ESTUDO DO RISCO SÍSMICO E DE TSUNAMIS **DO ALGARVE**





FICHA TÉCNICA

Título: Estudo do Risco Sísmico e de Tsunamis do Algarve Edição: Autoridade Nacional de Protecção Civil Coordenação: Direcção Nacional de Planeamento de Emergência / Núcleo de Riscos e Alerta Design gráfico e paginação: Hortelã Magenta Impressão: A3 – Artes Gráficas Data de publicação: Dezembro de 2010 Tiragem: 500 exemplares ISBN: 978-989-8343-06-2 Depósito legal: 321315/10 Disponibilidade em suporte pdf: www.prociv.pt

Edição co-financiada por:



Autoridade Nacional de Protecção Civil Av. do Forte em Carnaxide 2794-112 Carnaxide / Portugal Tel.: +351 214 247 100 / Fax: +351 214 247 180 geral@prociv.pt / www.prociv.pt

ÍNDICE

PÁG. 5 CAPÍTULO 1: Introdução

PÁG. 9 CAPÍTULO 2: Sismotectónica do Algarve

PÁG. 29 CAPÍTULO 3: Sismicidade

PÁG. 45

PÁG. 55

CAPÍTULO 5: Simulação da área potencialmente inundada pelo tsunami de 1 de Novembro de 1755 no Algarve

PÁG. 71

PÁG. 85

CAPÍTULO 7: Avaliação de risco sísmico no Algarve: Efeito de sítio

CAPÍTULO 4: Propagação da energia sísmica

CAPÍTULO 6: Cartografia do risco de tsunami

PÁG. 93

CAPÍTULO 8: Modelação da dinâmica e mobilidade da população presente na região do Algarve

PÁG. 105

CAPÍTULO 9: Vulnerabilidade sísmica do parque edificado

PÁG. 121

CAPÍTULO 10: Vulnerabilidade sísmica de redes de infra-estruturas

PÁG. 147

CAPÍTULO 11: Cenários de avaliação de danos

PÁG. 155 CAPÍTULO 12: Planeamento de Emergência

PÁG. 163

CAPÍTULO 13: Principais ensinamentos a colher do Estudo do Risco Sísmico e de Tsunamis do Algarve

PREÂMBULO

As regiões de Lisboa e do Algarve foram, ao longo dos últimos séculos, vitimadas por sismos que trouxeram elevadas perdas humanas e prejuízos materiais.

A Autoridade Nacional de Protecção Civil, ciente dos efeitos que um sismo de magnitude moderada a elevada possa provocar na sociedade portuguesa, tem promovido trabalhos técnico-científicos junto de entidades públicas e privadas, com contributos na preparação para tal eventualidade e desenvolvimento de políticas adequadas de prevenção, planeamento e resposta.

Neste sentido, foi efectuado o Estudo do Risco Sísmico da Área Metropolitana de Lisboa e Concelhos Limítrofes, concluído em 2001.

Em 2007, iniciou-se o Estudo do Risco Sísmico e de Tsunamis do Algarve, cujos resultados se disponibilizam nesta publicação, editada pela Autoridade Nacional de Protecção Civil. Este Estudo representa um passo significativo no sentido de enfrentar um problema que é complexo, por envolver várias áreas de conhecimento e actuação, num esforço permanente de melhoria do planeamento e socorro, da informação e sensibilização da população e também da qualidade do edificado.

É intenção da Autoridade Nacional de Protecção Civil que, gradualmente, todas as zonas vulneráveis do país sejam cobertas por estudos idênticos, de maior ou menor detalhe, permitindo uma maior preparação para este risco e dando cumprimento aos princípios basilares da Protecção Civil: prevenir, planear e socorrer.

Arnaldo Cruz

4

Presidente da Autoridade Nacional de Protecção Civil



INTRODUÇÃO

O último grande sismo no continente português ocorreu em 28 de Fevereiro de 1969 e, embora não se tivessem registado intensidades muito elevadas, foi suficiente para causar danos materiais importantes na região do Algarve.

Na eventualidade de ocorrer um evento semelhante ao de 1755 é convicção da comunidade científica e dos agentes de protecção civil que nesta área poderão verificar-se danos muito elevados na estrutura urbana e baixas significativas na população.

Com o objectivo de proceder à caracterização do risco sísmico e de tsunamis no Algarve, a ANPC coordenou a elaboração do Estudo do Risco Sísmico e de Tsunamis no Algarve (ERSTA), complementando o estudo já realizado para a área metropolitana de Lisboa e concelhos limítrofes e que serviu de base ao plano Especial de Emergência para o Risco Sísmico da Área Metropolitana de Lisboa e Concelhos Limítrofes (PEERSAML).

A concretização deste estudo contou com os dados disponibilizados, nomeadamente, pela Grande Área Metropolitana do Algarve (AMAL), Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Algarve (CCDR - Alg), Rede Ferroviária Nacional (REFER), Estradas de Portugal, ANA - Aeroportos de Portugal e Direcção-Geral da Autoridade Marítima (DGAM), ao abrigo de Protocolos celebrados entre estas Entidades e o ex-Serviço Nacional de Bombeiros e Protecção Civil.

O ERSTA iniciou-se em 2007 e foi concluído em Dezembro de 2008, envolvendo 9 entidades técnico-científicas que procederam à caracterização do risco sísmico no Algarve, através de cada uma das componentes protocoladas, a saber:

Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (INETI)

• WP1 – Sismotectónica do Algarve.

Universidade do Algarve (UAlg)

- WP2 Zonação da vulnerabilidade do litoral a tsunamis;
- WP3 Teste de modelos numéricos de tsunamis;
- WP5 Vulnerabilidade geotectónica a sismos;
- WP7 Padrão de tensão tectónica na margem algarvia.

Instituto de Ciências da Terra e do Espaço (ICTE)

- WP4 Perigosidade de tsunami;
- WP6 Vulnerabilidade e instabilidade de arribas litorais;
- WP8 Projecto piloto de avaliação multirisco.

Faculdade de Letras da Universidade do Porto (FLUP)

• WP9 – Cartografia da área inundada pelo tsunami de 1755

Instituto de Meteorologia (IM)

• WP10 – Catálogo sísmico

Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC)

- emergência;
- local;
- WP13 Efeitos de sítio caracterização geotécnica;
- WP15 Parque edificado habitacional;
- WP16 Pontos vitais;
- WP17 Parque edificado hoteleiro;
- WP19 Avaliação de danos humanos.

• WP14 – Efeitos de sítio – Ficha de caracterização geotécnica

• WP18 – Humanos

Instituto Superior Técnico (IST)

• WP 20 E 21 – Redes de infraestruturas

A concretização do Estudo do Risco Sísmico e de Tsunamis do Algarve (ERSTA) nas suas diversas componentes, possibilitou o conhecimento aprofundado do risco sísmico e de tsunamis nesta região. Este estudo teve em vista a implementação de medidas de prevenção e sensibilização dos diversos sectores da sociedade para a necessidade de, em conjunto, mitigar o risco sísmico, e o desenvolvimento de um plano especial de emergência detalhado para estes riscos.

É importante que a população aprenda a conviver com o risco e saiba como actuar individualmente, quando confrontada com uma situação real. Contudo, este trabalho de sensibilização que a protecção civil tem de conduzir, só será eficaz se a população "sentir" que o sistema de protecção civil também está preparado para a proteger. É por isso nossa obrigação prepararmo-nos rapidamente nesse sentido.

• WP11 - Definição com base probabilística de cenários sísmicos para o planeamento de

• WP12 - Caracterização da propagação de energia sísmica em rocha, desde a fonte até ao

Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Algarve (EST/UAlg)

Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa (CEG)



CAPÍTULO 2 SISMOTECTÓNICA DO ALGARVE

1. INTRODUÇÃO

A região do Algarve, a zona mais meridional do território português, localiza-se no extremo sudoeste da parte continental da placa litosférica Eurásia (Figura 1). O Algarve forma, conjuntamente com o sudoeste de Espanha, o limite norte do Golfo de Cádiz, região onde se localiza o limite entre as placas litosféricas Eurásia e África, entre a montanha submarina de Gorringe e o arco orogénico de Gibraltar. Este limite, tradicionalmente referido como a parte oriental do limite de placas Zona de Fractura Açores-Gibraltar permaneceu críptico durante décadas (e.g., McKenzie, 1970; Purdy, 1975) até que o esforço da comunidade científica na solução tectónica deste limite de placas trouxe à luz o mapeamento das estruturas tectónicas da região e novas propostas sobre a natureza deste limite, ainda controverso mas, com soluções tectónicas baseadas em estruturas tectónicas reconhecidas e mapeadas. Sartori *et al.* (1994) descreveram este limite como uma zona de deformação distribuída a sul da montanha submarina de Gorringe,



Gutscher *et al.* (2002) propôs a existência duma subducção activa sob o arco de Gibraltar e Zitellini *et al.* (2009) propuseram um limite transpressivo – a zona de falha SWIM - entre a Falha de Glória e o noroeste de Marrocos onde se encontra o limite transpressivo sismogénico do sistema orogénico Rif-Tell (Morel e Meghraouie, 1996). Estes limites litosféricos propostos assentam, ao contrário dos da década de 1970 em estruturas reconhecidas e mapeadas e oferecem novos constrangimentos à geração da sismicidade da região (Sartori *et al.*, 1994; Gutscher *et al.*, 2002; Gràcia *et al.*, 2003; Terrinha *et al.*, 2003; Medialdea *et al.*, 2004; Zitellini *et al.*, 2004; Rosas *et al.*, 2009).

De acordo com outros modelos propostos a margem sudoeste portuguesa poderá encontrar-se num estado de transição de margem passiva para margem activa compressiva, eventualmente associada à nucleação de uma zona de subducção (Cabral e Ribeiro, 1989; Ribeiro *et al.*, 1996; Ribeiro, 2002; Terrinha *et al.*, 2009) (Figura 1).

Este enquadramento geodinâmico é responsável pela ocorrência de tectónica regional importante ocorridas no intervalo correspondente ao Pliocénico e Quaternário e por uma sismicidade significativa, fornecendo um cenário de importante potencial sismogénico com sismos de magnitude instrumental elevada (M~7.9, evento de 1969) e catastróficos como o de 1 de Novembro de 1755.

2. SISMICIDADE

A região do Algarve tem sido afectada por uma sismicidade instrumental importante (Figura 2), cuja distribuição evidencia uma sismicidade intensa localizada na área imersa, a S e SW do território continental, numa faixa que se estende desde o Banco de Gorringe, a W, até ao estreito de Gibraltar, a E, e uma sismicidade histórica com sismos fortes que causaram danos avultados, dos quais se destacam sismos distantes, de tipo interplacas, de que o sismo de 1755 é o evento melhor caracterizado (Dias, 2001; Dias e Cabral, 2000) (Figura 2). Este sismo de magnitude estimada M~8.4-8.9 (Baptista *et al.*, 2003) e tsunami associado de efeitos devastadores, foi sentido em regiões tão remotas como a Finlândia e o tsunami provocou danos na costa do Brasil, sul de Inglaterra e *seiches* nos lagos da Escócia. A sua fonte sismogénica, alvo de grande discussão na comunidade científica, foi certamente gerada na região que abrange o Golfo de Cádiz, a parte sul da margem sudoeste portuguesa e a montanha submarina de Gorringe. Diversas fontes sismogénicas foram propostas, das quais se salientam, os cavalgamentos dos bancos submarinos de Gorringe e Guadalquivir, a Falha Marquês de Pombal, a Falha de Ferradura ou a zona de subducção a oeste do Golfo de Cadiz (Zitellini *et al.*, 1909, 2001; Gutscher *et al.*, 2002; Gràcia *et al.*, 2003; Terrinha *et al.*, 2003; Baptista *et al.*, 2003).

FIGURA 1

Enquadramento geodinâmico regional da região do Algarve (modificado de Ribeiro et al., 1996). 1, crosta oceânica; 2, crosta continental adelgaçada; 3, colisão continental; 4, fronteira de placas difusa; 5, limite de placa (localização aproximada); 6, zona de subducção incipiente ao longo da margem continental SW Ibérica; 7, dobra antiforma activa; 8, falha activa; 9, falha activa provável; 10, falha de desligamento; 11, falha inversa; 12, falha normal; 13, batimetria em km; Go, Banco de Gorringe; Gq, Banco de Guadalquivir; P.A.Ib., Planície Abissal Ibérica; P.A.T., Planície Abissal do Tejo; A, Algarve (adaptado de Terrinha et al., 2006). Registam-se ainda sismos próximos do tipo intraplaca como, por exemplo, os sismos ocorridos nas áreas de Portimão (1719, IMM max. IX), litoral de Tavira (1722, IMM max. X) e Loulé (1856, IMM max. VIII) (Carrilho, 2005; Carrilho *et al.*, 2004).

A actividade sísmica não se propaga significativamente para o interior do território algarvio, correspondendo mesmo, a uma fronteira que limita a sul uma área de sismicidade muito fraca, correspondente ao Baixo Alentejo, corroborando que as estruturas geológicas submarinas absorvem a parte mais importante da deformação interplacas e reduzem a importância da actividade intraplaca (Dias, 2001; Dias e Cabral, 2000). A sismicidade instrumental no território emerso é distribuída. Contudo, existem três zonas de maior concentração de sismicidade, designadamente a área que se estende da Serra de Monchique até Portimão, a área entre Albufeira-Loulé-Faro, e a área de Tavira-Vila Real de S. António-Castro Marim.

Na parte imersa a sul do Algarve a sismicidade ocorre associada às principais estruturas tectónicas (Figura 2).



3. PRINCIPAIS ESTRUTURAS TECTÓNICAS ACTIVAS

3.1 ÁREA EMERSA

A actividade neotectónica, entendida como as deformações tectónicas ocorridas desde o final do Pliocénico, é evidenciada por deslocamentos verticais da crosta, pela presença de deformação frágil (falhas e diaclases) e dúctil (dobramentos) que afectam os sedimentos plio-quaternários (Dias, 2001; Dias e Cabral, 2000, 2002; Dias *et al.*, 1999; Terrinha, 1998; Terrinha *et al.*, 1998) (Figura 3). Os sedimentos plio-quaternários são constituídos por depósitos detríticos, siliciclásticos, com litologias variadas, de granulometria diferente, variando de sedimentos finos e conglomerados (Moura, 1998; Moura e Boski, 1999), que assentam discordantemente sobre rochas do Paleozóico, e numa superfície erosiva, quase sempre carsificada de rochas do Mesozóico e do Miocénico.

A idade destes sedimentos é controversa. De facto, com excepção dos depósitos mais recentes, do Holocénico (aluviões fluviais, areias de duna e areias de praia), o limite inferior dos depósitos mais antigos é atribuído, pelos diversos autores, quer ao Pliocénico, quer ao Plio-Quaternário, quer ao Plistocénico.

Deste modo, a deficiente datação dos sedimentos plio-quaternários afectados pelas deformações neotectónicas não permitiu diferenciar ou ordenar cronologicamente os diversos eventos tectónicos nem, consequentemente, os diferentes campos de tensão a que estas estruturas estiveram sujeitas (Dias e Cabral, 2000, Dias, 2001).

A ausência também de uma correlação clara entre as estruturas tectónicas observadas à escala mesoscópica com as macro-estruturas regionais reconhecidas e a morfologia dificulta a sua interpretação. Contudo, a presença de uma sismicidade instrumental significativa na região do Algarve sugere que, pelo menos, parte das falhas consideradas activas por critérios geológicos e geomorfológicos sejam responsáveis pela actividade sísmica.

Ocorrem ainda estruturas relacionadas com liquefacção dos sedimentos plio-quaternários, nomeadamente dobramento de níveis conglomeráticos, fracturas preenchidas por sedimentos colapsados por gravidade na sequência de abertura súbita (filões neptunianos), e sedimentos injectados de baixo para cima (filões detríticos), sugerindo actividade sísmica com magnitude superior a 5 (filões detríticos) (Rodríguez Pascua, 1998; Dias e Cabral, 2000; Dias *et al.* 2004; Ressurreição, 2009) (Figuras 3, 4). Na Carta Geológica da Região do Algarve à escala 1:100 000 estão representados diversos acidentes tectónicos de maior envergadura, dos quais se destacam, de oeste para este, o Sistema de Fracturas S. Teotónio – Aljezur – Sinceira – Ingrina, e as falhas

FIGURA 2

Mapa da distribuição de epicentros de sismos instrumentais, na região do Algarve e áreas adjacentes, no período 1961-2003 (Carrilho, 2005) e das principais falhas activas actualmente identificadas na região do Algarve (zona emersa e imersa). Área imersa: vermelho, falhas activas no Holocénico; castanho, falhas activas cegas; azul, componente extensional mesozóica; castanho tracejado, falhas activas no Pliocénico ou inferidas. Área emersa: cheio, falhas reconhecidas no campo; tracejado, inferidas. Barão de S. João, Lagos, Espiche – Odiáxere, Portimão, Baleeira, Albufeira, S. Marcos – Quarteira, Carcavai, Loulé, Faro, Eira, S. Brás de Alportel e S. Estevão. Alguns destes acidentes foram considerados activos por diversos autores (Manuppella *et. al.*, 1987; Manuppella, 1988, 1992; Manuppella e Dias, 1992; Cabral e Ribeiro, 1989; Cabral, 1995; Kullberg *et al.*, 1992; Terrinha, 1998; Terrinha *et al.*, 1999; Dias e Cabral 2000; Dias *et al.*, 1999; Dias 2001, Carvalho *et al.*, 2006, 2007) (Figura 3).

FIGURA 3

Mapa sintético das principais falhas activas identificadas na região do Algarve com a localização dos paleosismitos actualmente identificados. 1, depósitos plio-quaternários; 2, falha provável; 3, falha inversa (marcas no bloco superior); 4, desligamento; 5, falha com componente de movimentação vertical de estilo desconhecido (traços no bloco abatido); 6, dobra; A - Baiona; B – Sinceira (A e B correspondem ao sistema de falhas S. Teotónio-Aljezur-Sinceira-Ingrina); C - Martinhal; D - Barão de S. João; E - Espiche - Odiáxere; F - Lagos; G - Rib.ª de Odiáxere; H - Alvor; I - Portimão; J - Ferragudo; K - Sr.ª do Carmo; L - Relvas; M - Rib.ª de Espiche; N - Vale Rabelho; O - Baleeira; P - Albufeira; Q -Mosqueira; R - Oura; S - S. Marcos-Quarteira; T - Carcavai: U - Areias de Almansil: V - Faro: Y - S Estevão; X - Loulé; W - Eira de Agosto; Z - S. Brás de Alportel (Dias, 2001: Dias e Cabral, 2002)

Estes acidentes são reconhecidos no terreno principalmente por relações geométricas entre as diferentes unidades (Paleozóico, Mesozóico e Cenozóico); existência de elementos geomorfológicos associados, nomeadamente escarpas de falha; e ocorrência de brecha ao longo da zona de falha. A escassez de afloramentos ao longo do traçado destas macro-estruturas regionais dificultou a sua correlação com a intensa fracturação que afecta os sedimentos plio-quaternários. Contudo, foi possível identificar algumas evidências de actividade neotectónica relacionadas com as principais estruturas regionais atrás referidas, nomeadamente (Dias e Cabral, 2000; Dias 2001) (Figura 3): falhas com componente de movimentação inversa dominante, de direcção diversificada (falhas de Marinhal, Lagos, Relvas, Ribeira de Espiche, Montejuntos, Vale Rabelho, Baleeira, Mosqueira e Areias de Almancil) (Figura 5, A); falhas com componente de movimentação horizontal dominante esquerda (Sistema de fracturas S. Teotónio-Aljezur-Sinceira-Ingrina, falhas de Barão de S. João, Ribeira de Odiáxere, Portimão (?), Ferragudo, Albufeira, Faro (?), Loulé e Carcavai), ou direita (falhas de Espiche-Odiáxere, S. Marcos-Quarteira e S. Estevão) (Figura 5, B); falhas com componente de movimentação normal (Figura 5, C); falhas verticais e com movimento indeterminado (falhas de Alvor, Oura, Eira de Agosto e S. Brás de Alportel) (Figura 3, Quadro 1).















FIGURA 4

Estruturas relacionadas com liquefação dos sedimentos, provavelmente em relação com actividade sísmica. A, deformação em depósito conglomerático apresentando níveis dobrados, em Eiras Velhas; B, aspecto das fracturas preenchidas por depósitos devido a colapso de sedimentos saturados em água, incoerentes, na dependência de fracturas que terão sofrido abertura súbita – filões neptunianos, na estrada para a Praia da Falésia; C, filão de material silto-argiloso com grãos de quartzo, de direcção NNW-SSE, cortando um arenito fino a médio de cor vermelha que passa lateralmente a um arenito grosseiro (Areias de Faro-Quarteira), em Aldeia das Sobredas (Dias e Cabral, 2002).



FIGURA 5

Falhas em depósitos Plio-Quaternários. (as linhas a tracejado indicam a estratificação) A, falhas, 350 m a W de Lagoa, com geometria inversa. A falha principal tem orientação (N58°E, 67°NW) e separação vertical inversa de aproximadamente 1,30m; B, falha, 50 m a oeste do Monte da Sinceira, entre xistos do Paleozóico, a W, e Areias de Faro-Quarteira, a E,. O plano tem orientação de (N11°E, 80°E); C, falha, na zona de Boliqueime, com geometria normal e orientação (N10°W, 75°W), estrias com *pitch* de 90° e separação vertical de 46 cm.

3.2 ÁREA IMERSA

O mapa de estruturas tectónicas activas para a área imersa (Figura 6) foi elaborado com base na interpretação da topografia submarina e perfis sísmicos de reflexão multicanal (Figura 7).

A área mapeada excede largamente a plataforma continental algarvia, abarcando as zonas onde se concentram os enxames de epicentros instrumentais (Figura 2). O traçado das falhas resulta da interpretação da batimetria multifeixe SWIM, publicada por Zitellini et al. (2009) e da interpretação de perfis sísmicos de reflexão multicanal obtidos em diversas campanhas de investigação em geologia marinha (Iberian Atlantic Margin, Banda et al., 1995; Arco Rifano, Torelli et al., 1997; Big Sources for Earthquakes and Tsunamis, Zitellini et al., 2001; VOLTAIRE) e, ainda, por companhias petrolíferas, ESSO, CHALLENGER, CHEVRON, nas décadas de 1970 e 1980, na Bacia Algarvia. Estas campanhas realizaram ainda sondagens mecânicas profundas cujos resultados foram utilizados para identificação e cartografia de horizontes sismostratigráficos. As falhas que estão representadas no mapa de estruturas tectónicas activas (Figura 6) foram classificadas com base nas evidências claras de deslocamento dos horizontes sismos tratigráficos estabelecidos para o intervalo temporal Pliocénico-Presente ou que, na ausência destas evidências, apresentassem correspondência geométrica ou cinemática com "nuvens" de sismicidade (Figura 2).



FIGURA 6

Mapa sintético das principais falhas activas actualmente identificadas na região do Algarve (zona emersa e imersa. Área imersa: vermelho, falhas activas no Holocénico; castanho, falhas activas cegas: azul. componente extensional mesozóica; castanho tracejado, falhas activas no Pliocénico ou inferidas. Área emersa: cheio, falhas reconhecidas no campo; tracejado, inferidas.

Duarte et al. (in press), Rosas et al. (2009), Terrinha et al. (2009).



RELAÇÃO SISMICIDADE – ESTRUTURAS GEOLÓGICAS ACTIVAS

A presença de uma sismicidade instrumental significativa na região do Algarve sugere que, pelo menos, parte das falhas consideradas activas por critérios geológicos e geomorfológicos sejam responsáveis por esta actividade sísmica, embora esta sismicidade tenha sido gerada em profundidade, na crosta sismogénica. Com efeito, segundo os "Boletins Sismológicos preliminares do Continente e Madeira" do Instituto de Meteorologia baseados numa rede de observatórios terrestres, isto é, estacionados em terra e não no mar, grande parte dos sismos na região do Algarve têm o hipocentro a profundidades superiores a 5 km, atingindo profundidades da ordem dos 50 km. Na zona emersa algarvia os hipocentros estão localizados a profundidades que variam entre 2,4 km e 25 km, indicando que os eventos sísmicos são gerados em acidentes tectónicos, localizados em profundidade no soco varisco.



FIGURA 7

Exemplo de interpretação sismostratigráfica e calibração do perfil multicanal ESSO P-81-11 com dados da sondagem Algarve-1.

Com excepção dos sismos históricos que atingiram intensidade elevada, a sismicidade instrumental raramente atinge magnitude superior a 5, sugerindo que a sismicidade registada não foi acompanhada por ruptura superficial nas falhas sismogénicas.

Na região do Algarve a profundidade a que se gera a sismicidade, bem como a sua dispersão geográfica, dificultam o estabelecimento de uma correlação entre os sismos e as estruturas reconhecidas à superfície, consideradas activas. Contudo é possível, nalgumas zonas, estabelecer uma relação entre as falhas e os epicentros dos sismos (Figura 2) e, de um modo geral, nas zonas de maior concentração de sismicidade, existem estruturas activas que se podem relacionar com essa sismicidade, com excepção da zona do Guadiana, onde se identificaram escassas evidências de actividade neotectónica.

Na área entre Albufeira-Loulé-Faro identificaram-se diversos exemplos de deformação neotectónica a afectar os depósitos plio-quaternários, gerada pelas falhas reconhecidamente activas nesta zona, nomeadamente as falhas de Rib.^a de Espiche, Relvas, Montejuntos, Vale Rabelho, Baleeira, Albufeira, Oura, Mosqueira, S. Marcos - Quarteira, Carcavai, Loulé, Areias de Almansil, Torre, estrutura de Faro, Eira e S. Brás de Alportel (Figura 2), que são provavelmente responsáveis pela sismicidade actual.

Na área que se estende da Serra de Monchique até Portimão reconheceram-se também diversos exemplos de deformações neotectónicas a afectarem os depósitos plio-quaternários, nomeadamente falhas, fracturas, paleossismitos e dobras. Na zona de Monchique reconhece-se uma concentração importante de sismicidade, que se localiza predominantemente nos bordos e no interior do maciço intrusivo. A profundidade dos sismos varia entre os 5 km e os 20 km.

A disposição dos epicentros dos sismos, de um modo geral circunscritos aproximadamente ao maciço eruptivo, sugere que haja uma relação entre a litologia aflorante e os epicentros, devido a um contraste das propriedades mecânicas entre litologias diferentes (xistos e grauvaques do Paleozóico e os sienitos do maciço eruptivo), desencadeando uma concentração de tensões numa heterogeneidade crustal e/ou cedência preferencial por menor resistência do material ígneo.

No litoral ocidental a sismicidade é escassa e distribui-se ao longo do sistema de fracturas S. Teotónio – Aljezur – Sinceira – Ingrina, que tem boas evidências de actividade neotectónica (Figura 1). No prolongamento deste acidente para a zona imersa (S de Sagres) reconhece-se um alinhamento de epicentros de direcção N-S sugerindo que esta estrutura se prolonga para S (Figura 2). Existem ainda outras estruturas nesta área, que afectam os depósitos plio-quaternários, eventualmente responsáveis por alguma desta sismicidade, como por exemplo o sistema de falhas da Messejana, a N, cujo prolongamento para o mar, a partir de Aljezur, é sugerida pelo alinhamento de epicentros, de direcção NNE-SSW, ao longo do canhão de S. Vicente, e a falha do Martinhal, a S (Figura 2).

A S do Algarve, na área imersa, os sismos geram-se a profundidades que variam, geralmente, entre os 5 km e os 50 km. Os alinhamentos dos epicentros parecem definir um padrão de direcção predominantemente ENE-WSW a NE-SW, NW-SE, E-W e N-S, semelhante à direcção das principais estruturas tectónicas activas da bacia algarvia. É de notar também a concentração e o alinhamento de epicentros de direcção N-S a NNW-SSE, a S de Faro, e NE-SW, a N do Banco de Guadalquivir e S de Tavira (Figura 2).

A sismicidade da Figura 2, definida pelos epicentros encontra-se agrupada em clusters. Na área imersa distinguem-se 4 agrupamentos de epicentros, a saber: um localizado sobre a montanha submarina de Gorringe, provavelmente associado ao respectivo cavalgamento para NW; dois agrupamentos na Planície Abissal da Ferradura; provavelmente associados à Falha da Ferradura e Falha Marquês de Pombal, nos locais onde se cruzam estes cavalgamentos com as Falhas de desligamento dextrógiro SWIM de direcção WNW-ESE e cavalgamento do Banco de Guadalquivir. A distribuição de epicentros a norte do Banco de Guadalquivir e na área emersa é mal definida, possivelmente fruto de diferenças reológicas importantes em relação aos domínios oceânicos (ou de crosta continental estirada ou de transição) e acomodação da deformação sísmica em maior número de falhas.

Os mecanismos focais calculados para diversos sismos localizados na região do Algarve e na área atlântica adjacente apontam para um predomínio de mecanismos com uma componente dominante em falha de desligamento ou em falha inversa (Ribeiro et al., 1996; Borges et al., 2001, Carrilho, 2005; Terrinha et al., 2006), mostrando-se relativamente consistentes com os dados sobre as falhas activas estudadas no território emerso.



FIGURA 8

Distribuição geográfica da Rede Sísmica NEAREST (triângulos a azul, LOBSTER; e a vermelho, GEOSTAR) e da Rede de Estações em Terra (triângulos verdes) no Golfo de Cádis. Distribuição de epicentros de sismos instrumentais adquiridos pelas estações em terra, para o mesmo período de aquisição da Rede Sísmica NEAREST, numa distância de 75 km da vizinhança das OBS (círculos vermelhos, dados de F. Carrilho (IM) e do Relatório Preliminar do Cruzeiro NEAREST, 2008).

Entre Setembro de 2007 e Julho de 2008 o projecto europeu NEAREST (Integrated observation from NEAR shore sourcES of Tsunamis: towards an early warning system) realizou o registo da sismicidade através de 24 sismógrafos de fundo (OBS, ocean bottom seismometers) e de uma estação multiparamétrica GEOSTAR (Geophysical and Oceanographic Station for Abyssal Research) depositados no Golfo de Cádiz (Figura 8). Os dados, que se encontram neste momento em análise forneceram os primeiros resultados, a saber: a) Os hipocentros localizam-se a profundidades superficiais e intermédias, encontrando-se a maior parte deles a>30 km, abaixo da discontinuidade de Mohorovičić. As magnitudes locais variam entre 1.2 a 4.5; b) Os mecanismos focais determinados apresentam predominantemente soluções inversas e de desligamento, no entanto estão também presentes algumas soluções normais e oblíquas.

