

O GRANDE SISMO DE SICHUAN: IMPACTOS E LIÇÕES PARA O FUTURO

ALEXANDRE A. COSTA

Doutorando

FEUP

Porto - Portugal

MÓNICA A. FERREIRA

Doutorando

IST

Lisboa - Portugal

CARLOS S. OLIVEIRA

Prof. Catedrático

IST

Lisboa - Portugal

SUMÁRIO

O sismo de 12 de Maio de 2008 que ocorreu na província de Sichuan, originou um cenário de destruição ao longo de mais de 270 km, provocando um elevado número de perdas humanas que poderia ter aumentado drasticamente como consequência dos numerosos deslizamentos de terras que se verificaram após o evento. Neste artigo são apresentadas as informações mais relevantes associadas às características do sismo, assim como os principais impactos económicos e sociais da zona afectada, incluindo os danos e efeitos nos equipamentos de ensino (onde ocorreram 20% das mortes) e são referenciados alguns pontos envolvidos no processo de reconstrução. Uma análise mais detalhada dos principais sistemas estruturais e danos encontrados é também exposta, com particular interesse em estruturas com presença de betão armado.

1. INTRODUÇÃO

A 12 de Maio de 2008, na província de Sichuan, ocorre um dos sismos mais destruidores registados na China dos últimos 25 anos, referido na maioria das vezes como “O Grande Sismo de Sichuan 5.12”. Aliado à forte acção sísmica produzida pelo sismo que atingiu uma magnitude de 7.9 na escala de Richter, o incorrecto zonamento sísmico (e consequente acção sísmica de referência) em consonância com um parque habitacional inapropriado para a resistência sísmica, originou um cenário de destruição muito alargado relativamente aos danos observados e extensão destes, agravados pela reduzida profundidade focal que levou a colapsos “espectaculares” e aterradores.

Na sequência deste evento foi realizada, em Outubro de 2008, uma visita técnica inserida na 14ª Conferência Mundial de Engenharia Sísmica (14 WCEE) com a participação dos autores, de forma a assimilar e compreender todo o cenário originado pelo sismo, desde a zona afectada aos impactos económicos e sociais, passando pela análise de danos e cenário pós-sismo. De facto, do cenário encontrado, o que mais impressionou foi a violência do sismo e extensão de danos, ao longo de 270km de ruptura de falha, em que a maioria das cidades ficaram muito danificadas ou mesmo arrasadas.

O presente artigo pretende apresentar os pontos mais relevantes e importantes desta visita, assim como analisar os impactos e consequências deste sismo, na procura de melhorar o conhecimento no comportamento das estruturas, assim como a envolvente económica e social.

2. O SISMO: LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ZONA SÍSMICA

Esta catástrofe natural de proporções devastadoras (20º sismo mais mortífero da História moderna) deu-se no dia 12 de Maio de 2008 pelas 14:28:01 horas locais (06:28:01 UTC) e teve uma duração de 90 segundos, uma magnitude de 7.9 na escala de Richter e XI de intensidade máxima na escala de Mercalli-Sieberg. O epicentro localizou-se a sudoeste da China no condado de Wenchuan muito próximo da cidade de Yingxiu, localizado na zona montanhosa da província de Sichuan a 92 km da capital de província Chengdu (Figura 1 a). A violência deste fenómeno geológico foi sentida em variadas regiões da China e em países vizinhos tais como Hong Kong, Macau, Taiwan, Vietname, Tailândia, Mongólia, Bangladesh, Nepal, Índia, Paquistão e Rússia.

A origem do terramoto deveu-se ao resultado do movimento para noroeste da placa tectónica Indiana contra a placa Euro-asiática cujo movimento se dá a uma velocidade de 50 mm/ano. Esta convergência, ao longo de milhares de anos, deu origem à formação da cordilheira dos Himalaias e montanhas na província de Sichuan (zona B na Figura 2 a), do planalto Tibetano (zona A) e da planície da província de Sichuan (Zona C).

O facto de se tratar de um contacto inter-placas deu origem a inúmeras falhas tectónicas ao longo desta linha de ruptura, sendo uma destas (Longmenshan, apresentada na Figura 1 a) a que deu origem ao sismo. Apesar do mecanismo de ruptura da falha(s) ter sido complexo e ainda em discussão (e.g. ruptura múltipla de diferentes falhas devido à modificação do mecanismo de ruptura ao longo da zona de falha [1]), a extensão de ruptura foi de aproximadamente 270 km com uma largura de falha estimada em 20 km. Este sismo, com profundidade focal de 14 km, foi sentido em todo o país, destruindo edifícios, redes viárias e infraestruturas ao longo dos 270 km da falha e zonas circundantes (conforme a Figura 2 b) exemplifica), tendo também sido sentido nos edifícios mais altos localizados na costa Leste, como sejam as cidades de Beijing e Shanghai, a 1500 e 1700 km do epicentro, respectivamente. A zona afectada pelo sismo atingiu 45.97 milhões de habitantes e uma área total de 440.000 km² (417 distritos e cidades) [2].

As localidades visitadas pela equipa estão referenciadas na Figura 1 b), juntamente com a localização do epicentro de forma a facilitar a interpretação dos danos ao longo deste trabalho.

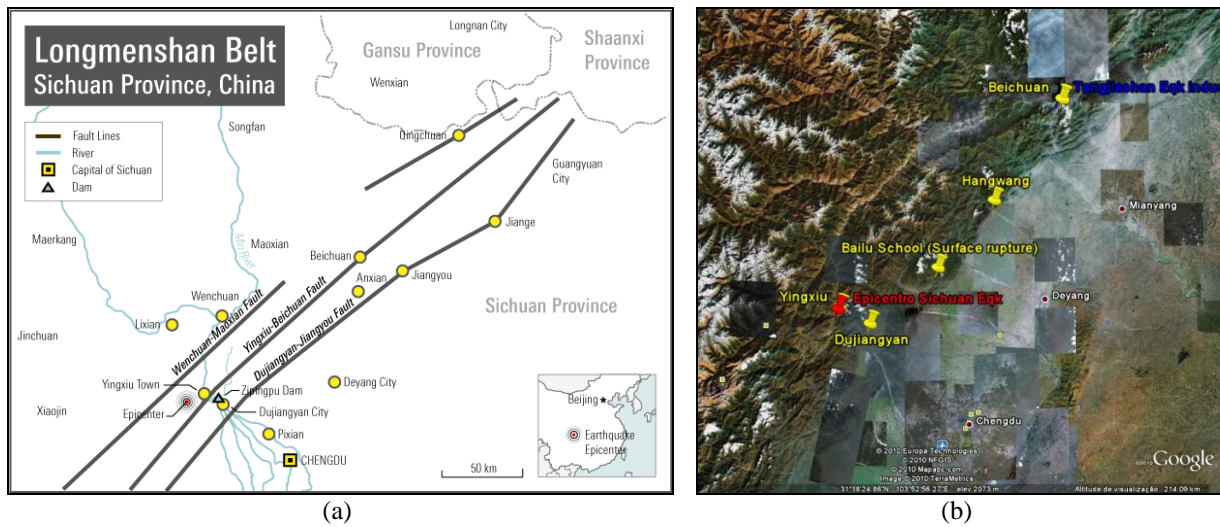


Figura 1: a) localização do epicentro e linhas de falha [ProbeInternational]; b) localidades visitadas

