, no acompanhamento das equipas de inspeção, em tarefas nos campos de desalojados, e nas operações de escoramento de emergência. Durante a visita realizada, a presença dos militares no terreno passou, no entanto, quase despercebida. Por outro lado, o policiamento das zonas evacuadas aparentou ser eficaz na prevenção de atos de roubo e de vandalismo (ver Figura 6).



Figura 6: Atuação dos bombeiros, polícia e exército

### 2.3.2. Procedimentos de consolidação temporária

Durante a visita realizada, foram igualmente observados os procedimentos de consolidação temporária utilizados na estabilização de edifícios, como ilustrado na Figura 7. Do que foi possível observar, verificou-se que as operações de consolidação estariam a ser hierarquizadas consoante as necessidades de intervenção das construções, o seu valor patrimonial e o seu estado de conservação. Por outro lado, observou-se que a elaboração dos projetos de consolidação temporária deveria gerar soluções simples, claras e baseadas

em princípios elementares, cuja execução em campo pelos bombeiros pudesse ser feita através da utilização de materiais baratos, disponíveis e fáceis de manusear e aplicar.

As soluções de consolidação encontradas utilizavam técnicas reversíveis e não-invasivas, essencialmente para fazer face à necessidade de confinamento de pilares, cúpulas, paredes e edifícios; ao atirantamento (em geral auto-equilibrado) de paredes, torres e arcos e escoramentos apoiados no solo (ver Figura 7). A definição das soluções tinha também em atenção a necessidade de envolver um tempo de execução reduzido (poucos dias) bem como o acesso muito limitado às construções por questões de segurança (através de auto-gruas e plataformas elevatórias). Do ponto de vista dos materiais utilizados na definição das soluções, foram considerados materiais de fácil acesso tais como a madeira (em quase todos os casos; peças de grandes dimensões), cintas de poliéster (facilmente tencionáveis), cabos metálicos (maiores comprimentos de tensionamento) e tubos metálicos (situações isoladas).



Figura 7: Procedimentos de consolidação temporária

### 2.3.3. Inspeções das construções

Segundo informações obtidas junto da Proteção Civil, estiveram envolvidos cerca de 1500 técnicos por dia em inspeções de edifícios residenciais, tendo efetuado cerca de 24000 inspeções até 2 de Maio de 2009. Cada equipa possuía três técnicos, um bombeiro e um técnico do Ministério da Cultura (no caso se tratar de um edifício patrimonial), e o(s) proprietário(s). Os trabalhos que constituem a inspeção das construções envolvem a receção da lista de edifícios a inspecionar, os trabalhos de inspeção e preenchimento de fichas, a validação das fichas e a introdução dos dados obtidos em formato digital. No caso de edifícios patrimoniais, compete aos técnicos que efetuaram a inspeção fazer a introdução dos dados obtidos em formato digital numa base de dados de centralização de toda a informação recolhida.

De modo a ter uma visão mais objetiva acerca das dificuldades em campo da utilização das fichas de levantamento, a equipa que participou nesta missão efetuou o preenchimento de algumas fichas de Nível 1 (fichas com informação em que o nível de detalhe é menor). Dessa experiência, resultaram os seguintes aspetos:

- O preenchimento da ficha de Nível 1 para Edifícios Correntes revelou-se pouco eficaz dado que ocorreram dificuldades na interpretação de alguns campos. Por outro lado, verificou-se ser fundamental a inspeção dos edifícios pelo interior de modo a poder estabelecer as condições de dano com objetividade adequada (em muitos casos os edifícios não apresentavam danos relevantes no exterior, ao contrário do que se passava pelo interior). Não obstante, observou-se, em muitos casos, que as conclusões acerca do nível de dano a preencher na ficha seriam muito subjetivas a menos dos casos que fossem “quase sem danos” ou “com danos consideráveis”.

- O preenchimento da ficha de Nível 1 para Palácios revelou-se ser muito moroso e pouco eficaz quando não existe levantamento arquitetónico. As equipas de levantamento conseguem efetuar a inspeção de palácio por dia.

- O preenchimento da ficha de Nível 1 para Igrejas verificou ser eficaz dado que a tipologia deste tipo de construções está bem definida (ex: altar mor, nave,...).

#### **2.4. L’Aquila 3 anos depois do sismo**

Três anos após o sismo, a mesma equipa percorreu os locais visitados , com o objetivo de observar a evolução das operações de recuperação e reconstrução das zonas afetadas. As análises apresentadas resultam de observações informais realizadas em campo, pelos elementos da equipa, e de alguma informação recolhida junto de civis.

Três anos após o sismo o centro da cidade continua desabitado e as obras de reconstrução são muito reduzidas. Um elevado número de projetos de reabilitação de edifícios com valor patrimonial elevado foi já realizado mas apenas alguns estão a ser implementados.