POTENCIAL SISMOGÉNICO DAS PRINCIPAIS FALHAS ACTIVAS NA REGIÃO DO ALGARVE

Na avaliação do potencial sismogénico de uma falha existem diversos condicionalismos que interferem numa avaliação correcta, podendo implicar numa sobrestimativa ou subsestimativa do valor encontrado, designadamente: o comprimento total da falha, os diferentes segmentos, a geometria e cinemática; deslocamento não estacionário no tempo a longo prazo, imprecisão na idade das referências estratigráficas utilizadas para inferir os deslocamentos acumulados, entre outros. Apesar destes condicionalismos, efectuou-se para as principais falhas activas da região do Algarve, zona emersa e imersa, sempre que possível, uma estimativa aproximada da magnitude mais provável do sismo máximo credível que estas estruturas podem gerar, os seus intervalos de recorrência, e as taxas médias de deslocamento. O comprimento total das falhas foi determinado a partir da Carta Geológica da Região do Algarve, à escala 1:100.000 (zona emersa) e a partir do mapa de estruturas tectónicas activas (zona imersa), que como já foi referido, foi elaborado com base na interpretação da topografia submarina e perfis sísmicos multicanal (Quadro 1 e 2).

Os critérios de segmentação basearam-se em evidências morfológicas de actividade, descontinuidades no traçado cartográfico e na intersecção com estruturas tectónicas regionais importantes. Para o cálculo do intervalo de recorrência e taxas de actividade consideraram-se dois períodos, 3 Ma (Pliocénico superior) e 1,8 Ma (base do Quaternário), atendendo à idade provável considerada para as Areias de Faro-Quarteira. Deste modo, calculou-se a magnitude de momento, deslocamento máximo, deslocamento médio, intervalo de recorrência e taxas médias de actividade utilizando-se as equações de correlação de Wells e Coppersmith (1994).

Os resultados assim obtidos estão expressos no Quadro 1 e 2. Pela análise deste quadro verificou-se que a magnitude de momento máxima expectável para as falhas activas da região do Algarve varia entre 5,8 e 7,1 na zona emersa, o que está de acordo com as várias estruturas identificadas, nomeadamente:

- a cerca de 6[.]

As taxas médias de deslocamento estimadas são baixas, correspondendo a falhas cuja actividade varia de muito baixa a baixa, com escassas evidências geomorfológicas (Slemmons, 1977), confirmando-se, assim, as observações de campo referentes à morfologia e à sua relação com os acidentes considerados activos, que é pouco evidente.

Na zona imersa a magnitude máxima expectável para as falhas identificadas varia entre 7,21 e aproximadamente 8,5 o que também está de acordo com a sismicidade histórica.

PERÍODOS DE RECORRÊNCIA

Foi utilizado um código de elementos finitos de aproximação thin-shell da litosfera (SHELLS - Bird, P. 1999) para estudar a neotectónica na região do Golfo de Cádis e Margem SW Ibérica e constranger os períodos de recorrência de grandes sismos e tsunamis na região (Cunha et al., 2009). Os resultados, em termos do deslocamento médio anual nas falhas mapeadas, são apresentados na Figura 9 para diferentes modelos.

A falha 7+7w representada na Figura 1 (Falha SWIM segundo Zitellini et al., no prelo), que nos modelos da Figura 10 aparece com diferentes comprimentos e diferentes graus de segmentação trata-se duma estrutura recentemente mapeada (Zitellini et al., 2009, Rosas et al., 2009, Terrinha et al., 2009) e ainda em fase de investigação. As taxas que lhe são associadas são, portanto, resultados de modelos especulativos sobre a sua segmentação e devem ser interpretados como tal. Assim, na Falha SWIM de orientação WNW-ESE, é de esperar que se gerem sismos associados a mecanismos focais de desligamento. Os períodos de retorno e magnitudes máximas esperadas estão altamente dependentes do grau de segmentação dos

• Falhas que sofreram ruptura superficial, o que implica sismos com magnitude superior

• Dobramentos convolutos em níveis conglomeráticos (Dias e Cabral, 2000), o que implica ocorrência de sismos com magnitude superior a 7,5 (Rodríguez Pascua, 1998);

• Injecções de sedimentos finos em depósitos arenosos (filões detríticos) (Dias e Cabral, 2000), o que implica ocorrência de sismos com magnitude superior a 5,5 (Rodríguez Pascua, 1998); • Preenchimentos de fracturas por colapso súbito (Dias e Cabral, 2000), o que implica ocorrência de sismos com magnitude superior a 5,5 (Rodríguez Pascua, 1998).

QUADRO 1 - Síntese das principais falhas activas identificadas, respectivamente com a sua caracterização e avaliação do potencial sismogenético. Cinemática - E, esquerda; D, direita; I, inversa; N, normal.

							1				
FALHA	ORIENTAÇÃO	CINEMÁTICA	COMPRIMENTO TOTAL (km)	SEGMENTO MAIOR (km)	DESLOCAMENTO VERTICAL (m)	CRITÉRIO	Mmax.	DESLOCAMENTO MÁXIMO ESTIMADO (m)	DESLOCAMENTO MÉDIO ESTIMADO (m)	INTERVALO DE RECORRÊNCIA ESTIMADO (ano)	TAXA DE ACTIVIDADE (mm/ano)
Sistema de fractura -											
S. Teotónio; Alzejur;	NNE - SSW	E**1	50**		100*	Morfológico	7,1	1,40	1,07	32017 - 19210	0,03 - 0,06
Sinceira; Ingrina											
Barão de S. João	NE - SW	EN	17	6	≈50	Morfológico	6 - 6,5	0,88	0,73	44009 - 26405	0,02 - 0,03
Espiche - Odiáxere	ENE - WSW	DN	26	11			6,3 - 6,7	1,05	0,85		
Lagos	N - S	1	8				6,1	0,65	0,56		
Portimão	N - S	E (?)	11				6,3	0,74	0,63		
Baleeira	WNW - SSE	1	14	4	30 - 70	Morfológico	5,8 - 6,4	0,82	0,69	29383 - 17630	0,02 - 0,04
Albufeira	N - S	E	14,5				6,4	0,83	0,69		
S. Marcos - Quarteira	NW - SE	D1	>40	≈12			6,3 - 7	1,26	0,99		
Carcavai	NW - SE	E1	20		15	Estratigráfico	6,6	0,90	0,57	157330 - 94400	0,005 - 0,008
Loulé	E - W	EN	12		1,2	Estratigráfico	6,3	0,76	0,65		
Faro	N - S	E (?)									
S. Estevão	ENE - WSW	D (?)	>40	11	40 - 60	Morfológico	6,3 - 7	1,26	0,99	49378 - 29627	0,02 - 0,03

* Perreira, 1990 | **Cabral, 1995

QUADRO 2 - Cinemática, comprimento e magnitude do sismo máximo para as falhas representadas na Figura 9.

	I		
ID FIGURA 9	CINEMÁTICA DAS FALHAS	COMPRIMENTO (km)	MAGNITUDE MAX.
1	Inversa	96	7,38
2	Inversa e desligamento dextrógiro	98	7,39
3	Inversa	70	7,22
4	Inversa	85	7,32
5	Inversa	112	7,46
6	Inversa e desligamento dextrógiro	85	7,32
7	Desligamento direito	561	-8,27
8	Inversa	38	6,91
9	Inversa	129	7,53
10	Inversa	68	7,21
11	Inversa	180	7,70
12	Inversa	166	7,66
2+5		213	7,78
1+8		130	7,53
1+6		165	7,65
1+8+10		198	7,74
1+6+7w		350	8,03
			•

Prisma acreccionário (Gutscher et al., 2002)

mesmos (Modelos 1 a 4). Assumindo as relações Mw-L-D propostas por Stirling *et al.* (2002), para sismos de magnitude 7, 7.5 e 8 os períodos de retorno poderão oscilar entre 400-4000, 700-7000 anos e 1700-17000 anos, respectivamente, para taxas de deformação que variam entre 0.35 e 3.5 mm/a (Modelos 3 e 4). Considerando que a Falha SWIM não inibe a sismicidade nas restantes localizadas a norte e, que a deformação sísmica que acomoda é menor em comparação com as restantes, devem considerar-se como mais prováveis os períodos de retorno maiores e segmentação maior, ou seja, menor continuidade da falha, do ponto de vista sismogénico.

Para os deslocamentos mapeados no sistema de falhas inversas NE-SE (falhas de Ferradura, n.º1 no Quadro 2, Marquês de Pombal n.º10 e Planície Abissal do Tejo), e de acordo com uma relação deslocamento-comprimento da falha adaptada de Manighetti *et al.* (2007), um período de recorrência de 1150-2300 anos, 3620-7240 anos e 9900-19800 anos pode ser inferido para sismos de magnitude (Mw) 7, 8 e 8.75, respectivamente (Modelos 1-3). Períodos semelhantes poderão também ser inferidos para uma falha ENE-WSW a sul do Algarve (Guadalquivir-Portimão; Modelo 1 na Figura 9, falhas 2+5 na Figura 2).



FIGURA 9

Modelos numéricos segundo Cunha et al. (2009) para a taxa de deslocamento em falhas activas no Golfo de Cádis e Mar de Alborán. Os números associados a cada falha correspondem à taxa de movimentação calculada em mm/ano. Os diferentes modelos das falhas correspondem a variações na segmentação e coalescência das mesmas.

AGRADECIMENTOS

Estamos gratos aos Doutores G. Manuppella, J. Cabral, A. Ribeiro, F. Rosas e a todos que de algum modo contribuíram para a realização deste trabalho.

Os estudos realizados desenvolveram-se no âmbito de diversos projectos, nomeadamente os projectos PIDACC do Instituto Geológico e Mineiro: Investigação da Neotectónica do País e Risco Sísmico e Investigação em Geologia Urbana, Neotectónica e Risco Sísmico; os projectos PRAXIS "Elementos para Caracterização do Risco Sísmico na Região Meridional do Continente Português (ECARISCOPO)" e "Geodynamical Monitoring and Seismic Characterization of the Algarve Region" e o projecto SAPIENS (Costal Change in Algarve Since Last Interglacial (COCHA)) financiados pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT); o projecto "Caracterização do Potencial Sismogenético de Falhas na Região do Algarve Ocidental Meridional (CAPSA)", financiado pela FCT no âmbito do Programa de Apoio à Reforma dos Laboratórios do Estado; o projecto PDCTE/CTA/49989/2003 (Natural Hazards Evaluation by SAR Interferometry in seismically active zones in Portugal); o Protocolo "Sismotectónica do Algarve para o Estudo do Risco Sísmico e de Tsunamis do Algarve" assinado com a Autoridade Nacional de Protecção Civil.

Os resultados da área imersa beneficiaram também da colaboração com o projecto financiado pela EU, NEAREST (Integrated observations from NEAR shore sourcES of Tsunamis: towards an early warning system através do programa "Global Change and Ecosystems", contract n. 037110) e pela FCT, TOPOMED (Plate re-organization in the western Mediterranean: lithospheric causes and topographic consequences, TOPOEUROPE/0001/2007), SWITNAME (Modelação Tectónica Numérica e Analógica da Fronteira de Placas a SW da Península Ibérica, PDCT/CTE-GIN/59244/2004) e TECTAP (Estrutura, Estratigrafia e Evolução Tectono-Térmica da Planície Abissal do Tejo, PTDC/CTE-GIN/68462/2006). Agradece-se o apoio da Landmark Graphics Corporation via "the Landmark University Grant Program".

SFRH/BD/46227/2008).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

investigates deep structure of ocean margins, 1995. Eos trans. AGU 76 (3), 25-28-29.

and faulting. Comp. Geosci., 25: 383-394.

its adjacent Atlantic area. Tectonophysics, 337, 373-387.

International Geological Congress, Washington, D. C.; USA, 1/3, 223 p.

Fac. Ciências da Univ. de Lisboa, 160 p.

Results on Seismicity and Fault-plane Solutions. Pure appl. Geophys,. 161, 589-606.

S. Marcos-Quarteira Fault, Portugal. Journal Applied Geophysics, Vol. 60, 2, 153-164.

Eos Trans. AGU, 88 (52), Fall Meet. Suppl., Abstract NS11D-0795.

João Duarte, Vasco Valadares e Sónia Silva beneficiaram de bolsas de doutoramento da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (SFRH/BD/31188/2006, SFRH/BD/17603/2004 e

- BANDA E.; TORNÉ, M. & THE IBERIAN ATLANTIC MARGINS GROUP (1995) Iberian Atlantic Margins group
- BAPTISTA, M.A.; MIRANDA, J. M.; CHIERICI, F. & ZITELLINI, N. (2003) New study of the 1755 earthquake source based on multi-channel seismic survey data and tsunami modeling. Natural Hazards and Earth System Sciences, 3, 333-340.
- BIRD, P. (1999) Thin-plate and thin-shell finite element programs for forward dynamic modeling of plate deformation
- BORGES, J. F.; FITAS, A. J. S.; BEZZEGHOUD, M. & TEVES-COSTA, P. (2001) Seismotectonics of Portugal and
- CABRAL, J. (1995) Neotectónica em Portugal Continental. Mem. Inst. Geol. Mineiro, Lisboa, 31, 265 p.
- CABRAL, J. & RIBEIRO, A. (1989) Incipient subduction along the West-Iberia continental margin. In: Abstracts, 28th
- CARRARA G.; MATIAS L.; GEISSLER, W.; D'ORIANO F. & NEAREST WORKING GROUP (2008) NEAREST 2008 Cruise Preliminary Report r/v Urania, 1st Aug 2008 - 4th Sept 2008, http://nearest.bo.ismar.cnr.it
- CARRILHO, F. (2005) Estudo da Sismicidade da Zona Sudoeste de Portugal Continental. Dissertação de mestrado,
- CARRILHO, F.; TEVES-COSTA, P.; MORAIS, I.; PAGARETE, J. & DIAS, R. P. (2004) GEOALGAR Project: First
- CARVALHO, I.; TORRES, L.; ROCHA, R.; DIAS, R. & MENDES-VICTOR, L. (2006) A Geophysical Study of the
- CARVALHO, J. G.; RAMALHO, E. C.; DIAS, R. & PINTO, C. (2007) Characterization of Active Faults in the Algarve.

CAPÍTULO 2 SISMOTECTÓNICA DO ALGARVE

CUNHA, T.; MATIAS, L. M.; TERRINHA, P.; NEGREDO, A.; ROSAS, F.; FERNANDES, R. & PINHEIRO L.M. (2009) - Assessing the recurrence period of large earthquake and tsunami in the Gulf of Cadiz and SW Iberia Margin using thin-sheet neotectonic modelling. European Geosciences Union, General Assembly, Vienna, Austria, 19 – 24 April 2009 Poster

DIAS, R. P. (2001) – Neotectónica da Região do Algarve. Dissertação de doutoramento, Fac. Ciências, Univ. Lisboa, 369 p.; pol..

DIAS, R. P. & CABRAL, J. (2000) – Evidências de Paleosismicidade na região do Algarve. Resumos, 2ª Assembleia Luso Espanhola de Geodesia e Geofísica, Lagos, 143-144.

DIAS R. P. & CABRAL, J. (2002) – Neotectónica da região do Algarve. Comun. Inst. Geol. e Mineiro, t. 89, 193-208.

DIAS, R. P.; CABRAL, J. & TERRINHA, P. A. (1999) – Sismotectónica da Região de Faro. 4º Encontro Nacional sobre Sismologia e Engenharia Sísmica, Sísmica 99, 28-30 de Outubro de 1999, Edt. Carlos A. P. Martins, Faro, 11-18.

DIAS, R. P.; CABRAL, J. & PENA REIS, R. (2004) – Paleoseismites and structures related to karst evolution in the Algarve region. In: Dinis, J. L. and Proença Cunha, P. (eds.): Cretaceous and Cenozoic Events in West Iberia Margins. 23rd Meeting of Sedimentology, Coimbra, 2004, Field Trip Guidebook, vol. 2, 73-91.

DUARTE, J.C.; VALADARES, V.; TERRINHA, P.; ROSAS, F.; ZITELLINI, N. & GRÀCIA, E. (IN PRESS) – Anatomy and tectonic significance of WNW-ESE and NE-SW lineaments at a transpressive plate boundary (Nubia-Iberia). Trabajos de Geología.

GRÀCIA, E.; DANOBEITIA, J.; VERGÉS, J.; CORDOBA, D. & TEAM, P. (2003) – Mapping active faults offshore Portugal (36°N-38°N): implications seismic hazard assessment along the southwest Iberian margin. Geology 31 (1): 83-86.

GUTSCHER, M. A.; MALOD, J.; REHAULT, J. P.; CONTRUCCI, I.; KLINGELHOEFER, F.; MENDES-VICTOR, L. & SPAKMAN, W. (2002) – Evidence for active subduction beneath Gibraltar. Geology 30(12): 1071-1074.

KULLBERG, J. C.; PAIS, J. & MANUPPELLA, G. (1992) – Aspectos gerais da tectónica alpina no Algarve. Ciências da Terra, Lisboa, n.º 11, 293-302.

MANIGHETTI, I.; CAMPILLO, M.; BOULEY S.; & COTTON F. (2007) – Earthquake scaling, fault segmentation and structural maturity. Earth Plan. Sci. Lett.: 429-438.

MANUPPELLA, G. (1988) – Litoestratigrafia e Tectónica da Bacia Algarvia. Geonovas, Lisboa, vol. 10, 67-71.

MANUPPELLA, G. (COORDENADOR) (1992) – Carta Geológica da Região do Algarve, escala 1/100 000, Notícia Explicativa. Serv. Geol. Port.; Lisboa, 15 p.

MANUPPELLA, G.; MARQUES, B.; RAMALHO, M. & ROCHA, R. B. (1987) – Le jurassique de L'Algarve; stratigraphie et évolution sedimentaire. 2nd Intern Symp. Jurassic Stratigraphy, Excursion C, September, 19-21, Lisboa, 3-33.

MANUPPELLA, G. & DIAS R. (1992) – Tectónica das bacias sedimentares Meso-Cenozóicas, Bacia Algarvia. In: Oliveira J. T. (coord.), Carta Geológica de Portugal, Folha 8. Serv. Geol. Port., Lisboa.

MCKENZIE, D.P. (1970) - Plate tectonics of the Mediterranean region. Nature (London) 226 (5242), 239-243.

MEDIALDEA, T.; VEGAS, R.; SOMOZA, L.; VAZQUEZ ,J.T.; MALDONADO, A.; DIAZ-DEL RIO, V.; MAESTRO, A.; CORDOBA, D. & FERNANDES-PUGA, M.C. (2004) – Structure and evolution of the "Olistostrome" complex of the Gibraltar Arc in the Gulf of Cádiz (eastern Central Atlantic): evidence from two long seismic cross-sections. Marine Geology, 209 (1-4), 173-198.

MOREL, J.L. & MEGHRAOUI, M. (1996) – Goringe–Alboran–Tell tectonic zone; a transpression system along the Africa–Eurasia plate boundary. Geology (Boulder) 24 (8), 755–758.

MOURA, D. (1998) – Litostratigrafia do Neogénico Terminal e Plistocénico, na Bacia Centro-Algarve, evolução paleoambiental. Dissertação de doutoramento, Universidade do Algarve, Faro, 256 p., pol.

Geol. e Mineiro, Lisboa, t 86, 85-106.

Universidade de Lisboa, Portugal, 121 p., pol.

PURDY, G.M., (1975) – The eastern end of the Azores-Gibraltar plate boundary. Gophys. J.R. Astr.Soc., 43, 973-1000.

RIBEIRO, A. (2002) – Soft Plate and Impact Tectonics. Springer Verlag, 324 p.

RIBEIRO, A.; CABRAL, J.; BATISTA, R. & MATIAS, L. (1996) – Stress pattern in Portugal mainland and the adjacent Atlantic region, West Iberia. Tectonics, 15, (2), 641-659.

RODRÍGUEZ PASCUA, M. A. (1998) - Paleosismicidad en emplazamientos nucleares (estúdio en relación con el cálculo de la peligrosidad sísmica). Consejo de Seguridad Nuclear, Madrid, 286 p.

experiments. Marine Geology, 261, 33-47.

555-558

SLEMMONS D. B. (1977) – Faults and earthquake magnitude. U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experimental Station, Miscellaneous Papers S-73-1, Report 6, 1-129 p...

STERLING, M.; RHOADES, D. & BERRYMAN, K. (2002) – Comparison of earthquakes scaling relations derived from data of the instrumental and preinstrumental era. Bull. Seism. Soc. Am., 2: 812-830.

Thesis, Imperial College, London, 430 p. pol.

84. Fasc. I. D-81-D-84.

Com. Inst. Geo. Min.; Lisboa t. 86, 107-120.

TERRINHA, P.; PINHEIRO, L. M.; HENRIET, J.-P.; MATIAS, L.; IVANOV, M. K.; MONTEIRO, J.H., AKHMETZHANOV, A.; VOLKONSKAYA, A.; CUNHA, T.; SHASKIN, P.; ROVERE, M. & THE TTR10 SHIPBOARD SCIENTIFIC PARTY (2003) – Tsunamigenic-seismogenic structures, neotectonics, sedimentary processes and slope instability on the southwest Portuguese Margin. doi:10.1016/S0025-3227(02)00682-5. Marine Geology 3266 1-19.

MOURA, D. & BOSKI, T. (1999) – Unidades litostratigráficas do Pliocénico e Plistocénico no Algarve. Comun. Inst.

RESSURREIÇÃO, R. (2009) – Estudos de Neotectónica na falha de Carcavai (Algarve): contribuição para a caracterização desta estrutura e de paleossismitos prováveis associados. Dissertação de mestrado,

ROSAS, F.M.; DUARTE, J.C.; TERRINHA, P.; VALADARES, V. & MATIAS, L. (2009) – Morphotectonic characterization of major bathymetric lineament in NW Gulf of Cadiz (Africa-Iberia plate boundary): insights from analogue modelling

SARTORI, R.; TORELLI, L.; ZITELLINI, N.; PEIS, D. & LODOLO, E. (1994) - Eastern segment of the Azores-Gibraltar Line (Central-Eastern Atlantic): an oceanic plate boundary with diffused compressional deformation. Geology, v. 22,

TERRINHA, P. A. G. (1998) – Structural Geology and Tectonic Evolution of the Algarve Basin, South Portugal. PhD

TERRINHA, P.; DIAS, R. P. & CABRAL, J. (1998) – Neogene and Quaternary evolution of the South Portugal margin. Actas do V Congresso Nacional de Geologia (Resumos alargados), Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro, T.

TERRINHA, P.; DIAS, R. P.; RIBEIRO, A. & CABRAL, J. (1999) – The Portimão Fault, Algarve Basin, South Portugal.

CAPÍTULO 2 SISMOTECTÓNICA DO ALGARVE

TERRINHA, P.; ROCHA, R.; REY, J.; CACHÃO, M.; MOURA, D.; ROQUE, R.; MARTINS, L.; VALADARES, V.; CABRAL, J.; AZEVEDO, M. R.; BARBERO, L.; CLAVIJO, E.; DIAS, R. P.; GAFEIRA, J.; MATIAS, H.; MADEIRA, J.; MARQUES DA SILVA, C.; MUNHÁ, J.; REBELO, L.; RIBEIRO, C.; VICENTE, J. & YOUBI, N. (2006) – A Bacia do Algarve: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica. Em: Geologia de Portugal no contexto da Ibéria, (Dias R.; Araújo, A.; Terrinha, P. e Kullberg, J. C., Editores), Univ. Évora, 247-316.

TERRINHA, P.; MATIAS, L.; VICENTE, J.; DUARTE, J.; LUÍS, J.; PINHEIRO, L.; LOURENÇO, N.; DIEZ, S.; ROSAS, F.; MAGALHÃES, V.; VALADARES, V.; ZITELLINI, N.; ROQUE, C.; MENDES VÍCTOR L. & MATESPRO TEAM (2009) – Morphotectonics and strain partitioning at the Iberia–Africa plate boundary from multibeam and seismic reflection data, Mar. Geol.

TORELLI, L.; SARTORI, R. & ZITELLINI, N. (1997) – The giant chaotic body in the Atlantic Ocean of Gibraltar: new results from a deep seismic reflection survey. Marine and Petroleum Geology 14, 125-138.

TORTELLA, D.; TORNE, M. & PÉREZ-ESTAÚN, A. (1997) – Geodynamic evolution of the eastern segment of the Azores-Gibraltar Zone: the Gorringe bank and the Gulf of Cadiz Region. Mar. Geophys. Res. 19, 211-230.

WELLS, D. L. & COPPERSMITH, K. J. (1994) – New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. Seismological Society of America Bulletin, v. 84 (4), 974-1002.

ZITELLINI, N.; CHIERICI, F.; SARTORI, R. & TORELLI, L. (1999) – The tectonic source of the 1755 Lisbon earthquake and tsunami. Annali di Geofisica, 42 (1), 49-55.

ZITELLINI, N.; MENDES, L.A.; CORDOBA, D.; DANOBEITIA, J.; NICOLICH, R.; PELLIS, G.; RIBEIRO, A.; SARTORI, R.; TORELLI, L.; BARTOLOMÉ, R.; BORTOLUZZI, G.; CALAFATO, A.; CARRILHO, F.; CASONI, L.; CHIERICI, F.; CORELA, C.; CORREGGIARI, A.; DELLA VEDOVA, B.; GRACIA, E.; JORNET, P.; LANDUZZI, M.; LIGI, M, MAGAG-NOLI, A.; MAROZZI, G.; MATIAS, L.; PENITENTI, D.; RODRIGUEZ, P.; ROVERE, M.; TERRINHA, P.; VIGLIOTTI L. & ZAHINOS-RUIZ, A. (2001) – Source of 1755 Lisbon earthquake and tsunami investigated, EOS, Transactions, Am. Geophys. Union, 82, 26, 282-285.

ZITELLINI, N.; ROVERE, M.; TERRINHA, P.; CHIERICI, F.; MATIAS, L. & BIGSETS TEAM (2004) – Neogene through Quaternary Tectonic reactivation of SW Iberian passive margin. Pure appl. Geophys.; 161, 565-587.

ZITELLINI, N.; GRÀCIA, E.; MATIAS, L.; TERRINHA, P.; ABREU, M. A.; DEALTERIIS, G.; HENRIET, J.-P.; DAÑOBEITIA, J. J.; MASSON, D. G.; MULDER, T.; RAMELLA, R.; SOMOZA, L. & DIEZ, S. (2009) – The quest for the Africa-Eurasia plate boundary west of the Strait of Gibraltar, Earth and Planetary Science Letters, 28 p.





Carrilho, F. | Pena, J. A. | Nunes, J. C. Departamento de Sismologia e Geofísica, Instituto de Meteorologia, I.P.

Nunes, J. C. Aposentado, Instituto de Meteorologia, I.P.

INTRODUÇÃO

Neste capítulo é feita uma descrição da sismicidade que afecta o território do Algarve, nas suas componentes histórica e instrumental (recente), com destaque para os trabalhos de revisão do catálogo sísmico, detecção de séries sísmicas e identificação das áreas de geração sísmica essenciais para a caracterização da perigosidade sísmica.

Por sismicidade histórica entende-se aquela para a qual não existe informação instrumental, em que todas as estimativas de epicentro/hipocentro e magnitude são efectuadas com base na avaliação de informação macrossísmica extraída de documentos.

Não havendo método alternativo, a estimativa dos parâmetros sísmicos básicos, nomeadamente o hipocentro e magnitude, com base na distribuição dos efeitos macrossísmicos coloca vários problemas. No caso da magnitude, pode haver grandes disparidades na sua avaliação, sendo o sismo de Benavente de 1909 um excelente exemplo disso mesmo. Por outro lado, para os sismos de maior dimensão, a aparente área epicentral deduzida dos efeitos do sismo está muito mais relacionada com a área da ruptura, a qual pode assumir valores extraordinariamente elevados (ex: para um sismo com magnitude M_w=8.0, a dimensão linear da ruptura pode atingir 200 km ([Wells & Coppersmith, 1994]), dificultando ou mesmo inviabilizando uma estimativa realista do epicentro (já para não falar na profundidade focal).

Neste projecto, e tendo em conta a evolução da rede sismográfica no século XX, considerou-se o período histórico até 1960, que marca o início da década na qual foi instalada a rede global WWSSN¹. Pelas razões atrás mencionadas, a sismicidade instrumental é considerada a partir do ano de 1961

SISMICIDADE HISTÓRICA

O território de Portugal continental tem sido atingido por vários sismos de grande magnitude (ver Figuras 1 e 2), muitos dos quais provocaram elevados danos e muitas vítimas, sendo o sismo de 1755, que é conhecido como o "terramoto de Lisboa", o mais importante.

As informações sobre sismicidade histórica de Portugal Continental são muito escassas até quase ao fim da idade média, verificando-se que só a partir de meados do século XIV começam a aparecer referências fiáveis sobre terramotos que afectaram o País. Todavia, é o sismo de 26 de Janeiro de 1531, com epicentro na zona de Lisboa /vale inferior do Tejo, o primeiro a ser descrito com algum detalhe (Moreira, 1991). Na Figura 2 é possível visualizar a distribuição temporal dos sismos históricos, segundo o catálogo Martins & Mendes-Victor (1990) (com algumas correcções).



1356, 1531 e 1755.

O primeiro sismo histórico de que há conhecimento terá ocorrido em 60 ou 63 a.C., tendo afectado particularmente as costas de Portugal Continental e Galiza, tendo sido acompanhado por um tsunami de dimensão suficiente para forçar a fuga das populações do litoral para o interior.

Ainda segundo o mesmo autor, as zonas sísmicas onde tiveram origem os terramotos mais importantes localizam-se no vale inferior do Tejo (região de Benavente) e na zona Sudoeste do Cabo de S. Vicente. Foram nestas zonas que se localizaram os epicentros dos sismos de 1344,

FIGURA 1

Sismicidade histórica, 63 a.C. – 1960 d.C [esq] e sismicidade instrumental 1961-2007 [dir]. Sismicidade histórica segundo Martins & Mendes-Victor, 1990, com algumas alterações: a) excluíram-se dois falsos sismos históricos – 1551-01-28 Mag 7.1, "localizado" a Oeste do Cabo de Sines (de acordo com Cabral, 1995) e – 1512-01-28 Mag 6.3, "localizado" em Lisboa (Moreira, 1991) –; b) correcção do epicentro e da magnitude do sismo de 1722 (ver texto); c) correcção da magnitude do sismo de 1909 (ver texto).

