



PATOLOGIA E REABILITAÇÃO #01

AS ESTRUTURAS DO PATRIMÓNIO ARQUITECTÓNICO E OS SISMOS – ASPECTOS RECENTES

NA RELAÇÃO DO PATRIMÓNIO ARQUITECTÓNICO COM OS SISMOS, ALÉM DA SALVAGUARDA DAS VIDAS HUMANAS E DA REDUÇÃO DAS PERDAS ECONÓMICAS, SURGE AINDA O ASPECTO DA CONSERVAÇÃO DOS BENS CULTURAIS. DE FACTO, ESTES NÃO PODEM SER RECUPERADOS POR ACCÕES PÓS-SISMO, REPRESENTANDO A DESTRUIÇÃO DE UM LEGADO PARA AS GERAÇÕES FUTURAS. NOS CASOS EM QUE A EXISTÊNCIA DE SISMOS DESTRUTIVOS É ESPORÁDICA, A MODIFICAÇÃO DA PRÁTICA CONSTRUTIVA É MENOS EVIDENTE OU DURADOURA. ESTE É O CASO DE PORTUGAL CONTINENTAL.

1. Exemplos de ferramentas de inspeção e diagnóstico: a) detecção da composição interna com georadar; b) e c) monitorização e identificação dinâmica; c) informação sobre o estado da madeira com micro-perfuração; d) visão interior com câmara boroscópica.



VIDAS HUMANAS E PERDAS ECONÓMICAS

Os sismos estão entre os mais terríveis e devastadores acontecimentos naturais, actuando sem avisar e não permitindo tempo de resposta para a preparação ou evacuação. Dada a sua natureza, é bastante provável que sismos de grande potencial destrutivo ocorram em Portugal no futuro. Porém, os conhecimentos adquiridos recentemente, através da investigação e da análise dos efeitos causados pelos últimos grandes sismos, permitem reduzir a vulnerabilidade sísmica do património construído. Em 2003, 380 catástrofes naturais e humanas causaram 60 000 mortos, sendo 43 000 causados por sismos, e perdas económicas no valor de 70 000 milhões de euros. Em 26 de Dezembro de 2004, um único sismo ao largo da costa Noroeste da ilha de Sumatra e o *tsunami* que lhe seguiu resultaram em mais de 280 000 mortos e 1,1 milhões de desalojados em 10 países do Sul da Ásia e da África Oriental. Este evento isolado causou uma perda económica superior a 20 000 milhões de euros.

Nos Estados Unidos, o Programa Nacional de Redução de Perigosidade Sísmica foi iniciado em 1977. Originalmente, o objectivo era a salvaguarda de vidas humanas, tendo sido realizados avanços enormes do conhecimento, por exemplo, no que respeita a: a) mecanismos e origens dos sismos; b) dinâmica dos solos, liquefacção e efeitos de sítio; c) acções dinâmicas e análises não-lineares com integração no tempo; d) concepção e dimensionamento de estruturas com base no desempenho; e) prevenção de colapso das estruturas. No entanto, as perdas económicas tiveram a sua enorme escalada nos últimos vinte anos. Com os sismos de Loma Prieta [1989] e Northridge [1994], as perdas anuais equivalentes neste período estiveram entre 3 700 e 8 300 milhões de euros [1;2]. Cerca de 80 por cento deste valor são perdas de capital, o que inclui a reparação e a substituição de componentes estruturais e não estruturais do património construído, o conteúdo dos edifícios e a informação empresarial. Os restantes 20 por cento estão associados à interrupção da actividade económica, aos salários e às rendas. Face a este cenário, o objectivo de redução de perdas económicas foi adicionado na última década à salvaguarda de vidas humanas. O dimensionamento baseado no desempenho, desde a ocupação imediata ao

colapso iminente, assumiu um papel de enorme relevo na investigação em Engenharia Sísmica, apesar da complexidade inerente e da necessidade de alterar a filosofia de dimensionamento estrutural.

O PATRIMÓNIO CONSTRUÍDO DE VALOR CULTURAL

A ideia que as construções que sobreviveram durante séculos sem danos ou com danos reduzidos já demonstraram a sua segurança parece receber ampla aceitação. No entanto, existem inúmeras situações em que este raciocínio é incorrecto, seja porque a probabilidade de uma estrutura ser submetida a um sismo de magnitude crescente aumenta com o seu período de vida, seja porque a capacidade resistente da construção pode reduzir ao longo do tempo. A redução da resistência das estruturas com o tempo pode ser devida, por exemplo: à deterioração biológica, mecânica ou química dos materiais; aos danos sucessivos introduzidos por sismos anteriores, movimentos das fundações e acções de carácter repetitivo como o vento e as variações de temperatura; e às modificações na estrutura e materiais de construção, tais como a adição de novos corpos, a ampliação de corpos existentes em planta e altura, a ligação de construções anteriormente independentes e a substituição de coberturas leves em madeira por coberturas com peso elevado.