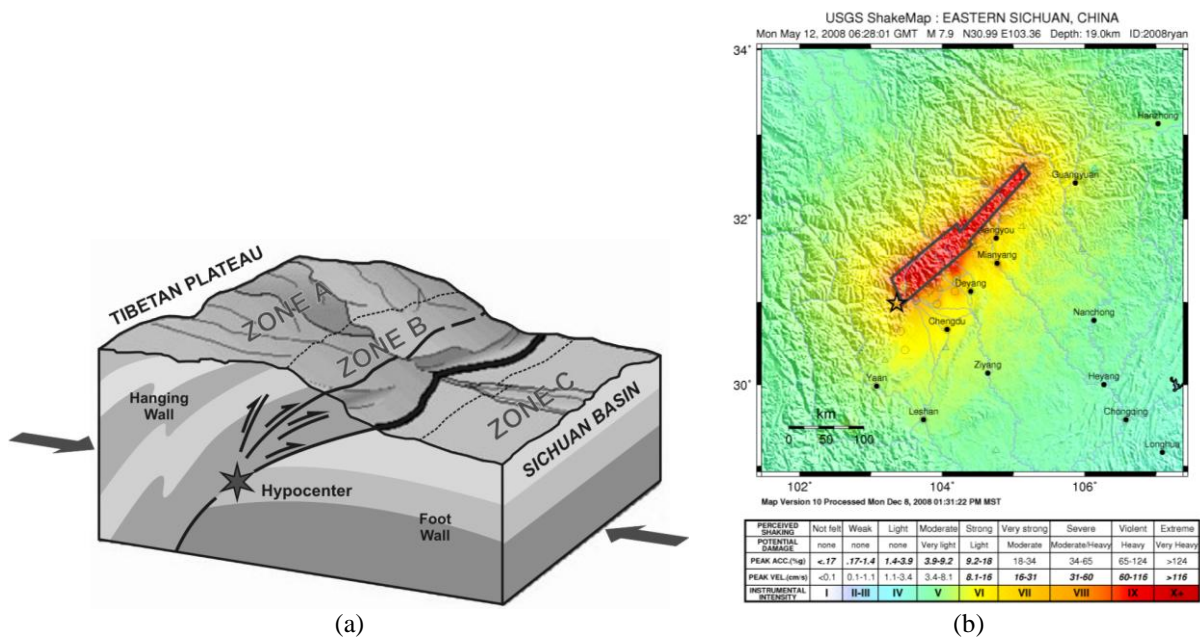


Figura 2: Representação do sismo: a) hipocentro e localização da falha; b) shakemap [USGS].

Conforme a Figura 2 b) apresenta, a acção sísmica foi bastante violenta e alargada a uma vasta área, chegando mesmo a superar 1.0 g em algumas localidades, como na cidade de Beichuan e que irá ser apresentada ao longo deste trabalho. Outro factor importante que influenciou significativamente o comportamento das estruturas foi a duração do sismo de aproximadamente 90 segundos (para níveis de aceleração significativos) com uma componente vertical muito importante (0.65g) e superior aos valores de aceleração horizontais (0.60g), conforme apresentado na Figura 3 a 30 km da zona de ruptura da falha.

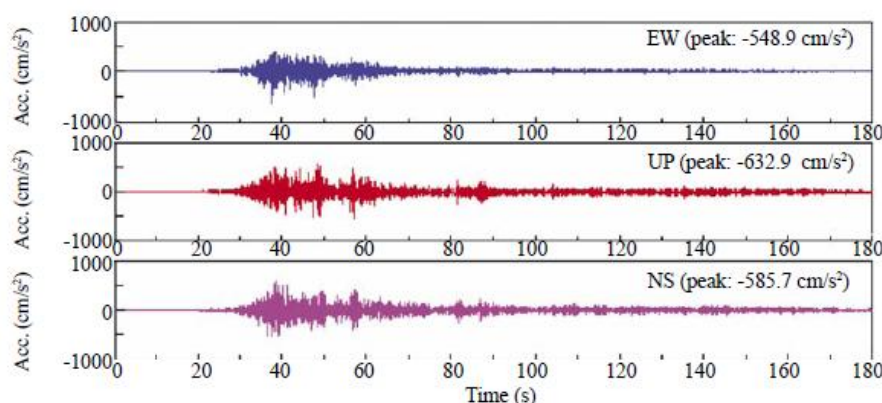


Figura 3: Registo do sismo na estação Bajiao, na cidade de Shifang [2], a aproximadamente 30 km da zona de ruptura e 70 km do epicentro

Os dados mais relevantes do sismo e suas consequências encontram-se na Tabela 1. A informação foi recolhida maioritariamente logo após o evento, sendo de difícil actualização dada a barreira linguística e algumas falhas de informação do próprio governo chinês, como no número total de vítimas.

Tabela 1 - Dados sobre o sismo*

Data	12.05.2008
Hora	06:28:01 (UTC)
Duração	90 segundos
Magnitude (M_w)	7.9
Intensidade máxima	XI
Comprimento de ruptura	270 km
Área afectada	440.000 km ² (417 distritos e cidades)
População afectada	45,97 milhões
Mortos	69.195, com 18.392 pessoas dadas como desaparecidas
Feridos	374.177
Desalojados	± 5.000.000
Crianças órfãs	± 5.000
Perdas económicas	USD 146 mil milhões (4% do PIB da China de 2008)
Custo da reconstrução (só para as áreas mais afectadas – 51 distritos e cidades)	USD 150 mil milhões
Tempo de reconstrução estimado	3 anos
Cidades mais afastadas que sentiram o sismo (até 2000 km)	Pequim, Hong Kong, Shanghai, Bangkok, Taipé

* Dados relativos a Agosto de 2008

A cidade de Yingxiu é a que se encontra mais próxima do epicentro (Figura 1 b), sendo também uma das mais atingidas com colapso de praticamente todos os edifícios da cidade, conforme é possível observar na Figura 4.



Figura 4: Cidade de Yingxiu completamente arrasado pelo sismo

Durante a visita efectuada, foi possível observar a ruptura superficial da falha ao longo do seu comprimento em diferentes locais (Yingxiu, Bailu e Beichuan), atingindo um movimento vertical de aproximadamente 2 metros. Em outros locais (não visitados pelo grupo), foram encontrados movimentos verticais de 10 metros [3], o que mostra a violência deste sismo e a importância do mecanismo de ruptura nos danos observados.



(a)



(b)

Figura 5: Ruptura superficial em Yingxiu, com representação da linha da falha (a vermelho) e posição da estrada após o sismo (linhas verdes): a) margem esquerda do rio; b) margem direita do rio



(a)



(b)

Figura 6: Escola de Bailu com ruptura superficial da falha: a) antes; b) depois do sismo



(a)



(b)

Figura 7: Ruptura superficial na cidade de Beichuan

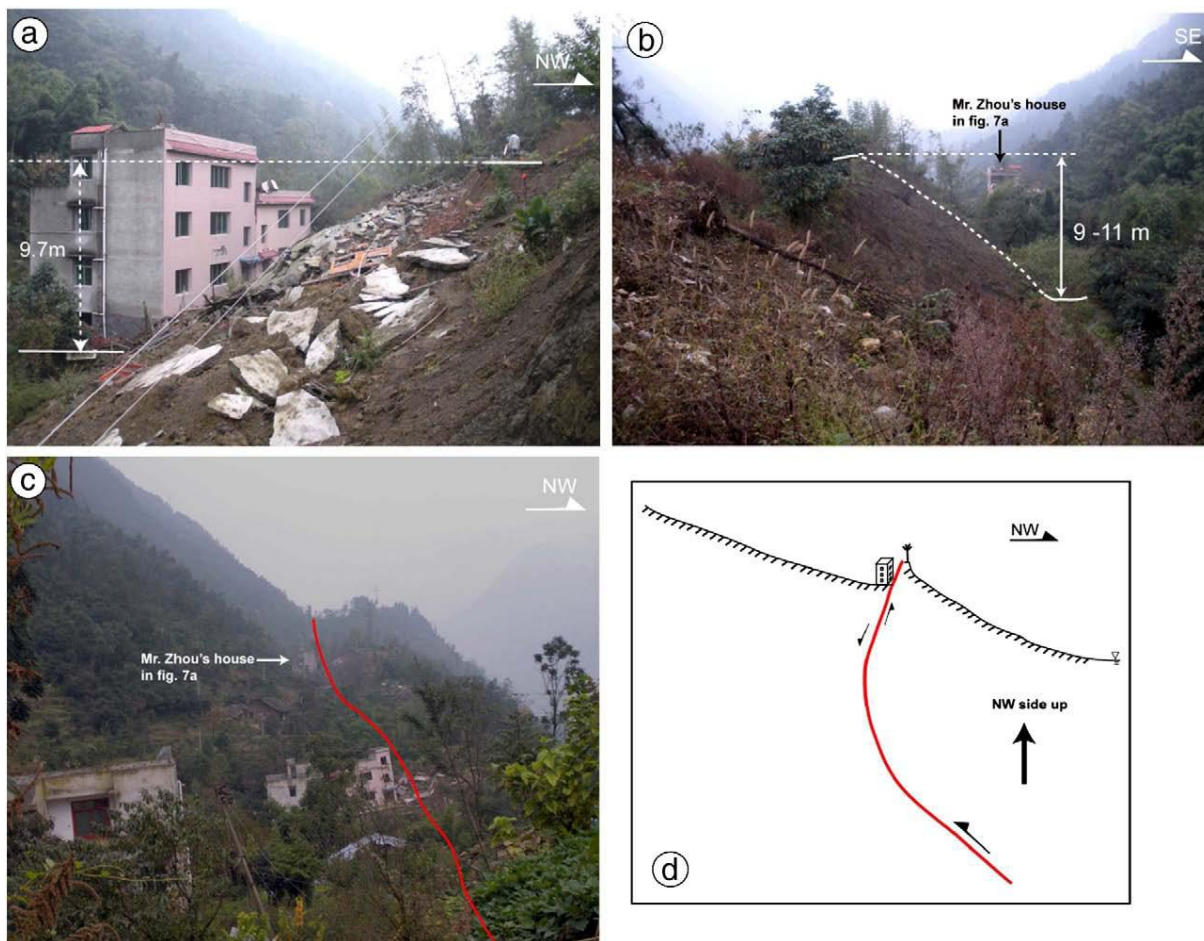


Figura 8: Imagens do deslocamento vertical de 10 metros observado após o sismo [3]

