

Levantamento das características construtivas e análise da vulnerabilidade sísmica de edifícios tradicionais butaneses

T. Ilharco, A. A. Costa, J. M. Guedes, B. Quelhas, V. Lopes | NCREP – Consultoria em Reabilitação de Edificado e Património, Lda.
J. L. Vasconcelos | Atelier in.vitro

O NCREP foi responsável pelo levantamento das características construtivas e por uma análise sumária da vulnerabilidade sísmica de edifícios tradicionais butaneses (TBB). Este trabalho integrou-se no projecto “Bhutan: Improving Resilience to Seismic Risk” (Butão: Melhoramento da Resiliência ao Risco Sísmico), em particular na sua parte C: “Improving Seismic Resilience of TBB” (Melhoramento da Resiliência Sísmica de TBB), promovido pela Divisão para a Conservação de Sítios Patrimoniais do Departamento da Cultura do Ministério dos Assuntos Culturais do Butão. O trabalho desenvolvido pelo NCREP envolveu o estudo de 18 edifícios de construção em terra, os mais antigos com cerca de 200 anos, das aldeias de Pathari, Kabesa e Tana, Zome, ambas no distrito de Punakha (figura 1).

Este artigo apresenta algumas das acções realizadas no âmbito do trabalho (Ilharco et al, 2015), nomeadamente a caracterização dos principais aspectos construtivos destes valiosos exemplos da arquitectura vernacular butanesa, tendo como objectivo a melhor compreensão do seu comportamento estrutural de forma a promover a melhoria da sua resiliência ao risco sísmico.

Os Edifícios

A maioria dos TBB apresenta dois pisos e um sótão acessível. As áreas por piso variam entre 50 e 180 m², sendo a altura média entre pisos de 2,75 m. Os edifícios são essencialmente constituídos por paredes de taipa e pavimentos e cobertura de madeira. A espessura das paredes exteriores varia entre 58 e 77 cm. Em alguns casos, existem paredes interiores transversais em taipa no piso inferior, embora com ligações fracas às fachadas. Quase todas as paredes apresentam um embasamento de alvenaria de pedra ao nível do solo. No interior e nas fachadas principais dos primeiros andares existem algumas paredes em estrutura de madeira (*Ecra*) (figura 2).

Os pavimentos e as coberturas são constituídos por vigas de secção transversal variável entre 8x10 cm² e 16x22 cm². Em edifícios mais antigos aparecem vigas de secção circular com diâmetros até 18 cm. As vigas, que suportam as tábuas dos pavimentos e uma camada de barro e palha, encontram-se espaçadas entre 30 e 100 cm (figura 3). As coberturas são geralmente de duas águas cons-

- 1 | Edifício tradicional butanês (TBB).
- 2 | Parede interior de madeira (ecra).
- 3 | Secção transversal tipo de um pavimento de madeira.
- 4 | Curvas de vulnerabilidade para os TBB analisados em Pathari, Kabesa.
- 5 | Distribuição média de PRCs ao longo da altura dos TBB analisados em Pathari, Kabesa.

tituídas por quatro a seis asnas principais de madeira que suportam as madres, também de madeira. Por vezes apresentam uma pequena cobertura de duas águas elevada em relação à cobertura principal (*Jamtho*). A maioria das telhas de madeira tradicionais foi substituída por chapas onduladas de aço galvanizado.

Aspectos Sísmicos

Na superfície das paredes de taipa não foi observado qualquer detalhe construtivo ou de reforço que pudesse ser associado especificamente à melhoria do comportamento dos edifícios sob acções sísmicas. Como a maioria das paredes se encontrava intacta, não foi possível observar a eventual existência de qualquer detalhe deste tipo no seu interior. Apenas em alguns casos foram observados pedaços de madeira e pedras achatadas na ligação entre os alçados, em ambas as faces das paredes, num comprimento de cerca de 50 a 60 cm, funcionando, aparentemente, como medidas de melhoria do comportamento estrutural das paredes.