^{1.} World Wide Standardized Network



Distribuição da sismicidade histórica (63 a.C. – 1960 d.C.) no tempo, segundo Martins & Mendes-Victor, 1990 (com algumas alterações: ver legenda da Figura 1).

A localização epicentral deste sismo é incerta (algures a Oeste da costa continental). Em 382 d.C., um outro sismo ter-se-á verificado a Sudoeste do Cabo de S. Vicente, havendo relatos da ocorrência de um grande tsunami e de desaparecimento de ilhas ao largo do Cabo de S. Vicente (Barata *et al.*, 1989).

Relativamente aos sismos de 1344 e 1531, sabe-se que foram originados na zona sismogénica do vale inferior do Tejo, tendo provocado grandes destruições na zona de Lisboa. Em particular o de 26 de Janeiro de 1531 (Pereira de Sousa, 1930), provavelmente o mais energético com epicentro em terra, é descrito como tendo atingido a intensidade máxima de IX (escala Mercalli modificada, 1956) em Benavente, Vila Franca de Xira e Lisboa (Moreira, 1991). Segundo Mezcua (1982), este sismo terá mesmo atingido o grau IX/X.

Em 24 de Agosto de 1356 ocorreu um sismo de grandes proporções, sentido em toda a Península Ibérica, tendo provocado grandes estragos em Portugal. Aparentemente, este sismo terá atingido em Portugal uma intensidade semelhante à do que ocorreu posteriormente em 1755, com grandes destruições em Lisboa, Algarve e na Andaluzia. Estes factos, juntamente com o grande número de réplicas, levantam a suspeita de que o sismo terá tido origem na zona do de 1755 (Moreira, 1991), embora, e de acordo com o mesmo autor, não existam quaisquer referências bibliográficas à ocorrência de um tsunami associado a este sismo. Em 6 de Março de 1719 ocorreu um importante sismo com área epicentral próxima de Portimão. A Magnitude reportada no catálogo sísmico é de 7.0 (Martins & Mendes-Victor, 1990). No entanto, os estragos por ele provocados foram muito localizados em Portimão e povoações próximas (Moreira, 1991), tratando-se provavelmente de um sismo com magnitude inferior.

Em de 27 de Dezembro de 1722, ocorreu no Algarve um outro sismo que teve efeitos catastróficos, com o qual foi quase totalmente destruída a vila de Loulé, tendo-se também verificado danos consideráveis noutras localidades algarvias. O catálogo sísmico de (Martins & Mendes-Victor, 1990) atribui a este evento um epicentro em terra e uma magnitude consideravelmente elevada (7.8). Contudo, outros autores, como Steikhardt (1931), (*in* Moreira 1991), Moreira (1982) e Baptista *et al.* (1999), situam a localização epicentral ao largo de Tavira, apontando os últimos autores a existência de evidências significativas da ocorrência de um tsunami. A magnitude foi também corrigida para 7.0, valor máximo do intervalo de 6.2-7.0 reportado no Catálogo Sísmico Nacional do INMG (não publicado).

Em 1 de Novembro de 1755 ocorreu o sismo que ficou conhecido pelo sismo de Lisboa, tendo sido um dos maiores sismos, se não mesmo o maior, que afectaram a Península Ibérica e a Europa. A sua magnitude terá atingido o valor de 8,7 (Richter, 1949; Abe, 1979) e a extensão do campo macrossísmico associado situa este sismo entre os maiores a nível mundial. Foi o maior sismo que afectou Lisboa, tendo o tsunami associado sido também um dos maiores que atingiu Portugal Continental, apenas comparável aos que ocorreram (talvez) em 63 (ou 60) a.C. e 382 d.C. Alguns dos principais edifícios de Lisboa foram destruídos, ou por acção directa do sismo ou pelo incêndio que se lhe seguiu (Moreira, 1991). Segundo este mesmo autor, o sismo terá atingido o grau X (escala Mercalli modificada, 1956) em algumas localidades da costa Algarvia e em Lisboa.

Ao longo do tempo foram publicadas várias cartas de isossistas (ex: Reid, 1914; Machado, 1966; Martinez Solares *et al.*, 1979; Mezcua, 1982; Moreira, 1991; Mendes-Victor *et al.*, 1999). Com excepção da primeira carta (Reid, 1914), em que o campo macrossísmico é caracterizado por isossistas circulares e concêntricas, sugerindo um epicentro no Golfo de Cádiz, as restantes, de uma forma geral, indicam valores de intensidade mais elevados ao longo da costa Oeste até Lisboa, no barlavento Algarvio e também em Marrocos. Um dos aspectos mais impressionantes deste sismo foi a amplitude do tsunami gerado, assunto tratado noutro capítulo. Relativamente à origem deste sismo, têm sido propostas, por diversos autores, várias áreas de geração, tendo neste trabalho sido considerado um epicentro na zona de geração associada à falha do Marquês de Pombal.

Um outro sismo importante é o chamado sismo de Setúbal de 1858, que ocorreu às 07:15 do dia 11 de Novembro, tendo provocado um elevado nível de destruição – intensidade IX – em Setúbal, Melides e Santo André (Moreira, 1991). O seu epicentro terá, muito provavelmente, tido origem no mar a poucos quilómetros da cidade, tendo sido sentido em todo o território do continente. Jonhston & Kanter (1990), consideram este sismo como tendo ocorrido ao largo de Santo André, tendo-o apontado como um dos 15 maiores sismos ocorridos no globo terrestre em crosta continental estável.

Com epicentro próximo de Benavente, na região do Vale do Tejo, ocorreu o sismo de 23 de Abril de 1909, o qual foi considerado o sismo mais destruidor, sentido no Continente, no século passado. Neste sismo foi destruída quase por completo a vila de Benavente, bem como as aldeias próximas e causou grandes danos na parte ocidental da cidade de Lisboa. A sua magnitude foi recentemente estimada em 6.0 M_w (Teves-Costa *et al.*, 1999; Borges, 2003), avaliação feita com base em registos instrumentais, sendo este valor inferior ao limite inferior do intervalo 6.4-7.1 estimado por Karnik (1969) e significativamente mais baixo que o de 7.6 estimado a partir de dados macrossísmicos (no catálogo de Martins & Mendes-Victor, 1990).

3. SISMICIDADE INSTRUMENTAL

Ao contrário da sismicidade histórica, em que a esmagadora maioria dos eventos tem localização epicentral bastante incerta, por se basear na distribuição dos efeitos macrossísmicos, as determinações epicentrais são mais fiáveis, embora com diferentes graus de qualidade.

Na Figura 1 apresenta-se a distribuição de epicentros para o período 1961-2003 (1961 a 1990 – Martins & Mendes-Victor, (1990); 1991 a 2003 – base de dados instrumental do IM) na área compreendida entre os meridianos 6°W e 14°W e os paralelos 35°N e 43°N. Comparando os mapas de epicentros para as duas épocas (63 a.C. – 1960 d.C. e 1961-2007 [Figura 1]), podemos ver que a distribuição dos epicentros mais recentes está muito mais organizada do que é visível no mapa da sismicidade histórica. No mapa da sismicidade mais recente, destacam-se o sismo de 1964.03.15 (m_b=6.2 [ISC; USGS]; M=7.1 [Martins & Mendes-Victor, 1990]) no Golfo de Cádis, perto do Banco de Guadalquivir, e o sismo de 1969.02.28 (M_s=8.0 [USGS]), localizado a SW do Cabo de S. Vicente, na planície Abissal da Ferradura (PAF), perto do flanco Sudeste do Banco de Gorringe.

O sismo de 1969.02.28 foi sem dúvida o mais significativo nos últimos anos. O mecanismo focal foi de falha inversa com uma pequena componente de desligamento (Fukao, 1973). Gerou um pequeno tsunami que atingiu uma amplitude máxima de cerca de 1 m (pico a pico), registado em Casablanca, Marrocos. As similaridades entre as cartas de isossistas dos sismos de 1969 e de 1755, conduziram alguns autores a sugerir a hipótese de que os dois eventos tiveram a mesma fonte e o mesmo mecanismo de ruptura, hipótese entretanto não considerada. Este sismo teve uma série de réplicas, algumas com magnitude suficientemente elevada para permitirem o estudo dos mecanismos focais, tendo esses resultados ajudado na definição do plano de falha (orientação SW-NE).

Praticamente na mesma zona epicentral (PAF) ocorreu em 2003.07.29 um outro sismo de magnitude M =5.4, tendo, contudo, sido o sismo de 2007.02.12, M_w =6.0, o mais significativo na Sul/Sudoeste desde o de 1969.02.28 (Carrilho *et al.*, 2007).

Na Figura 3 apresenta-se a distribuição temporal da sismicidade no período instrumental. Para além do destaque dos sismos atrás mencionados, existem algumas características na distribuição que merecem ser comentadas: Em primeiro lugar convém referir que ao longo desta série temporal a forma como a magnitude foi estimada sofreu variações. Muito provavelmente no período 1960 – 1980 foram utilizadas estimativas do ISC (m_b e M_s) e IGN² (m_bL_g), no período 1980 – 1990 terão sido utilizadas também estimativas do IM (M_D) (seguramente de 1991-1995), e no período 1996-2003 foram utilizadas as magnitudes locais (M_L) do IM; Por outro lado, o nível mínimo de magnitude desceu significativamente, sendo identificáveis pelo menos quatro patamares: 1961-1973, 1974-1995, 1996-2000 e 2001-2007. Esta característica poderá ser perfeitamente explicada pela evolução da quantidade e da qualidade das estações sismográficas.



2. Instituto Geográfico Nacional (Espanha)

FIGURA 3

Distribuição da sismicidade instrumental (1961-2007) no tempo.

4. o catálogo sísmico

4.1 REVISÃO DO CATÁLOGO PARA O PERÍODO 1961-1969

Procedeu-se à revisão de toda a sismicidade, para Portugal Continental e região adjacente compreendida entre as latitudes 35.0N e 44.0N e as longitudes 18.0W e 05.5W, abrangendo o período de 1961 a 1969, tendo sido aplicada a mesma metodologia seguida na elaboração do catálogo 1970-2000 (Carrilho, Nunes & Pena, 2004). Na base de dados foram ainda incluídos todos os sismos com localização epicentral exterior à região acima mencionada mas que tenham sido detectados em pelo menos uma estação da rede nacional.

Todos os hipocentros foram recalculados com recurso ao programa *Hypocent* (Lienert, 1986), tendo havido a preocupação de incorporar todos os dados existentes, após pesquisa na base de dados sísmicos preliminar do IM e nos vários boletins sísmicos ou catálogos regionais e globais existentes. A base de dados resultante é constituída por um conjunto de localizações hipocentrais determinadas com recurso a um único algoritmo de cálculo e de estimativas de magnitude baseadas em valores publicados em várias fontes. Foram também adicionados vários parâmetros indicadores da qualidade das soluções determinadas (erros médios quadráticos, elipses de confiança a 90%, número de fases sísmicas utilizadas, deficiência de cobertura azimutal), bem como os valores de intensidade macrossísmica máxima observados em terra.

No total estão listados os parâmetros hipocentrais de 527 hipocentros, para os quais há registo de 58 terem sido sentidos no Continente e/ou na Madeira. Existem ainda 327 sismos para os quais não há informação instrumental suficiente para determinar uma solução hipocentral, consequência das limitações da rede sísmica nacional então existente.

O período em análise fica marcado pela ocorrência de dois sismos de elevada magnitude, o de 15 de Março de 1964 (Mag 6.2mB, ISC) e o de 28 de Fevereiro de 1969 (Mag 8.0MS, USGS), tendo este último um impacto macrossismico significativo, com intensidade máxima VIII em Vila do Bispo (Mercalli modificada, 1956).

4.2 EXTENSÃO DO CATÁLOGO, PERÍODO 65A.C.-2007

Neste projecto procedeu-se também à actualização do catálogo sísmico nacional, tendo sido integrado o período 1961-2000 no catálologo pré-existente (Martins & Mendes-Victor, 1990), e efectuadas algumas correcções em epicentros e magnitudes atribuídas, nomeadamente nos sismos de 1909 e 1722, e ainda à eliminação de falsos sismos.

Procedeu-se ainda ao alargamento do catálogo até Dezembro de 2007, tendo a informação 2001-2007 sido incluída com base nos boletins sísmicos preliminares publicados pelo IM. A qualidade da informação constante nestes boletins é considerada suficiente para as aplicações que o catálogo tem no âmbito do ERSTA.

No total, o catálogo sísmico integra 12891 sismos, dos quais 1438 são anteriores a 1961. Este diferencial resulta essencialmente do desenvolvimento dos sistemas de monitorização sísmica verificados a partir da década de sessenta do século XX. Para 758 sismos não foi possível estimar a magnitude. A distribuição de sismos por classes de magnitude pode ser visualizada na Figura 4.

4.3 IDENTIFICAÇÃO DE SÉRIES SÍSMICAS

Uma outra tarefa levada a cabo foi a identificação das séries sísmicas (*foreshocks e aftershocks*). Para tal foi aplicada uma metodologia introduzida por Reasenberg (1985) e implementada no algoritmo "Cluster2000" (USGS), e modificada de acordo com Lolli & Gasperini (2003). Foi necessário fazer algumas adaptações no software de forma a aceitar o formato de dados CATSIS 1.0.

Reasenberg (1985) considera uma população de réplicas como uma cadeia de eventos ligados entre si por uma zona de interacção espacio-temporal cuja extensão depende da magnitude dos eventos anteriores. Um evento que ocorra dentro da zona de interacção de um sismo anterior, deve ser ser considerado estatisticamente dependente dele e assim pertencendo à série sísmica que os inclua bem como todos os outros sismos associados.

No catálogo alargado ao período 1961-2000, foi feita uma identificação preliminar de 21 séries sísmicas com pelo menos 5 eventos associados e cuja magnitude do sismo principal é superior a 4.0. Destacam-se as séries associadas ao sismos de 1969, a SW do C.S.Vicente/Planície Abissal da Ferradura, 1975 (Falha Açores-Gibraltar) e algumas do Lugo.



FIGURA 4 Distribuição dos sismos em função de classes de magnitude (63a.C. – 2007).



Seguidamente a mesma metodologia foi aplicada a todo o catálogo (63 a.C. Até 2007). Aplicando os critérios referidos anteriormente, foram identificadas 46 séries sísmicas. Para além das já mencionadas, destacam-se as associadas ao sismo de Benavente, de 1909, e ao grande sismo de 1755. De referir as incerteza associadas às localizações epicentrais dos sismos históricos, obtidos após análise de efeitos macrossismicos, em particular a existência de muitos sismos próximos do sismo de Benavente de 1909 mas com localização epicentral suficientemente afastada para não serem tomados como réplicas (de acordo com o algoritmo utilizado).

4.4 ENERGIA SÍSMICA LIBERTADA

Uma outra forma de analisarmos a sismicidade é através de mapas de energia libertada, os quais, relativamente aos de epicentros, têm como vantagem o facto de realçarem a ocorrência dos sismos de maior magnitude em detrimento dos de menor magnitude. No entanto têm como desvantagem o facto de os maiores sismos corresponderem a sismos históricos que estão muitas vezes mal localizados (uma vez que se baseiam na distribuição de efeitos macrossísmicos). Outra dificuldade resulta do facto de para se poder distribuir a energia dos sismos de magnitude elevada, para os quais a área de ruptura adquire dimensões consideráveis (ex: um sismo de magnitude 8 terá uma área de ruptura de cerca de 200 km x 50 km), haveria que conhecer com algum rigor a(s) estrutura(s) sismogénica(s) de geração, o que, no caso da sismicidade regional, raramente é conhecido, pois a maior parte dos sismos mais significativos são históricos.

Foram preparadas quatro cartas de energia libertada em quatro períodos de tempo (ver Figura 5), de acordo com uma metodologia descrita em Carrilho (2005).

Considerando o período "A" (1961-1985), podemos constatar que a carta de energia está dominada essencialmente pelo sismo de 28 de Fevereiro de 1969, surgindo um foco de energia a cerca de 100 km a Sul de Faro (zona do Banco de Guadalquibir [Gq]).

Os períodos "B" (1986-1994) e "C" (1995-2003) foram estabelecidos com igual duração separando as épocas anterior e posterior à melhoria da rede sismográfica nacional. As áreas de maior sismicidade são identificadas na zona do Golfo de Cadiz (GZ) e do Banco de Gorringe (BG) e também numa faixa continental paralela ao traçado do rio Tejo e localizada na margem norte. Relativamente ao período mais recente é visível a existência de áreas com forma definida aproximadamente em "L" invertido e rodado cerca de 45° no sentido anti-horário: na área do BG e na zona intermédia entre o Cabo de São Vicente e o BG (zona de deformação da Falha Marquês de Pombal [FMP]). Também se destaca o nível de actividade sísmica na zona do Gq, com alinhamento segundo o azimute 45°. A norte, na região a Sudeste de Lugo (Galiza), verifica-se uma concentração de actividade que é o resultado de pelo menos três séries sísmicas ocorridas entre Novembro de 1995 e Maio de 1997, suficientemente significativas para se fazerem notar também no período "D".

Considerando o período "D" (63 a.C. a 2003 d.C.), podemos verificar que a zona em que ocorreu maior libertação de energia se localiza a SW do Cabo de São Vicente, em virtude da ocorrência de vários sismos históricos, como o de 63 a.C., e os de 382 d.C. e 1755 cujos epicentros históricos ali foram "atribuídos". Igualmente se verifica ser a zona de Loulé e Tavira

FIGURA 5

Figura 5 – Energia sísmica libertada na zona de Portugal Continental e região adjacente, normalizada a 1 ano, convertida em pseudomagnitude, para os períodos: [A] – 1961 a 1985; [B] – 1986 a 1994; [C] – 1995 a 2003; [D] – 63 a.C. a 2003.

uma das mais importantes, em consequência do sismo de 1722 e de alguns sismos significativos ocorridos na zona de Loulé. A zona do vale inferior do Tejo surge também em destaque neste mapa. Destaca-se ainda a zona a Sul de Setúbal, em consequência do sismo de 1858, a zona de Portimão/Lagos, onde ocorreu um importante sismo em 1719, e ainda uma área a Sul de Faro, no Golfo de Cádis, onde se localizou um importante sismo instrumental (1964.03.15). Parece também haver indicações para a existência de uma lacuna de actividade sísmica na região do Baixo-Alentejo, de resto já identificada noutros trabalhos (Cabral, 1995; Martins & Mendes Victor, 1990).

4.5 DEFINIÇÃO DAS ÁREAS SISMOGÉNICAS

Para o estabelecimento das zonas sismogénicas foram tidos em consideração factores relacionados com a distribuição epicentral dos sismos, em resultado do catálogo sísmico revisto, e com as estruturas tectónicas activas, tendo sido utilizada informação resultante dos trabalhos apresentados em capítulo anterior.

Do ponto de vista da sismicidade, são identificáveis vários enxames de epicentros, sendo perfeitamente visível uma certa organização na sua distribuição, contrastando com o carácter difuso patente nas versões anteriores do catálogo sísmico. Em particular foram identificadas zonas de actividade mais significativa, e potencialmente mais representativa para a perigosidade sísmica do Algarve, como a zona da Planície Abissal da Ferradura (PAT), Goringe (GO) Golfo de Cádiz (incluindo o cavalgamento do Guadalquibir) (GC) e também a faixa continental da Bacia Mesozóica Lusitana (BML).



FIGURA 6 Zonas sismogénicas (A-P). Da análise dos factores mencionados, foi estabelecido um zonamento sísmico constituído por 15 áreas (Figura 6), delimitadas por polígonos.

A área A corresponde aproximadamente à extensão continental da BML e aparece claramente marcada por uma mancha de epicentros. A área B apresenta uma sismicidade significativamente inferior à anterior, e integra a Bacia Cenozóica do Vale Inferior do Tejo (BCVIT). A zona C apresenta uma actividade sísmica caracterizada por ocorrências de sismos de magnitude baixa a moderada, destacando-se duas zonas de actividade sísmica mais intensa, em particular na faixa Mora-Arraiolos e uma outra nas proximidades de Évora, onde há registo histórico da ocorrência de sismos com magnitude 5.0.

A zona D corresponde ao território do Algarve, integrando a zona de maior actividade sísmica de Monchique, embora de baixa magnitude, e a falha de Portimão. Compreende também a falha S.Marcos-Quarteira e outras importantes identificadas perto de Loulé, como a de Carcavai. Nesta zona há a destacar sismos importantes como o de 1719, perto de Portimão, e o de Loulé de 1856 (magnitude 6.0).

antes pelo contrário.

a Sudeste a Bacia do Guadalquivir.

Quanto à zona G, verifica-se ser caracterizada por uma sismicidade mais significativa, e que se situa próxima do estreito de Gibraltar.

de 1755.

Na zona I existe o importante cavalgamento do Guadalquibir, sendo claramente a zona de maior actividade sísmica no período instrumental.

A zona J compreende a falha da Ferradura, a falha do Marquês de Pombal e a Falha de S.Vicente. Nesta área foram gerados alguns dos sismos mais importantes, como de 28 Fev 1969 (Mag 8.0) e, muito provavelmente, o sismo de 1755. O último sismo mais importante teve epicentro nesta área (12 Fev 2007). É claramente a zona de maior libertação de energia sísmica.

Quanto à zona L, compreende essencialmente o Banco do Gorringe, igualmente uma das fontes apontada por vários autores como provável geradora do sismo de 1755. Esta é também uma das regiões de maior libertação de energia.

A zona M compreende a falha Pereira de Sousa a Sul. O sismo mais significativo que ocorreu nesta zona, eventualmente entre Setúbal e Sines, foi o sismo de 1858, tido como um dos sismos de maior magnitude que alguma vez ocorreu em zona continental estável (Jonhston & Kanter (1990).

A zona E corresponde ao território do Baixo-Alentejo e não apresenta sismicidade significativa,

A zona F apresenta uma sismicidade também considerada pouco significativa, limitando

A zona H foi delimitada tendo em consideração a proposta formulada por Gutscher (2004), segundo a qual nesta área existe uma zona de subducção que pode ter gerado o grande sismo A zona N marca a transição entre a o Banco de Gorringe e Falha de Gloria, sob a qual está desenhada a zona sismogénica "O". Nesta zona há a destacar o grande sismo de 1941, com magnitude 8.2MS, tido como um dos maiores sismo em desligamento alguma vez ocorrido no globo.

Na zona P, que apresenta uma "aparente" baixa sismicidade, é de assinalar o importante sismo de 1975, largamente sentido em todo o território nacional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABE, K., (1979), Size of Great Earthquakes of 1837-1974 Inferred from Tsunami Data, J.Geophys. Res. 84 (NB4): 1561-1568.

BARATA, M.R., BRAGA, M.L., WAGNER, M., GUERRA, B., ALVES, J., NETO, J., (1989), Sismicidade de Portugal - Estudo da Documentação dos Séculos XVII e XVIII", Vol II, Ministério do Planeamento e da Administração do Território, Secretaria de Estado do Ambiente e dos Recursos Naturais, Gabinete de Protecção e Segurança Nuclear.

BAPTISTA, M.A., LEMOS, C., AND MIRANDA, J. M. (1999), The tsunami of 1722.12.27, Algarve, Portugal, IUGG99 Abstracts, 133.

BORGES, J.F., (2003), Fonte Sísmica em Portugal- Algumas Implicações na Geodinâmica da Região Açores-Gibraltar, tese de doutoramento, Univ.Évora.

CARRILHO, F., NUNES, J.C., PENA, J., SENOS, M.L., (2004), Catálogo Sísmico de Portugal Continental e Região Adjacente para o período 1970-2000, Instituto de Meteorologia, ISBN 972-9083-12-6, Dez 2004.

CARRILHO, F., TEVES-COSTA, P., MORAIS, I., PAGARETE, J., DIAS, R., (2004), GEOALGAR Project – First Results on Seismicity and Fault Plane Solutions, Pure and Applied Geophysics, vol 161, №3, pp 589-606.

CARRILHO, F., (2005), Estudo da Sismicidade na Zona Sudoeste de Portugal Continental, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências da Univ. Lisboa.

CARRILHO, F.; ALVES, P.M.; VALES, D.; PENA, J.A.; CORTÉS, S.; ABREU, I. (2007), The 5.9ML Magnitude Earthquake of 2007.02.12, SW San Vicent Cape, short article na newsletter do ORFEUS, Vol. 7, nº2.

GUTSCHER, M.A., (2004), What Caused the Great Lisbon Earthquake, Science, 305, 1247-1248.

JONHSTON, A.C., KANTER, L.R., (1990), Earthquakes in Stable Continental Crust, Scientific American, v.262, n. 3, рр 42-49.

KARNIK, V., (1969), Seismicity of the European Area, Part I. D. Reidel Publishing Company. Dordrecht (Holanda).

LIENERT, B., BERG, E., NEIL FRAZER, L., (1986), Hypocenter: an Earthquake Location Method Using Centered, Scaled and Adaptively Damped Least Squares, Bull. Seism. Soc. of Am., Vol. 76, № 3, pp 771-783.

MACHADO, F., (1966), Contribuição para o Estudo do Terramoto de 1 de Novembro de 1755., Fac. Ciências Lisboa, 1966, 14:19-31,

MARTINEZ SOLARES, J.M., LOPEZ ARROYO, A., MEZCUA, J., (1979), Isoseismal Map of the 1755 Lisbon Earthquake Obtained from Spanish Data, Tectonophysics, 56-3, 301-313.

MARTINS, I., MENDES-VICTOR, L.M., (1990), Contribuição para o Estudo da Sismicidade de Portugal Continental, Publicação nr 18, Instituto Geofísico Infante D.Luís, Univ.Lisboa, 67pp.

Nacional, Madrid.

publ. IGN, Madrid, vol 8, pp.213-225.

das Ciências de Lisboa.

Res. 90: 5479-5495

REID, H.F., (1914), The Lisbon Earthquake of November 1, 1755. Bull. Seism. Soc. Am. 1914; 4:53-80.

RICHTER, C., (1949), Seismicity of the Earth.

STEIKHARDT, L., (1931), Die Erdbebentagtigkeit am Westrand des Mittelmeers. und ihre Geologische Bedeutung.

TEVES-COSTA, P.; BORGES, F.; RIO, I.; RIBEIRO MARREIROS, C., (1999), Source Parameters of old earthquakes: Semi-Automatic Digitization of Analog Records and Seismic Moment Assessment, Natural Hazards, 19, pp 205-220.

Width, Rupture Area, and Surface Displacement, Bull. Seism. Soc. Am. 84, 974-1002.

MEZCUA, J., (1982), Catálogo general de Isosistas de la Peninsula Iberica, Publicacion 202, Instituto Geografico

MOREIRA, V.S. (1982), "Sismotectónica de Portugal Continental e Região Atlântica Adjacente", INMG, Lisboa.

MOREIRA, V.S., (1991), Historical Seismicity and Seismotectonics of the Area Situated Between the Iberian Peninsula, Marrocco, Selvagens and Azores Islands, Seismicity, Seismotectonic and Seismic Risk of the Ibero-Magrebian Region,

PEREIRA DE SOUSA, F.L., (1930), O Terremoto de 26 de Janeiro de 1531. Separata do Boletim da Academia

REASENBERG, P. (1985), "Second order moment of central California seismicity, 1969-1982", Journal of Geophys.

WELLS, D.L., COPPERSMITH, K.J., (1994), New EmpiricalRelationships Among Magnitude, Rupture Length, Rupture



CAPÍTULO 4 PROPAGAÇÃO DA ENERGIA SÍSMICA

Carvalho, A. | Bilé Serra J. | Sousa, M.L. | Martins, A. Laboratório Nacional de Engenharia Civil

INTRODUÇÃO

A caracterização da acção sísmica envolve a estimativa da intensidade, do conteúdo em frequência, da duração e da variabilidade espacial do movimento intensos do solo.

Em zonas de grande actividade tectónica e, consequentemente, de grande sismicidade, a caracterização da acção sísmica pode ser baseada em análises empíricas. Quando tal não é possível em termos instrumentais, como no caso de Portugal Continental, a caracterização dos movimentos sísmicos intensos num dado local deverá ser baseada em modelos teóricos que tenham em consideração os vários processos físicos envolvidos, nomeadamente, a geração da energia sísmica na fonte, a propagação da energia desde a fonte até ao substrato rochoso (fronteira entre as formações geológicas mais descomprimidas e as formações rochosas que lhes subjazem) e a alteração do conteúdo energético devida aos efeitos locais (resposta das camadas superficiais).

Sabido que a simulação dos movimentos sísmicos intensos do solo deve considerar o carácter aleatório desses movimentos, uma metodologia que satisfaz estes requisitos é a denominada modelação estocástica de falha-finita. Esta metodologia, partindo do conhecimento das características espectrais da fonte e considerando os efeitos de propagação das ondas sísmicas no percurso desde a fonte até ao local, permite sintetizar o movimento sísmico em locais quer próximos quer afastados da fonte sísmica.

Neste capítulo será apresentado o modelo estocástico utilizado para a estimativa dos movimentos sísmicos intensos do solo na região do Algarve. O modelo foi aplicado no âmbito deste trabalho, para dois fins principais:

- 1. Obter as características do movimento do solo para um cenário em particular (caracterizado por uma magnitude ou por um plano de falha, uma localização geográfica ou distância e/ou uma profundidade focal);
- 2. Obter dados sintéticos, e assim complementar a base de dados sísmicos, permitindo o desenvolvimento e calibração de leis de atenuação. A simulação de movimentos do solo

para várias magnitudes e distâncias, permitiu construir uma base de dados sintética e, consequentemente, desenvolver modelos matemáticos que descrevem a atenuação do movimento para um dado cenário sísmico e que distribuem o conteúdo em energia dos movimentos intensos do solo pelas várias frequências.