3. IMPACTOS

O forte impacto que o evento causou deveu-se sobretudo ao facto de estarmos perante uma região de elevada sismicidade, cercada por cadeias montanhosas e rios, com elevada densidade populacional e uma população de rendimentos bastante reduzidos - factores que invariavelmente afectam a qualidade construtiva, tornando-a uma zona bastante vulnerável. O sismo desencadeou outros desastres geológicos como sejam os deslizamentos de terra e rochas, deslizamentos de lamas, formação de dezenas de lagos; uma série de acidentes que privou a chegada imediata dos socorros, contribuindo para o grande número de mortos e feridos verificados. Nas áreas rurais o sismo teve um impacto desastroso devido à elevada vulnerabilidade das construções aí existentes, uma vez que o regulamento sismo-resistente não contemplava as construções rurais.

Os impactos causados pelo sismo foram de várias ordens como seja físico (habitações, equipamentos especiais, redes de transportes, redes de abastecimento, etc.), económico, social, cultural, entre outros que geraram perdas incalculáveis. De seguida descrevem-se alguns dos impactos verificados.

3.1. Natureza

Um dos maiores problemas causados pelo sismo está relacionado com a formação de 256 lagos distribuídos ao longo da ruptura da falha e dos canais do rio, que tiveram origem em deslizamentos de terras, pedras e blocos ao longo das encostas. Destes, 21 apresentavam potencial para causas sérios acidentes [4]. O maior e mais problemático foi o “Tangjiashan Mountain Lake”, formado a montante da cidade de Beichuan, e que poderia ter aumentado substancialmente o número de vítimas dada a gigantesca quantidade de água acumulada que poderia

desencadear grandes torrentes e enxurradas, caso se desse uma ruptura do sistema de contenção criado pelo sismo:

- 30 de Maio de 2008: 117 milhões m^3 de água acumulada com 64 metros de altura de água [2];
- 7 de Junho de 2008: 240 milhões de m^3 de água acumulada (aproximadamente 92 000 piscinas olímpicas) com 71 metros de altura de água com 600 metros de largura de barragem. A área total abrangida pelas águas desta barragem causada pelo sismo foi de 300 000 m^2 .

A Figura 9 pretende demonstrar a dimensão dos deslizamentos de terras e pedras ocorrido durante o sismo, assim como a imponência do lago formado, comparativamente à dimensão da cidade imediatamente a jusante (Beichuan).



Figura 9: Deslizamentos de terras e pedras observados em Beichuan, e localização do “Tangjiashan Mountain Lake”. De realçar a escala dos edifícios comparativamente com os deslizamentos.

A formação deste imenso lago transformou-se na maior preocupação das autoridades chinesas logo após o sismo, pois a jusante deste encontrava-se a cidade de Mianyang com 1,3 milhões de pessoas (a cidade de Beichuan foi evacuada após o sismo) que corriam um risco elevado, visto a barragem formada pelos deslizamentos de terras encontrar-se em risco de ruptura iminente devido à continuada elevação da altura de água. Embora o problema tivesse sido controlado dentro de um período de tempo recorde, recorrendo a drenagem da água através da barragem e dragagem, foram realojadas 200 mil pessoas para localidades fora das zonas de perigo de inundação.



Figura 10: Evolução da formação do lago ao longo de 5 dias (Fonte: Chinadigitaltimes.net)



Figura 11: Operações para drenagem do lago: a) utilização de equipamento militar (Fonte: AP Photo/Xinhua/ Li Gang) ; b) abertura do canal de drenagem, com destaque para as dimensões de um “dumper” comparativamente ao canal de drenagem do lago (Fonte: Xinhua Photo).

De referir que em 1786 nesta mesma província de Sichuan, a ruptura de um lago formado por deslizamento de terras após um sismo levou à morte de 100.000 pessoas [5].

3.2. Social

Dois anos se passaram e não se sabe ao certo o número de vítimas mortais; estima-se que sejam perto de 90.000, entre as quais 19.000 crianças (cerca de 20% das vítimas) que se encontravam nas escolas.

Não é possível falar apenas em impactos estruturais e económicos, os mais “facilmente” mensuráveis, sem reflectir sobre os impactos sociais, culturais, os efeitos psicológicos adversos e o tempo de recuperação das vidas destas pessoas, se é que é possível recuperar algum dia. O impacto da perda destas vidas na economia e no tecido social das regiões devastadas é tremendo. Num país em que impera a política do filho único as famílias ficaram completamente destruídas; para mais, na China as crianças e jovens têm um papel primordial pois, para além de constituírem a esperança para propulsionarem o avanço e riqueza de uma região, têm um papel muito importante no apoio dos familiares mais idosos.

De acordo com a imprensa, na província de Sichuan encontram-se mais de 5000 crianças órfãs e um número similar para os idosos que perderam as suas famílias. O Governo chinês decidiu fornecer 600 yuans (cerca de € 60) como subsídio mensal a cada um dos órfãos, idosos ou portadores de deficiência sem família nas regiões atingidas para garantir as condições básicas de subsistência [6].

3.3. Escolas e hospitais

As escolas e hospitais públicos colapsaram como “baralhos de cartas”, enquanto outras construções se mantiveram de pé a poucos metros. Este é o comportamento que não se espera de um edifício público, que tem o dever de estar bem projectado e seguir todas as recomendações que a lei obriga. Curiosamente foram precisamente os edifícios públicos que mais colapsaram como escolas, hospitais, lojas ou edifícios de escritórios. A título de exemplo, em Dujiangyan, a 50 km a sul de Wenchuan, registaram-se 990 mortes em edifícios escolares e 345 em hospitais. Em Shifang, cidade entre Chengdu e Wenchuan, 900 alunos ficaram presos com a queda de parte da escola na qual se encontravam no momento do sismo. Na cidade de Beichuan, mais de 1.000 estudantes morreram após o colapso de dois edifícios de 6-7 pisos da Beichuan High School.

As causas que levaram ao desmoronamento de mais de 7.000 escolas e à morte de 19.000 crianças deveram-se à incorrecta aplicação dos regulamentos sismo-resistentes, à ausência de reforço nas estruturas, má qualidade dos materiais, construção demasiado rápida, suborno, corrupção, incorrecto zonamento sísmico das áreas que ofereciam maior risco sísmico e inadequado coeficiente de importância atribuído aos equipamentos escolares. Na China, a classe de importância dos equipamentos escolares é a 3 (de 1 a 4, sendo 1 a mais importante), estando muito próxima das construções correntes, correspondendo-lhe apenas a acção sísmica de referência [4].

Muitas das construções escolares são em alvenaria confinada de 4 ou 5 pisos ou não reforçadas com 1 ou 2 pisos, ao contrário da maior parte dos edifícios públicos cujas construções são em betão armado e que conseqüentemente, exibiram um melhor comportamento sísmico.

Sabe-se também que as instalações escolares localizadas nas áreas rurais da China apresentam padrões construtivos bastante fracos, desde a década de 80, devido à falta de fundos escolares e incapacidade para pagar as empreitadas.

Note-se também que, até à data do sismo, esta área da China estava classificada como de risco moderado, devido à fraca actividade sísmica que se associava ao sistema de falhas de Longmenshan. No entanto, o perigo geral para a região era conhecido pelo menos desde 25 de Agosto de 1933, quando um sismo de magnitude 7.5 (localizado a 90 km NE do actual) atingiu a região, matando 9.000 pessoas. O fraco sistema construtivo existente combinado com a forte acção sísmica teve resultados catastróficos.