**Figura 8:** Cidade de L’Aquila durante o dia

Foram construídas soluções de realojamento pós sismo. No projeto “C.A.S.E. Project” foram construídos 300 apartamentos com proteção sísmica, com recurso a isolamento de base. Este projeto recorreu a tecnologia de construção inovadora económica, flexível e de rápida execução. Foram adotadas outras soluções de construção de soluções rápidas e pré-fabricadas para alojamento de aldeias completas como o caso de Onna e Castelnuovo.



**Figura 9:** Construção de realojamento pós-sismo

### **3. Conclusões e lições para Portugal**

As observações relacionadas com os procedimentos de gestão da catástrofe levantaram algumas questões importantes para Portugal, nomeadamente, i) que tipo de mobilização de técnicos se pode esperar no caso de ocorrer um sismo em Portugal?; ii) qual a possibilidade de formar técnicos credenciados pela Ordem dos Engenheiros ou outras entidades?; iii) que fichas poderão ser adotadas para levantamento de danos?; iv) se existem listas regionais/locais com as prioridades de intervenção em património classificado e/ou edifícios institucionais e v) se existem levantamentos arquitectónicos/estruturais desse património que permitam definir decisões de intervenção.

No que se refere à observação dos danos em edifícios de betão armado, em especial os danos em elementos com função não estrutural, como as paredes de alvenaria de enchimento, verificou-se que as soluções utilizadas são em muitos casos, semelhantes às soluções preconizadas em Portugal. Na avaliação de edifícios existentes e dimensionamento de novos edifícios considera-se que, no futuro, se deveria ter em consideração os painéis de alvenaria no cálculo estrutural, nomeadamente através de verificações simples realizadas após o dimensionamento, e ter uma atenção particular à variação de rigidez entre o primeiro piso e os restantes (pé-direito, dimensões das aberturas, distribuição das paredes de alvenaria). Na avaliação das estruturas antigas (construídas até à década de 1970), para além dos cuidados já referidos, deve ser dada atenção especial também à influência da armadura lisa e à pormenorização de armadura (especialmente ao nível nos nós viga-pilar, da armadura transversal em pilares e dos pormenores de amarração).



A partir da avaliação do comportamento de edifícios de alvenaria tradicionais, observou-se que o elevado dano das estruturas resulta, por um lado, da insuficiente resistência sísmica das paredes no seu plano e fora do seu plano, mas também da utilização de soluções de reforço recentes e intrusivas em betão armado que não beneficiaram a resistência sísmica dos edifícios. As soluções de reforço tradicionais, através de tirantes metálicos, exibiram um bom comportamento, demonstrando assim que são uma solução possível de utilizar. A tipologia da alvenaria tradicional de pedra encontrada é muito semelhante à alvenaria tradicional portuguesa, esperando-se, portanto, que o comportamento dos edifícios portugueses seja semelhante ao observado na zona afectada, o que reforça a necessidade da análise da segurança e do reforço das construções existentes.

#### **Agradecimentos**

Os autores agradecem à Proteção Civil Italiana, ao corpo de bombeiros e ao Professor Giorgio Monti da Universidade de Roma, pela ajuda em garantir o acesso com segurança às zonas afetadas. Os autores agradecem o apoio financeiro dado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia-

#### **4. Referencias**

Rodrigues, H.; Romão, X.; Costa, A.G.; Arêde, A.; Varum, H.; Guedes, J. Vicente, R.; Costa, A.A.; Paupério, E.– “Sismo de L'Aquila de 6 de Abril de 2009. Ensinaamentos para Portugal” - ISBN: 978-989-95695-4-6, - 8º Congresso Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica - SISMICA 2010 - Universidade de Aveiro, Aveiro, 20 a 23 de Outubro de 2010.

Paupério, E., Romão, X., Tavares, A., Vicente, R., Guedes, J., Rodrigues, H., Varum, H., Costa, A. (2012) Survey of churches damaged by the 2012 Emilia-Romagna earthquake sequence. Faculty of Engineering of the University of Porto and University of Aveiro, Portugal.

Vicente, R.; Rodrigues, H.; Varum, H.; Costa, A.G.; Mendes da Silva, J.A.R. – “Danos em paredes de alvenaria de fachada em edifícios correntes de betão armado: Lições do sismo de Abril de 2009 de L'Áquila Itália” - ISBN: 978-989-95695-4-6, - 8º Congresso Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica - SISMICA 2010 - Universidade de Aveiro, Aveiro, 20 a 23 de Outubro de 2010.

Vicente, R.; Rodrigues, H.; Varum, H.; Costa, A.; Mendes da Silva, J.A.R. - Performance of masonry enclosure walls: Lessons learnt from recent earthquakes - Earthquake Engineering and Engineering Vibration, Springer, Vol. 11, N.1, March 2012, Pages 149-164, 23-34, DOI: 10.1007/s11803-012-0095-3.