DA ACÇÃO SÍSMICA

2.1 METODOLOGIA PARA CARACTERIZAÇÃO DA ACÇÃO NO SUBSTRATO ROCHOSO

O movimento do solo é o resultado de um complexo sistema físico que se pode descrever considerando, de uma forma simplificada, três processos distintos:

- pela energia libertada quando da ruptura de uma falha geológica;
- da crusta terrestre desde a fonte até ao substrato rochoso;

A problemática fundamental na modelação da fonte sísmica relaciona-se com a sua descrição: se esta poderá ser considerada como uma fonte pontual ou se deverá ser descrita como uma fonte extensa, neste último caso, envolvendo aspectos relacionados com a geometria da fonte e com heterogeneidades na ruptura ao longo do plano de falha.

Naturalmente, a proximidade do local e a grandeza do sismo são factores condicionantes das opções pela sofisticação do modelo na fonte a ser considerado. É clara a necessidade, para sismos de magnitude moderada a elevada, ou para locais no campo próximo da fonte sísmica, de uma descrição de falha-finita que tenha em consideração a sua geometria, heterogeneidades do processo de ruptura e efeitos de directividade (a direcção da propagação da ruptura faz variar de forma significativa a amplitude e duração do movimento do solo num determinado local). Para ter em conta esses aspectos, a metodologia aplicada neste trabalho, utiliza:

METODOLOGIA PARA A CARACTERIZAÇÃO

1. O processo de libertação de energia na fonte sísmica - as ondas sísmicas são geradas

2. O processo de propagação da energia sísmica – as ondas sísmicas propagam-se através

3. O processo de alteração da energia sísmica devido a efeitos locais – o conteúdo energético é alterado quando as ondas se propagam entre a camada superficial da crusta e a superfície.

i) O modelo pontual estocástico, em que cada elemento da falha é considerado uma fonte pontual e o espectro de amplitude de Fourier é calculado a partir do produto das várias funções que traduzem os vários processos físicos descritos anteriormente;

ii) A técnica de modelação de fonte-finita, que inclui a divisão do plano de falha em vários elementos (Figura 1), a distribuição heterogénea do deslizamento, a consideração da velocidade de ruptura e do ponto de nucleação (ponto de início de ruptura) e a soma das contribuições elementares através de um desfasamento temporal.





A metodologia considera que a ruptura se propaga radialmente desde o hipocentro até aos vários elementos da falha. As contribuições de cada subfalha são somadas no receptor, com a consideração do atraso temporal da perturbação gerada em cada elemento. Este atraso temporal resulta do tempo necessário para que a ruptura se propague entre o ponto de nucleação e a subfalha (dependendo, portanto, da velocidade de ruptura na falha) e do tempo de propagação das ondas sísmicas desde a subfalha até ao local receptor (dependendo, por conseguinte, da velocidade de propagação das ondas sísmicas no meio). A Figura 2 esquematiza o modelo de falha-finita que integra este processo de soma.



FIGURA 2 Esquema do modelo de falha-finita (adaptado de Viegas, 2004).

Os parâmetros que caracterizam o modelo estocástico de falha-finita e que descrevem os processos envolvidos na obtenção do movimento sísmico do solo (geração de energia na fonte sísmica, propagação da energia desde a fonte até ao substrato rochoso e alteração do seu conteúdo energético devido a efeitos locais) são:

- i) O comprimento, a largura, a orientação e a inclinação do plano de falha e o número de subfalhas – parâmetros relacionados com a geometria da falha;
- de ruptura na fonte sísmica;
- iii) A espessura da crusta, os coeficientes de atenuação geométrica e o factor de qualidade do meio - parâmetros relacionados com as características do meio de propagação;
- as características locais.

Carvalho (2007) efectuou uma análise dos valores médios dos parâmetros que caracterizam o modelo de fonte pontual para Portugal Continental, analisando os registos (entre 1997 e 2007) da rede acelerográfica continental e utilizando informação recolhida em estudos regionais.

Tendo em conta o modelo estocástico apresentado, com parâmetros devidamente identificados, sustentados teoricamente e avaliados regionalmente, a aplicação natural foi a criação de uma base de dados sintéticas, suprimindo as lacunas regionais e permitindo a elaboração de leis de atenuação específicas para a região. Estas leis, apresentadas em Carvalho & Costa (2008), foram inseridas no simulador, permitindo a caracterização da acção sísmica na forma espectral, para um determinado cenário escolhido (identificado por uma magnitude e localização geográfica).

A metodologia estocástica apresentada, será aplicada neste capítulo para a caracterização dos movimentos do solo para o caso concreto da fonte geradora do sismo de 1 de Novembro de 1755, considerando-se um modelo de ruptura múltipla e apresentando-se os resultados em forma de mapas de valores de pico de aceleração no subsolo rochoso e superfície (cuja metodologia se descreve de seguida), para a região do Algarve.

2.2 METODOLOGIA PARA A CARACTERIZAÇÃO DA ACÇÃO À SUPERFÍCIE

Entende-se por efeito sísmico de sítio, o resultado da filtragem a que as ondas sísmicas são sujeitas ao atravessarem as camadas superficiais, desde o substrato rochoso até à superfície (onde se encontra o património edificado vulnerável). Com o estudo dos efeitos de sítio pretende-se caracterizar esse processo de filtragem através, nomeadamente, das funções de amplificação e das características espectrais - importância relativa de cada frequência individual - do movimento.

- ii) O momento sísmico, a distribuição de deslizamento, a queda de tensão, a velocidade de ruptura e o ponto de início de ruptura - parâmetros relacionados com as características
- iv) O factor de decaimento espectral e o factor de impedância parâmetros relacionados com

A presença de formações superficiais induz alteração das características da propagação, devido ao contraste entre a sua impedância - capacidade de oposição à propagação das ondas, proporcional à densidade e à raiz quadrada da rigidez – e a do meio rochoso através do qual se processa a incidência das ondas. O exemplo simples da propagação vertical de ondas S ilustra cabalmente este aspecto. Nesta circunstância particular, a frequência fundamental de propagação – frequência em que mais energia é carreada para a superfície – num estrato homogéneo com espessura H e velocidade de propagação de ondas de corte V_c , $f0 = V_c/4H$, expressa a influência simultânea da possança H e da deformabilidade, através da velocidade de propagação de ondas S ou de corte, $V_{\rm s}$, dos solos superficiais.

A propagação de ondas sísmicas é multi-direccional, reveste-se de diversas formas: ondas volúmicas e superficiais, segundo o critério da geometria da frente de propagação, ou ondas directas e ondas reflectidas-refractadas, de acordo com o trajecto percorrido. Facilmente se compreende que será necessário recorrer a modelos muito complexos e de execução longa para o estudo do fenómeno.

Para o efeito de a modelar num Simulador SIG abrangendo uma extensa área geográfica como o Algarve, foi necessária uma solução de compromisso entre a representatividade do modelo e a exequibilidade da sua utilização. Nesse sentido, optou-se por eleger o modelo sísmico correspondente à propagação vertical de ondas S com incidência vertical através dum semi-espaço infinito homogéneo e elástico, sobre um depósito superficial de estratificação horizontal. A heterogeneidade vertical do depósito é devidamente considerada pela discretização geométrica do perfil geotécnico. Trata-se, por conseguinte, de um modelo uni-dimensional.

É sabido que a resposta mecânica não linear dos solos assume especial importância na eventual filtragem do movimento incidente a partir do substrato rochoso. Para tomar em consideração este aspecto, ainda que de forma aproximada, optou-se pela utilização do modelo linear equivalente para a modelação da propagação das ondas S acima referida. Este modelo necessita, para cada estrato, de três parâmetros (a massa volúmica ρ , o módulo de rigidez ao corte G_{ρ} e a fracção de amortecimento crítico β) e de duas curvas de evolução de G e de β em função da deformação do terreno. A estes parâmetros acrescenta-se, ainda, a espessura da camada h.

Recorreu-se a um programa de resolução estocástica da propagação unidimensional de ondas S, incidentes a partir de um substrato com rigidez de corte muito superior, vulgarmente designado por firme rochoso. Este programa reproduz a resolução adoptada no programa SHAKE91, sendo, no entanto, a estimativa dos valores máximos da resposta ao longo do tempo de análise efectuada através de uma abordagem estocástica (Carvalho et al., 2002).

O objectivo fundamental desta análise consiste na obtenção das características espectrais do movimento superficial, condicional a uma ocorrência sísmica indutora com movimento conhecido num afloramento rochoso. Este movimento no substrato rochoso fica definido pela especificação da magnitude do evento sísmico e da respectiva distância epicentral, expressando-se esta dependência na forma $S_{afl rachoso}(M, R, \omega)$.

superficial $H_{MP}(\omega)$.

 $S_{\sigma:M:R}(\omega) = H^*_{M:R}(\omega) S_{afl rochoso}(M, R, \omega) H_{M:R}(\omega)$

da aceleração superficial a_{superficial}.

Como sub-produto do cálculo são determinadas as funções de densidade espectral de potência da deformação de corte em cada profundidade de discretização S_{ω} (M, R, ω) cuja integração permite obter os respectivos momentos espectrais de ordem zero e dois.

O valor de pico da deformação em cada profundidade de análise foi determinado como sendo o correspondente ao valor mediano (p=50%). Estes valores de pico são a chave do processo iterativo de ajuste dos valores de G e de β .

2.3 UNIDADES GEOLÓGICAS / GEOTÉCNICAS IDENTIFICADAS NA REGIÃO DO ALGARVE

Para o efeito de definir os perfis sísmico-geotécnicos (isto é, os perfis com os parâmetros quantitativos das características acima mencionadas) foi necessário desenvolver um trabalho extenso de recolha de informação geotécnica. Esta informação foi colhida em diversas fontes. A principal fonte resultou do trabalho desenvolvido por uma equipa da Universidade do Algarve (Silva et al., 2007), sendo secundada pela actividade do LNEC na consulta de informação geotécnica na biblioteca do LNEG (Laboratório Nacional de Energia e Geologia) e pela informação cedida pela ANPC. Esta informação global, apesar de extensa, peca, necessariamente, pela baixa densidade, razão pela qual se prevê realizar campanhas complementares para o enriquecimento da mesma. Na Figura 3 representa-se a consulta ao SIG do LNEC relativa aos perfis (unidades) sísmico-geotécnicas atribuídas à região do Algarve, no âmbito do projecto. Importa referir que a unidade mais frequente (A) corresponde ao afloramento de formações geológicas muito rijas, identificáveis, do ponto de vista dos efeitos sísmicos de sítio, como rochosas.



Para cada perfil numa dada freguesia e para um dado evento sísmico definido pelo par (M, R) é determinada a função de transferência entre aceleração no afloramento rochoso e aceleração

Os respectivos momentos espectrais de ordem zero e dois permitem estimar o valor de pico

FIGURA 3

Mapa das unidades sísmico-geotécnicas identificadas na região do Algarve.



3. APLICAÇÃO AO CENÁRIO SÍSMICO DE 1755

O sismo de 1 de Novembro de 1755 tem uma magnitude estimada por vários autores que varia entre 8,5 e 8,9 M. A fonte geradora deste sismo é uma questão que continua em aberto, tendo sido publicados diversos modelos para a descrever, que recorrem a estruturas individuais ou combinadas. A controvérsia reside no facto de nenhum modelo conseguir explicar, em simultâneo, os efeitos do sismo e as características do tsunami e, também, no facto da elevada magnitude do sismo requerer uma superfície de ruptura muito extensa, para a qual é difícil identificar, entre as estruturas tectónicas da margem SW-Ibérica, uma que lhe seja compatível.



FIGURA 4 Geometria do modelo de ruptura e ponto de início de ruptura (estrela).

Com o conhecimento progressivo das estruturas tectónicas na margem SW-Ibérica, surgiram, nas últimas décadas, várias propostas para a fonte geradora do sismo de 1755. Carvalho (2007) fez uma apresentação exaustiva dos modelos propostos, até essa data, da fonte geradora do sismo de 1755, incluindo uma análise crítica das virtudes e deficiências de cada modelo. Realizou, também, a modelação estocástica da ruptura de falha-finita das várias fontes propostas e relacionou a velocidade de pico obtida em cada local com as intensidades macrossísmicas observadas. Concluiu que os modelos que se apresentam como melhores posicionados para justificar os danos causados, em Portugal Continental, pelo sismo de 1755 são aqueles que consideram uma ruptura múltipla com mobilização da falha de Marquês de Pombal.

Baptista *et al.* (2003) reapreciaram a fonte do sismo de 1755 propondo uma fonte dupla composta pela falha de Marquês de Pombal e pelo Banco de Guadalquivir. Esta solução, esquematizada na Figura 4, é a que gera uma acção sísmica mais gravosa para o Algarve, pelo que, adoptando uma postura conservadora, correspondeu ao cenário aqui escolhido para a simulação da acção sísmica. A geometria das referidas fontes foi deduzida a partir de perfis de reflexão, sendo a falha de Marquês de Pombal caracterizada por 105 km de comprimento e 55 km de largura, uma inclinação de 24° e uma orientação de 21,7°N e a do Banco de Guadalquivir caracterizada por 96 km de comprimento e 55 km de largura, uma inclinação de 45° e uma orientação de 70°N.

Tendo em consideração o modelo de ruptura múltipla escolhido, apresenta-se, na Figura 5, o mapa das acelerações de pico, no substrato rochoso e na Figura 6 o mapa de acelerações de pico à superfície.

A comparação entre as Figuras 5 e 6 ilustra o efeito de filtragem (amplificação ou de-amplificação espectral) introduzido pela presença de perfis deformáveis superficiais. As zonas de vigência da unidade A apresentam igual aceleração de pico em ambas as Figuras.



FIGURA 5 Mapa de aceleração de pico, no s



FIGURA 6 Mapa de aceleração de pico, à sup

Mapa de aceleração de pico, no substrato rochoso, para um cenário sísmico semelhante ao de 1755.

Mapa de aceleração de pico, à superfície, para um cenário sísmico semelhante ao de 1755.

4. conclusões

Apresenta-se neste capítulo o modelo existente no simulador, para caracterização da acção sísmica na região do Algarve.

O modelo utilizado para a caracterização da acção sísmica no substrato rochoso é um modelo estocástico de fonte de falha-finita, que considera os parâmetros relacionados com a geometria da fonte (área de ruptura, profundidade, orientação e inclinação da falha, número de subfalhas) e com a dinâmica de ruptura (ponto de nucleação, velocidade de ruptura e distribuição de deslizamentos), que permitem caracterizar os fenómenos envolvidos na libertação de energia da fonte sísmica.

Os efeitos sísmicos de sítio foram considerados de uma forma simplificada, resultante do compromisso entre o volume de informação e a simplicidade de formulação. Para esse efeito, adoptou-se o modelo de propagação vertical de ondas S com polarização horizontal em sequências estratigráficas pré-definidas. Estas, denominadas unidades sísmico-geotécnicas, resultaram dum trabalho de colheita de informação geotécnica realizado por equipas de diversas entidades.

Apresenta-se a caracterização da acção sísmica para um cenário sísmico pré-estabelecido semelhante ao sismo de 1755 considerando o modelo da fonte de geração, proposto por Baptista *et al.* (2003), de uma fonte dupla composta pela falha de Marquês de Pombal e pelo Banco de Guadalquivir.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAPTISTA, M. A.; MIRANDA, J. M.; CHIERICI, F. E ZITELLINI, N., 2003. "New study of the 1755 earthquake based on multi-channel seismic survey data and tsunami modeling". Natural Hazards and Earth System Sciences; Vol. 3, pp. 333-340.

CARVALHO, A; 2007. "Modelação estocástica da acção sísmica em Portugal Continental". Dissertação de doutoramento; IST, Lisboa.

CARVALHO, A.; CAMPOS COSTA, A; 2008. "Leis de atenuação para Portugal Continental." Relatório 10/2008 – NESDE; LNEC, Lisboa.

CARVALHO, E.C., CAMPOS COSTA, A., SOUSA, M.L., MARTINS, A., SERRA, J.B., CALDEIRA, L. & COELHO, A.G., 2002. "Caracterização, Vulnerabilidade e Estabelecimento de Danos para o planeamento de emergência sobre o risco sísmico na área metropolitana de Lisboa e nos Municípios de Benavente, Salvaterra de Magos, Cartaxo, Alenquer, Sobral de Monte Agraço, Arruda dos Vinhos e Torres Vedras,"Relatório 280/02 – C3ES, LNEC, Lisboa.

VIEGAS, G. S.; 2004. "Modelação do Movimento Forte do Solo no Campo Próximo." Dissertação de Mestrado; Universidade de Lisboa – Faculdade de Ciências, Lisboa.

CAPÍTULO 5

SIMULAÇÃO DA ÁREA POTENCIALMENTE INUNDADA PELO TSUNAMI DE 1 DE NOVEMBRO DE 1755 NO ALGARVE

Tedim, F. | Gonçalves, J. Faculdade de Letras da Universidade do Porto



1. INTRODUÇÃO

O tsunami gerado pelo sismo de 1 de Novembro de 1755 afectou profundamente o Algarve. A intensidade dos danos ficou bem descrita nos textos históricos pela excepcionalidade e carácter inesperado do evento que surpreendeu as populações e as atingiu profundamente. Se bem que nalguns textos as descrições parecem ser claramente exageradas, noutros surgem devidamente apoiadas por referências a vários elementos da paisagem que foram afectados, nuns casos pelo sismo e noutros pelo tsunami. As leituras que fizemos dos documentos históricos a que tivemos acesso levantaram duas questões. Qual a extensão da inundação provocada pelo tsunami? Os documentos históricos contêm elementos que permitem definir cartograficamente a área potencialmente inundada?

Para tentarmos responder a estas duas questões reunimos documentos históricos publicados na época, ou poucos anos depois, de modo a dispormos de descrições objectivas e realísticas. Procuramos, desde logo, analisar o *Inquérito do Marquês de Pombal* de modo a obter informações de maior detalhe para todas as paróquias do Algarve. Todavia, como a parte referente ao Algarve permanece desaparecida, recorremos às *Memórias Paroquiais de 1758*, assim como a outros documentos históricos. Aí encontramos referência à altura máxima da onda, à distância da sua penetração em terra e através dos cursos de água. Mas, estes elementos não eram suficientemente consistentes para se empreender uma delimitação cartográfica da área inundada. Procuramos então descrições de edifícios afectados pelo tsunami, nomeadamente construções militares e religiosas, pela probabilidade das mesmas ainda existirem actualmente e ser possível georreferenciá-las.

Assim, começamos por inventariar estruturas que foram afectadas directamente pelo tsunami. Seguidamente, procuramos informarmo-nos se aqueles que foram reconstruídos mantiveram a mesma localização. Após dispormos desse inventário, cada um dos elementos aí constante foi georreferenciado não apenas pelas coordenadas X e Y, mas também pela coordenada Z. Nesta tarefa contamos com a colaboração das Câmaras Municipais que nos forneceram as coordenadas X e Y dos monumentos localizados junto à costa sempre que dispunham dessa informação. A cota do edifício atingido foi fundamental para saber o posicionamento relativo da água no seu exterior. Encontramos ainda algumas referências ao nível da água no interior de determinados edifícios habitacionais, mas não conseguimos utilizar essa indicação, por se desconhecer a sua localização na época. Se para alguns locais as informações encontradas foram numerosas, nalgumas freguesias a inexistência de povoações ou estruturas junto à costa limitou o rigor da simulação da potencial área de inundação. Pesquisamos, igualmente, todo o património arquitectónico actualmente existente localizado junto à costa e que fora construído antes de 1755. Através da leitura da sua história individual procuramos saber se foram afectados pelo tsunami. Todos estes monumentos foram georreferenciados, independentemente de terem sido afectados ou não, para melhor se delimitar a extensão da inundação.

Concluída esta fase da pesquisa passou-se à determinação da área afectada. Foi criado um mapa com todos os elementos georreferenciados, com indicação da sua posição altimétrica, o grau de afectação pelo tsunami e a altura atingida pela água no próprio edifício, sempre que esta informação estava disponível. Este procedimento permitiu-nos definir uma altura provável de onda. Com a identificação dos locais atingidos e a altura da onda analisamos a topografia do terreno para perceber como poderia ter sido a sua progressão em terra, quais as barreiras naturais que se depararam à sua progressão. Para o efeito foi desenvolvido um modelo 3D para o Algarve, partindo da escala 1/25 000, com algumas correcções para uma estreita faixa de praia (entre 200 e 800 metros, conforme a cartografia disponível) com informação à escala 1/2 000. A cartografia utilizada é actual e é obvio que a presente configuração do litoral não corresponde exactamente à do momento de ocorrência do tsunami. Este evento, por sua vez, alterou a própria morfologia da costa e da foz de alguns cursos de água, como é o caso da ribeira de Alvor (Oliveira, 1907) ou como é demonstrado pelos vestígios geológicos existentes, nomeadamente, em Boca do Rio (Costa et al., 2005). Para a execução desta tarefa definimos os seguintes pressupostos: a análise topográfica seria realizada a partir de informação actual, as edificações não criaram barreiras à progressão em terra das ondas, a altura máxima da onda foi interpolada directamente a partir das referências existentes para os edifícios georreferenciados onde a acção do tsunami se fez sentir. Esta análise foi realizada de forma segmentada, tratando a informação topográfica e locais afectados concelho a concelho.

Foram criados para cada município mapas com a área inundada onde se tiveram em conta referências a alturas de onda que pudessem ser corroboradas por duas vias: essencialmente a cota a que se encontram os edifícios identificados e indicação de altura da água atingida no interior de alguns deles. Tendo em conta que o modelo 3D gerado resulta da escala 1/25 000 e as curvas de nível apresentam uma equidistância de 10 m, a determinação de diferentes alturas de onda definida não pode ser inferior a 5 m e mesmo para esta diferença já se assume algum risco de incerteza, uma vez que limites inferiores a 10 m pressupõem a existência de fontes cruzadas, o que aconteceu com as descrições de alturas atingidas pela água dentro dos edifícios.

Determinada a altura provável da onda foram seleccionados os espaços, a partir da praia com cota inferior mas que tivessem contiguidade. Por fim, juntaram-se as análises cartográficas obtidas por concelho e produziu-se um mapa para todo o Algarve com a área potencialmente inundada pelo tsunami de 1755.

2. OS IMPACTES DO TSUNAMI SEGUNDO OS DOCUMENTOS HISTÓRICOS

A primeira preocupação ao lermos os documentos históricos foi reunir as informações que se referiam claramente ao tsunami, pois nem sempre está claramente expressa nas fontes históricas utilizadas, a distinção entre os efeitos do sismo e do tsunami. Por exemplo, em relação a alguns fortes sabemos que foram danificados mas não conseguimos perceber se o tsunami contribuiu para essa destruição. *"A fortaleza do Pinhão também se acha toda caída e uma bateria que havia na Ermida de Nossa Senhora da Piedade e um reduto que se achava em porto de Mós, e outra em Burgau com suas peças de artilharia e tudo se achava no mesmo estado."* (IANTT, 1758, Dicionário Geográfico, vol.19, Rolo 328, Freguesia de São Sebastião de Lagos).

Os relatos históricos permitem concluir que o tsunami foi de elevada magnitude, afectou toda a costa algarvia e causou, em muitas povoações costeiras, mais mortes do que propriamente o sismo. "Este ímpeto do mar foi o que causou os efeitos mais tristes em toda a costa do Algarve. Por toda ela pescavam várias artes para se aproveitarem seus donos do interesse da sardinha, que ia de passagem. Com este fim dispensaram eles a santificação do dia; mas infeliz, a todos os tragou a voracidade das ondas." (Castro, 1786)

Nos textos históricos, e sobretudo nas Memórias Paroquiais, é frequentemente referido o número de mortos, mas a distinção entre os óbitos provocados pelo tsunami e pelo sismo nem sempre é evidente. "Morreram nesta minha freguesia [São Sebastião de Lagos] uns debaixo das ruínas outros levados pelo mar noventa e cinco pessoas pelo rol dos confessados e da Igreja de Santa Maria cento e tantos, fora as pessoas que se achavam na cidade de fora naquela ocasião, que eram bastantes por ser dia santo, e se julga passarem mais de trezentas por todas" (IANTT, 1758, Dicionário Geográfico, vol.19, Rolo 328, Freguesia de São Sebastião de Lagos). Nalgumas freguesias o colapso de estruturas foi o que provocou mais mortes. "Na praia [Quarteira] pela parte que pertence a esta freguesia levou o mar todas as casas, e cabanas que faziam o numero de 38. (...) Faleceram 124 pessoas; 28 da Praia da Quarteira, que afogou o mar, e 96 dentro da Igreja, que ficaram sepultadas nas ruínas (...)" (IANTT, Dicionário Geográfico, vol. 7, Rolo 301, freguesia de Boliqueime). Já nas freguesias em que as principais povoações se localizavam sobre a costa o tsunami foi mais mortífero que propriamente o sismo. Em Vila Nova de Portimão "(...) morreram na invasão [do mar] quarenta pessoas." (IANTT, 1758, Dicionário Geográfico, vol. 29, Rolo 582, Freguesia de Vila Nova de Portimão). Noutros locais a mortalidade foi mais elevada. "(...) Nas praias pertencentes ao distrito desta Vila [Loulé] tragou o mar cento, e quatro." (Relacam, 1756, fls.161v°). Também em Albufeira o impacte foi muito grande já que "(...) nas ondas que submergiram a maior parte desta Vila [Albufeira] se afogaram cento, noventa, e sete, que ao todo fazem o numero de duzentas, e quatro pessoas" (Relaçam, 1756, fls.161v°).

A mortalidade foi elevada pela falta de conhecimento das populações sobre a probabilidade de ocorrência de tsunamis, o que levou muitas delas a procurar nas praias a segurança face aos perigos do sismo. "Grande parte dos incautos moradores da Vila de Albufeira, que fica situada em uma rocha eminente, desceu a buscar na praia o asilo, que teve por seguro. Veio o mar e tragou a todos." (Castro, 1786:34)

Mas se muitas pessoas foram surpreendidas e atingidas pelo avanço do mar outras conseguiram salvar-se por reagiram prontamente ao alerta de que "(...) o mar saia do seu curso, e vinha correndo a tragar a cidade. Este segundo terror nos obrigou a abandonar tudo para salvarmos as vidas nos altos imediatos com dobrado terror." (Castro, 1786:33)

A excepcionalidade do fenómeno que surpreendeu as populações ainda não refeita do temor causado pelo sismo, provocou grande destruição. O tsunami foi um fenómeno que apanhou de surpresa muitos dos habitantes do Algarve " (...) *cresceu o mar tão desacostumadamente, como nunca se viu, e acometeu furioso, e soberbo aquela desgraçada cidade* [Lagos] *com tanto ímpeto, que não somente a submergiu, e ocultou nas suas ondas; mas como cobiçoso igualmente das vidas dos seus cidadãos, e das suas riquezas, se deteve nela aquele tempo, que foi bastante para esconder nas suas entranhas todos seus habitadores, todas suas alfaias, e tudo o mais, de que necessitavam os mortais para a conservação da vida que perderam.*" (Collecçam Universal do terremoto, tom. I, carta em que hum amigo dá noticia a outro do lamentável successo de Lisboa, pág. 23 a 25-Arquivo Nacional,Impressos da livraria, 18-B-10)

A intensidade do tsunami foi menor no sotavento algarvio do que o barlavento embora provavelmente não porque a magnitude do tsunami aí fosse menor, mas devido a factores locais. "Correu o rápido impulso do terramoto a costa deste Reino de Leste a Oeste, ou de Castro Marim até Lagos, anunciando-o antes um fragor horrível. Nas quatro léguas [cerca de 20 km] que vão daquela primeira praça até à Cidade de Tavira, não havendo povoações, em que ele empregasse os seus impulsos, só bateu o Forte de Cacela, que logo foi renovado pelo General com ordem da Corte e é hoje uma das boas defesas da marinha por aquele lado. Em Tavira foi maior o susto, que o dano. O mesmo sucedeu nos pequenos povos, que estão nas cinco léguas [cerca de 25 km], que correm dela até Faro, e ficaram ilesos sem dano" (Castro, 1786). De facto, a fraca ocupação de alguns trechos da costa pode explicar que as Memórias Paroquiais ou outros textos não mencionem danos provocados pelo tsunami, nem refiram vítimas. No entanto, encontra-se menção a elevados prejuízos provocados pelo avanço do mar em Castro Marim o que poderá significar que a magnitude do tsunami não foi menor no sotavento algarvio. Em "(...) Castro Marim tudo se arrasou, a entrada do mar fez notável prejuízo; morreram acima de 180 pessoas." (Theatro lamentável, scena funesta, relaçam verdadeira do terramoto do primeiro de Novembro de 1755, por D.J.F. Meno-Arquivo Nacional (Impressos da livraria, A-18-C-8) apud Pereira de Souza, 1919:16)

Por outro lado, a morfologia da costa foi fundamental para proteger Faro, Olhão e Tavira do poder destrutivo das ondas. "Sobre esta Cidade [Faro], e mais terras marítimas por todas as onze léguas [cerca de 55 km] da Costa até Lagos foram lastimosos os estragos causados tanto pelo tremor, como pelo mar. (...) Faro teve a fortuna de estar o seu rio em maré baixa. Ele tem uma légua de largo até a praia, que possui várias ilhas, entre ele e o mar, divididas por três barras, todo cortado em coroas de terra que se cobrem nas marés-cheias. Nós víamos levantar as ondas na costa a tal altura, que cada

uma unida em si mesma montava as Ilhas sem se dividir. Entrando pelo rio batia nas ditas coroas, e então se repartia em quantidade de ondas escumosas, que representavam um aspecto medonho. Fizeram elas pouca impressão na cidade, aonde as suas águas não excederam os limites de uma maré grande pela encontrarem vazia como deixo dito" (Castro, 1786). Efectivamente, as formações arenosas existentes defronte a Faro, Olhão e Tavira constituíram uma protecção natural que suportou o impacto das ondas. "Levaram as ondas todas as cabanas da Praia de Monte Gordo em que havia copioso comércio de pescarias, às da Conceição de Tavira e arrasou todas as ilhas que havia pela extensão da costa até à praia de Quarteira abrindo horrendas bocas; mas deixou salvos por especial providência o lugar de Olham e a cidade de Faro." (Relaçam, 1756,fl.163v°).

Já a oeste de Faro a destruição e a mortalidade provocada pelo tsunami foram muito mais elevadas. "De Quarteira até Lagos foram mais lastimosos os seus [do mar] efeitos; porque com grande mortandade de gente e danos de fazendas tragou a Armação de Quarteira, a melhor parte da Vila de Albufeira, a Armação de Pêra, todos os arrabaldes de Vila Nova de Portimão e todos os bairros mais baixos da cidade de Lagos." (Relaçam, 1756, fl.163v°).