As zonas que sofreram relativamente poucos danos dentro da província de Sichuan esforçaram-se por receber os alunos cujas escolas tinham sido destruídas ou danificadas. A cidade de Neijiang, da província de Sichuan, permitiu até 28 de Maio de 2008, a entrada de mais de 300 alunos do ensino primário e secundário das regiões afectadas, enquanto outros estudantes foram transferidos para Chengdu, capital da província. Até 26 de Maio, os institutos de ensino superior de Sichuan receberam um total de 28.761 estudantes das áreas mais atingidas. Outras províncias e municípios também ofereçam políticas favoráveis aos alunos afectados, como seja a simplificação do processo de inscrição, a isenção de propinas e apoio financeiro. O município de Chongqing recebeu mais de 1.500 alunos até 25 de Maio de 2008 [7].

Embora tenham sido feitos todos os esforços para não haver uma perturbação muito prolongada no ensino, surgem problemas associados ao voltar “à normalidade” do sistema de ensino e que se prende com a deslocalização e conseqüente separação das famílias; as crianças na maior parte das vezes têm de se separar dos seus familiares, tendo estes afastamentos conseqüências psicológicas e no rendimento escolar muito graves.

4. COMPORTAMENTO DAS CONSTRUÇÕES

A zona afectada por este evento estava denominada no regulamento de dimensionamento sísmico Chinês como zona de moderada sismicidade, com intensidade sísmica máxima de VII na escala EMS-1998. De acordo com este grau de sismicidade, os níveis de comportamento que os edifícios estariam preparados, tendo em conta o dimensionamento sísmico seria, no máximo de “Não colapsar” para uma aceleração base máxima de 0,22 g, conforme apresenta a Tabela 2.

Tabela 2. Critérios de dimensionamento sísmico para a zona afectada

Nível do evento	PGA (g)	Dimensionamento
Frequente (60 anos)	0.035	Sem dano
Básico (475 anos)	0.1	Reparável
Raro (2475 anos)	0.22	Não colapsar

No entanto, o nível de intensidade VII foi largamente ultrapassado numa extensão de aproximadamente 100 km paralela à falha (a cidade de Chengdu encontra-se a aproximadamente 100 km do epicentro). A intensidade variou entre VIII e X, chegando mesmo a atingir a intensidade XI em alguns locais, como as cidades de Yingxiu e Beichuan. Uma comparação entre as acelerações máximas prescritas pelo regulamento sísmico Chinês para as zonas afectadas e as estimadas encontra-se na Tabela 3.

Tabela 3. Comparação entre a aceleração máxima de dimensionamento e registada

Localização	Regulamento	Acção sísmica registada
Beichuan	0.1 g	0.7 – 1.0 g
Yingxiu	0.1 g	0.5 – 0.6 g
Dujiangyan	0.1 g	0.2 – 0.4 g
Chengdu	0.1 g	≈ 0.1 g

Este evento superou qualquer estimativa estabelecida no zonamento sísmico Chinês, deixando antever os elevados danos verificados na zona afectada. Para além disso, embora bastante montanhosa, a zona afectada pelo sismo apresenta elevada densidade populacional (estimada em 46 milhões de pessoas, um número quatro vezes superior à população de Portugal), sendo a área abrangida por uma intensidade superior à regulamentar (VII) aproximadamente de 54.000 km² (61% do território de Portugal Continental).

No entanto, e comparando com os dois sismos mais catastróficos de sempre (relativamente a perdas humanas provocadas directamente pelo sismo) de que há registo e ocorridos na China, constata-se que a tecnologia de construção tem evoluído, reduzindo assim o número de perdas humanas, no entanto necessita ainda de bastante aperfeiçoamento essencialmente em zonas onde o poder económico é muito reduzido, de forma a minimizar as perdas económicas e humanas. Os números apresentados na Tabela 4 diferem entre os números oficiais divulgado pelas entidades chinesas e o número estimado, especialmente para o sismo de Tangshan.

Tabela 4. Comparação com os sismos mais mortíferos de sempre

Data	Localização	Magnitude	Intensidade máxima	Perdas humanas	Nº. edifícios danificados	Perdas económ. (€)
23 Janeiro 1556	Hua, Shaanxi	8.0 (estimado)	XI (estimado)	830.000 (estimado)	-	-
8 Julho 1976	Tangshan, Hebei	7.8	XI	242.769 (oficial) 665.000 (estimado)	8 milhões	3 biliões
12 Maio 2008	Wenchuan, Sichuan	7.9	XI	± 88.000	21 milhões	90 biliões

4.1. Caracterização do tipo de construção de edifícios correntes

A visita efectuada pela equipa a diferentes locais, desde zonas rurais a grandes centros urbanos, permitiu dividir os edifícios em diferentes categorias: alvenaria de tijolo não reforçada (1-2 pisos), alvenaria de tijolo confinada até 6-7 pisos (normal; com fachada do rés-do-chão (R/C) em betão armado; com R/C em estrutura porticada em betão armado); betão armado (porticada até 10 pisos); outras (metálicas; “core structures”; madeira). De referir que esta última categoria denominada de *outras* deve-se ao facto de terem sido encontradas em número mais reduzido quando comparadas com as outras categorias, sendo as construções em alvenaria confinada as mais correntes e em maior número na zona afectada pelo sismo, assim como estruturas em betão armado. Desta forma apenas as tipologias estruturais encontradas em maior número serão apresentadas com maior detalhe.



Figura 12: Edifícios em alvenaria estrutural não reforçada: a) em construção; b) colapso

De referir que o sistema estrutural de alvenaria confinada nas construções existentes não possuía montantes verticais de betão armado nas aberturas, mas continham vigas nas aberturas de vãos.

As paredes, em tijolo maciço, tinham cerca de 25 cm de espessura composta por duas folhas e ligadores. Os vãos das lajes vencem aproximadamente 4 metros. Estes edifícios, considerados de altura reduzida, chegavam a ter 6 pisos aumentando a sua vulnerabilidade perante as cargas verticais existentes e reduzida resistência sísmica. Os montantes verticais em betão armado eram, na sua maioria, constituídos por 4 varões $\phi 12-16$ lisos, tendo sido encontrados também varões nervurados essencialmente em vigas.



Figura 13: Sistema estrutural em alvenaria confinada com “shear connectors” (Beichuan)

Nos edifícios com estrutura do R/C em betão armado, as armaduras utilizadas já tinham uma secção mais significativa e influente no comportamento da estrutura, encontrando-se facilmente armaduras com $\phi 20$ nos pilares e vigas.



Figura 14: Restos de estrutura em alvenaria confinada com fachada do R/C em betão armado (Hanwang)



Figura 15: Edifício com estrutura em alvenaria confinada com pórticos de betão armado no R/C (Yingxiu)

Os pisos eram constituídos na sua maioria por painéis pré-fabricados alveolados em betão armado, conforme representado na Figura 16. A deficiente ligação entre estes painéis e também à estrutura resistente e insuficiente rigidez no plano, não conferindo o efeito de diafragma, foi um dos factores que agravou o seu comportamento sísmico.

A ligação das vigas às lajes pré-fabricadas é realizada na maioria das vezes por varões lisos de pequeno diâmetro na zona de momentos negativos, podendo levar ou não uma pequena camada de betão pela parte superior dos painéis de laje.



Figura 16. Constituição dos painéis de laje (Hanwang): a) pormenor; b) ligação às vigas; c) dano mais correntemente observado (deficiente ligação entre elementos)

As estruturas em betão armado são utilizadas essencialmente para edifícios com um maior número de pisos (superior a 6-7), sendo também abundante na zona visitada. Neste tipo de edifícios, com um sistema maioritariamente em pórtico (para um número total de pisos inferior a 10) com vãos de aproximadamente 6 metros, os pisos são constituídos por lajes em betão armado ou painéis pré-fabricados (em menor número), tendo sido encontrado um número significativo de edifícios com um bom detalhe sísmico ao nível dos nós e ligação entre elementos verticais e horizontais. Contudo, nem sempre foi possível verificar o sistema estrutural completo dos edifícios durante a visita pois as inspecções feitas não foram detalhadas e na sua maioria feitas pelo exterior. Foram também encontrados, em complexos industriais, edifícios pré-fabricados com estrutura vertical portante em pilares pré-fabricados em betão armado, com painéis de alvenaria de enchimento e cobertura metálica.