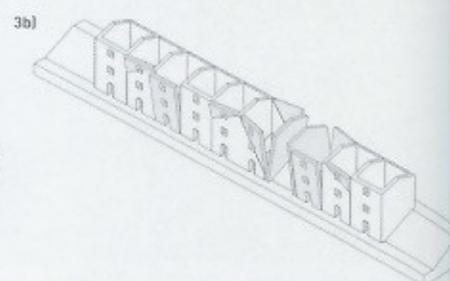
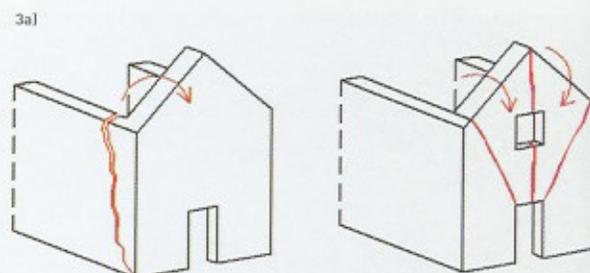
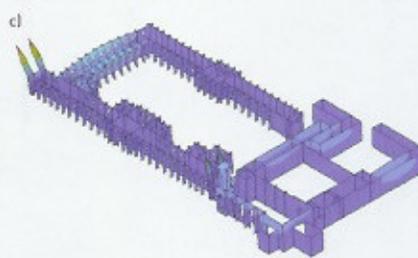
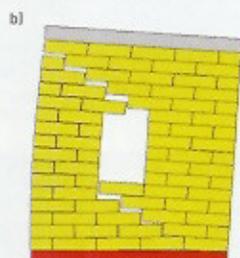
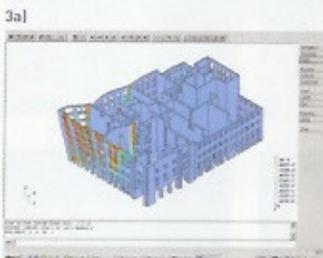
As estruturas do património arquitectónico foram-se desenvolvendo, ao longo dos séculos, tendo em vista soluções cada vez mais eficientes para resistir à acção do peso da estrutura, mediante um processo de aprendizagem baseado essencialmente nas lições dos erros anteriores. Esta aprendizagem não ocorreu necessariamente no que respeita às acções eventuais e à segurança sísmica. Em países onde a ocorrência de sismos é frequente, como no Japão, as lições dadas pelos danos dos sismos traduzem-se directamente em modificações da prática construtiva, que incorpora aspectos dirigidos a aumentar a resistência a estes eventos. Nos casos em que a existência de sismos destrutivos é esporádica, a modificação da prática construtiva é menos evidente ou duradoura. Este é o caso de Portugal continental, em que os sismos fortes ocorrem com intervalos de dois séculos ou mais, e no intervalo entre estes grandes acontecimentos raras vezes

2. Exemplos de rotura em simulações numéricas: (a) Baixa Pombalina (Lisboa); (b) parede submetida ao corte; (c) Mosteiro dos Jerónimos (Lisboa);

3. Exemplos de mecanismos locais em: (a) edifícios isolados; (b) banda.

Tabela I – Factores de confiança para a verificação da segurança de edifícios de alvenaria existentes [7]

Nível de conhecimento	Geometria	Detalhes construtivos	Propriedades dos materiais	Métodos de Análise	Factor de Confiança FC
LC1	Levantamento estrutural	Verificação no local limitada	Ensaios no local limitados	Todos	1.35
LC2		Verificação ampla e exaustiva no local	Ensaios no local amplos		1.20
LC3			Ensaios no local exaustivos		1.00



acontecem sismos significativos. Em particular, a lição do Terramoto de 1755 e a técnica construtiva anti-sísmica que se seguiu (construção pombalina) foram quase completamente esquecidos antes de volvido um século sobre este desastre.

Na relação do património arquitectónico com os sismos, além da salvaguarda das vidas humanas e da redução das perdas económicas, surge ainda o aspecto da conservação dos bens culturais. De facto, estes não podem ser recuperados por acções pós-sismo, representando a destruição de um legado para as gerações futuras. No caso de um sismo, verifica-se que, além da destruição das construções, é habitual a perda significativa de elementos do seu recheio, tais como pinturas, esculturas, bibliotecas, tesouros, entre outros, e de elementos do seu revestimento, tais como frescos, talhas, azulejos, entre outros.