A violência das ondas ficou bem expressa em muitas das descrições que mostram o desaparecimento completo de edifícios, não ficando vestígio algum da sua anterior localização. "Lagos foi outro objecto particular do furor do mar, e do terramoto. Quase todos os templos, e casas se arrasaram com grande perda de vidas, e de cabedal. O mar que correu da praia de Alvor, tudo foi tragando. Levou pescadores, que puxavam pelas redes; edifícios a que não deixou vestígios de lugar, aonde estiveram; (...)." (Castro, 1786)

Também em Albufeira a destruição foi enorme. (...): Sobre esta perda que o terramoto faz saindo o mar fora do seu curso entrou pelos arrabaldes da vila [Albufeira], e levou todo o bairro de Santa Ana que se compunha de sete ruas, e outras muitas casas sem que deixasse o seu fluxo, e refluxo nem os sinais onde eram as casas com perda de muitas vidas, desfez três torres da muralha para a parte do poente, e sul; parte das três torres que ficam para o norte, e muita parte da mesma muralha, e do Castelo, e todas as casas que estavam dentro dele; (...) caiu a torre do relógio, a cadeia que também se acha consertada, e ficou esta terra inabitada, e falta de todos os víveres, porque os que não levou o mar ficaram debaixo dos edifícios enterrados." (IANTT, 1758, Dicionário Geográfico, Vol. 1, Rolo 226, Freguesia de Albufeira)

Mas a destruição causada é descrita não apenas à escala da povoação, mas também dos edifícios religiosos e militares e, mesmo familiares. "Subindo o mar na nossa casa [em Lagos], que arrasou, à altura de 13 palmos e meio [3 m], levando todos os móveis de muito valor, toda a prata, ouro, dinheiro, 28 pipas de vinho, os trigos, milhos e legumes, a livraria de meu irmão, as escrituras das fazendas que nelas estavam e todas as moradas de casas que tínhamos nesta cidade e na ribeira." (Rocha 1910:68)

Muitas fortalezas localizadas junto à costa foram afectadas. "(...) Atacou o forte chamado da Meia praia, e o traçou ao meio, ficando cortado o baluarte que faz face ao Poente. Daqui foi dar muitos repelões na grossa muralha da fortificação de Lagos. Toda a que bateu deitou a terra, dividida em troços tão corpulentos, que não os abalaram mil juntas de bois. Alguns os levou ele diante de si a distância de trinta [entre 18,3 m a 27,5 m], e quarenta passos [entre 24,4 m a 36,6 m] dos seus alicerces." (Castro, 1786)

Alguns textos inventariam os danos ocasionados em edifícios religiosos. "Tinha esta minha freguesia [São Sebastião de Lagos] cinco ermidas, e todas extra muros da cidade a primeira era a de S. Roque além do rio posta e edificada na praia junto ao mar que servia de Lazareto donde se curavam os empestados, e pelo terramoto a levou o mar de sorte que hoje se não vê vestígios alguns dela nem do santo - Tem S. Pedro chamado do pulgão para a parte do Norte distante meio quarto de légua [625 m] da cidade que suposto tivesse sua ruína no mesmo terramoto ficou ainda capaz de se consertar - S. João da Lameda também ao Norte a qual com o terramoto ao impulso do mar ficou demolida e não apareceu mais o santo, cuja ermida é tão antiga que conforme o letreiro gravado no pórtico junto de uma cruz tem seu principio no ano de 1212; entre esta ermida e a cidade havia outra chamada de S. Lazaro edificada em um belo rocio chamado o de S. João e já antes do terramoto estava demolida, e reduzida a um monte de pedras, e o Santo se acha nesta Igreja de S. Sebastião - a parte do ponente se acha a ermida de Santo Amaro em um alto com admirável vista assim da terra, como do mar, e esta foi a única Igreja que ficou sem lesão alguma no terramoto e aonde esteve a Paroquia e Sacramento desta Igreja enquanto se reedificava esta de S. Sebastião." (IANTT, 1758, Dicionário Geográfico, vol. 19, Rolo 328, Freguesia de São Sebastião de Lagos)

Os textos históricos reunidos centram a análise dos impactes do tsunami na destruição de edifícios e não referem danos noutro tipo de estruturas. Apenas Pereira de Sousa (1919:89), a propósito de Lagos refere que "*O mar, depois de ter retirado numa grande superfície, entrou pelo vale da ribeira (...) destruindo uma ermida e uma ponte*".

Os documentos analisados identificam bastante bem os danos causados nos edifícios, mas são mais omissos sobre a forma como o tsunami alterou o modo de vida das populações, nomeadamente porque muitos terrenos agrícolas foram salinizados e cobertos por sedimentos. De facto, são várias as descrições que referem a destruição de campos agrícolas. Mas a Memória Paroquial de Vila Nova de Portimão evidencia que outras actividades económicas das famílias foram, igualmente, muito afectadas pelo tsunami."*Não fez menos dano, a rápida inundação das águas, que saíram do mar, na mesma ocasião, entrando por terra dentro, e excedendo os limites naturais, em partes mais de oitocentas varas [880 m], devastando as salinas desta vila, as quais pertencem ao rendimento da barca e da portagem, à casa do Infantado, ficando de sorte as salinas, que desde então, nunca mais se fez nelas sal, arrasando a mesma inundação, quantas casas, havia no bairro do asapal, que continha 80 fogos, arruinando todas as hortas que havia para a parte do dito asapal (...)." (IANTT, 1758, Dicionário Geográfico, vol. 29, Rolo 582, Freguesia de Vila Nova de Portimão).*

Mas o avanço das ondas alterou também a configuração das praias, por exemplo, destruindo dunas. "(...) Comeu o mar as suas hortas [freguesia de Alvor], e os grandes montes de areia das praias vizinhas, levando por baixo dos pavimentos a ermida de Nossa Senhora da Ajuda, sem que reconheça nem o lugar onde esteve" (Relaçam, 1756,fl.162v°). Também as ilhas existentes em frente a Faro foram destruídas. "Levaram as ondas todas as cabanas da Praia de Monte Gordo em que havia copioso comércio de pescarias, às da Conceição de Tavira e arrasou todas as ilhas que havia pela extensão da costa até à praia de Quarteira abrindo horrendas bocas; mas deixou salvos por especial providência o lugar de Olhão e a cidade de Faro" (Relaçam, 1756,fl.163v°).

É, também possível encontrar algumas informações sobre a forma como se foi processando a reconstrução."O forte do Pinhão muito demolido, assim está, a fortaleza da Ponta da Bandeira arruinada está reedificada" (IANTT, 1758, Dicionário Geográfico, vol.19, Rolo s.n., Freguesia de Santa Maria da Cidade de Lagos). A recuperação das fortificações era fundamental para garantir a segurança das populações sobreviventes. Referente a Lagos consta na Memória Paroquial que "(...) acha-se esta cidade no estado mais deplorável, que imaginar se pode não só por ser a que padeceu neste Reino o maior estrago, e por se achar exposta a qualquer invasão de inimigos que com facilidade se pode fazer na meia Praia por ter de longitude uma légua toda descoberta e sem defesa" (IANTT, 1758, Dicionário Geográfico, vol.19, Rolo 328, Freguesia de São Sebastião de Lagos).

Mas as dificuldades na recuperação foram grandes, sobretudo "(...) *por ficarem os seus habitantes muito pobres com a perda da sua mobília, e casas e não terem possibilidade para se restituírem uma outra vez a mesma opulência, e esplendor.*" (IANTT, 1758, Dicionário Geográfico, vol.19, Rolo 328, Freguesia de São Sebastião de Lagos).

3. CARACTERÍSTICAS DO TSUNAMI

A sistematização dos parâmetros do tsunami de 1755 a partir dos documentos históricos já foi objecto de várias publicações (Baptista, 1998; Baptista *et al.*, 1997, 2003). Referimos aqui apenas alguns aspectos relativos ao Algarve que foram importantes no exercício da simulação que realizamos.

O tsunami manifestou-se poucos minutos após o abalo sísmico. A propósito de Sagres, Silva Lopes (1841:216) refere que "(...) passados 6 ou 7 minutos recolheu-se o mar", enquanto que em Rocha (1910:69) é possível ler-se que "(...) depois do terramoto, passado um quarto de hora, pouco mais ou menos, se elevou o mar de sorte, que parecia tocar as nuvens, e com cuja vista todos fugiram para o campo".

Esta última descrição evidencia, igualmente, que a altura das ondas foi elevada. Mas outros documentos fazem mesmo referência a valores aproximados da altura das ondas. "(...) Na vila de Sagres subiu o mar mais de trinta palmos [6,8 m], aonde espraiava e aonde achou rocha por mais de quarenta côvados [26,4 m] de altura (...)" (Rocha, 1910:94). Um pouco mais para ocidente, mas ainda no concelho de Vila do Bispo, Silva Lopes refere uma altura superior. "Na costa, e 1/4 légua [1,25 km] a S. E.; está a fortaleza de Almadena (...). Pelo ribeiro de água doce que ali desagua na praia, entrou o mar no dia do terramoto por espaço de mais de 1/2 légua [2,5 km] em altura de 10 a 12 varas [11 a 13 m], arrasando uns grandiosos médãos de areia, onde estavam 50 ferros dos mais pesados pertencentes à armação que ali se lança, os quais arrastou a mais de um quarto de légua [1,25 km] pela terra dentro. (...) O mar deixou, onde era terra firme, um lago bastante largo,

de que ainda não se averiguou o fundo; alteração." (Silva Lopes, 1841: 222).

Também para Lagos Silva Lopes refere uma altura de 11 m. "O mar subiu à altura de 5 braças [11 m] ficando rasante com as muralhas da cidade" (Silva Lopes, 1841:231). Este mesmo autor a propósito de Albufeira refere que "Algumas casas boas, ornam a vila [Albufeira], reedificadas depois do terramoto que a deixou inabitável: o mar entrou com tal ímpeto pela foz e praia, que subiu à enorme altura de 15 côvados [10 m]; repetiu o fluxo e refluxo por 3 vezes, com maior violência, em poucos minutos, e continuou fora do seu curso até às 4 horas da tarde: levou pelos alicerces todas, as casas, excepto 27, que ficaram muito arruinadas." Silva Lopes (1841: 301).

Uma altura máxima da onda de cerca de 13 m também é referida na Memória Paroquial de Boliqueime que também explicita que foram várias ondas que provocaram danos, sendo as mais destruidoras as duas primeiras. "O mar depois do terramoto saiu de si por 5 vezes, causando na primeira e segunda o sobredito estrago, e decorrendo o espaço de meia légua [2,5 km] sobre os montes, que o impede na altura de 6 braças [13,2 m], durando em crescer o tempo de 6 horas, e diminuindo com a mesma dilação, que costuma." (IANTT, Dicionário Geográfico, vol. 7, Rolo 301, freguesia de Boliqueime).

Para além deste outros textos tentam ser precisos e avaliam quantitativamente quer a altura da onda quer a extensão de penetração da água do mar em terra. Em Portimão encontramos referência a uma extensão de mais de 800 m."Não fez menos dano, a rápida inundação das águas, que saíram do mar, na mesma ocasião, entrando por terra dentro [na freguesia de Vila Nova de Portimão], e excedendo os limites naturais, em partes mais de oitocentas varas [880 m]" (IANTT, 1758, Dicionário Geográfico, vol. 29, Rolo 582, Freguesia de Vila Nova de Portimão). Já na freguesia de Alvor "(...) o mar entrou 300 braças [660 m] pela terra dentro, ficando rente com a povoação, que está em 30 [66 m] de altura sobre a rocha: levou pelos alicerces uma ermida de N. Senhora da Ajuda, que havia na praia junto à barra, não deixando sequer vestígios de seus alicerces (...). Também, ficou de todo arruinada a torre de vigia chamada o Facho edificada sobre uma grande rocha que principia a E. da barra" (Silva Lopes, 1841:271). A Memória Paroquial de Quarteira faz referência a uma penetração entre 400 a 700m. "No limite desta freguesia tem um lugar chamado Quarteira povoado de cabanas em que vivem os moradores que quase todos são pescadores que com suas artes pescam abundante sardinha, e já se iam estabelecendo em casas, que o mar levou e derribou no terramoto de cinquenta e cinco, mais com o refluxo que com o fluxo de águas, que saíram do seu limite de sete [no mínimo 427 m e no máximo 641 m] a oitocentos passos [no mínimo 488 m e no máximo 732 m] (...)" (IANTT, Dicionário Geográfico, vol.21, Rolo 344, Freguesia de Loulé). Pelo contrário, algumas descrições são mais vagas e apenas referem que o mar "(...)correu além das suas praias longos espaços pela terra dentro. (...) Nós víamos levantar as ondas na costa a tal altura, que cada uma unida em si mesma montava as ilhas sem se dividir" (Castro, 1786:33-34). No entanto, Silva Lopes (1841: 290) faz referência a extensões maiores mas que talvez sejam excessivas. "Pêra debaixo ou da Armação, situada na praia à borda de água a 1/4 de légua [1,25 km] da outra denominada Pêra. O mar (...) avançou mais de 1/2 légua [2,5 km] inundando tudo, deixando em salgado umas grandes várzeas que ficaram reduzidas a ilhas, e afogando 84 pessoas." O mesmo autor volta a mencionar a mesma distância a propósito da entrada do mar através da praia do Martinhal: "Entrou por uma praia chamada do Martinhal, fronteira a levante, o espaço de 1/2

de que ainda não se averiguou o fundo; nem com a enchente, nem com a vazante se descobre a menor

légua [2,5 km] arrancando vinhas, e deixando a terra feita praia alastrada de peixes vários, e muitas penedias, entre as quais uma de mais de 300 arrobas com muitos mariscos pegados: por três vezes repetiu o mesmo fluxo e refluxo, sendo maior o primeiro." (Silva Lopes, 1841:216)

Mas sobre alterações nos cursos de água os documentos históricos referem distâncias bem maiores. Em relação a Portimão é dito que "(...) *foi horrendo o combate das ondas.* (...) *Por ela entraram apertadas formidáveis ondas sucessivamente, que corriam pelo rio acima mais de uma légua* [5 km]" (Castro, 1786:34). No concelho de Aljezur, a propósito da ribeira de Seixe, Silva Lopes descreve também alterações de caudal provocadas pelo tsunami até cerca de 5km. "No terramoto subiu o rio com grande ímpeto mais de uma légua, alagando todas as vargens, e deixando nelas muito peixe de várias qualidades: rebentaram em partes copiosas fontes" (Silva Lopes 1841: 206). Mas noutros textos a distância de penetração referida fica-se pelos 2,5 km como acontece em Lagos. "O mar, depois de ter retirado numa grande superfície, entrou pelo vale da ribeira [de Bensafrim] com grande veemência, até mais de meia légua [2,5 km], transportando até quase esta distancia pequenas embarcações (...)." (Pereira de Sousa, 1919:89).

4. A ÁREA POTENCIALMENTE INUNDADA

Os textos históricos permitem concluir que os impactes do tsunami se fizeram sentir em toda a costa algarvia, mas no sotavento os danos foram menores do que no barlavento. Todavia não é certo que a intensidade do tsunami aí fosse menor. Para esta situação concorreram a baixa densidade de ocupação em certos segmentos do litoral, assim como a configuração geo-morfológica da costa. Esta foi fundamental para proteger Faro, Olhão e Tavira. As formações arenosas, existentes em frente a estes concelhos, foram muito danificadas pelas ondas, mas constituíram uma forma de mitigação do tsunami nestes concelhos. Não temos elementos suficientes para estimar uma altura de onda neste segmento do litoral pois não se conhece a extensão que estas formações arenosas teriam à época. Os danos foram mais acentuados de Quarteira até Lagos, pois aí a ocupação do litoral era mais intensa. Foram particularmente atingidas as povoações de Armação de Quarteira, Albufeira, Armação de Pêra, Vila Nova de Portimão e Lagos.

Embora o número de elementos estruturais georreferenciado por concelho fosse muito variável, permite supor que a altura máxima das ondas pode ter sido da ordem dos 10 a 15 m (Figura 1). Em trabalho anterior sobre o concelho de Portimão obtivemos uma altura de onda de 12 m (Tedim e Gonçalves, 2007). Para a definição da área inundada em Portimão foi fundamental a indicação de que na Igreja da Misericórdia situada a 10 m de altitude a água terá atingido 2,64 m dentro do edifício. Também o Convento de São Francisco localizado, aproximadamente a 7 m de altitude foi completamente destruído.

FIGURA 1

Área inundada em função de diferentes alturas de onda nos concelhos de Lagos, Portimão, Silves e Loulé.



Em muitos segmentos do litoral as estruturas de defesa militar da costa foram muito atingidas. As fortalezas mais danificadas pelo tsunami encontravam-se a altitudes inferiores a 15 m. Salientamos a do Zavial, do Burgau e da Cacela. O mar atacou também o Forte da Meia-praia, situado a menos de 10 m de altitude, e segundo a descrição histórica danificou-o bastante. O mesmo aconteceu com o Forte do Pinhão que se arruinou. Os próprios documentos históricos apontam para alturas de onda entre os 7 e os 13 m, o que não contradiz os valores que calculamos.

No entanto, nas áreas de arriba a água pode ter atingido locais a cerca de 30 m. Os fortes de Beliche, da Baleeira e de Arrifana que se encontram a essa altitude, foram atingidos pelo tsunami. Já o forte da Carrapateira localizado entre duas praias a 26 m de altitude, mas numa posição recuada e protegida actualmente a cerca de 1,8 km do mar, não sofreu qualquer dano.

A extensão da inundação provocada pelo tsunami foi variável em função das características morfológicas da costa (Figura 2). A maior parte das descrições históricas apontam valores entre 400 a 800 m, o que pela simulação realizada é perfeitamente viável. Mas ao longo dos cursos de água a maiores distâncias da costa também se fizeram notar alterações no caudal. Embora seja referida com frequência pelos documentos penetrações superiores de 5 km. A propósito dos concelhos de Lagos, Silves e Loulé é referido que nos cursos de água os efeitos do tsunami estenderam-se até cerca de 2,5 km, o que parece ser possível e mais realístico.



Limites Admin.

FIGURA 2

A área potencialmente inundada pelo tsunami de 1 de Novembro de 1755.

CONCLUSÃO

Os documentos históricos descritivos do sismo de 1 de Novembro de 1755 apresentam informações que tornam possível conhecer a área potencialmente afectada pelo tsunami (Figura 2). A simulação realizada demonstrou ser um exercício interessante que consideramos que poderá ainda ser mais aprofundado, pelo que identificamos várias tarefas de investigação futuras. Por um lado, melhorar a análise cartográfica com a utilização de cartas de maior escala, de preferência 1/1000 ou 1/2000. Por outro lado, o cruzamento das informações presentes nos documentos históricos com os vestígios geológicos deixados pelo tsunami, poderá ser fundamental para melhor ajustar a simulação. Mas também não se poderá esquecer a análise mais pormenorizada da influência de factores locais nas características da altura da onda e da área de inundação. A comparação da área de inundação por nós obtida com o resultado da aplicação de modelos numéricos de simulação de tsunamis em terra parece-nos também ser necessária. De facto, para nós é fundamental validar e corrigir a metodologia aplicada na simulação que realizamos.

tsunami de 1 de Novembro de 1755.

Porque o perigo de tsunami é real no Algarve e a vulnerabilidade é muito elevada em grandes segmentos do litoral, melhorar o conhecimento do que efectivamente ocorreu em 1755, permitirá melhorar as formas de prevenção e de mitigação deste risco assim como planear melhor a emergência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, J. (1948) – "Roteiro dos Monumentos Militares Portugueses", Vol. III, Lisboa.

Universidade de Lisboa.

Evaluation of the Tsunami Parameters". Journal of Geodynamics, 25 (2), 143-157.

Tsunami". Journal of Geodynamics 25, (2), 159-174.

Esperamos igualmente que os extractos de textos históricos apresentados motivem novas investigações que contribuam para um profundo conhecimento da inundação provocada pelo

- BAPTISTA, M. A. (1998) "Génese, Impacte e Propagação de Tsunamis na Costa Portuguesa". Tese de Doutoramento.
- BAPTISTA, M. A.; HEITOR, S.; MIRANDA, J. M.; MIRANDA P.; VICTOR, L.M. (1997) "The 1755 Lisbon Tsunami;
- BAPTISTA, M. A.; HEITOR, S.; MIRANDA, J. M.; MIRANDA P.; VICTOR, L. M. (1998) "Constrains on the Source of the 1755 Lisbon tsunami Inferred from Numerical Modelling of Historical Data on the Source of the 1755 Lisbon

BAPTISTA, M. A.; MIRANDA J. M.; CHIERICI F.; ZITELLINI, N. (2003) – "New Study of the 1755 Earthquake Source Based on Multi-channel Seismic Survey Data and Tsunami Modelling". Natural Hazards and Earth System Sciences, 3, 333-340.

BAPTISTA, M. A.; MIRANDA, J. M. (2005) – "Evaluation of the 1755 Earthquake Source Using Tsunami Modelling". Proceedings of International Conference 250th Anniversary of the 1755 Lisbon Earthquake, Lisboa, 574-577.

CARVALHO, A.; CAMPOS, COSTA A.; OLIVEIRA, C. S. (2005) – "A Finite - Fault Modelling of the 1755 Lisbon Earthquake Sources". Proceedings of International Conference 250th Anniversary of the 1755 Lisbon Earthquake, Lisboa, 578-583.

CASTRO, D. A. L. F. (1768) – "História Geral de Portugal e Suas Conquistas ". Livro 1, Cap. IV, pp.21-36, Documento Manuscrito 691, da Base de Dados do Fundo Antigo da Academia de Ciências de Lisboa.

COSTA, A.; ANDRADE, C.; SEABRA, C.; MATIAS L.; BAPTISTA, M. A.; NUNES S (2005) – "1755 Terramoto no Algarve", Centro Ciência Viva do Algarve, Faro.

COUTINHO, VALDEMAR (1997) – "Castelos, Fortalezas e Torres da Região do Algarve". Faro.

IANTT (1758) – Dicionário Geográfico, Freguesia da Nossa Senhora da Conceição, acedido em http://www2.fcsh.unl.pt-Atlas.Cartografia Histórica.

IANTT (1758) – Dicionário Geográfico, Freguesia de Santiago acedido em http://www2.fcsh.unl.pt - Atlas.Cartografia Histórica.

IANTT (1758) – Dicionário Geográfico, vol. 23, Rolo 159, Freguesia de Mexilhoeira.

IANTT (1758) – Dicionário Geográfico, vol. 29, Rolo 582, Freguesia de Vila Nova de Portimão.

IANTT (1758) – Dicionário Geográfico, vol. 29, Rolo 582, Freguesia de Ferragudo.

IANTT (1758) – Dicionário Geográfico, Vol.1, Rolo 226, Freguesia de Alcantarilha.

IANTT (1758) – Dicionário Geográfico, vol.10, Rolo 321, Freguesia de Castro Marim.

IANTT (1758) – Dicionário Geográfico, vol.19, Rolo 328, Freguesia de São Sebastião de Lagos.

IANTT (1758) – Dicionário Geográfico, vol.19, Rolo 328, Freguesia de Lagoa.

IANTT (1758) – Dicionário Geográfico, vol.19, Rolo s.n., Freguesia de Santa Maria da Cidade de Lagos.

IANTT (1758) – Dicionário Geográfico, vol.21, Rolo 344, Freguesia de Nossa Senhora da Luz.

IANTT (1758) – Dicionário Geográfico, vol.21,Rolo 344, Freguesia da Luz de Tavira.

IANTT (1758) – Dicionário Geográfico, vol.26, Rolo 37, Freguesia de Odeceixe.

IANTT (1758) – Dicionário Geográfico, vol.26, Rolo s.n., Freguesia de Nossa Senhora do Rosário.

IANTT (1758) – Dicionário Geográfico, vol.28, Rolo 231, Freguesia de Pêra.

IANTT (1758) – Dicionário Geográfico, vol.29, Rolo 582, Freguesia de Porches. IANTT (1758) – Dicionário Geográfico, vol.31, Rolo 632, Freguesia de Raposeira.

IANTT (1758) – Dicionário Geográfico, vol.36, Rolo 589, Freguesia de Santa Maria de Tavira.

IANTT (1758) – Dicionário Geográfico, vol.39, Rolo 587, Freguesia de Vila do Bispo.

IANTT (1758) – Dicionário Geográfico, vol.7, Rolo 301, Freguesia de Bordeira.

IANTT (1758) – Dicionário Geográfico, vol.7, Rolo301, Freguesia de Budens.

IANTT (1758) – Dicionário Geográfico, vol.8, Rolo 311, Freguesia de Cacela.

IANTT (1758) – Dicionário Geográfico, vol11, Rolo 320, Freguesia de Conceição de Tavira.

IANTT (1758) - Dicionário Geográfico, vol2. Rolo 278, Freguesia de Aljezur.

IANTT (1758) - Dicionário Geográfico, vol. 7, Rolo 301, freguesia de Boliqueime.

IANTT (1758) – Dicionário Geográfico, Vol.1, Rolo 226, Freguesia de Albufeira.

IANTT (1758) – Dicionário Geográfico, vol.14, Rolo 324, Freguesia de São Estombar.

IANTT (1758) – Dicionário Geográfico, vol.21, Rolo 344, Freguesia de Loulé.

IANTT (1758) – Dicionário Geográfico, vol.23, Rolo 456, Freguesia de Moncarapacho.

IRIA, A. (1996) – Comentário à Relação Anónima do Terramoto de 1 de Novembro de 1755, in Fontes Setecentistas para a História de Lagos. Lagos, Centro de Estudos Gil Eanes, 84-86.

JUSTO, J. L.; SALWA, C. (1998) – "The 1531 Lisbon Earthquake". Bull. Seis. Soc. Am., 88, 319-633.

MENDONÇA, J. M. M. (1758) – "História Universal dos Terramotos que Tem Havido no Mundo, de que Há Notícia, Desde a sua Creação até ao Século Presente: com huma Narraçam Individual do Terramoto do Primeiro de Novembro de 1755, e Notícia Verdadeira dos seus Effeitos em Lisboa, Todo Portugal, Algarves, e Mais Partes da Europa, África e América, Aonde se Estendeu: e Huma Dissertação Phisica Sobre as Causas Geraes dos Terramotos, Seus Effeitos, Differenças, e Prognósticos, e as Particulares do Ultimo. Lisboa, Offic.De António Vicente Da Silva.

Pub.I.G.N., Madrid, 8, 213-225.

OLIVEIRA, C. S. (1986) – "A Sismicidade Histórica e a Revisão do Catálogo Sísmico". Proc.36/11/7368, Relatório do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa.

OLIVEIRA, F. X. A. (1905) – "Monografia do concelho de Loulé", Porto, Typ. Universal.

MARTINS, I.; MENDES-VICTOR, L. A. (2001) – Contribuição para o Estudo da Sismicidade da Região Oeste da Península Ibérica, Publicação nº 25, Universidade de Lisboa - Instituto Geofísico do Infante D. Luís, Lisboa.

MOREIRA, V.S. (1998) - "Historical Seismicity and Seismotectonics of the Area Situated Between the Iberian Peninsula, Marrocco, Selvagens and Azores Islands". In Seismicity, Seismotectonic and Seismic Risk of the Ibero-Magrebian Region,
CAPÍTULO 5 SIMULAÇÃO DA ÁREA POTENCIALMENTE INUNDADA PELO TSUNAMI DE 1 DE NOVEMBRO DE 1755 NO ALGARVE

OLIVEIRA, F. X. A. (1907) – "A Monografia de Alvor", Editora Algarve em Foco.

PEREIRA DE SOUSA, F. L. (1919) – "O Terramoto do 1º de Novembro de 1755 em Portugal e Um Estudo Demográfico", Serviços Geológicos, Lisboa.

RABINOVICH, A.B., MIRANDA,P.M.A.; BAPTISTA, M.A. (1998) – "Analysis of the 1969 and 1975 Tsunamis at the Atlantic Coast of Portugal and Spain". Oceanology, 38,n²4, 463-469. Relaçãm do Terramoto do Primeiro de Novembro do anno de 1755 com os Efeitos, que Particularmente Cauzou neste Reino do Algarve, Faro, Biblioteca da Universidade de Coimbra, Manuscrito do Códice 537, fls159-163, 1756.

ROCHA, M. J. P. (1991) – Monografia de Lagos, Reedição de um Original de 1909, Alvor, Editora Algarve em Foco.

SILVA LOPES, J. B. (1841) – "Corografia ou Memória Económica, Estadística e Topográfica do Reino do Algarve", Lisboa.

TEDIM PEDROSA, F.; GONÇALVES, J. (2007) – "The 1755 Earthquake in the Algarve (South of Portugal): What Would Happen Nowadays?". Advances in Geosciences, 14, 1-5.

TEDIM, F.; GONÇALVES, J. (2007) – "Simulation of the 1755 tsunami flooding area in the Algarve (Southern Portugal): The Case-study of Portimão". Territorium 14,21-31.

VASCONCELOS, J. de S. (1788) – Mappa da configuração de todas as praças fortalezas e baterias do reyno do Algarve [Material Cartográfico] – 44 Plantas Manuscritas, color. ; 57x50. Consultado em http://purl.pt/762.

VIEIRA, J. G. (1911) – "Memória Monographica de Villa Nova de Portimão", Typographia Universal.

CAPÍTULO 6

CARTOGRAFIA DO RISCO DE TSUNAMI

Baptista, M. A. | Miranda, J. M. Instituto de Ciências da Terra e do Espaço

Luis, J. **Universidade do Algarve**

1. INTRODUÇÃO

1.1 REGIÕES TSUNAMIGÉNICAS

A sismicidade que afecta o território de Portugal Continental resulta essencialmente do facto deste se localizar junto ao cruzamento de uma margem continental, de orientação aproximadamente norte-sul (relacionada com a abertura do Atlântico Norte) e da Zona de Fractura Açores Gibraltar, considerada como a fronteira de placas Eurasia-Africa (Grimson e Chen, 1986) e ainda dos sismos cujos epicentros se localizam em terra, ao longo dos principais acidentes tectónicos. Neste trabalho definiremos regiões tsunamigénicas (RT) como sendo as regiões tectonicamente homogéneas (associadas a um mesmo padrão de deformação) e suficientemente próximas da região alvo para puderem ser consideradas geradoras de riscos significativos (não consideramos como fontes nem os sismos dos Açores, nem o eventual colapso vulcânico das Canárias nem as Caraíbas).