Os edifícios apresentavam em geral um estado razoável de conservação, embora com alguns danos estruturais que, associados a algumas configurações construtivas menos adequadas ao comportamento sísmico (por exemplo a existência de aberturas perto das extremidades das paredes e de elementos de parede em consola nos pisos superiores) constituem debilidades no caso da ocorrência deste tipo de acções.

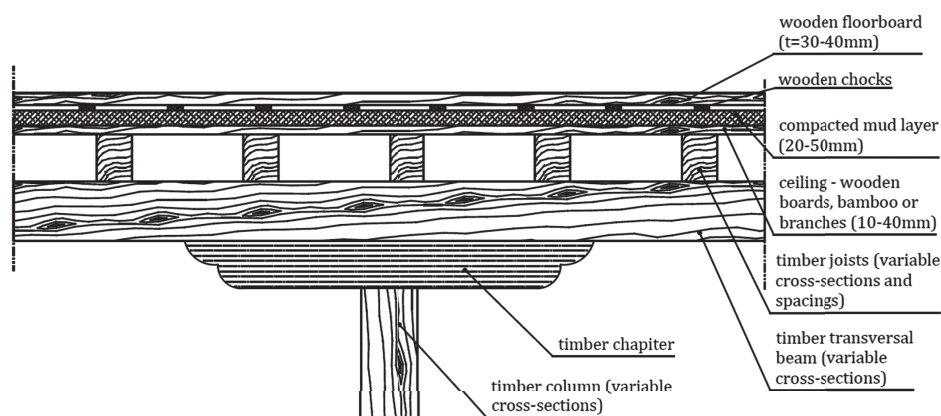
Análise de Vulnerabilidade

Uma análise sumária da vulnerabilidade permitiu estimar o nível de dano em diferentes edifícios para diferentes níveis hipotéticos de intensidade sísmica. Esta análise foi efectuada através do método macrossísmico e re-



correndo à proposta de Giovanazzi & Lagomarsino (2004), apesar da falta de informação sobre a aplicabilidade deste método para construções com paredes de taipa. O método envolve a análise, com algum detalhe, das características de cada edifício, como por exemplo a regularidade em planta e altura, a presença de paredes com capacidade resistente aos esforços de corte no seu plano (PRC) em ambas as direções e a continuidade em altura destas paredes. A título de exemplo apresentam-se, na figura 4, as curvas de vulnerabilidade obtidas para cada edifício analisado da aldeia de Pathari, Kabesa (intensidade de dano numa escala de 1 a 5 em função da intensidade sísmica na Escala Macrossísmica Europeia revista em 1998, EMS-98 (Grünthal et al, 1998)). Assinala-se que os índices de vulnerabilidade encontrados com este método são idênticos aos valores propostos para construções de adobe no Irão (Omidvar et al, 2012).

Paralelamente, foi calculada a percentagem de PRC por área útil de superfície de implantação dos edifícios. Dado que as construções analisadas não possuem diafragmas rígidos ao nível dos pavimentos, apenas foi considerada a contribuição das paredes de taipa/adobe. Ao nível da cobertura foram consideradas apenas paredes ou troços de parede com dimensão significativa e importância para o comportamento dos edifícios. A Figura 5 mostra que em ambas as direcções principais dos edifícios esta percentagem diminui ao longo da altura, resultado da existência de paredes de madeira nas fachadas principais nos pisos superiores, situação que pode não ser benéfica para a resistência sísmica dos edifícios. Note-se que o dano expectável pode ser consideravelmente mitigado se algumas soluções forem implementadas, nomeadamente se foram melhoradas as ligações entre paredes internas e externas e entre elementos estruturais verticais e horizontais. Para além