AS RECOMENDAÇÕES ICOMOS

A análise de construções antigas é um desafio devido à complexidade da sua geometria, à variabilidade das propriedades dos materiais tradicionais, às diferentes técnicas de construção, à inexistência de conhecimento acerca do dano provocado por acções que afectaram a construção durante a sua vida e à falta de normas aplicáveis. A juntar a isto, existem limitações significativas no que respeita à extracção de provetes em edifícios de maior valor cultural, e os elevados custos inerentes à inspecção e diagnóstico resultam frequentemente em informação limitada sobre a constituição interna dos sistemas de construção e sobre as propriedades dos materiais existentes. Estes aspectos requerem técnicos que combinem conhecimentos avançados com sensibilidade estrutural, assumindo uma abordagem cuidadosa, humilde e com duração adequada (habitualmente, o tempo necessário para a análise, interiorização e diagnóstico é considerável).

No entanto, salienta-se que, nas últimas décadas, houve avanços muito significativos na caracterização experimental e em ferramentas para análise numérica e diagnóstico de estruturas antigas (Figuras 1, 2 e 4).

Com base no conhecimento recente, o Comité Científico Internacional para a Análise e Restauro de Estruturas do Património Arquitectónico (ISCARSAH) do Conselho Internacional sobre Monumentos e Sítios (ICOMOS) preparou recomendações [3], destinadas a serem utilizadas por todos os agentes envolvidos nos problemas de conservação e restauro do património

construído de valor cultural. Estas recomendações apresentam os conceitos fundamentais de conservação, bem como as regras e a metodologia que o projectista deve seguir, apresentada de forma simplificada no fluxograma apresentado na página seguinte. Salienta-se a necessidade de adoptar um processo iterativo, entre as etapas de aquisição de dados, comportamento estrutural, e diagnóstico e segurança.

A NOVA REGULAMENTAÇÃO ITALIANA

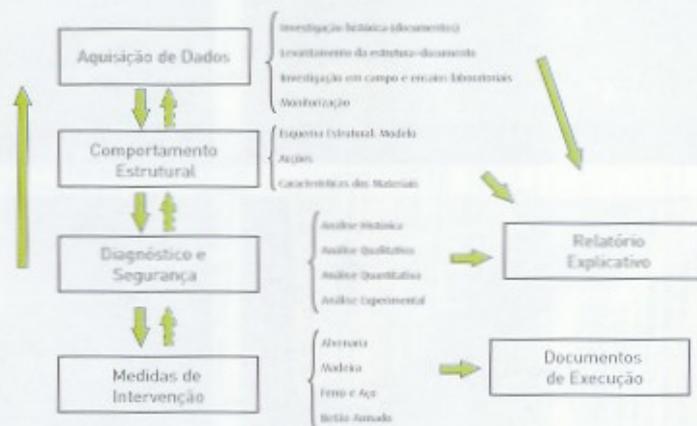
Adicionalmente, começam a ficar disponíveis gradualmente Normas e Prénormas [4-7], pelo menos no que diz respeito à reabilitação sísmica. Porém, a Engenharia aplicada ao património arquitectónico deve ter uma abordagem e capacidade diferentes das utilizadas no dimensionamento de estruturas novas. Os regulamentos existentes foram escritos tendo em mente outras formas de construção, pelo que a sua aplicação em materiais, tecnologias e formas tradicionais que pertencem a estruturas existentes é excessivamente conservadora, sendo habitualmente impossível que as estruturas estejam em conformidade com os regulamentos actuais. A regulamentação italiana incluiu o conceito de "melhoramento" sísmico para edifícios existentes, mas o novo regulamento é baseado em dimensionamento e avaliação de segurança baseada no desempenho [7], permitindo ainda corrigir os erros do passado observados nas estruturas antigas reforçadas, afectadas pelo sismo de Umbria-Marché em 1997. Em particular, referem-se os seguintes aspectos relevantes para edifícios existentes em alvenaria:

→ Incerteza relativa, por exemplo, ao conhecimento existente na época da construção, aos defeitos na concepção e construção, e aos danos devidos a sismos anteriores ou acções excepcionais. O nível de conhecimento que afecta a verificação de segurança e o projecto da intervenção é quantificado e considerado bem como de factores de confiança adequados, bem como através de métodos de análise e avaliação, que dependem do detalhe e da fiabilidade da informação disponível [Tabela I]. Tomando em consideração a necessidade de conhecer a geometria da estrutura com um levantamento, de conhecer os detalhes construtivos com uma verificação no local, de conhecer as propriedades dos materiais com ensaios não destrutivos, e de utilizar um modelo de análise estrutural, o Factor de Confiança (FC) pode variar entre 1.00 e 1.35. Este valor de FC é multiplicado pelo factor parcial de segurança dos materiais, tendo em vista definir os valores de cálculo

4. Exemplos de caracterização experimental: (a) parede composta de pedra sob compressão; (b) parede de pedra irregular submetida ao corte; (c) asna em madeira; (d) arcos de alvenaria reforçados com materiais compósitos.