Figura 17: Pavilhão industrial com estrutura pré-fabricada, painéis de enchimento em alvenaria e cobertura metálica (Hanwang)

4.2. Danos observados em edifícios correntes

4.2.1. Alvenaria confinada

Não foram observados colapsos fora-do-plano neste tipo de alvenaria, comprovando que a ligação dos panos de alvenaria à estrutura confinante e a carga vertical evita este tipo de mecanismo. No entanto, a existência de grandes aberturas no R/C potenciou o colapso por *soft-storey* neste tipo de estruturas sendo especialmente notório quando as estruturas estavam dispostas com a menor área de paredes na direcção de maior excitação. Um bom exemplo deste tipo de comportamento foi exibido por uma escola em Beichuan, constituída por 3 edifícios isolados, semelhantes e em forma de U. Conforme a Figura 18 apresenta, o edifício com as paredes de alvenaria orientadas perpendicularmente à direcção principal do sismo colapsou por mecanismo de *soft-storey*, ao contrário dos outros dois que apesar de exibirem danos, resistiram por efeito do confinamento dos painéis de alvenaria.



Figura 18: Escola em Beichuan com 3 edifícios semelhantes e colapso de um deles por *soft-storey*

Este foi um dos tipos de colapso mais observados, provocado essencialmente por dois motivos: igual resistência de corte basal da estrutura nos diferentes pisos nos edifícios de alvenaria confinada (Figura 19, onde é possível observar um edifício ainda em construção que continha as mesmas secções em altura); em edifícios com frontal no R/C em betão armado ou estrutura porticada em betão armado no R/C, a diferença de rigidez na transição para o primeiro piso provocou o *soft-storey* do 1º piso (Figura 20) ou mesmo o colapso da estrutura suportada (Figura 14 e Figura 21). Por vezes essa diferença de rigidez, aliada a uma ausência de paredes de alvenaria na

fachada do edifício, potenciou o colapso por *soft-storey* da estrutura porticada em betão armado do R/C, observada também em alguns casos na cidade de Beichuan (Figura 22).



Figura 19: Colapso de edifícios em alvenaria confinada por *soft-storey* devido a igual resistência de corte basal em altura



Figura 20: Colapso por *soft-storey* do 1º piso devido à mudança de rigidez em altura: a) Yingxiu; b) Hanwang



Figura 21: Frontal em betão armado, com colapso da restante estrutura: a) Escola em Hanwang; b) Edifício com “drift” residual (Hanwang)



Figura 22: Colapso por *soft-storey* da estrutura porticada do R/C em betão armado (Beichuan) com restante estrutura em alvenaria confinada: a) vista geral; b) pormenor

Apesar da maioria dos colapsos terem ocorrido em edifícios com estrutura de alvenaria confinada, essencialmente pela sua elevada altura para este tipo de estrutura resistente, não foram observados destacamentos entre os elementos de confinamento e os painéis de alvenaria. Aliás, a ruptura acontecia mesmo por tracção nos blocos e não na ligação destes aos montantes verticais em betão armado, como a Figura 23 representa da melhor forma. Assim, é possível concluir que a ligação dos painéis de alvenaria à estrutura de confinamento (montantes e vigas) é eficiente mesmo sem a utilização de “shear-connectors” (como na Figura 13).

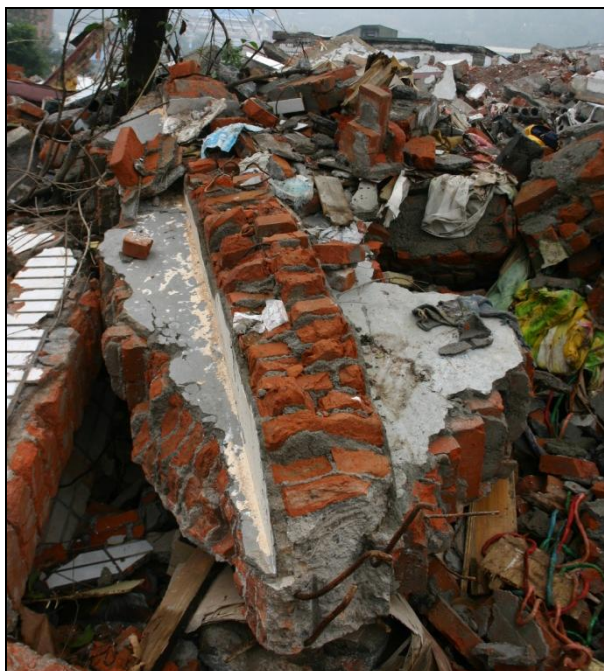


Figura 23: Ligação eficiente entre alvenaria confinada e elementos de confinamento (Hanwang)

4.2.2. Betão armado

As estruturas em betão armado comportaram-se de uma forma geral melhor que as estruturas de alvenaria confinada. No entanto, esse comportamento foi insuficiente para preservar as vidas das pessoas tendo ocorrido inúmeros colapsos também devido à acção sísmica extrema. A maioria dos colapsos ocorreu por mecanismos de *soft-storey*, provocados por fenómenos já conhecidos da comunidade científica como a modificação da altura efectiva dos pilares (Figura 24), a contribuição da alvenaria confinada na resistência global da estrutura, levando ao corte dos pilares por efeito da escora comprimida (Figura 25) ou o efeito de aberturas no R/C (Figura 26). Este último edifício referido (Figura 26) continha uma estrutura um pouco particular pois, ao contrário de outros edifícios, apresenta uma estrutura porticada em betão armado no R/C e também no 1º piso, sendo do 2º piso ao 6º em estrutura de alvenaria confinada.



(a) (b)
Figura 24: Formação de *soft-storey* por modificação da altura efectiva dos pilares



Figura 25: Ruptura por corte de pilares devido ao efeito de escora da alvenaria confinada (Beichuan)



Figura 26: Mecanismo *soft-storey* formado nas duas direcções principais do edifício: a) vista lateral; b) Pormenor do mecanismo lateral com colapso de pilar; c) vista frontal com *soft-storey* devido à presença de lojas

Apesar de se terem verificados inúmeros colapsos de estruturas em betão armado, o número de estruturas que resistiu à acção sísmica intensa também foi significativo, ocorrendo os colapsos em zonas mais localizadas (e.g. nos leitos dos rios) ao contrário da extensão verificada nas estruturas em alvenaria confinada. No entanto, verifica-se que em edifícios onde o dimensionamento e detalhe sísmico tinham sido bem realizados, estes suportaram a acção sísmica extrema, tal como o edifício apresentado na Figura 27 em Beichuan ($a_g \cong 1.0 g$) apesar de apresentar alguns problemas na zona da caixa de escadas.



Figura 27: Edifício da Polícia em betão armado, ao lado de edifícios colapsados em alvenaria confinada (Beichuan)

De seguida apresentam-se alguns exemplos de danos e colapsos observados em estruturas de betão armado, assim como possíveis causas dos danos e colapsos. De salientar a relevância da Figura 30, onde o efeito da caixa de escadas na formação de pilares curtos e efeitos concentrados nos pilares contribuiu para o colapso parcial do edifício. Por outro lado, a utilização de painéis de laje pré-fabricados diminuiu a redundância e capacidade de redistribuição de esforços significativamente, pois a não existência de efeito de diafragma ligando os pisos como um só elemento originou colapsos parciais (como o da Figura 30), o que poderia ser evitado se os pisos fossem constituídos por diafragmas rígidos redistribuindo os esforços para todos os elementos resistentes. Contudo, estes painéis podem ter uma contribuição positiva para o comportamento global, pois não rigidificando muito o piso e tendo uma ligação fraca às vigas, não aumentam a resistência das vigas, facilitando assim o comportamento pilar forte-viga fraca.



Figura 28: Hotel Beichuan - Comportamento adequado dos nós nos pisos superiores (viga fraca – pilar forte), e ruptura por corte e flexão das vigas. Colapso por *soft-storey* – Vista de frente



Figura 29: Vista lateral do Hotel Beichuan e da rua principal



Figura 30: Colapso parcial por efeito da caixa de escadas: a) fachada anterior; b) colapso de pilar por corte devido à carga concentrada da caixa de escadas; c) fachada posterior e localização das caixas de escadas; d) caixa de escadas e pilar colapsado



Figura 31: Colapso de edifício em betão armado por *soft-storey* devido a R/C com elevado pé-direito: a) vista geral; b) pormenorização das armaduras com bom confinamento dos pilares na zona dos nós e laje em betão armado



(a)



(b)

Figura 32: Colapso em “panqueca” de edifício em betão armado: a) Beichuan Youth Center; b) Yingxiu (com ruptura superficial da falha a influenciar o colapso).