1.1.1 A REGIÃO GL (FALHA DA GLÓRIA)

A secção central da zona de fractura Açores Gibraltar, entre 24° e 19° W, constitui uma zona de fractura quase rectilínea, cuja extremidade oeste é conhecida como Falha da Glória (Grimson e Chen, 1986). Nesta zona os epicentros dos sismos apresentam uma maior dispersão, sendo no entanto eventos de magnitude relativamente elevada. Localizam-se nesta zona os epicentros dos sismos de 1939, Ms=7.1, de 25 de Novembro de 1941, M_L =8.25 (Laughton e Whitmarsh, 1974). Estes três sismos geraram tsunamis de fraca intensidade, que foram registados nas estações maregráficas do continente Português e dos Açores.

Para além da Falha da Glória propriamente dita devemos ainda considerar uma sub-região a sul desta que tem gerado tsunamis observados na costa portuguesa: o sismo de 26 de Maio de 1975, cujo epicentro se localiza a sul da falha da Glória com magnitude Ms=7.9 teve o seu epicentro claramente a sul da Falha da Glória. O estudo do tsunami gerado por este sismo (Grimson e Chen, 1986) mostra que a direcção do slip no plano da fonte é compatível com um desligamento direito similar ao comportamento observado na Glória. O tsunami de 1761 tem a sua localização provável numa região similar, podendo estes dois acontecimentos ser interpretados como a reactivação de uma fractura atlântica pré-existente (Laughton e Whitmarsh, 1974) sub-paralela à Falha da Glória.



1.1.2 A REGIÃO GO (GORRINGE)

A região leste da zona de fractura Açores Gibraltar é uma região de batimetria complexa, sendo o Banco do Gorringe o alto topográfico mais importante, com cerca de 80 km de largura e 200 km de comprimento. Este banco situa-se entre a Planície Abissal do Tejo, a norte, e a Planície Abissal da Ferradura, a sul. Os mecanismos focais dos sismos ocorridos nesta zona são, na sua maioria, do tipo mecanismo em falha inversa cujos eixos de tensão são praticamente horizontais e de orientação praticamente norte-sul. São geralmente associados a esta zona, o sismo ocorrido em 382 DC, que gerou um tsunami observado ao largo do Cabo de S. Vicente e recentemente o sismo de 28 de Fevereiro de 1969, que gerou um tsunami claramente registado nas estações maregráficas de Portugal Continental, Açores, Espanha, Ilhas Canárias e Marrocos. O mecanismo focal deste sismo, determinado por vários autores, é compatível com a hipótese de cavalgamento da placa Euroasiática sobre a placa Africana. O facto de o Gorringe ser considerado como não estando em compensação isóstatica (Grimson e Chen, 1986) reforça a sua importância, tendo sido invocados diversos modelos interpretativos para a sua estrutura.

A existência de subdução sob o Banco de Gorringe e a sua interpretação como um segmento da fronteira de placa foi sugerido por Purdy (1975). Depois do sismo de 28 de Fevereiro de 1969 foi sugerido que o Banco está limitado (a NW e SE) por dois cavalgamentos que cortam a totalidade da crusta, de tal modo que a subida ou a subsidência do Banco seria o resultado do encurtamento ou da extensão neste sistema. É possível obter uma estimativa da tensão regional necessária para assegurar o equilíbrio deste bloco litosférico coerente com a tectónica regional. Esta interpretação foi questionada por Sartori e co-autores (Zitellini e outros, 2001) que argumentam que a similaridade das placas Euroasitática e Núbia em termos de idade, densidade, rigidez e espessura e a fraca taxa de convergência (~4 mm/ano) impedem o desenvolvimento de um mecanismo de subdução. Esta hipótese é suportada indirectamente pela interpretação dos perfis sísmicos de reflexão (Baptista *et al.*, 2003), pelo que a subida do Banco se poderá interpretar como o resultado de *buckling* regional. Apesar destes argumentos, o Banco MW a uma descontinuidade estratigráfica muito importante.

FIGURA 1

Regiões Fonte. Em fundo Interpretação Tectónica (Projecto NEAREST). GL (Glória); GO (Gorringe); HM (Horseshoe e Marques de Pombal); AL (Algarve); GA (Gibraltar-Alboran). Os limites das zonas correspondem apenas à sua expressão superficial.

1.1.3 A REGIÃO HM (HORSESHOE E MARQUÊS DO POMBAL)

A margem oeste Ibérica estende-se desde o Cabo Finisterra, 43°N até ao Cabo de S. Vicente, sendo geralmente dividida em três segmentos de norte para sul: o segmento do Banco da Galiza, a Planície Abissal da Ibéria e finalmente a Planície Abissal do Vale do Tejo. As planícies Abissais da Ibéria e do Vale do Tejo encontram-se separadas pela crista Tore-Madeira e pelo Esporão da Estremadura. A sismicidade da margem oeste Ibérica localiza-se essencialmente no seu segmento mais a sul, estendendo-se para norte até ao Esporão da Estremadura, onde a sismicidade é muito difusa e pouco frequente, com uma mistura de vários tipos de mecanismo focal (Grimson e Chen, 1986).

Existe evidência de deformação compressiva na Bacia Abissal da Ferradura a este de 12° W apesar da ausência de tecnónica activa recente no sector ocidental (Lonergan e Withe, 1977). No sector oriental o soco oceânico está afectado por importantes ressaltos verticais ao longo dos bordos norte e sul (Lynnes e Ruff, 1985). Um número muito elevado de cavalgamentos de baixo ângulo, com separações quilométricas, afectam o soco oceânico e a cobertura sedimentar e provavelmente acomodam o encurtamento litosférico. Apesar da inconsistência entre este padrão tectónico e a existência de subdução, esta é a região onde foi desencadeado o sismo M=7.9 de 28 de Fevereiro de 1969 e onde estão objectivamente cartografadas as falhas da Ferradura e São Vicente ambas com evidência de actividade neotectónica. Os resultados mais recentes da investigação sismoectónica realizada no Golfo de Cadiz (Zitelinni, com. pessoal) apontam para a importância da Falha da Ferradura como a mais importante das estruturas desta região em termos de potencial sismogenético e, portanto, tsunamigénico.

Outro dos acidentes tectónicos desta região é a Falha Marquês de Pombal identificada em 1992 (Zitellini *et al.*, 2001) e onde se reconhecem características de actividade recente, compatível em particular com o sismo de 1755. Esta estrutura tem uma extensão à superfície inferior a 100 km, o que coloca limitações à sua capacidade de, por si só, gerar sismos de magnitude muito elevada.

A norte desta região está localizada a falha Pereira de Sousa (Terrinha *et al.*, 2003), estrutura extensional sem evidência de compressão significativa, pelo que a excluimos desta região tsunamigénica.

1.1.4 A REGIÃO AL (ALGARVE)

A região AL representada na Figura 2 integra um conjunto de estruturas que incluem as estruturas relacionadas com a Bacia do Algarve e a sua deformação recente pela compressão África-Eurasia, entre as quais as fontes prováveis do sismo de Tavira de 1722 (Baptista *et al.*, 2007) o único caso claro de tsunami local no Algarve, bem como as estruturas associadas à região do Banco de Guadalquivir em particular o cavalgamento interpretado por Zitellinni como estrutura complementar da Falha Marquês de Pombal.

1.1.5 A REGIÃO GA (GIBRALTAR - ALBORAN)

A este de Gibraltar localiza-se o Mar de Alboran, limitado a norte pela Cordiheira Betica e sul pelas cadeias do Rif e do Tell. Durante o Miocénico inferior e médio o domínio de Alboran sofreu extensão e adelgaçamento. O desenvolvimento do Mar de Alboran, das Béticas, do Rif e do Tell é interpretado como o resultado do colapso ds orogenia alpina (Laughtton e Withmarsh, 1974; Hayward *et al.*, 1999) acompanhada de extensão e deslocamento para oeste da região Ibero-Maghrebiana, desenvolvimento de cavalgamentos para noroeste na margem ibérica e para sudoeste na margem da Núbia. Uma das hipótese levantadas para explicar este mecanismo é a da existência de extensão back-arc gerada pelo rollback de um bloco litosférico (Laughtton e Withmarsh, 1974; Lynnes e Ruff, 1985). Esta hipótese parece suportada pela existência de evidências de actividade neotectónica associada ao movimento deste bloco.

A associação da actividade tectónica induzida com este bloco litosférico com a tsunamigénese foi proposta por Gutscher (Gutscher *et al.*, 2006), apoiada em modelação termomecânica e no argumento de que a generalidade dos sismos geradores de tsunamis catastróficos se encontra associada com zonas de subdução. Esta região tsunamignénica está indicada na Figura 2 (expressão superficial) com a sigla GA.

1.2 FALHAS TIPO

As falhas tipo (FT) consideradas para cada zona fonte obedecem aos seguintes requisitos: (i) terem sido positivamente identificadas por sismo-estratigrafia ou, nos casos em que esta identificação ainda não foi possível, terem sido deduzidas de análise morfo-estrutural de batimetria swath; (ii) existirem indicações claras de actividade quaternária ou (iii) terem sido identificadas através de informação sísmica instrumental.

QUADRO 1 - PARÂMETROS DAS FALHAS TIF

FALHAS	L (km)	W (km)	D (km)	SLIP(m)	STRIKE (°)	DIP (°)	RAKE (°)	$M_{\rm w}$
FGA	54				292.7			8.3
	22	200	25	11.1	334.6	25	90	8.0
	57				346.3			8.3
FNG	137	60	25	8.3	233.0	25	90	8.1
FF	106	70	25	10.7	222.1	25	90	8.2
Ext. FMP	86	70	25	8.0	200.0	25	90	8.0
FBP	100	55	25	7.2	267.3	25	90	8.0

Os acrónimos seguem o decrito na Figura 1.





Principais estruturas sismogénicas do Golfo de Cadis: GN (Gorringe Norte); MP (Marques do Pombal); FBP (Falha do Banco de Portimão); GA (Prisma acreccionário de Gibraltar-Alboran). Indica-se também a localização dos montes submarinos Coral Patch (CP) e Ampère (A).

PO	UTILIZADAS	NA	MODEL	ACÃO	NUMÉRICA	
\sim		1 1/ 1	IJODLL	., iç, i0	INOT ILITER.	<i>L</i>

A lista de tsunamis na costa portuguesa pode ser resumida no quadro seguinte:

STA DE TSUNAM	IIS NA COSTA P	ORTUGUESA	LOCA	ALIZAÇÃO DA F	ONTE			
HORA DO SISMO (hh mm ss)	CAUSA	SUB-REGIÃO	LATITUDE N	E LATITUDE	H - DEPTH (km)	SIEBERG AMBRASEYS IT	ESPRAIAMENTO R Run up (m)	REGISTADA PELOS MARÉGRAFOS A Max. Amplitude (m)
Un	ER	SWIT	36.00	-10.70	-	4	-	-
Un	ER	SWIT	36.00	-09.50	-	4	-	-
04:30:00	ER	TE	38.90	-09.00	-	4	-	-
17:30:00	ER	SWIT	37.02	-07.48	-	3	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
09:40:00	ER	SWIT	36.70	-09.80	-	6	> 10	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
15:30:00	ER	SWIT	43.40	-11.00	-	2	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
Un	ER	TE	38.70	-9.20	-	2	-	-
12:01:00	ER	GFD	34.50	-13.00	-	3	2.4	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
14:45:00	ER	TE	38.70	-9.20	-	2	-	-
20:32:00	ES	GB	44.50	-56.30	-	1	-	0.19 (Leixões)
18:03:00	ESA	MAD	32.65	-16.97	-	4	> 5	-
18:04:00	ER	D	37.42	-19.01	25	1	-	0.10 (Lagos)
02:40:32	ER	SWIT	36.01	-10.57	22	2	-	0.30
05:00:00	D	D	D	D	-	1	-	0.13 (Lagos)
09:11:51	ER	GFD	35.90	-17.50	15	1	-	0.30 (Lagos)
	HORA DO SISMO (hh mm ss) Un Un 04:30:00 - - 09:40:00 - 15:30:00 - 15:30:00 - 12:01:00 - 14:45:00 20:32:00 18:03:00 18:04:00 02:40:32 05:00:00 09:11:51	HORA DO SISMO (hh mm ss) CAUSA Un ER Un ER 04:30:00 ER 17:30:00 ER - - 09:40:00 ER - - 15:30:00 ER - - Un ER 11:30:00 ER - - 15:30:00 ER - - Un ER 12:01:00 ER - - Un ER 12:01:00 ER 20:32:00 ES 18:03:00 ESA 18:04:00 ER 02:40:32 ER 05:00:00 D 09:11:51 ER	HORA DO SISMO (hh mm ss) CAUSA SUB-REGIÃO Un ER SWIT Un ER SWIT 04:30:00 ER TE 17:30:00 ER SWIT - - - 09:40:00 ER SWIT - - - 15:30:00 ER SWIT - - - 09:40:00 ER SWIT - - - 15:30:00 ER SWIT - - - Un ER SWIT - - - Un ER GFD - - - 12:01:00 ER GFD - - - 14:45:00 ER TE 20:32:00 ES GB 18:04:00 ER D 02:40:32 ER SWIT 05:00:00 D	NA DE ISUNAMIS NA COSTA PORTOGUESA LOC/ HORA DO SISMO (hh mm ss) CAUSA SUB-REGIÃO LATITUDE N Un ER SWIT 36.00 Un ER SWIT 36.00 04:30:00 ER TE 38.90 17:30:00 ER SWIT 37.02 - - - - 09:40:00 ER SWIT 36.70 - - - - 09:40:00 ER SWIT 36.70 - - - - 09:40:00 ER SWIT 36.70 - - - - 15:30:00 ER SWIT 43.40 - - - - Un ER SWIT 43.40 - - - - Un ER GFD 34.50 12:01:00 ER GFD 34.50 20:32:00 ES	HORA DO SISMO (Mm mm si) CAUSA SUB-REGIÃO LATITUDE N E LATITUDE Un ER SWIT 36.00 -10.70 Un ER SWIT 36.00 -09.50 04:30:00 ER TE 38.90 -09.00 17:30:00 ER SWIT 37.02 -07.48 - - - - - 09:40:00 ER SWIT 36.70 -09.80 - - - - - - 09:40:00 ER SWIT 36.70 -09.80 - - - - - - 15:30:00 ER SWIT 36.70 -09.80 - - - - - - 15:30:00 ER SWIT 36.70 -09.80 - - - - - - Un ER SWIT 38.70 -9.20 12:01:00 <t< td=""><td>NA DE ISUNAMIS NA COSTA PORTUGUESA LOCALIZAÇÃO DA FONTE HORA DO SISMO (hh mm s) CAUSA SUB-REGIÃO LATITUDE N E LATITUDE H-DEPTH (km) Un ER SWIT 36.00 -10.70 - Un ER SWIT 36.00 -09.50 - 04:30:00 ER TE 38.90 -09.00 - 17:30:00 ER SWIT 37.02 -07.48 - - - - - - - - - - - - - - - - 09:40:00 ER SWIT 36.70 -09.80 - - - <</td><td>NA DE ISUNAMIS NA COSTAPIORI UGUESA LOCALIZAÇÃO DA FONTE HORA DO SISMO (MM mm Is) CAUSA SUB-REGIÃO LATITUDE N E LATITUDE H-DEPTH (km) SIEBERG AMBRASEYS IT Un ER SWIT 36.00 -10.70 - 4 Un ER SWIT 36.00 -09.50 - 4 04:30:00 ER TE 38.90 -09.00 - 4 17:30:00 ER SWIT 37.02 -07.48 - 3 - - - - - - - - 09:40:00 ER SWIT 36.70 -09.80 - 6 - - - - - - - - 15:30:00 ER SWIT 43.40 -11.00 - 2 - - - - - - - - - 15:30:00 ER TE 38.70 -9.20 -</td><td>BADE ISUNAMISINA COSTAPORTOGUESA LOCALIZAÇÃO DA FONTE LOCALIZAÇÃO DA FONTE MORA DO SISMO (M.m.m.s) CAUSA SUB-REGIÃO LATITUDE N E LATITUDE H-DEPTH (Km) SSIEBERG AMBRASEYS IT ESPRALAMENTO R Rum =p (mi) Un ER SWIT 36.00 -10.70 - 4 - Un ER SWIT 36.00 -09.50 - 4 - 04:30.00 ER TE 38.90 -09.00 - 4 - 04:30.00 ER SWIT 36.00 -07.48 - 3 - 17:30:00 ER SWIT 36.70 -09.80 - 6 >10 0: -</td></t<>	NA DE ISUNAMIS NA COSTA PORTUGUESA LOCALIZAÇÃO DA FONTE HORA DO SISMO (hh mm s) CAUSA SUB-REGIÃO LATITUDE N E LATITUDE H-DEPTH (km) Un ER SWIT 36.00 -10.70 - Un ER SWIT 36.00 -09.50 - 04:30:00 ER TE 38.90 -09.00 - 17:30:00 ER SWIT 37.02 -07.48 - - - - - - - - - - - - - - - - 09:40:00 ER SWIT 36.70 -09.80 - - - <	NA DE ISUNAMIS NA COSTAPIORI UGUESA LOCALIZAÇÃO DA FONTE HORA DO SISMO (MM mm Is) CAUSA SUB-REGIÃO LATITUDE N E LATITUDE H-DEPTH (km) SIEBERG AMBRASEYS IT Un ER SWIT 36.00 -10.70 - 4 Un ER SWIT 36.00 -09.50 - 4 04:30:00 ER TE 38.90 -09.00 - 4 17:30:00 ER SWIT 37.02 -07.48 - 3 - - - - - - - - 09:40:00 ER SWIT 36.70 -09.80 - 6 - - - - - - - - 15:30:00 ER SWIT 43.40 -11.00 - 2 - - - - - - - - - 15:30:00 ER TE 38.70 -9.20 -	BADE ISUNAMISINA COSTAPORTOGUESA LOCALIZAÇÃO DA FONTE LOCALIZAÇÃO DA FONTE MORA DO SISMO (M.m.m.s) CAUSA SUB-REGIÃO LATITUDE N E LATITUDE H-DEPTH (Km) SSIEBERG AMBRASEYS IT ESPRALAMENTO R Rum =p (mi) Un ER SWIT 36.00 -10.70 - 4 - Un ER SWIT 36.00 -09.50 - 4 - 04:30.00 ER TE 38.90 -09.00 - 4 - 04:30.00 ER SWIT 36.00 -07.48 - 3 - 17:30:00 ER SWIT 36.70 -09.80 - 6 >10 0: -

Data – data dos acontecimentos; Hora de ocorrência; Cause: ER (Sismoe); ESA (Escorregamento sub-aéreo); ES (Escorregamento submarine); Sub-regiões da região Atlantica (AT) region: SWIT – Southwest Iberian Transpressive zone; TE – Tagus Estuary; GFD – Gloria Fault Domain; GB – Grand Banks; MAD – Madeira. Lat and Lon Latitude and Longitude in degrees; H – focal depth in km; IT- intensidade do tsunami (escala de Sieberg Ambraseys); R – run-up height in (m); A - Amplitude Max – amplitude maxima registada nos marégrafos; D desconhecida.

2. IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO NUMÉRICO

Existem actualmente vários modelos disponíveis para calcular a propagação do tsunami: o programa SWAN (Mader, 2001 e 2004), o programa TUNAMIN2 desenvolvido por Imamura (1997), MOST (Titov e Gonzalez, 1997), AnuGA desenvolvido pela *Geosciences* Austália, entre outros. Neste trabalho utilizou-se o modelo COMCOT da Universidade de Cornell (Liu, 2005). Este programa inclui a resolução das equações da hidrodinâmica: equação da continuidade e do momento, na aproximação das águas pouco profundas (shallow water equations) na opção linear ou não linear, esta última designada por NLSW (Non Linear Shallow Water) em oceano aberto e o cálculo do runup e da inundação nas zonas costeiras, utilizando um sistema de grelhas "encastradas" que permite passar de uma resolução média, no oceano aberto, para uma grelha de muito alta resolução nas zonas costeiras em estudo. O código COMCOT calcula a propagação e a evolução da onda desde a fonte até próximo da costa onde calcula o "runup" e a inundação.

A perturbação inicial da superfície livre do oceano é calculada admitindo que a superfície livre do oceano reflecte a deformação cosísmica do fundo do oceano. Nesta hipótese a deformção do fundo é calculada utilizando as equações da teoria das "dislocations" para um semi espaço elástico (Mansinha e Smiley, 1971).

2.1 TESTE DE MODELOS E SUA COMPARAÇÃO

Os testes preliminares do modelo foram efectuados através da realização de "benchmarks" descritos na literatura (Workshop de 2004 da Ilha Catalina). A importância destes benchmarks, estabelecidos a partir de simulações físicas ou de soluções analíticas em condições geométricas simples, prende-se com a verosimilhança dos resultados produzidos pelos modelos numéricos.

Para testar o comportamento dos diferentes modelos bem como das suas respostas em termos de parâmetros de inundação procedemos a um conjunto de comparações entre os resultados preditos pelos modelos COMCOT e AnuGA. Para caso de teste foi utilizada a fonte Gorringe Norte representada na Figura 3. De entre os parâmetros da fonte, dois deles, o ângulo de mergulho e profundidade, foram definidos dentro de intervalos de forma a obter um conjunto de 80 modelos de fonte diferentes. Com este conjunto de fontes, foi analisada a resposta de cada modelo, em termos de *run-up e run-in* obtido, e foi efectuada a comparação entre os resultados dos modelos. A análise dos resultados obtidos para a área de teste do Alvor mostra que os parâmetros de *run-up e run-in* produzidos pelo COMCOT são sistematicamente mais elevados

que os correspondentes calculados pelo AnuGA. Esta diferença parece dever-se à forma como a inundação é calculada por cada um dos modelos, uma vez que a comparação da propagação desde a fonte até à isóbata dos 5 m não apresenta diferenças significativas.

2.2 CONSTRUÇÃO DO MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO

2.2.1 METODOLOGIA

O resultado das simulações de "runup" e de inundação, que traduzem a gravidade do impacto do tsunami em terra, são criticamente dependentes dos efeitos batimétricos nas zonas de águas pouco profundas muito próximas da costa. Por vezes podem observar-se valores de "run up" extremamente elevados em locais específicos da costa enquanto em zonas vizinhas se podem observar valores pequenos.

A preparação dos Modelos Digitais de Elevação (MDE) para utilização em modelação hidrodinâmica deve assegurar (1) representação cartográfica homogénea a partir de fontes heterogéneas de informação, (2) abarcar as áreas fontes e as áreas alvo, (3) assegurar resolução horizontal na área alvo de modo a que os efeitos locais possam ser representados no modelo, (4) assegurar a continuidade entre as zonas imersa e emersa, particularmente no que diz respeito ao datum vertical.

CARTAS DE INUNDAÇÃO

3.1 ANÁLISE DO TEMPO DE PROPAGAÇÃO

Na aproximação das ondas longas o tempo de percurso do tsunami entre a fonte e uma localidade costeira depende exclusivamente da profundidade, uma vez que a sua velocidade de propagação é dada por $c=\sqrt{gh}$, onde h representa a profundidade do oceano. A técnica para calcular o tempo de propagação é uma aplicação do Princípio de Huighens, que estabelece que todos os pontos de uma frente de onda são fontes pontuais para as ondas seguintes. Isto significa que a partir da fonte pontual inicial são calculados os tempos de percurso para todos os pontos vizinhos da grelha batimétrica, escolhendo o percurso do tempo de propagação mais curto. Podemos obter uma estimativa do tipo "cenário mais desfavorável" se considerarmos que cada uma das falhas típicas definidas anteriormente, irradia a partir do ponto mais próximo da costa. Apenas no caso da Falha do Banco de Portimão, cujo strike é aproximadamente paralelo à costa algarvia, escolhemos o ponto médio da projecção horizontal da falha.

Vamos assim considerar as seguintes fontes pontuais:

FONTE	LONGITUDE	LATITUDE
GN - Gorringe Norte	-10.73	37.25
FF - Falha da Ferradura	-9.67	36.54
FMP – Falha do Marquês de Pombal	-10.03	36.95
FBP - Falha do Banco de Portimão	-8.70	36.05
FAC – Alboran Cadiz	-9.30	35.85



FIGURA 3 Tempos de Chegada para a fonte AC (Falha Alboran-Cadiz).



QUADRO 3 - FONTES PONTUAIS UTILIZADAS PARA DETERMINAÇÃO DOS TEMPOS DE PERCURSO ESTIMADOS

Nas figuras seguintes apresentamos as cinco cartas de tempos de propagação.

FIGURA 4 Tempos de Chegada para a fonte FF (Falha da Ferradura).

FIGURA 5 Tempos de Chegada para a fonte GN (Falha Gorringe Norte).

FIGURA 6

Tempos de Chegada para a fonte MP (Falha do Marques de Pombal).

FIGURA 7

Tempos de Chegada para a fonte FBP (Falha do Banco de Portimão).

Das de isócronas anteriores pode deduzir-se que a costa sul do Algarve é caracterizada por tempos de chegada entre 0.4 h e 1.0h, independentemente da fonte considerada. Quanto à costa ocidental, note-se que para o caso das fontes como a falha do Marques de Pombal ou a falha da Ferradura, se tem como tempo mínimo de chegada cerca de 0.3h.

3.2 CARTOGRAFIA DA INUNDAÇÃO

A modelação da inundação obriga ao conhecimento da propagação do tsunami desde a sua geração, propagação em águas profundas até à propagação em zonas costeiras e estudo do impacto na zona em estudo. Para reproduzir correctamente a propagação são necessários modelos de batimetria e de topografia de muito alta resolução. O código utilizado para propagação do tsunami nas suas 3 fases (geração, propagação e inundação) utiliza grelhas de resolução variável, aumentando com a aproximação à costa; nesta zona o comprimento de onda diminui e a amplitude aumenta. Assim as diferentes resoluções utilizadas têm como objectivo assegurar um número mínimo de nodos da grelha por cada comprimento de onda, de modo a amostrar correctamente a onda com um mínimo de erro.

O modelo escolhido utiliza 3 grelhas batimétricas de resoluções diferentes: baixa resolução (800 m) na zona de geração, resolução média na aproximação à costa (200 m) e finalmente alta resolução nas zonas de impacto (50 m).

Foram consideradas três áreas teste para a implementação da metodologia descrita: Boca do Rio, Armação de Pêra e Quarteira.

O vale da Boca do Rio é uma das áreas mais próximas da zona fonte, sendo uma das zonas com mais informação tanto do ponto de vista histórico como do ponto de vista da paleosedimentologia, constituindo por isso um bom caso de estudo. A descrição da inundação que teve

lugar em 1755 encontra-se em diversos documentos históricos.

Uma vez que as alterações topográficas da área podem ser consideradas, no caso de estudos preliminares, como sendo não muito significativas, em particular a densidade de construção não é muito elevada sendo praticamente inexistente no vale da praia da Boca do Rio, podemos considerar comparáveis as duas situações.

A área de Armação de Pêra corresponde a uma situação topográfica particular, com uma área de baixa altitude situada perto da linha de costa e onde o potencial de inundação é à partida muito significativo. A zona de Quarteira corresponde actualmente a uma zona de elevado risco devido à extensa ocupação urbana. Nas Figuras seguintes apresentam-se cartas preliminares de inundação para estas zonas.



3.3 COMPARAÇÃO COM OS DADOS HISTÓRICOS DE 1755

Nesta secção começamos por apresentar os dados históricos do impacto do tsunami de 1755 ao longo da costa do Algarve (Baptista e Miranda, 2007). Procurou-se identificar para cada localidade os valores das seguintes grandezas: máxima altura de onda observada, tempo de percurso do tsunami, número de ondas, máxima distância de inundação, máximo recuo do mar e sentido do 1º movimento do mar.

QUADRO 4 - PARÂMETROS DO TSUNAMI O

LOCAL	LON (W)	LAT (N)	MAX RUN-UP	TEMPO DE PERCURSO (minutos)	N.º DE ONDAS	MAX. DISTÂNCIA DE INUNDAÇÃO (m)	MAX. RECUO DO MAR (m)	1.º MOV.	INUNDAÇÃO
C S Vicente	-08.57	36.60	30	10	3		2500	S	Não
Sagres	-08.56	37.00	10 - 30				2500	D	Sim
Martinhal						2500		S	Sim
Boca do Rio	-08.82	37.07	11-13			2500	2500	S	Sim
Lagos	-08.40	37.06	8-11	15		700 - 900		S	Sim
Alvor	-08.58	37.13				600		S	Sim
Portimão	-08.53	37.13	2.5			800 - 4000		S	Sim
Armação de Pêra	-08.37	37.10				2500			Sim
Faro - Ilhas Barreira	-08.83	36.97	10						Sim
Faro	-08.83	37.00							Não
Boliqueime	-09.00	36.84	8		5	2000 - 2500			Sim
Quarteira	-08.02	37.07					500 - 600		Sim
Monte Gordo	-07.45	37.18							Sim



Carta de Inundação	Resolução do DTM: 50m	CGUL
Resultado Preliminar	UTM 29	PROJECTO ANPC - ALGARVE

FIGURA 8

Inundação (Flow depth), em metros, para a Boca do Rio.

FIGURA 9 Inundação (Flow depth), em metros, para Armação de Pêra.

FIGURA 10

Inundação (Flow Depth), em metros, para Quarteira.