Fluxograma com a metodologia para intervenções estruturais proposta pelo ICOMOS [3]



das resistências dos materiais.

- Medidas de "adequação" sísmica são necessárias quando se aumenta o número de pisos ou se amplia o edifício, quando se altera a utilização do edifício com um aumento das cargas permanentes superior a 20 por cento, quando se realizam obras de reabilitação geral ou quando se altera o comportamento global da estrutura. Medidas de "melhoramento" sísmico são suficientes quando se actua sobre elementos estruturais isolados e não se verifica nenhuma das condições anteriores. O conceito de "melhoramento" implica que se demonstre que a intervenção proposta conduz a uma melhoria da resistência sísmica do conjunto. Para o património arquitectónico, é sempre possível limitar as intervenções ao melhoramento sísmico. Para as intervenções de "adequação", as regiões podem permitir um melhoramento controlado, reduzindo a acção sísmica até 65 por cento do nível previsto para as estruturas novas, tomando em consideração as tipologias construtivas locais.
- As formas de intervenção que se tornaram muito populares num passado recente, e até obrigatórias de acordo com o regulamento italiano anterior, tiveram frequentemente desempenhos insuficientes (injecção e encamisamento) ou um efeito negativo no comportamento das estruturas (encamisamento e substituição de pisos e coberturas flexíveis por diafragmas rígidos).
- A experiência de Umbria-Marché, juntamente com os resultados experimentais e teóricos obtidos, também salientaram algumas características da resposta sísmica que são devidas à interacção com edifícios vizinhos ou aos efeitos locais que ocorrem antes que seja possível mobilizar o comportamento do conjunto. Para edifícios em banda e estruturas mistas (alvenaria, madeira, ferro, entre outros, é necessário adoptar modelos estruturais representativos. Desta forma, para a avaliação de segurança de edifícios existentes, além das análises sísmicas globais, é preciso realizar análises locais recorrendo a mecanismos de análise cinemática (Figura 3). É necessário analisar e modelar convenientemente a execução de intervenções que alteram localmente a rigidez da estrutura e a substituição de pisos/coberturas flexíveis por diafragmas rígidos, que podem resultar numa distribuição da acção sísmica não favorável.

CONCLUSÕES

Parece não haver dúvidas de que a ocorrência de um sismo de magnitude moderada ou elevada em Portugal continental conduzirá a danos significativos no património arquitectónico. Os programas de reconstrução pós-terramoto, além das perdas de vidas humanas e económicas, são incapazes de reconstituir o património arquitectónico e os restantes bens culturais que normalmente estão albergados no seu interior. Desta forma, os danos resultantes de um sismo representam perdas irreparáveis que, de forma alguma, podem ser quantificáveis em termos económicos. Salienta-se que, em Portugal, algumas das zonas mais ricas em termos de património arquitectónico classificado (distritos de Lisboa, Santarém, Évora e Portalegre) se situam em zonas de risco sísmico elevado. Cuidar da integridade do património arquitectónico localizado em regiões sísmicas é um assunto de importância nacional e um desafio para a geração presente de engenheiros, arquitectos e restantes técnicos envolvidos na conservação e reabilitação. Com o actual estado do conhecimento técnico-científico é inquestionável que uma avaliação sistemática e credível do risco sísmico do património arquitectónico é possível e necessária. O certo é que, quanto mais tempo estamos sem que se registre um sismo de magnitude moderada ou elevada mais próximo nos encontramos da ocorrência do mesmo. Por isso, é tão difícil compreender a reduzida atenção das autoridades nacionais a esta problemática

PAULO B. LOURENÇO É PROFESSOR ASSOCIADO DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE DO MINHO, GUIMARÃES

REFERÊNCIAS

- [1] FEMA, *Estimated annualized earthquake losses for the United States*, FEMA 366-HAZUS 99, 2001.
- [2] EERI, *Securing society against catastrophic earthquake losses*, 2003.
- [3] ICOMOS, *Recomendações para a análise, conservação e restauro estrutural do património arquitectónico*, 2004. Disponível em www.civil.uminho.pt/masonry.
- [4] ISO, *Basis for design of structure - Assessment of existing structures*, ISO 13822, 2003.
- [5] CEN, *Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance. Part 3: Strengthening and repair of buildings*, prEN 1998-3:2004, 2004.
- [6] BSSC, *Prestandard and commentary for seismic rehabilitation of buildings*, FEMA 356, 2000.
- [7] OPCM, *Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici*, Ordinanza 3431, Anexo 2, Governo Italiano, 2005.
- [8] GNDT, *Danno sismico e vulnerabilità delle chiese dell'Umbria*, CD-ROM, s.d.