4.2.3. Efeito da caixa de escadas e pilares curtos

A caixa de escadas, normalmente assumida como um núcleo resistente e importante para o comportamento sísmico de um edifício, revelou-se uma das maiores causas de colapsos parciais ou globais dos edifícios na zona afectada. No entanto, este é um problema bastante grave pois uma das normas de segurança a seguir na ocorrência de um sismo é a fuga para a caixa de escadas, assumida como um núcleo resistente do edifício (núcleo em betão armado). Tal não acontece nos edifícios da zona afectada pelo sismo, pois a caixa de escadas é constituída por estrutura porticada em betão armado (nos edifícios de betão armado) ou em montantes e vigas de betão pouco armado (4 ferros nos pilares e 6 ferros nas vigas e normalmente de pequenos diâmetros, como referido em 4.1. com pouca armadura de esforço transverso e confinamento) para edifícios em alvenaria confinada. Este efeito, aliado à pouca rigidez dos pisos, levou a inúmeros colapsos parciais nestas zonas mais vulneráveis dos edifícios, como representando anteriormente na Figura 30 e apresentado na Figura 33.



Figura 33: Colapsos na zona das caixas de escadas (Beichuan): a) colapso da fachada com portas para a entrada dos apartamentos visível; b) colapso parcial apenas na zona da caixa de escadas

4.3. Pontes

As infra-estruturas sofreram mais danos com este sismo do que em qualquer outro evento da história da China. Muitos equipamentos da rede eléctrica sofreram danos, propagando os seus efeitos a outras infraestruturas, tais como à rede de águas ou aos sistemas de comunicações, causando sérios problemas à população e na resposta à emergência. Por sua vez, muitos dos danos verificados nas vias rodoviárias bem como o colapso de pontes interromperam ou bloquearam os trabalhos de busca e salvamento.

As pontes existentes na zona do sismo foram bastante afectadas devido à grandeza da acção sísmica e a algumas rupturas superficiais ocorridas sob estas. O número total de pontes danificadas/colapsadas ascende a 3.053, incluindo pontes bastante recentes, o que significa perdas económicas avultadas. Na Tabela 5 apresenta-se uma distribuição dos danos observados nas pontes afectadas, num trabalho de investigação e inspecção pós-sismo realizado pelo *Ministério da Comunicações Chinês* conjuntamente com o *Traffic Designing Institute of Sichuan, Technological Co., e Ltd. of the China Traffic Bridge*, indicando que a quantidade de pontes que sobreviveu com poucos danos foi muito baixa (<40%), sendo o número de pontes danificadas seriamente ou mesmo colapsadas muito elevado (14%) tendo em conta que são infra-estruturas fundamentais no pós-sismo para as equipas de socorro na ajuda e transportes humanitários. A maioria das pontes encontradas, durante a visita efectuada, eram sobretudo em betão armado, tendo-se também encontrado algumas soluções mais tradicionais (alvenaria - ; madeira). As primeiras apresentavam sobretudo danos locais na zona dos encontros entre tabuleiros, “shear-

keys”, tendo-se observado colapsos parciais de tabuleiros por movimentos dos apoios (Figura 35. Além disso, foram encontradas diversas pontes colapsadas devido maioritariamente à proximidade da falha (Figura 36) e consequente nível de acção sísmica.

Tabela 5. Danos observados em pontes na zona afectada (amostra de 576, num total de 3053 pontes danificadas)

Pontes	Tipo de Dano				
	D0 – D1 (%)	D1 – D2 (%)	D3 (%)	D4 (%)	D5 (%)
576	5.1	34.2	45.7	2.3	11.5



Figura 34: Ponte em alvenaria de pedra com colapso do arco central (Bailu)



Figura 35: Deslocamento residual e colapso de tabuleiro por falta de apoio, com danos nos “shear-key” e apoio dos tabuleiros.



Figura 36: Colapso de ponte provocado por ruptura superficial da falha (Yingxiu)

A ponte de Baihua, já próxima de Yingxiu e conseqüentemente do epicentro, foi inaugurada em Dezembro de 2004 contemplando já alguns detalhes sísmicos de relevância. No entanto, a ponte supostamente dimensionada para uma acção sísmica de intensidade VII (0.1g) com o intuito de ficar operacional no pós-sismo, não aguentou a acção sísmica a que foi sujeita, apresentando sérios danos e colapsando mesmo parcialmente. A localização desta foi um factor determinante para o seu comportamento; o colapso parcial da ponte Baihua deu-se essencialmente por se localizar em cima da falha, passando a falha na zona de curvatura da ponte [8] (Figura 37). Esta ponte foi demolida posteriormente de forma a ser possível aceder a Yingxiu e possibilitar a construção de uma nova ponte que está em fase de conclusão. Na altura da visita efectuada pela equipa, a ponte já se encontrava com os pilares demolidos, estando praticamente apenas visível os tabuleiros da ponte, conforme apresentado na Figura 37: c).

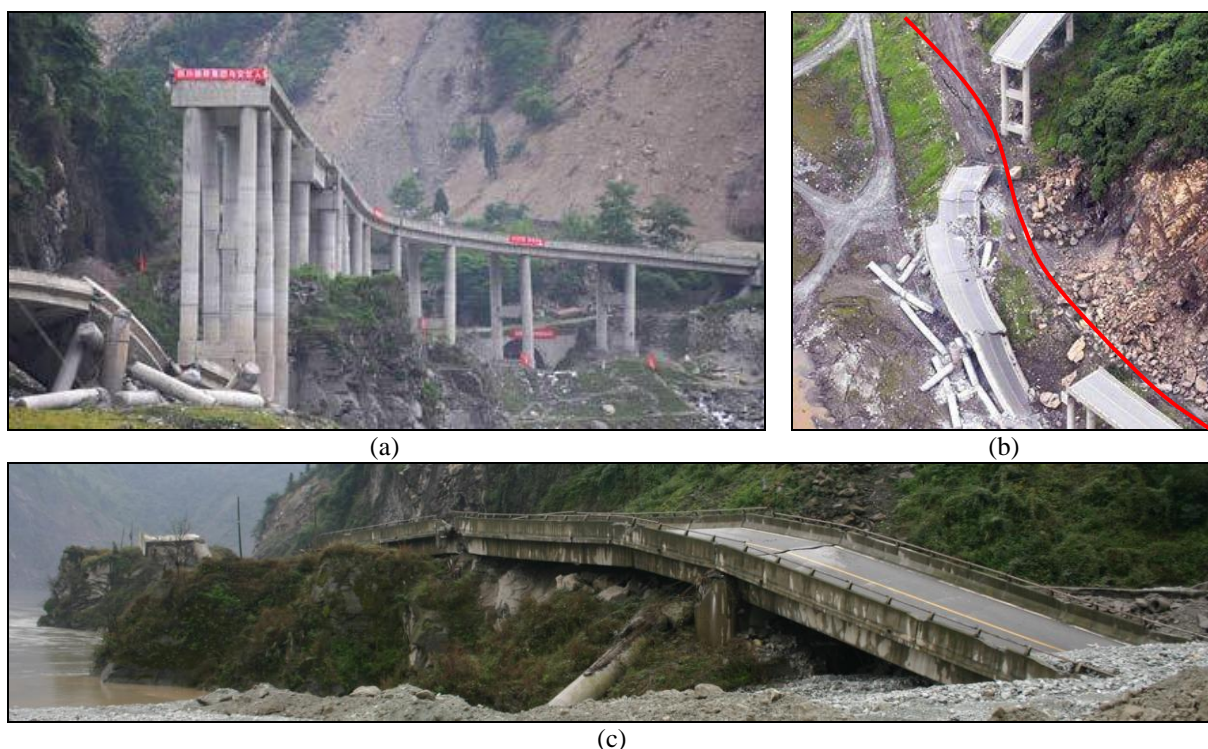


Figura 37: Ponte Baihua: a) após o sismo; b) pormenor da zona de colapso com marcação da falha; c) após demolição

4.4. Estruturas “particulares”

Este sismo permitiu observar alguns fenómenos interessantes nem sempre observáveis em todos os sismos, como as rupturas superficiais apresentadas na secção 2. Para além disso, outros fenómenos mais relacionados com as características e comportamento das estruturas foram observados, apresentando-se nesta secção dois casos bastante interessantes.

