



# Reforço das construções em terra

*A experiência do projeto SRP do Instituto de Conservação Getty*

Paulo B. Lourenço | ISISE, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho | [pbl@civil.uminho.pt](mailto:pbl@civil.uminho.pt)

Maria Pia Ciocci | ISISE, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho | [mariapiaciocci@gmail.com](mailto:mariapiaciocci@gmail.com)

*O Património cultural construído representa um bem valioso tendo em conta a sua importância histórica, cultural e económica. O valor intangível das construções históricas e monumentos inclui a integridade dos seus componentes como um produto único do seu tempo e local. No entanto, as estruturas das construções históricas apresentam, em muitos casos, uma elevada vulnerabilidade sísmica, que se traduz na possibilidade de dano considerável e/ou colapso quando sujeitas a desastres provocados pela Natureza ou pelo Homem.*

**F**ace à sua importância, a proteção do Património deve ser assegurada por forma a possibilitar, também, a transferência dos seus valores para as gerações futuras. As medidas, sejam de conservação ou de reforço estrutural, devem respeitar os princípios estabelecidos na moderna abordagem de intervenção do Património cultural. O Projeto de Reforço Sísmico (SRP no original), do Instituto de Conservação Getty, EUA, insere-se neste contexto, com o objetivo de desenvolver uma metodologia para a avaliação e mitigação do risco sísmico que, suportada em quatro casos de estudo representativos do Peru, possa ser aplicada a construções existentes em terra na América Latina e nos países em desenvolvimento no resto do mundo.

## A proteção das construções do Património cultural

As construções antigas e monumentos são particularmente vulneráveis à ação dos sismos devido, principalmente, à utilização de materiais frágeis e à inexistência de ligações adequadas entre os vários elementos estruturais. Esta vulnerabilidade é habitualmente ampliada pela falta de manutenção e pela aplicação de medidas de conservação e de reforço inadequadas.

É bem conhecido que a proteção de construções pertencentes ao património cultural requer uma abordagem multidisciplinar para lidar com a sua especificidade, através um conjunto de fases semelhantes às que são utilizadas na medicina:

- Análise da informação histórica (anamnese);
- Identificação de causas para o dano e degradação existentes (diagnóstico);
- Seleção das técnicas de intervenção (terapia);
- Verificação da eficácia das intervenções (controlo).

Neste cenário, a avaliação de segurança estrutural é uma etapa essencial para definir, e também verificar, a necessidade e a extensão das medidas de intervenção. Esta avaliação é condicionada por inúmeras incertezas, rela-

cionadas com a geometria e constituição da estrutura, as propriedades dos materiais existentes, os métodos de análise estrutural utilizados, entre outros fatores. Adicionalmente, os regulamentos utilizados em construções novas, por exemplo em termos de estados limite de serviço e último, podem não ser precisos, nem fiáveis quando aplicados sobre as estruturas históricas. Desta forma, a experiência e qualificação dos profissionais envolvidos são requisitos essenciais e indispensáveis.

Fixados os limites de segurança adequados, cada intervenção de conservação e reforço estrutural (“tradicional” ou “inovadora”) deve ser estabelecida caso a caso. A intervenção deve ser mínima, de forma a que garanta o menor dano possível e respeite o valor histórico e cultural da construção. De facto, a abordagem moderna de intervenção no património cultural recomenda uma atuação cuidada que garanta os princípios de autenticidade, reduzida invasividade, reversibilidade, compatibilidade, durabilidade e segurança. Desta forma, a solução final deve resultar de um processo iterativo que otimiza estes parâmetros.

“

**A especificidade das estruturas do Património, com a sua história complexa, requer a organização de estudos em fases semelhantes às que são utilizadas em medicina: anamnese, diagnóstico, terapia e controlo.**

”

## Projeto de Reforço Sísmico (SRP)

No domínio da defesa do património cultural construído em terra encontra-se em curso o Projeto de Reforço Sísmico (SRP no original), que pretende investigar o comportamento estrutural das construções existentes em terra e mitigar a sua vulnerabilidade sísmica, utilizando uma combinação de técnicas e materiais de construção tradicionais com uma metodologia que incorpora tecnologia avançada.

O Peru foi selecionado como o país ideal para realizar este projeto, tendo em conta a grande riqueza e diversidade de edifícios construídos em terra (com exemplos que datam de há 4000 anos). Devido à sua vulnerabilidade, bem como ao elevado grau de perigosidade sísmica do Peru, estas estruturas correm o risco de serem irremediavelmente perdidas, como demonstrado após os eventos sísmicos do passado. Por exemplo, na área de Pisco (Peru), no terramoto de 2007 com uma magnitude próxima de 8.0, cerca de 80%



dos edifícios em terra foram danificados e destruídos. As razões apontadas como mais importantes para a ocorrência deste desastre estão relacionadas com a qualidade de construção inadequada e ausência de técnicas de reforço e manutenção apropriadas. No projeto SRP, foram selecionados quatro edifícios representativos do patrimônio cultural construído que integram em si diferentes valores históricos, sociais e arquitetônicos (figs. 1-4):

- Catedral de Ica (Ica, século XVIII);
- Igreja de Kuño Tambo (Acomayo, século XVII);
- Hotel do Comércio (Lima, século XIX);
- Casa Arones (Cusco, século XVII).