BSERVADO	AO LOINGO	DA COSTA	DO ALGARVE

"No Cabo de S. Vicente [...] e em distância de meia légua ao mar, na fundura de 8 braças secou inteiramente; depois cresceu com tanta furia, que igualou a rocha e muralhas da Fortaleza do Beliche que terão humas 30 braças de altura. Em Sagres [...] o mar recolheu cosa de meia légua [...] montou rochas de 60 braças (Lopes, 1841). No Martinhal [...] entrou por uma praia chamada do mortinhal [...] o espaço de meia légua [...]. A água da mareta cresceu de 7 palmos (Lopes, 1841) Na Boca do Rio: Na costa SE está a fortaleza de Almadena [...] Pelo ribeiro de água doce que desagua ali entrou o mar no dia do terremoto por espaço de 1/4 de légua em altura de 10 a 12 varas, arrazando grandiosos medãos de areia [...] (Pereira de Sousa, 1919). No Alvor [...] o mar entrou 300 bracas pela terra dentro ficando rente com a povoação que está a 30 metros de altura sobre a rocha [...] (Lopes, 1841). Em Portimão: [...] Não fez menos dano a rápida inundação das águas, que saíram do mar [...] excedendo os seus limites naturais, em partes mais de 800 varas (Dicionário Geográfico, 1758); [...] Na vila de Portimão [...] foi horrendo o combate das ondas [...] Por ela entrarão apertadas formidaveis ondas que corriam rio acima mais de hua légua [...] Inundaram os arrabaldes e afogarão muitas pessoas [...] (Faria e Castro, 1768). Em Armação de Pera: [...] se arruinou a fortaleza com o mar, e com o ímpeto deste levou pello pé a Igreja de santo António [...] como também sessenta e duas pessoas que o mar recolheo até os lançar mortos [...] (Dicionário Geográfico, 1758). Em Quarteira: [...] O mar sahiu de si 5 vezes, cauzando na primeira e segunda o sobredito estrago, e decorrendo espaço de meia légua sobre os montes, que o impede na altura de 6 braças, durando em crescer o tempo de 6 horas [...] (Dicionário Geográfico, 1758). Em Faro: [...] Na nossa costa foi visto o primeiro efeito dele retroceder; mas logo a voltar tão impetuoso, que excedendo os seus limites, em humas partes montou rochas de 90 braças de alto, em outras correu além das suas praias longos espaços pela terra dentro [...] Faro teve a fortuna de estar o seu rio em maré baixa [...] víamos levantar as ondas na costa a tal altura que cada uma unida em mesma montava as ilhas sem se dividir. Entretanto o rio batia nas ditas coroas, e então se repartia em quantidade de ondas escumosas [...] Fizeram elas pouca impressão na cidade aonde as suas águas não excederam os limites de uma grande maré [...] (Faria e Castro, 1768). [...] Levaram as ondas todas as cabanas da praia de Monte Gordo [...] e arrazou todas as ilhas que havia pela extenção da costa até à praia de Quarteira [...] mas deixou salvos por especial providência o lugar de Olham e a Cidade de Faro [...] (Manuscrito do Códice, 1756)."

Analisando então as figuras ilustrativas da inundação para as áreas de estudo (Figuras 5, 6 e 7) verificamos que existe concordância entre estes resultados preliminares e os dados históricos compilados no Quadro 4. Nos resultados apresentados para Boca do Rio na Figura 11 verifica-se que o run in é superior a 1500 m, o que está de acordo com o run in apresentado no Quadro 4 para esta zona, e os valores para o run un também correspondem. Para Armação de Pera, os resultados e os dados para a máxima distância de penetração encontram-se em concordância. Relativamente à zona da Quarteira não temos conhecimento de dados históricos que nos permitam fazer a comparação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAPTISTA M.A., J.M.MIRANDA (2007). Spatial distribution of tsunami height and the extent of inundation along the Portuguese coast - the 1755 event; preliminary evaluation. Geophysical Research Abstracts, Vol. 9, 05569, 2007, SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU2007-A-05569, © European Geosciences Union 2007.

BAPTISTA MA, MIRANDA IM, CHIERICCI F, ZITELLINI N (2003), New Study of the 1755 Earthquake Source Based on Multi-channel Seismic Survey Data and Tsunami Modeling, Natural Hazards and Earth System Sciences 3: 333–340.

BAPTISTA MA, MIRANDA JM, LUIS JF, (2006). "In Search of the 31th March 1761 Earthquake and Tsunami Source", Bulletin of the Seismological Society of America" Vol. 96, N.2, pp 713-721. 2006.

BAPTISTA MA, MIRANDA JM, LOPES FC, LUIS JF. The Source Of The 1722 Algarve Earthquake: Evidence From MCS and Tsunami Data. Journal of Seismology, DOI 10.1007/s10950-007-9058-y.

DICIONÁRIO GEOGRÁFICO (1758), vol. 1, rolo 226, p. 214. IANTT, Portugal.

DICIONÁRIO GEOGRÁFICO (1758), vol. 7, rolo 301 P. 979. IANTT, Portugal.

Tombo, Portugal.

FARIA E CASTRO D. A. L. (1768). História Geral de Portugal e suas conquistas, Livro 1, Cap. IV, pp 21--36. Documento manuscrito da base de dados do Fundo Antigo da Academia de Ciências de Lisboa

GRIMSON N. L., CHEN W., 1986. The Azores Gibraltar plate boundary: focal mechanisms, depths of earthquakes and their tectconic implications, I. Geophys. Res., 92, 2029-2047

GUTSCHER, M.-A., BAPTISTA, M.A., MIRANDA, J.M. (2006). The Gibraltar Arc seismogenic zone (part 2): constraints on a shallow east dipping fault plane source for the 1755 Lisbon earthquake provided by tsunami modelling and seismic intensity, Tectonophysics oi:10.1016/j.tecto.2006.02.025.

gutscher, M., Malod, I., Rehault, I.-P., Contruci, I., Klingelhoefer, F., Mendes-Victor, L., & SPAKMAN,W., 2002. Evidence for active subduction beneath Gibraltar, Geology, 30(12), 1071–1074.

IMAMURA F., 1997. IUGG/IOC TIME Project: Numerical Method of, Tsunami Simulation with the Leap-Frog Scheme

LAUGHTON, A. AND WHITMARSH, R.: The Azores-Gibraltar plate boundary, in: Geodinamics of Iceland and the North Atlantic Area, Kristjansson, L., 1a ed. Dordrecht, Holland: D. Reidel, 63–81, 1974.

LIU, P, 2005. Tsunami Simulations and Numerical Models. The Bridge.

LYNNES, C. F., AND RUFF, L. J. (1985). Source process and tectonic implications of the great 1975 North Atlantic earthquake. Geophys. J. R. Astr. Soc., 82, 497-510.

MADER, C. L. (2001). Modeling the 1755 Lisbon tsunami, Science of Tsunami Hazards, Vol. 19, 93-98.

MADER, C. L. (2004). Numerical Modeling of Water Waves. CRC Press, ISBN 0-8493-2311-8, pp 1-274.

MANSINHA, L. AND SMYLIE, D. E.: The Displacement Field of Inclined Faults, BSSA, 61, 1433–1440, 1971.

MANUSCRITO DO CÓDICE 537 (1756) Relaçam do terramoto do 1º de Novembro com os effeitos que particularmente cauzou neste Reino do Algarve. Códice 537 pgs 159-163.

QUADRO 5 - CONVERSÃO DE UNIDADES ANTIGAS (MIDOSI, 1758)

MEDIDA ANTIGA	MEDIDA ACTUAL (m)
Légoa	5500
Braça	2.2
Vara	1.1
Palmo	0.226

DICIONÁRIO GEOGRÁFICO, volume 29, Rolo 582, pp 1623-1624. IANTT (Inst. Arquivos Nacionais da Torre do

CAPÍTULO 6 CARTOGRAFIA DO RISCO DE TSUNAMI

MIDOSI, L. F. (1758). Primeiros rudimentos de aritmética nos quais se compreende o novíssimo sistema métrico decimal. Biblioteca Nacional de Lisboa, cota S.A. 2656 P.

PURDY, G. M., 1975. The eastern end of the Azores-Gibraltar plate boundary, Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, Vol. 43, 973-1000.

TERRINHA, P., PINHEIRO, L. M., HENRIET, J.-P., MATIAS, L., IVANOV, M. K., MONTEIRO, J. H., AKHMETZHANOV, A., VOLKONSKAYA, A., CUNHA, T., SHASKIN, P. AND ROVERE, M., 2003. Tsunamigenic-seismogenic structures, neotectonics, sedimentary processes and slope instability on the southwest Portuguese margin, Marine Geology, Vol. 195, 55-73.

TITOV V & GONZALEZ F. 1997. Implementation and testing of the Method of Splitting Tsunami (MOST) model. NOAA Technical Memorandum ERL PMEL-112.

ZITELLINI, N., L. MENDES, D. CORDOBA, J. J. DAN[~]OBEITIA, R. NICOLICH, G. PELLIS, A. RIBEIRO, R. SARTORI, AND L. TORELLI (2001), Source of the 1755 Lisbon earthquake and tsunami investigated, Eos Trans. AGU, 82(26), 285–291.

CAPÍTULO 7 AVALIAÇÃO DE RISCO SÍSMICO NO ALGARVE: EFEITO DE SÍTIO

Albardeiro, L. | Moura, D. Universidade do Algarve



INTRODUÇÃO

As características físicas locais traduzem no seu todo, aquilo a que se designa por efeito de sítio, ou seja, a resposta do substrato geológico a um determinado estímulo como é, neste caso, a propagação de uma onda sísmica. Face a este estímulo, a conjugação dos vários atributos físicos locais, pode resultar na amplificação do movimento do substrato, no aumento do tempo do movimento e na geração de movimentos diferenciais. Este tipo de efeito designa-se por agravamento.

A geometria das estruturas geológicas, as variações litológicas e as descontinuidades morfológicas estão geralmente na base dos efeitos de agravamento (Ergin et al., 2004; Psarropoulus et al., 2007; Harbi et al., 2007. Duas das características de elevada importância no efeito amplificador são a dureza do substrato e a espessura das unidades geológicas (Mândrescu et al., 2007). A propagação das ondas sísmicas é mais rápida em rochas duras que em sedimentos não consolidados. Assim, quando as ondas sísmicas passam de um substrato duro para sedimentos pouco coerentes, a sua amplitude aumenta para manter a mesma quantidade de energia. Em consequência, o movimento é geralmente mais forte em sedimentos brandos onde as ondas se movem mais lentamente e é directamente proporcional à espessura dos depósitos. Também a geometria das bacias sedimentares desempenha um papel importante no modo como são veiculadas as ondas sísmicas, sendo estas diferentemente amplificadas de acordo com o local da bacia e a frequência da onda. Por exemplo, é geralmente nas zonas centrais das bacias sedimentares que se verifica quer a maior amplificação do sinal quer o maior tempo de duração do movimento (Ergin et al., 2004; Semblat et al., 2005). Algumas estruturas antropogénicas como a acumulação de resíduos municipais constituem extensas estruturas que frequentemente causam problemas ambientais em consequência de abalos sísmicos. A maior parte destes problemas está associada à estabilidade dos taludes ou dos solos onde são acumulados.

O presente trabalho tem como objectivo principal, produzir um documento que expresse de modo sistematizado a vulnerabilidade sísmica na região do Algarve tendo em consideração as peculiaridades do substrato geológico e a morfologia da região. Para tal, foram parametrizadas as variáveis susceptíveis de gerar efeito de agravamento. Cada uma dessas variáveis foi introduzida

como camada independente num sistema de informação geográfica, de modo a possibilitar o cruzamento de toda a informação.

A base cartográfica de referência do presente estudo é a cobertura aérea do Algarve em ortofotomapas de 2005-cobertura aerofotográfica multi-espectral e infra-vermelho próximo, obtida com câmara fotogramétrica digital Ultracam Vexcel, constituída por 310 fotografias com resolução espacial de 0.5 m e imagens em formato TIFF e ECW, com RGB de 24 bits. A geo-referenciação de origem dos ortofotomapas é o Datum de 1973 do IPCC (Instituto Português de Cartografia e Cadastro), tendo por isso, sido adoptada como sistema de referência para todos os dados.

Para avaliar a influência do efeito de sítio na propagação das ondas sísmicas, foram seleccionados os atributos do substrato rochoso que mais intervêm no efeito de agravamento, por ordem decrescente de importância: (i) litologia, (ii) espessura das camadas (iii) grau de carsificação e (iv) declive da superfície topográfica. Cada um destes atributos foi parametrizado com base em métodos de apreciação qualitativa e quantitativa. Com base na referida parametrização, foi calculado o índice de vulnerabilidade de acordo com a expressão (1).

Índice de Vulnerabilidade (IV) = Litologia + Espessura + Carsificação + Declive (1)

No caso particular da litologia, foram considerados sub-parâmetros relacionados com o grau de consolidação dos sedimentos e com os litotipos principais, pelo que, a expressão anterior (1) evoluiu para a expressão (2).

(P8) (2)

onde:

P1 - Grau de consolidação dos sedimentos Plio-Quaternários P2 – Espessura dos sedimentos Plio-Quaternários P3 – Grau de consolidação das rochas do Miocénico P4 – Grau de consolidação das rochas do Cretácico P5 - Grau de consolidação das rochas do Jurássico e do Paleozóico P6 - Grau de consolidação das rochas do Triássico P7 - Grau de carsificação das unidades carbonatadas (Mesozóico e Miocénico) P8 - Declive do terreno (em função da litologia - o mesmo valor de declive tem diferentes

- efeitos para litologias diferentes)
- 3, 2, 1 Índices de ponderação

ÍNDICE DE VULNERABILIDADE

IV = Litologia [3*P1+2*P3+1*(P4+P5+P6)] + Espessura (P2) + Carsificação (P7) + Declive

LITOLOGIA

Os diferentes litótipos foram distribuídos por 5 grupos em função da idade e, subordinadamente, em função do grau de consolidação. A cada grupo (litologia - consolidação) foi atribuído um valor de vulnerabilidade entre 0 e 4. Os Quadros 1-5, resumem os valores de vulnerabilidade atribuídos às várias litologias que ocorrem no Algarve.

QUADRO 1 - PARAMETRIZAÇÃO DOS SEDIMENTOS PLIO-QUATERNÁRIOS

ITOLOGIA	VALOR
Aluviões 1 – Aluviões activos, zonas inundáveis pela maré	4
Aluviões 2 – Outros aluviões	3
 iedimentos não consolidados: Areias de praia e de duna Depósitos de terraços marinhos Depósitos de terraços fluviais Depósitos areno-siltíticos do Pliocénico e Quaternário 	2
iedimentos total ou parcialmente consolidados	1

QUADRO 2 - PARAMETRIZAÇÃO DAS FORMAÇÕES DO MIOCÉNICO

LITOLOGIA	VALOR
Rochas detríticas pouco consolidadas	2
Rochas detríticas consolidadas	2
Rochas consolidadas não detríticas	1
Formações mistas (detrítico-carbonatadas)	1

QUADRO 3 - PARAMETRIZAÇÃO DAS FORMAÇÕES DO CRETÁCICO

ITOLOGIA	VALOR
Rochas detríticas	2
ormações mistas (detríticas e carbonatadas) consolidadas – consolidadas	1
Rochas filonianas e intrusivas	0

QUADRO 4 - PARAMETRIZAÇÃO DAS FORMAÇÕES DO JURÁSSICO E DO PALEOZÓICO

LITOLOGIA	VALOR
Calcários, dolomias, calcários dolomíticos, calcários margosos do Jurássico	0
Xistos e grauvaques do Paleozóico	0

QUADRO 5 - PARAMETRIZAÇÃO DAS FORMAÇÕES DO TRIÁSSICO

LITOLOGIA	VALOR
Rochas detríticas consolidadas	1

ESPESSURA DAS FORMAÇÕES

A informação necessária para estimar a espessura das formações não directamente observável, foi obtida a partir de dados das sondagens efectuadas em todo o Algarve com diversas finalidades, desde a captação de água à implantação de estruturas. Foram analisadas e criticadas as descrições litológicas e texturais de várias centenas de sondagens, com o objectivo de estimar a espessura dos sedimentos Plio-Quaternários. O Quadro 6 resume os valores de vulnerabilidade atribuídos de acordo com as espessuras determinadas directamente ou estimadas a partir das sondagens para as formações atribuídas ao Pliocénico e ao Quaternário.

ESPESSURA DAS FORMAÇÕES DO PLIO-QUATERNÁRIO			
* Depósitos < 10 metros	1		
* Depósitos 10 – 20 metros	2		
* Depósitos 20 – 40 metros	3		
* Depósitos > 40 metros	4		

Apesar do número elevado de sondagens estudadas não foi possível uma cobertura homogénea de toda a região de estudo. Em locais onde não foi possível obter dados directos da espessura dos sedimentos, mas em que existe expressão cartográfica dos mesmos, assumiu-se que, pelo menos 10 metros de espessura (equivalente à classe mínima de espessura), seria um pressuposto razoável, com base na geometria mais comum dos corpos sedimentares.

CARSIFICAÇÃO

A análise do grau de carsificação das formações geológicas foi baseada em diferentes fontes: (i) observação directa no campo, (ii) interpretação das descrições geológicas das sondagens, em particular das referências directas à existência de carso, zonas de grande alteração (fragmentos de rocha e terra rossa) ou zonas sem qualquer recuperação de testemunho identificando zonas de grutas, (iii) pesquisa de toda a informação respeitante às características dos 17 aquíferos do Algarve, (iv) levantamento exaustivo de todas as referências a formas cársicas (grutas, algares, dolinas, etc). Foi atribuído o valor de vulnerabilidade mais elevado às zonas de carso mais superficial com preenchimento sedimentar (Quadro 7).

QUADRO 7 - TIPO DE CARSO E VALORES DE VULNERABILIDADE.

CARSIFICAÇÃO

Carso sub-superficial geralmente com preenchim Carso maioritariamente superficial (Poljes, dolin Carsificação forte mista (sub-superficial/subterr Carso maioritariamente subterrâneo (Algares, g Carsificação média mista (sub-superficial/subter Carso incipiente/provável/desconhecido Sem carsificação

QUADRO 6 - ESPESSURA E VALORES DE VULNERABILIDADE PARA OS SEDIMENTOS PLIO-QUATERNÁRIOS.

	VALOR
nento sedimentar	4
nas, úvalas, lapiás)	
âneo)	3
grutas)	2
râneo)	2
	1
	0

DECLIVE

A partir do modelo digital de terreno, foi calculado o declive utilizando a ferramenta slope do ArcGIS (em graus). Os dados obtidos foram incorporados em 5 intervalos de declive, entre 0-5 graus, entre 5-20 graus, 20-45 graus, 45-65 graus e 65-90 graus. Porém, ao mesmo valor de declive não foi atribuído o mesmo valor de vulnerabilidade quando a vertente intercepta litologias diferentes. Foram atribuídos valores numéricos aos diversos litotipos e a cada classe de declives. A cada cruzamento de um litotipo com uma classe de declive foi atribuído um valor de vulnerabilidade de acordo com o Quadro 8.

LITOLOGIA	CLASSES DE DECLIVE (GRAUS)				
	0-5	5-20	20-45	45 - 65	65-90
Aluviões	2	3	4	4	4
Calcários	1	2	3	4	4
Calcários margosos	1	3	4	4	4
Detríticas consolidadas	1	2	3	4	4
Detríticas não consolidadas	2	3	4	4	4
Intrusivas	0	1	2	3	4
Pelitos e calcários	1	2	3	4	4
Pelitos e margas	1	2	3	4	4
Pelitos e margas com evaporitos	1	2	3	4	4
Rochas filonianas	1	2	3	4	4
Dolomitos	1	2	3	4	4
Xistos e grauvaques	1	2	3	4	4

OUADRO 8 - CRUZAMENTO DE DADOS DE CLASSES DE DECLIVE COM LITOLOGIAS PREDOMINANTES.

O Índice de vulnerabilidade resulta da soma dos 4 parâmetros anteriormente descritos: (i) litologia, (ii) espessura dos sedimentos Plio-Quaternários (iii) carsificação e (iv) declive.

O índice de vulnerabilidade (Figura 1) mostra valores elevados na zona costeira a leste de Lagos, vulnerabilidades médias na zona do barrocal algarvio e vulnerabilidades mais baixas na região da Serra Algarvia. A área envolvente à Ria Formosa, mais concretamente entre o Rio Guadiana e a Ribeira de Quarteira, é a mais vulnerável da costa Algarvia, com maior expressão territorial nos Concelhos de Olhão, Faro e Loulé. Também na zona compreendida entre Albufeira e Lagos se verifica elevada vulnerabilidade, não só na zona costeira mas também na envolvente ao estuário do Rio Arade e afluentes próximos. Nas restantes zonas ocorrem valores mais pontuais de elevada vulnerabilidade, quase sempre associadas a zonas de aluvião e a manchas de sedimentos recentes Plio-Quaternários (Figura 1).



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

391, 335-346.

Engeneering, 27, 427-447.

MÂNDRESCU, M., RADULIAN, M., MÃRMUREANU, GH., 2007. Geological, geophysical and seismological criteria for local response evaluation in Bucharest urban área. Soil Dynamics and Earthquake Engeneering, 27, 367-393.

PSARROPOULOS, P.N., TSOMPANAKIS, Y., KARABATSOS, Y., 2007. Effects of local site conditions on the seismic response of municipal waste landfills. Soil Dynamics and Earthquake Engeneering, 27, 553-563.

SEMBLAT, J.F., KHAM, M., PARARA, E., BARD, P.Y., PITILAKIS, K., MAKRA, K., RAPTAKIS, D., 2005. Seismic wave amplification: Basin geometry vs soil layering. Soil Dynamics and Earthquake Engeneering, 25, 529-538.

FIGURA 1

Índice de vulnerabilidade sísmica da região do Algarve de acordo com o efeito de sítio decorrente das particularidades litológicas, estruturais e morfológicas.

ERGIN, M., OZALAYBEY, S., AKTAR, M., YALÇIN, M.N., 2004. Site amplification at Avcilar, Istambul. Tectonophysiscs,

HARBI, A., MAOUCHE, S., VACCARI, F., AOUDIA, A., OUSSADOU, F., PANZA, G.F., BENOUAR, D., 2007. Seismicity, seismic input and site effects in the Sahel-Algiers region (North Algeria). Soil Dynamics and Earthquake



CAPÍTULO 8 MODELAÇÃO DA DINÂMICA E MOBILIDADE DA POPULAÇÃO PRESENTE NA REGIÃO DO ALGARVE

Gaspar, J. | Rodriguez, J. F. | Queirós, M. | Henriques, E. B. Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa CAPÍTULO 8 MODELAÇÃO DA DINÂMICA E MOBILIDADE DA POPULAÇÃO PRESENTE NA REGIÃO DO ALGARVE

1. INTRODUÇÃO

A perda de vidas humanas resultante de catástrofes resulta da combinação entre o grau de "exposição" das pessoas a um dado processo natural ou antrópico e a natureza e dimensão dessa mesma população que com ele interage. O conhecimento da natureza, dimensão, variação espacial e temporal da **vulnerabilidade humana** perante situações de perigo é fundamental para a correcta determinação do potencial de danos e perdas (mortos e feridos) e definição das prioridades para estabelecer uma adequada avaliação, mitigação, prevenção e planeamento dos serviços de segurança e de emergência (Berkes, 2007; Veyret, 2007; Zêzere, 2007; Gaspar *et al.*, 2008).

Como é do conhecimento geral, o Algarve apresenta uma elevada perigosidade sísmica à qual se pode associar a ocorrência de tsunamis. Este facto, juntamente com a crescente concentração populacional no litoral da Região e os elevados fluxos turísticos que a caracterizam, justifica a necessidade de conhecer a **população presente**¹, potencialmente em risco, em cada momento (dia, semana, mês), fundamentando o desenvolvimento de mecanismos apropriados de segurança e emergência – regional e concelhio.

Em áreas de elevada concentração turística sazonal, como é a região algarvia, é de esperar que a **população presente**, num determinado local e instante (hora, dia, semana, mês...), seja substancialmente diferente da **população residente**, oficialmente conhecida em termos censitários. Esta diferença deriva tanto das deslocações da população residente por motivo de trabalho, estudo, turismo, lazer, saúde, etc., bem como das deslocações dos turistas na Região.

2. ESTIMATIVA DA POPULAÇÃO PRESENTE NO ALGARVE: METODOLOGIA

Estimar a população presente é um procedimento metodológico não normalizado e até controverso em alguns dos seus desenvolvimentos (*cf.* NRC, 2007). A maior parte dos estudos que procuram estimar as perdas humanas em resultado de catástrofe naturais ou antrópicas, centram a sua abordagem metodológica no conceito de população residente. Dessa forma subestimam de forma por vezes grosseira o grau de vulnerabilidade humana, pois não contemplam a população presente no momento de ocorrência de catástrofes, não considerando, por um lado, a mobilidade da população residente ao longo do dia e, por outro, as variações resultantes de movimentos pendulares, de migrações temporárias ou da procura turística ao longo do ano.

O contraste entre população residente e presente no Algarve tem sido objecto de estudos, alguns dos quais estão patentes em relatórios oficiais. Entre os estudos conhecidos que estimam a população presente no Algarve, destaca-se o do *Plano de Bacia Hidrográfica das Ribeiras do Algarve* (2000)² que apresenta, para o mês de Agosto, uma população presente regional estimada em 1 484 694 habitantes, com aproximadamente 1 139 794 de *população flutuante*³. A Administração Regional de Saúde do Algarve apresenta, no contexto da implementação do *Plano Nacional de Saúde* (2004-2010) no Algarve, uma estimativa para a época alta, de 1 567 610 habitantes e, para a época baixa, de 825 518 habitantes⁴.

A importância do turismo na Região do Algarve explica o elevado quantitativo de população presente não residente, nacional e estrangeira, nomeadamente nos concelhos com mais equipamentos e serviços turísticos (CCDR ALG, 2007). Com efeito, de acordo com o INE, em Agosto de 2007, a Região recebeu cerca de 690 mil hóspedes em estabelecimentos hoteleiros classificados e em Janeiro de 2007, aproximadamente 184 mil (INE, *Actividade Turística em Janeiro e Agosto*, 2007). Por seu turno, a Associação dos Hotéis e Empreendimentos Turísticos do Algarve (AHETA), refere no seu relatório de balanço do *Ano Turístico de 2007*, que o Algarve recebeu naquele ano, cerca de 3 milhões de turistas estrangeiros e 3 milhões de turistas portugueses, isto é, 6 milhões de turistas, sazonalmente concentrados no período de verão, para uma população residente de 421 528.

4. ARS Algarve, 2006. Plano Nacional de Saú Algarve, Faro, 10 de Novembro de 2006.

^{1.} População Presente: pessoas que, no momento de observação se encontram numa unidade de alojamento, mesmo que aí não residam, ou que, mesmo não estando presentes, lá chegam até às 12 horas desse dia (INE, 2003). Neste caso, o conceito foi adaptado à realidade que se pretendeu estimar, referindo-se a todos os indivíduos que se encontram numa unidade espacial de análise – freguesia, concelho ou região –, mesmo que aí não estejam alojados, numa dada parte de dia - intervalo de tempo (CEG/FLUL, 2008).

^{2.} As estimativas da população presente no Plano de Bacia Hidrográfica das Ribeiras do Algarve referem-se à população presente nas bacias hidrográficas que integram, em alguns casos, concelhos do Alentejo. Os dados aqui apresentados referem-se apenas ao seu ajustamento regional (Algarve).

^{3.} No Plano de Bacia Hidrográfica das Ribeiras do Algarve faz-se referência ao conceito de população flutuante, que em nosso entender, pode ser tomado como sinónimo de "população turista".

^{4.} ARS Algarve, 2006. Plano Nacional de Saúde, 2004-2010. Implementação no Algarve. Fórum Regional de Saúde do

CAPÍTULO 8 MODELAÇÃO DA DINÂMICA E MOBILIDADE DA POPULAÇÃO PRESENTE NA REGIÃO DO ALGARVE

As metodologias utilizadas para estimar a população presente na Região por intervalo de tempo, não podem limitar-se a representar a população de turistas, através do levantamento da taxa de ocupação da oferta de alojamento hoteleiro classificado e aos parques de campismo, pois como refere a própria AHETA (2008: 28) sobre a actividade turística... o Algarve recebeu, em 2007, cerca de 3 milhões de turistas estrangeiros e 3 milhões de portugueses, dos quais 2 milhões permaneceram em casa própria, familiares ou amigos, enquanto cerca de 600 mil estrangeiros recorreram igualmente a alojamentos alternativos para as suas férias. Se apenas considerarmos os alojamentos não classificados, o PROT do Algarve (2007) remete para valores em torno das 320-500 mil camas e a própria AHETA refere um valor superior a 330 mil camas.

No Plano Regional de Turismo do Algarve (PRTA 2000: 42) consideraram-se 312 493 camas na oferta de alojamento não classificado e de 193 332 para oferta de camas em casa de familiares e amigos, com referência ao ano de 1996, dados estes resultantes de um estudo realizado pela Universidade do Algarve em 19975, no âmbito dos trabalhos desenvolvidos para a definição do perfil turístico da Região.

De acordo com a realidade descrita, a abordagem conceptual e metodológica ao problema da estimativa da população presente na região algarvia deveria necessariamente integrar na sua construção as diferentes tipologias de alojamento da população de turistas (residência secundária, hotéis, parques de campismo, pousadas, apartamentos turísticos, residências de amigos e familiares, etc.) e da população residente. Partindo destes dois conjuntos populacionais, o modelo conceptual utilizado⁶ para estimar a população presente, regional e concelhia, num dado dia, tem por base a seguinte igualdade:

$PP = PR + PT \quad (1)$

Para uma dada unidade espacial, num dado dia, a população presente (PP) será igual à população residente (PR) mais a população turista (PT). Desagregando a população turista em função das tipologias de alojamento e considerando os estudos existentes, adoptou-se a seguinte relação:

$PP = PR + (PT_{c} + PT_{NC} + PT_{AE} + PT_{2H}) \quad (2)$

Onde,

- **PP** População Presente;
- **PR** População Residente;
- PT_c População Não Residente (Turista) em estabelecimentos hoteleiros classificados, pousadas e parques de campismo;
- PT_{NC} População Não Residente (Turista) em estabelecimentos não classificados;
- PT_{AE} População Não Residente (Turista) em Habitações de Amigos e Familiares;
- PT₂₁₄ População Não Residente (Turista) em 2ª Habitação.

Todavia, a PR não permanece estática ao longo do tempo, isto é, sem realizar deslocações para fora da unidade espacial considerada. Existe, assim, a necessidade de ajustar a PR em relação à população residente ausente (PR,), que se desloca para fora da Região, aplicando as respectivas taxas de ausência mensais⁷ e permitindo identificar a população estável (PR_E) por dia, para um dado mês.