Uma estrutura esbelta e com massa distribuída exibe características próprias de vibração e comportamento sobre a acção sísmica. Desde logo, apresentam normalmente um 1º modo de vibração de baixa frequência sendo a acção do vento predominante para a excitação deste modo. No entanto, a acção sísmica excita essencialmente os modos de ordem superior (2º e 3º, essencialmente) mas nem sempre com energia suficiente para originar danos ou colapsos.

A potência de ruptura do sismo de Sichuan originou uma energia libertada rica em diferentes frequências, excitando estas estruturas originando mesmo colapsos, conforme a Figura 38 apresenta o caso de chaminés que foram observadas durante a visita.

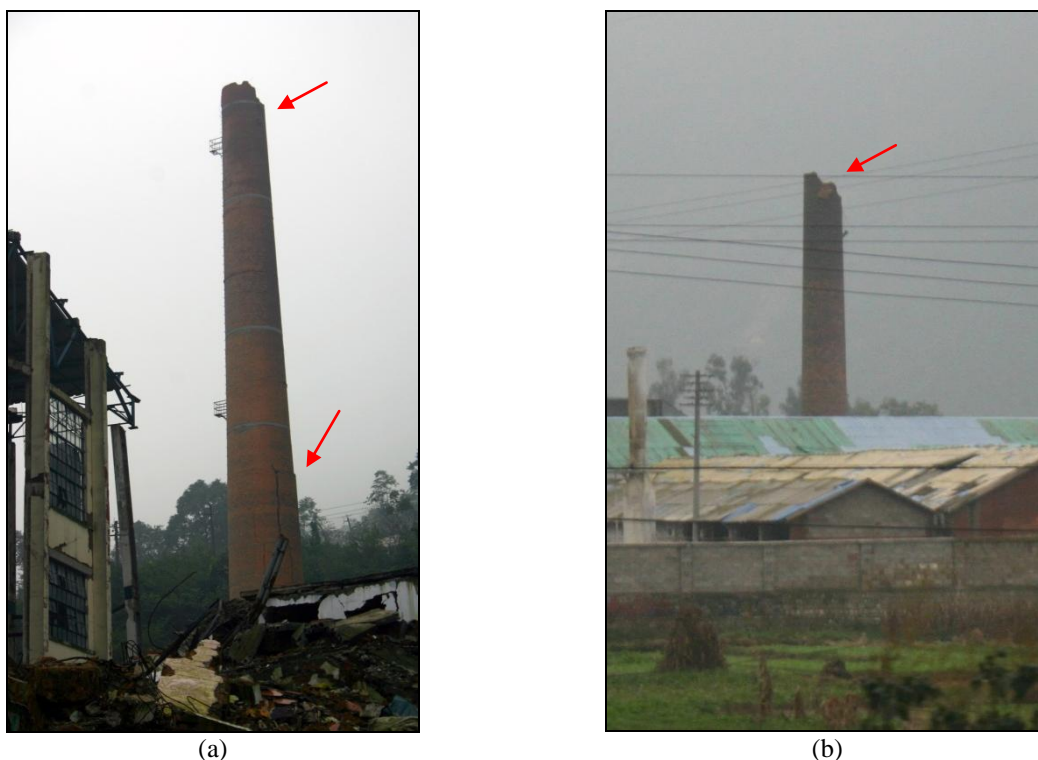


Figura 38: Colapso do topo de chaminés de tijolo maciço por efeito de modos de vibração de ordem superior: a) Hanwang (2º e 3º modo); b) Estrada para Beichuan (2º modo)

De uma forma contrária a esta, os reservatórios de água apresentam uma massa concentrada no topo, possuindo um comportamento típico de pêndulo invertido e registado por Housner após o sismo do Chile de 1960 [9]. Este mesmo tipo de comportamento foi observado em Hanwang onde se encontrou um reservatório praticamente sem danos mas próximo de edifícios colapsados, conforme a Figura 39 apresenta. Apesar de ser uma estrutura muito esbelta e com uma massa concentrada no topo, o comportamento por “rocking” em vez de flexão torna-o mais estável e resistente à acção sísmica do que seria de esperar, e mais resistente do que as estruturas que se encontravam à sua volta.



Figura 39: Reservatório de água – comportamento de pêndulo invertido (Hangwang)

5. FACTORES ECONÓMICOS E SOCIAIS: O PROBLEMA DA RECONSTRUÇÃO

As perdas económicas relacionadas com o turismo naquela região foram avultadas, com perdas, apenas entre os meses de Maio e Junho de 2008, estimadas na ordem dos 21,99 billion RMB [10].

Na província de Sichuan eram produzidas grandes quantidades de arroz e de carne de porco para todo o país; com a interrupção dos transportes e expedição de mercadorias, a oferta dos dois produtos diminuiu, causando o aumento do preço dos alimentos.

É também nesta província que se encontram 40% das reservas de gás natural e onde se produz 22% do gás natural do país. Todos os gasodutos e instalações de tratamento na região foram encerrados após o sismo como medida de segurança, uma medida que resultou em cortes de energia e contratempos da distribuição da produção, agravando a carência energética chinesa.

No entanto, um estudo desenvolvido pela União Europeia refere que o impacto do sismo a nível macroeconómico será limitado uma vez que "a província de Sichuan produz entre três a quatro por cento das exportações chinesas, o que não é suficiente para afectar o desempenho económico do país".

5.1. Os problemas da realocação da população

Após o sismo foram improvisados, pelos próprios desalojados, alguns abrigos temporários relativamente perto das antigas habitações, muitas no sopé das montanhas ou suas encostas. No dia 24 de Setembro de 2008 as fortes chuvas provocaram novas derrocadas e deslizamento de lamas, vitimando mais gente nas zonas rurais de Mianyang e na cidade de Beichuan (Figura 40 c). Um ano após o sismo e de acordo com as autoridades estavam a ser estudadas novas localizações para as povoações, algumas deveriam passar para a zona de encostas e outras para planícies localizadas a cerca de 40 km das casas que colapsaram. Embora as autoridades preferissem a segunda localização, por questões de segurança, muitos residentes destas áreas mostravam-se resistentes e não queriam mudar-se para tão longe. A população vive há meses nos campos para desalojados enquanto esperam o subsídio de 20.000 yuan (cerca de € 2300) para iniciar a auto-reconstrução.

Em Tangxun, a 20 km da cidade de Mianyang, foram construídos cerca de 160.000 pré-fabricados em Julho de 2008. Destes, 90.000 foram atribuídos a famílias que viviam no centro de Mianyang ou nos subúrbios mais próximos, no entanto apenas 80.000 pré-fabricados foram ocupados por se localizarem longe da cidade e em zonas rurais. Verificou-se que a população, que antes do sismo vivia no centro urbano, com o passar do tempo e à medida que se ia sentindo mais segura, volta a ocupar as áreas de risco, regressando às suas casas antigas, iniciando elas próprias pequenas reparações e obras de reforço. Assim, deixam os pré-fabricados vazios,

regressando à cidade, onde conseguem encontrar algum trabalho e obter rendimentos. De momento apenas aqueles que não conseguiram recuperar as suas casas vivem nos pré-fabricados de Tangxun.



a)



b)



c)

Figura 40. Cidade de Beichuan: a) antes do sismo; b) após o sismo; c) após as chuvas intensas de 24 de Setembro de 2008 aliadas aos solos soltos das montanhas libertados pelo sismo

Beichuan, a cidade mais destruída pelo sismo, foi reerguida num novo local. Mais de 80% das construções desabaram nesta cidade e nenhuma das que permaneceram em pé estão livres do colapso. Mais uma vez as autoridades locais não deram atenção aos estudos desenvolvidos que alertavam para o risco da região. As áreas que sofreram maiores danos jamais deveriam ter sido afectas à ocupação humana. Infelizmente, este tipo de tomadas de decisão encontra-se um pouco por todo o mundo, não apenas na China mas também em países da Europa e América. É necessário ter presente que um terramoto não provoca apenas o colapso das construções; deslizamentos de terras e queda de rochas estão intimamente associados, aumentando o número de destruição e de mortos. Curiosamente Beichuan já tinha sido transferida em 1952 à sua presente localização, no sopé de três montanhas, por anteriormente se localizar numa posição propensa a inundações. Agora a cidade em ruínas, onde mais de 15 000 pessoas morreram (metade da população), sofre as consequências da ocupação inadequada do espaço e será transformada num memorial ao grande sismo de 12 de Maio de 2008.