### Atividade realizada e em curso

A definição da geometria e morfologia dos elementos estruturais, juntamente com a análise histórica, representaram os primeiros passos para o conhecimento dos edifícios considerados. Dada a dificuldade em entender corretamente a sua complexidade, os métodos de investigação tradicionais foram integrados com tecnologias avançadas. Como exemplo, refere-se o recurso a fotogrametria aplicada aos frescos antigos da Igreja de Kuño Tambo ou a termografia usada para investigar estruturas invisíveis da Catedral de Ica e do Hotel do Comércio. Foi possível obter conhecimento detalhado e fiável para as quatro estruturas, considerando a sua conceção, as técnicas construtivas usadas, os processos de degradação e dano, as alterações e reparações e, finalmente, o estado atual.



2



3

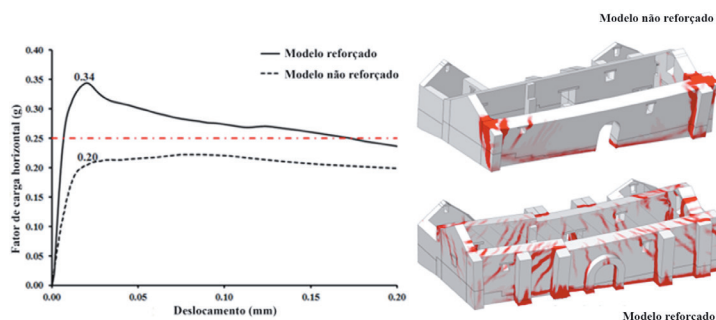


4



5

6







7



8



9

- 2 | Igreja de Kuño Tambo.  
© Instituto de Conservação Getty
- 3 | Hotel do Comércio.  
© Instituto de Conservação Getty
- 4 | Casa Arones.  
© Instituto de Conservação Getty
- 5 | Estudo experimental de possíveis sistemas de reforço.  
© Universidade Católica do Peru
- 6 | Capacidade sísmica e mecanismos de colapso obtidos para o modelo numérico (não reforçado e reforçado) da Igreja de Kuño Tambo.
- 7 | Implementação das medidas de conservação e reforço na Igreja de Kuño Tambo.  
© Instituto de Conservação Getty
- 8 | Implementação das medidas de conservação e reforço na Igreja de Kuño Tambo.  
© Instituto de Conservação Getty
- 9 | Implementação das medidas de conservação e reforço na Igreja de Kuño Tambo.  
© Arquiteto Juan Carlos Menendez Acurio

medidas como a introdução de tirantes e de vigas-cintas em madeira, ou a construção de contrafortes em terra, em qualquer dos casos, convenientemente ligados à estrutura original. As simulações numéricas, que incluem estas intervenções, permitiram concluir que as intervenções se traduzem num aumento significativo da capacidade sísmica das construções e numa quase eliminação dos mecanismos locais para fora do plano, permitindo uma melhor distribuição de esforços e um comportamento mais dúctil e integral do edifício (fig. 6).

Atualmente, encontra-se em curso a implementação das medidas de conservação e reforço na Igreja de Kuño Tambo (figs. 7-9). A intervenção a realizar na Catedral de Ica está planeada arrancar em 2018. O projeto SRP, que já obteve amplo consenso junto de uma comissão de revisores com reputados especialistas internacionais, prevê também a publicação de recomendações e organização de workshops de divulgação e partilha de valiosas informações obtidas, quer a profissionais, quer à comunidade científica em geral. Foram já realizados dois seminários para partilha de conhecimento e visita ao local que incluíram cerca de 100 profissionais peruanos (engenheiros, arquitetos, arqueólogos, conservadores e encarregados de obra) ■

Foram realizados mais de 300 ensaios nos laboratórios da Universidade Católica do Perú para os quatro casos de estudo, tendo em vista caracterizar as propriedades dos materiais, as ligações entre os elementos estruturais e os possíveis sistemas de reforço (fig. 5). Adicionalmente, ensaios *in situ* e não-destrutivos, nomeadamente ensaios sónicos e de identificação dinâmica, foram efetuados pela Universidade do Minho.

Para a análise estrutural dos edifícios foram desenvolvidos modelos computacionais avançados e complexos, praticamente únicos em

estruturas de terra, dado o nível de sofisticação e detalhe considerados. Trata-se de modelos numéricos de elementos finitos baseados em modelos de comportamento homogêneos. Foram realizadas análises estáticas e dinâmicas não-lineares para prever o nível de segurança atual dos edifícios, definindo a capacidade sísmica e os possíveis mecanismos de colapso.

Para as estruturas cujo nível de segurança foi considerado inadequado, como a Catedral de Ica e a Igreja de Kuño Tambo, foram desenvolvidos projetos de intervenção, que incluem