3

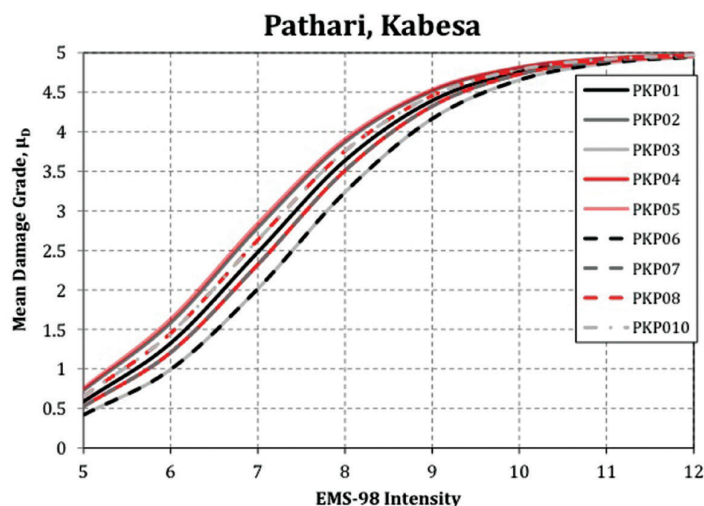
disso, foi ainda analisado o impacto de algumas configurações construtivas particulares, concluindo-se poderem ser fonte de activação de mecanismos de colapso locais, mesmo para a ocorrência de acções sísmicas moderadas (por exemplo, colapso de cunhais ou derrube de elementos da cobertura).

Os resultados obtidos com estas análises são fundamentais para propor soluções que melhorem as características anti-sísmicas dos TBB. No entanto, estes estudos não invalidam a necessidade de se efectuar uma análise mais profunda da vulnerabilidade dos TBB de forma a alcançar-se um melhor conhecimento do seu comportamento sísmico e poder definir-se as soluções de reforço mais adequadas. Em particular, a calibração das curvas de vulnerabilidade deste tipo de construção permitirá aplicar estas análises a TBB localizados noutras áreas de risco sísmico e calibradas para a realidade Butanesa. Finalmente, refere-se que levantamentos pós-sismo de edifícios de construção em terra danificados pelos sismos recentes no Butão podem e devem ser utilizados para calibrar toda a informação recolhida, já que permitem uma melhor compreensão do seu comportamento sísmico. ■

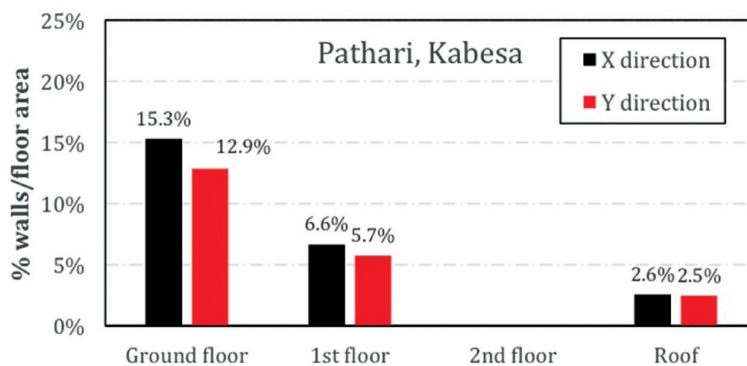
* Artigo redigido ao abrigo do antigo acordo ortográfico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ilharco, T., Vasconcelos, J.L., Costa, A.A. (2015) – Study of Typology of Bhutanese Rammed Earth Buildings. Pathari, Kabesa and Tana, Zome. Division for the Conservation of Heritage Sites of the Department of Culture – Ministry of Home and Cultural Affairs of Bhutan.
- Giovanazzi, S., & Lagomarsino, S. (2004) – A macroseismic method for the vulnerability assessment of buildings. 13th World conference on Earthquake Engineering, (p. peper 896). Vancouver, Canada.
- Grünthal, G., Musson, R. M., Schwarz, J., & Sticchi, M. (1998) – European Macroseismic Scale 1998, EMS-98. Luxembourg: Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie.
- Omidvar, B., Gatmini, B., & Derakshan, S. (2012) – Experimental vulnerability curves for the residential buildings of Iran. Journal of Natural Hazards, 60(2), p. 345-365.



4



5