A nova localização de Beichuan encontra-se entre as cidades de Yong'an e Anchang, cerca de 23 km de Beichuan e tem o nome de Yongchang Town (combinação do nome das duas cidades), que significa "eterna prosperidade".

A construção desta nova cidade, inaugurada a 25 de Setembro de 2010, decorreu em três fases: a primeira fase incluiu a parte de infra-estruturas, edifícios públicos, parque industrial e habitação (Figura 41) e custou 19.32 bilhões de yuan (US\$ 2.84 mil milhões). A nova cidade espera 50 000 residentes em três anos e até 2020 conta expandir e albergar 85 000 residentes. Sete escolas serão construídas na nova cidade de Beichuan; o novo edifício da Beichuan Middle School - um dos que colapsou com o sismo - foi projectado por especialistas da Universidade de Harvard, MIT, Universidade de Hong Kong e Universidade de Tsinghua (Figura 41 d). Esta escola tem uma lotação de 5.000 alunos e ocupa 15 hectares.



Figura 41: Nova cidade de Beichuan (Yongchang): a) zona residencial; b) Yongchang Boulevard; c) hospital; d) novo campus da escola secundária

Segundo informações da imprensa Chinesa, grande parte do processo de reconstrução foi finalizado em Setembro de 2010, tendo sido no total realizados 108 projectos de reconstrução de larga escala. Até 3 de Setembro de 2010, 258.600 casas já tinham iniciado a ser construídas, o que representa 99.8% de todas as casas

necessárias para a reconstrução. Dessas casas, 234.600 tinham sido finalizadas, representando 90.55% de todas as casas a construir [11].

No entanto, nem sempre correspondendo à realidade pois as autoridades Chinesas não disponibilizam dados sobre a reconstrução. Outro dos aspectos importantes no processo de reconstrução é a “fuga de dinheiros”, desorganização na distribuição de materiais e projectos, e localização da reconstrução apenas em algumas cidades (como Beichuan, Wenchuan e Dujianguyan) criando cidades muito actuais e avançadas, deixando outras pequenas cidades com os rastros de destruição e sem apoio à população (como Hanwang ou Deyang), em condições mais precárias do que antes do sismo [12].

Dois anos após o sismo, grande parte do processo de reconstrução estará quase concluído. A incógnita continua contudo em saber se foi realizado da melhor forma e a abranger toda a população.

5.2. Os números da reconstrução

A província de Sichuan reconstruirá 4,5 milhões de casas urbanas e rurais, 51 mil km de auto-estradas, 5,5 mil km de vias férreas, 11,7 mil escolas e 9,7 mil instituições centros médicoas. Para além disso 2 mil represas, 810 barragens e mais de 100 mil hectares de terras agrícolas precisam de ser restauradas. O trabalho de reconstrução consumirá 37 milhões de toneladas de aço, 370 milhões de toneladas de cimento, 210 biliões de tijolos e 20 milhões de m³ de madeira. Nos primeiros sete meses, o volume de contratos de investimento externo na província aumentou 30% anualmente e mais quatro companhias internacionais das 500 maiores do mundo se estabeleceram ali. Actualmente, 139 das 500 maiores empresas do mundo estão a operar em Sichuan [13].

Obrigatoriamente as catástrofes estimulam o crescimento económico e mostram-nos a capacidade de recuperação das sociedades actuais. No entanto, a recuperação é sempre mais lenta quando se trata de um sismo ou erupção vulcânica, quando comparado com outros fenómenos como furacões ou ciclones, isto porque as perdas em termos humanos e materiais, bem como os custos de recuperação são francamente inferiores nos desastres climáticos que nos geológicos.

A reconstrução dos principais pontos estruturantes destas regiões, como sejam o saneamento, infra-estruturação e economia, está estimado que tenha a duração total de 3 anos.

No entanto nem sempre essa reconstrução é realizada na melhor forma e local, conforme a Figura 42 mostra a construção dos novos edifícios residenciais no leito de um rio. Apesar de melhoramento do comportamento sísmico dos edifícios, tal poderá não ser suficiente pois a acção sísmica também irá ser agravada por efeitos de sítio, potenciando os danos e consequentemente pondo em causa a segurança das estruturas.



Figura 42: Reconstrução no distrito de Beichuan no leito do rio, com alvenaria confinada e lajes em betão armado.

6. REFLEXÕES FINAIS

O sismo de Sichuan foi um dos sismos mais violentos dos últimos anos, sendo a extensão dos danos observados, que abrange uma área total igual a 61% do território português, o ponto que mais marcou a visita pós-sismo. Características particulares de um sismo desta magnitude foram observadas, como as rupturas superficiais em diferentes zonas e danos em estruturas de diversas tipologias.

O parque habitacional desapropriado para a zona sísmica em causa potenciou o rasto de destruição deixado. Escolas e hospitais tiveram um comportamento inapropriado, como infraestruturas críticas que são, devem sobreviver a sismos de grande magnitude e continuar operacionais, bem como as pontes. A morte de 19.000 crianças espelha bem as características, tanto do código de dimensionamento sísmico Chinês (que levou já à modificação da classe de importância de edifícios escolares na China) como da resistência sísmica do parque escolar. É algo que terá que ser evitado e correctamente avaliado para o caso do nosso País, pois as características da acção sísmica assemelham-se em parte com as nossas (sismo de elevada magnitude em zona de recente sismicidade reduzida-moderada).

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem os apoios concedidos pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), Instituto Superior Técnico e Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

8. REFERÊNCIAS

- [1] Shen, Z.-K., et al. (2009) Slip maxima at fault junctions and rupturing of barriers during the 2008 Wenchuan earthquake. *Nature Geosci* **2**(10), 718-724.
- [2] Wang, Z. (2008) A preliminary report on the Great Wenchuan Earthquake. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration* **7**(2), 225-234.
- [3] Liu-Zeng, J., et al. (2009) Co-seismic ruptures of the 12 May 2008, Ms 8.0 Wenchuan earthquake, Sichuan: East-west crustal shortening on oblique, parallel thrusts along the eastern edge of Tibet. *Earth and Planetary Science Letters* **286**(3-4), 355-370.
- [4] Chen, X., et al. (2010) Emergency response to the Tangjiashan landslide-dammed lake resulting from the 2008 Wenchuan Earthquake, China. *Landslides*, 1-8.
- [5] Dempster, T. *China "quake lake" fears trigger new evacuation.* 2008; Available from: <http://uk.reuters.com/article/idUKPEK15270720080528>.
- [6] CRIOnline. *China enfatiza amparo a órfãos, idosos ou portadores de deficiência sem família na área do sismo.* 2008; Available from: <http://portuguese.cri.cn/101/2008/05/21/1@88984.htm>.
- [7] CRIOnline. *Estudantes de áreas afetadas por terremoto voltam à escola.* 2008; Available from: <http://portuguese.cri.cn/101/2008/06/04/1@89738.htm>.
- [8] Lee, G.C. (2008) *The 5.12 Wenchuan Earthquake of China - A Preliminary Report.* Department of Civil Engineering, Structural and Environmental Engineering; MCEER, University of Buffalo.
- [9] Housner, G.W. (1963) The Behaviour of the Inverted Pendulum Structures During Earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America* **53**(2), 403-417.
- [10] Yang, W., D. Wang, and C. G. (2010) Reconstruction strategies after the Wenchuan Earthquake in Sichuan, China. *Tourism Management*.
- [11] Chenyan, Z. *Sichuan completes post-quake housing reconstruction.* 2010; Available from: <http://english.peopledaily.com.cn/90001/90776/90882/7150936.html>.
- [12] ChengduLiving. *Sichuan Quake Reconstruction: Mission Accomplished?* 2010; Available from: <http://www.chengduliving.com/sichuan-quake-reconstruction-mission-accomplished/>.
- [13] CRIOnline. *Sichuan, província chinesa afetada por terremoto, atrai investimento externo.* 2008; Available from: <http://portuguese.cri.cn/199/2008/10/09/1s96961.htm>.