$PR_r = PR - PR_{\star}$ (3)

De igual modo, a procura turística varia ao longo do ano, pelo que este exercício tem como suporte o cálculo das taxas de ocupação (TO)⁸ da oferta hoteleira classificada em empreendimentos turísticos, parques de campismo e pousadas de juventude, disponíveis nas Estatísticas de Turismo, em relatórios da AHETA e também em informação obtida através dos Inquéritos aos Gerentes dos Estabelecimentos Hoteleiros do Algarve, de Abril de 2007, lançado no âmbito do ERSTA.

A população turista presente (PT_p), em alojamentos classificados é, assim, o resultado do ajustamento da oferta de alojamento em função da taxa de ocupação mensal, assumindo-se que a PT_p diária é fixa ao longo do mês:

$PT_{p} = PT * TO$ (4)

As taxas de ocupação das restantes ofertas de alojamento também variam ao longo do ano, reflectindo a variação da procura turística. Sobre esta matéria não existe informação adequada, pois a informação avulsa que vai saindo na imprensa é insuficiente e os estudos que consultámos não oferecem contributos válidos para este âmbito. O aprofundamento do referido processo de ajustamento implicou assumir para estes alojamentos turísticos um comportamento semelhante ao que foi determinado para os turistas alojados em estabelecimentos classificados ao longo do ano. Assume-se, ainda, a existência de uma margem de erro, nomeadamente no caso do turismo em segunda habitação que apresenta uma tendência crescente para também ser ocupada na época baixa, embora o turismo "sol e praia" continue a ser, de forma genérica, o principal produto do turismo algarvio.

 (PR_{E}) e a população turista presente (PT_{D}) .

 $PP_{d} = PR_{F} + PT_{P} \quad (5)$

Considerando a população presente diária, por concelho, o exercício de estimar a população presente em diferentes momentos do dia assume que a população, residente e turista, pernoita em cada um dos 16 concelhos em estudo e realiza deslocações ao longo do dia, no interior

Após os referidos ajustamentos, a estimativa da população presente diária (PP_d), num dado mês, por unidade espacial, será o resultado do somatório entre a população residente estável

^{5.} UA, 1997. Estudo sobre o Alojamento Não Classificado no Algarve (1991-1997).

^{6.} Concordante, em termos gerais, com o modelo utilizado no estudo de C. Terrier, em 2007.

^{7.} Percentagem de residentes que se encontra fora do concelho de residência, no seu período de férias, em relação ao total de residentes.

^{8.} Percentagem de camas ocupadas em relação ao total (capacidade), por categoria de alojamento.

e para fora do concelho onde está alojada, independentemente das motivações ou meios que utiliza para concretizar essas deslocações. Esta mobilidade faz variar, positiva ou negativamente, o número de pessoas presentes em cada concelho, por intervalo de tempo. Se assim não fosse, poderíamos determinar, de forma simples e invariável, a população presente apenas através do somatório da população residente e da população turista alojada, no concelho.

A situação é na realidade muito distinta, pois uma parte da população presente desloca-se para outro concelho ou para fora da região (para ir à praia, passear, jantar, fazer compras, visitar amigos, etc.) e, no caso dos residentes, ainda, trabalhar e/ou estudar. Assim, a determinação da população presente passa, em primeiro lugar, pela identificação da população que se desloca para fora do concelho ou região em relação ao total da população presente diária e, em segundo lugar, pela população que é atraída por cada um desses concelhos.

Os diferentes subconjuntos populacionais permitem estabelecer uma estimativa da população presente por intervalo de tempo (PP.), num dado concelho. Esta aproximação pode ser representada da seguinte forma:

 $PP_i = (PP_d - P_{MC}) + P_{MA} \quad (6)$

Onde, $PP_{NM} = (PP_d - P_{MC}) \quad (7)$

Com

- **PP**_i População presente no concelho num dado intervalo de tempo;
- **PP**, População presente num dia útil ou dia de fim-de-semana;
- PP_{NM} População Presente "não móvel" (população não se desloca para fora do concelho), no intervalo de tempo;
- PP_{MA} População presente móvel atraída (Entradas), com origem em outros concelhos e fora da região;
- PP_{MG} População presente móvel gerada (Saídas), com destino a outros concelhos e para fora da região.

Na determinação de cada um dos referidos subconjuntos da população móvel deve referir-se que a população presente não realiza apenas uma viagem ao longo do dia, ou mesmo duas, se for considerada a viagem de retorno (para o domicílio) da deslocação inicial, pois existem muitas outras deslocações ou etapas intermédias. No entanto, essas deslocações intermédias apenas foram consideradas se a população presente se deslocasse para fora do concelho onde se encontra, reside ou pernoita, deixando de ser contabilizada, nesse intervalo de tempo, como presente no concelho de origem⁹.

Como a estimativa de base corresponde à população presente no período de um dia útil (24 horas), o total de deslocações geradas e o total de deslocações atraídas ao longo do dia, pelo conjunto dos 16 concelhos em estudo, será tendencialmente semelhante. Trata-se de um "sistema fechado" quotidiano (incluindo uma zona "Fora da Região"), que reflecte a importância da dimensão das viagens de "retorno ao domicílio", após a realização das deslocações motivadas, entre outras razões, pelo trabalho, lazer, compras, estudo, almoço, etc.

RESULTADOS

De acordo com (4), estimou-se o valor da população presente diária regional (PP_{dP}), no ano de referência de 2007, de acordo com um cenário maximalista, sustentado numa taxa de ausência nula e numa taxa de ocupação de 100%. Assim:

* inclui 27 079 (Parques de Campismo/Pousadas da Juventude)

A população residente (PR) na região, estimada pelo INE, em 31 de Dezembro de 2006, era de 421 528 indivíduos e a oferta, no início de 2007 (de hotéis e outros estabelecimentos turísticos classificados, parques de campismo e pousadas de juventude) correspondia a 139 297 camas, de acordo com a informação disponibilizada pela AHETA e pelo INE.

Como referido, as fontes sobre as restantes tipologias de alojamento são escassas. Destas, destaca-se o estudo da Universidade do Algarve, de 1996, sobre a capacidade dos alojamentos não classificados e dos alojamentos de familiares e amigos, utilizado tanto no PRTA, como no PROT ALG. No ajustamento destes dados para o ano de referência, assumiu-se uma taxa de crescimento igual à taxa de crescimento dos hotéis e outros estabelecimentos turísticos classificados do Algarve no período 1996-2006 (32%), obtendo 412 492 camas para a PT_{NC}, e o valor de 255 198 em número de camas em alojamentos de familiares e amigos PT_{AF}.

Na estimativa da população presente total da Região em 2007, considerou-se ainda a população potencial em alojamentos de uso sazonal ou secundário $(\mathbf{PT}_{_{\mathbf{2}\mathbf{H}}})$. Para a sua determinação procedeu-se à estimativa do número de alojamentos de uso sazonal ou secundário em 1 de Janeiro de 2007 através da aplicação da taxa de variação da oferta de estabelecimentos classificados no Algarve, no período 2001-2006, de acordo com os valores conhecidos de 2001 (INE). Com base nestes valores, assumiu-se para esta categoria de alojamento da PT uma ocupação semelhante ao número médio de pessoas por alojamento familiar de residência habitual em

ESTIMATIVA DA POPULAÇÃO PRESENTE DIÁRIA (PPD) REGIONAL: SÍNTESE DOS

$1\ 626\ 952\ (\text{PP}_{\text{dRMax}}) = 421\ 528\ +\ (139\ 297^*\ +\ 412\ 492\ +\ 398\ 437\ +\ 255\ 198) \tag{8}$

^{9.} Como os padrões de deslocação ao longo do dia têm como referência o dia anterior ao inquérito, houve situações em que os indivíduos inquiridos só retornaram ao concelho "de pertença" no dia seguinte, não podendo ser contabilizados como população presente no último intervalo de tempo.

CAPÍTULO 8 MODELAÇÃO DA DINÂMICA E MOBILIDADE DA POPULAÇÃO PRESENTE NA REGIÃO DO ALGARVE

Portugal (2,8), ligeiramente superior ao valor médio regional, de 2,6 pessoas/residência (INE, 2001), assumindo a origem exterior à região da maior parte destes proprietários e familiares.

Pela estimativa realizada verifica-se que, além da habitual população residente no Algarve em 2001, poderão ser afectadas cerca de 398 437 pessoas em alojamentos de uso secundário ou sazonal (PT₂₁₄). Este método foi também aplicado no estudo preparatório do Plano Director Regional de Saúde do Algarve¹⁰, que o considera conservador.

Na realidade, a taxa de ausência dos residentes não é nula e nem a taxa de ocupação é de 100%. Existe, assim, a necessidade de ajustar a **PR** em relação à população residente ausente (**PR**) e a **PT** relativamente à taxa de ocupação (**TO**).

A informação obtida através do Inquérito de Janeiro de 2008 à População Residente lançado pelo CEG, com base numa amostra de 619 residentes na Região, permitiu identificar os respectivos períodos de ausência. Considerando a informação disponível sobre as férias dos portugueses (DGT, 2007) e a obtida através do referido inquérito, sobre os respectivos períodos de ausência, procedeu-se ao ajustamento mensal da população residente, permitindo identificar a população residente estável (PR_{F}) por dia, para cada um dos meses do ano.

Para a população turista presente (PT), tanto na denominada época alta como na época baixa, procedeu-se ao seu ajustamento em relação às taxas de ocupação (TO) mensais da oferta hoteleira e empreendimentos turísticos classificados disponíveis nos relatórios da AHETA/INE e as que foram obtidas através do nosso Inquérito aos Gerentes dos Estabelecimentos Hoteleiros do Algarve, lançado pelo CEG em Abril-Junho de 2007.



FIGURA 1 Estimativa da População Presente diária Regional (PT e PR), em 2007.

> 10. BestSalus/CISED, 2003, Plano Director Regional da Região de Saúde do Algarve (Caracterização da Situação Geo-Demográfica e Sócio-Económica), Relatório Final, Dezembro de 2003, pp. 51-130.

O ajustamento da PP_{dRMax} (1 626 952), permitiu estimar a população presente diária regional e concelhia, ao longo do ano. O resultado deste procedimento (Figura 1) varia entre um valor máximo, para o mês de Agosto, de 1 498 717 e um mínimo de 729 727 para o mês de Dezembro. Em comparação com a população residente (PR) estamos a referir uma diferença que corresponde ao triplo na época alta (Agosto) e a mais de uma vez e meia na época baixa (Dezembro).

Procedeu-se, ainda, à estimativa da população presente concelhia por intervalo de tempo, para o dia útil e de fim-de-semana, distinguindo-se o sábado e o domingo, de acordo com as igualdades (6) e (7). Com o objectivo de identificar a população móvel gerada (\mathbf{PP}_{MC}) e atraída $(\mathbf{PP}_{\mathbf{M}})$ por concelho, em cada intervalo de tempo e por categoria de alojamento, recorreu-se aos Inquéritos de Agosto de 2007 e de Janeiro de 2008 à População (residentes e turistas), lançados pelo CEG, procurando caracterizar os padrões das deslocações inter-concelhias e para fora da região. No total, na época alta (Agosto de 2007) e na época baixa (Janeiro de 2008) foram apurados 3602 inquéritos válidos, 1720 em Agosto e 1882 em Janeiro.





FIGURA 2

Comparação PP/PR (dia da semana) por Concelho, época baixa, 2007,

FIGURA 3

Comparação PP/ PR (dia da semana) por Concelho, época alta, 2007.

CAPÍTULO 8 MODELAÇÃO DA DINÂMICA E MOBILIDADE DA POPULAÇÃO PRESENTE NA REGIÃO DO ALGARVE



FIGURA 4 População Presente diária por Freguesia, época alta, 2007.

> Finalmente, no processo de implementação do "simulador de cenários de danos" (ANPC) que permite estimar e visualizar as previsões de danos, geo-referenciados, apoiando o processo de planeamento preventivo e de emergência, procedeu-se à desagregação espacial dos resultados obtidos a nível concelhio (Figuras 2 e 3), de acordo com a igualdade entre os totais concelhios e o somatório dos valores ajustados ao nível das freguesias (Figura 4), secções ou subsecções estatísticas.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos e sintetizados no presente capítulo¹¹ devem ser perspectivados, em função das transformações e extrapolações realizadas, como aproximações às situações que se poderão encontrar na região algarvia e nas suas diferentes unidades espaciais, por intervalo de tempo, tanto num dia útil como num dia de fim-de-semana.

Os resultados obtidos demonstram claramente que a metodologia utilizada constitui um importante e inovador contributo para o processo de estimar a população presente, permitindo substituir a utilização da população residente como componente da "vulnerabilidade humana".

A dimensão das diferenças encontradas, em relação à população residente, permite afirmar que os instrumentos utilizados ao longo do estudo constituem uma melhoria assinalável dos modelos de estimar a dimensão e natureza espaço-temporal da população presente.

humana.

Para lá da contribuição para a referida discussão, temos a certeza que a obtenção de estimativas, mais próximas da realidade, da população presente, permitirá a prática de um planeamento preventivo eficaz e de maior eficiência ao nível do planeamento reactivo, bem como a adequada preparação ao nível das infra-estruturas, equipamentos, recursos humanos e gestão das situações de emergência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERKES, F., 2007. "Understanding uncertainty and reducing vulnerability: lessons from resilience thinking". Nat Hazards, 41: 283–295.

CCDR ALG, 2007. Plano Regional de Ordenamento do Território do Algarve, Comissão de Coordenação e Desenvolvimento da Região do Algarve, Faro.

CEG/FLUL/ANPC, Lisboa.

Inforgeo, 22/23: 51-66.

NRC, 2007. Tools and Methods for Estimating Populations at Risk from Natural Disasters and Complex Humanitarian Crises. National Research Council (NRC), The National Academies Press, Washington, DC.

TERRIER, C. (dir), 2007. Mobilité Touristique et Population Présente – Les bases de L'économie Présentielle des Départements, Ministère des Transports et de L'équipement, du Tourisme et de la Mer, Paris.

UA, 1997. Estudo sobre o Alojamento Não Classificado no Algarve (1991-1997). Universidade do Algarve, Faro.

VEYRET, Y. (org.), 2007. Os Riscos. Editora Contexto, São Paulo (versão original: Les Risques, 2003, Armand Colin, Paris).

ZÊZERE, J. L., 2007. "Riscos e Ordenamento do Território". Inforgeo, 20/21: 59-63.

As diferenças encontradas em relação à população residente tornam evidente a necessidade de discutir a aplicação de metodologias que integrem novos elementos e processos de cálculo, isto é, renovados modelos de estimar a dimensão e natureza espacial e temporal da vulnerabilidade

CEG/FLUL, 2008. Caracterização e Estudo das Vulnerabilidades Humanas. WP 17 – Humanos. Estudo do Risco Sísmico e de Tsunamis do Algarve (Relatório Final), Autoridade Nacional de Protecção Civil (ANPC),

GASPAR, J.; FERNANDES RODRIGUEZ, J.; QUEIRÓS, M.; BRITO HENRIQUE, E.; PALMA, P.; VAZ, T., 2008. "Determinação das vulnerabilidades humanas em situação de risco sísmico e tsunamis. O caso do Algarve".

^{11.} Este capítulo resume os trabalhos desenvolvidos pela equipa CEG da Universidade de Lisboa (CEG/UL) para a ANPC, em 2007-08. Neste contexto, apresentaram-se os seguintes relatórios: Caracterização dos Elementos Humanos Vulneráveis e Estimativa da População Presente Regional; Estimativa da População Presente por concelho e intervalo de tempo - Dia útil e Fim-de-semana. Época Alta; Estimativa da População Presente por concelho e intervalo de tempo - Dia útil e Fim-de-semana, ao longo do ano; Caracterização e estudo das Vulnerabilidades Humanas (WP 17 – Humanos). Relatório Final. A realização do estudo das "vulnerabilidades humanas" pela equipa do CEG/UL assentou no lançamento de inquéritos em 3 momentos: inquéritos em Janeiro de 2007 e em Agosto de 2008 à população (residentes e turistas), e inquérito aos gerentes dos estabelecimentos hoteleiros do Algarve, em Abril e Junho de 2007. Neste trabalho colaboraram dois bolseiros de investigação, Pedro Palma (autor de todas as imagens que aqui se apresentam) e Teresa Vaz.



CAPÍTULO 9

VULNERABILIDADE SÍSMICA DO PARQUE EDIFICADO

Sousa, M.L. | Campos Costa, A. | Coelho, E. Carvalho, A. | Bilé Serra, J.P. | Martins, A. Laboratório Nacional de Engenharia Civil

INTRODUÇÃO

Em termos gerais, os principais factores que condicionam a vulnerabilidade sísmica das construções são, em primeiro lugar, os seus elementos resistentes, mas também a configuração dos sistemas estruturais (dimensões e forma em planta, número de pisos e configuração em altura, distribuição da massa), as disposições de dimensionamento do projecto, a qualidade da construção, a época de construção e ainda os materiais, métodos e tecnologias construtivas da região onde se localiza a construção (Coelho, 2003). A estes factores de vulnerabilidade dever-se-á acrescentar o estado global de conservação dos edifícios e da sua estrutura que, em particular, no caso das construções mais antigas, se sabe que condiciona a sua resposta à acção dos sismos.

O presente capítulo tem por objectivos caracterizar uma parcela do parque edificado existente no Algarve, classificá-lo em tipologias construtivas e caracterizar a vulnerabilidade sísmica destas tipologias. A classificação da vulnerabilidade sísmica do parque edificado exibida no presente capítulo obedeceu, simultaneamente, a três compromissos: (i) o de se adequar à realidade construtiva da região (ii) o de se adaptar ao inventário disponível dos elementos em risco e (iii) o de coincidir com os critérios dos métodos de avaliação de danos adoptados na análise do risco sísmico e num simulador de cenários sísmicos (Sousa, 2006).

A parcela do parque edificado da região do Algarve que será caracterizado neste capítulo cinge-se aos edifícios do parque habitacional, do parque hoteleiro e dos pontos vitais, pois para este conjunto de elementos em risco foi possível recolher informação que viabilizasse a caracterização da respectiva vulnerabilidade sísmica.

METODOLOGIA

A avaliação de vulnerabilidade sísmica realizada neste trabalho processou-se em três etapas principais. A primeira envolveu o levantamento do parque edificado, a sua georreferenciação e a tentativa de recolher o máximo de informação possível sobre as características da vulnerabilidade sísmica do edificado. Na segunda fase desta metodologia, a partir dos factores de vulnerabilidade que foi possível recolher, classificaram-se os elementos em risco em tipologias construtivas, que partilham, grosso modo, as mesmas características de vulnerabilidade sísmica. Finalmente, caracterizou-se a vulnerabilidade sísmica do parque edificado recorrendo a um modelo mecanicista de danos e ensaiando uma acção sísmica constante em todo o Algarve. Pretendeu-se assim a tirar conclusões sobre a variação geográfica da vulnerabilidade sísmica e identificar as tipologias mais vulneráveis existentes na região.

Antes porém de descrever com maior detalhe o método de avaliação de vulnerabilidade sísmica adoptado neste trabalho, procede-se à definição dos principais conceitos utilizados, de forma a tornar o texto mais conciso, explícito e de mais fácil leitura.

Seguindo a proposta de Sandi (1986) o primeiro conceito que deve ser definido no âmbito de uma análise de risco sísmico é o de ambiente ou sistema construído. Este pode ser composto por estruturas individuais, como edifícios, ou englobar um sistema integrado de estruturas que incluam diversas componentes como as redes de água, energia, comunicações e transportes de uma região urbana. Neste caso, para além de se caracterizar os elementos constituintes do sistema é também necessário localizá-los e identificar a sua função e inter-relações (Sousa, 2006).

Os elementos em risco ou existências são as entidades que poderão ser afectadas adversamente em caso de sismo, devido ao mau desempenho do sistema construído. Os habitantes de uma determinada região são exemplo de elementos em risco que podem ser afectados pelos edifícios construídos. Por outro lado, esses edifícios são exemplo de elementos em risco que se confundem com o próprio sistema construído. A definição dos elementos em risco condicionará a forma como é avaliado o risco e terá implicações nas variáveis que o quantificam. Num estudo de risco sísmico é necessário quantificar a exposição desses elementos, ou seja o seu valor. Para o efeito, procede-se a um inventário georreferenciado das existências e do seu valor, evidenciando-se factores capazes de caracterizar a vulnerabilidade dos elementos em risco face a um determinado cenário da acção sísmica (Sousa, 2006).

A vulnerabilidade e a fragilidade sísmicas reflectem a capacidade que um determinado elemento em risco tem para resistir, ou para ser afectado, pelo fenómeno natural, sendo condicionada pela acção de um sismo de dada severidade. Os danos correspondem aos efeitos físicos adversos causados por um sismo de determinada intensidade sobre o elemento em risco e que podem ser directamente observados num levantamento após a ocorrência do evento (Sandi, 1986).

Importa desde já distinguir os conceitos de fragilidade e de vulnerabilidade sísmicas; assim, uma curva de fragilidade fornece a probabilidade condicional de um determinado nível de dano ou perda ser igualado ou excedido, para uma dada severidade da accão sísmica, enquanto uma curva de vulnerabilidade é definida pelos valores esperados dos danos em função da severidade da acção sísmica. As curvas de fragilidade e vulnerabilidade são normalmente específicas de uma determinada tipologia construtiva (Sousa, 2006).

Tipologias são subconjuntos de sistemas construídos com características idênticas em termos da sua vulnerabilidade à accão sísmica. No caso do sistema construído ser um conjunto de edifícios, as tipologias identificam-se pelo respectivo desempenho sísmico, o qual é condicionado basicamente pelas respectivas soluções estruturais. Nesta perspectiva, as classes de edifícios serão também designadas de tipologias estruturais ou de tipologias construtivas.

Idealmente, a caracterização da vulnerabilidade sísmica de um qualquer edifício deveria envolver uma análise estrutural individualizada. No entanto, quando a escala de aplicação é a regional torna-se inviável a inspecção individual de um elevado número de estruturas, pelo que, no que toca ao parque habitacional, se recorreu à informação apurada no IV Recenseamento Geral da Habitação, integrado nos Censos 2001 e realizado pelo Instituto Nacional de Estatística em 2001 (INE, 2002). Se bem que os recenseamentos da habitação não estejam directamente vocacionados para serem utilizados em estudos de caracterização da vulnerabilidade sísmica, têm a vantagem de serem exaustivos e de ser possível identificar no respectivo «Questionário de Edifício» algumas variáveis pertinentes para a classificação dessa vulnerabilidade. Foi assim solicitado ao Instituto Nacional de Estatística o apuramento do número de edifícios (clássicos), segundo a época de construção ou reconstrução do edifício por número de pavimentos e por tipo de estrutura da construção do edifício. Solicitou-se ainda informação relativa ao estado de conservação dos edifícios. Conseguiu-se assim dispor de um panorama quantitativo global e georreferenciado do qual se podem inferir as características da vulnerabilidade sísmica do parque habitacional do Algarve.

Uma vez levantado e georreferenciado o parque edificado procedeu-se, de seguida, à sua classificação em tipologias construtivas. Para o efeito foram estabelecidas sete grandes classes de vulnerabilidade com base em dois factores de vulnerabilidade: época de construção e tipo de estrutura. Desta forma, o parque edificado foi classificado em quatro classes de vulnerabilidade de estruturas de alvenaria, «Adobe Taipa e Alvenaria de Pedra Solta (ATAPS)», «Alvenaria ≤ 1960», «Alvenaria 1961-85» e «Alvenaria 1986-01» e em três classes de vulnerabilidade de estruturas de Betão Armado (BA), repartidas por grandes épocas de construção idênticas às da alvenaria, «BA ≤ 1960», «BA ≤ 1961-85» e «BA 1986-01». Como a altura dos edifícios influencia a resposta sísmica dos mesmos, cada uma das sete classes foi ainda subdividida noutras sete, recorrendo-se ao terceiro factor de vulnerabilidade, o número de pavimentos, originando 49 tipologias diferentes.

Por outro lado, o parque edificado que não possui funções habitacionais (pontos vitais e parque hoteleiro) não foi levantado no recenseamento de 2001, pelo que foram desenvolvidas, especificamente para o efeito, Fichas de inquérito visando identificar as suas principais características de vulnerabilidade sísmica. Com base na informação recolhida nessas Fichas seguiu-se assim um procedimento semelhante ao adoptado na classificação da vulnerabilidade sísmica do parque habitacional.

De seguida, descreve-se o modelo de danos utilizado na terceira etapa do processo, ou seja, na caracterização da vulnerabilidade sísmica do parque edificado (habitacional, pontos vitais e hoteleiro).

No âmbito de estudos de risco sísmico para grandes populações de edifícios sobressaem na literatura da especialidade duas grandes categorias de métodos de avaliação de vulnerabilidade e danos: a primeira engloba modelos estatísticos originários de levantamentos de danos pós-sismo e a segunda inclui modelos que recorrem a critérios mecânicos para definir a capacidade estrutural dos edifícios e assim reproduzir o seu comportamento físico esperado.

Pesem embora algumas dificuldades de calibração que podem surgir na utilização dos modelos mecanicistas de avaliação de danos, é reconhecido que estes recorrem a procedimentos mais sofisticados para estimar os danos estruturais causados por sismos em edifícios do que os modelos estatísticos. Por outro lado, são os modelos mecanicistas que integram os simuladores de maior divulgação a nível mundial (FEMA & NIBS, 1999), tendo sido o tipo de modelos utilizado neste trabalho. Na essência do módulo de danos físicos do modelo mecanicista tem-se dois passos fundamentais:

- na etapa anterior.

Os resultados deste tipo de procedimento de avaliação de vulnerabilidade e danos incluem, por unidade geográfica e tipologia, as estimativas do número e percentagem de edifícios nos estados de dano «Ausência de Danos», «Danos Ligeiros», «Moderados», «Severos» e «Totais», sendo o número de edifícios nos vários estados de dano sintetizados para a região analisada.

Finalmente, tendo em consideração que para além da avaliação dos danos nos pontos vitais face a um cenário sísmico é essencial garantir a sua operacionalidade numa situação de emergência, revelou-se também indispensável estabelecer critérios para a avaliação dessa operacionalidade. Os critérios adoptados baseiam-se em premissas de carácter probabilístico e estatístico que dependem da acção sísmica a simular, da caracterização tipológica da estrutura em estudo e da avaliação da probabilidade de uma dada tipologia construtiva se encontrar num determinado estado de dano após a ocorrência de um sismo (Carvalho et al., 2002). Assim os resultados obtidos devem ser considerados como orientações, uma vez que, tal como para a caracterização da vulnerabilidade sísmica, só é possível apresentar um critério concreto caso se faça uma análise individual de cada unidade estrutural.

1. A avaliação do desempenho sísmico de um edifício com base em análises estáticas não lineares com imposição de deslocamentos horizontais, que passa pela definição de curvas de capacidade resistente dos edifícios, de espectros de solicitação reduzidos e por um processo iterativo para a convergência de ambos (Sousa, 2006). Este processo iterativo de avaliação da resposta sísmica máxima das estruturas baseia-se no método do espectro de capacidade (ATC e SSC, 1996, Freeman, 1999) que compara a resistência das estruturas a forças laterais com as exigências impostas pelo movimento sísmico do solo.

2. A avaliação dos quantitativos de edifícios em vários estados de dano, que envolve a definição de curvas de fragilidade sísmica para os estados mencionados, em função do deslocamento relativo entre pisos no ponto de resposta máxima do edifício determinado

3

CARACTERIZAÇÃO DA VULNERABILIDADE SÍSMICA DO PARQUE HABITACIONAL

De acordo com os Censos 2001 (INE, 2002) existem 160 543 edifícios clássicos na região do Algarve, constituindo 5,4% do parque habitacional do País. É nas freguesias do litoral Sul Algarvio, principalmente naquelas onde se situam os grandes centros urbanos da região, que se verifica uma maior incidência destes elementos em risco (Figura 1).



FIGURA 1 Densidade de edifícios na região do Algarve.

Na Figura 2 apresenta-se o número de edifícios da região do Algarve distribuídos pelas 7 classes de vulnerabilidade e pelas 49 tipologias construtivas atrás mencionadas, verificando-se que, não levando em consideração os edifícios de Adobe, Taipa e Alvenaria de Pedra Solta, 67% do parque habitacional foi construído após a entrada em vigor do primeiro regulamento sismo-resistente (RSCCS, 1958) e 31% após a entrada em vigor do regulamento actualmente em vigor (RSA, 1983).

Quando aplicado o modelo de avaliação de danos para um dado cenário sísmico a heterogeneidade geográfica da acção sísmica poderá mascarar a distribuição da vulnerabilidade sísmica do parque habitacional. Para "desconvoluir" a influência da acção sísmica na caracterização da vulnerabilidade do parque habitacional, considerou-se um cenário de acção sísmica constante para toda a região do Algarve, avaliando-se assim a distribuição geográfica de danos, quer absolutos, quer normalizados pelo número total de edifícios de cada freguesia. Para traçar estes mapas de vulnerabilidade recorreu-se à acção sísmica preconizada para a zona 1.2 do Anexo Nacional do Eurocódigo 8 e para um afloramento rochoso (acção afastada e intermédia na região do Algarve). Na Figura 3 ilustra-se o espectro de resposta desta acção, que corresponde ao período de retorno de 475 anos, estando associada ao requisito de «não ocorrência de colapso» deste Eurocódigo. Na Figura 4 apresenta-se, por freguesia, o número de edifícios que se encontra no estado de dano «Dano Total» (colapso parcial e total). Sendo esta análise efectuada em termos de danos absolutos não é possível identificar qualquer padrão claro na distribuição geográfica dos danos, pois tanto a vulnerabilidade sísmica dos edifícios, como a sua exposição, foram envolvidas simultaneamente no cálculo. Verifica-se apenas que existe uma redução dos danos nas regiões Nordeste e Sudoeste do Algarve, relativamente à restante região analisada.

Ao invés, na Figura 5, os danos são apresentados em termos relativos, ou seja, foram mapeados o número de edifícios no estado de dano «Dano Total» normalizado pelo número total de edifícios da freguesia. Da análise desta figura é claramente visível que os edifícios habitacionais localizados no interior Algarvio, bem como na costa Ocidental desta região, possuem uma vulnerabilidade superior à dos edifícios localizados na região litoral Sul do Algarve. Este resultado não é surpreendente, pois é no litoral Sul Algarvio e nos grandes centros urbanos que se localizam os edifícios mais recentes e em que a incidência de estruturas de betão armado é mais pronunciada.

São de algum modo preocupantes as percentagens elevadas de edifícios, por freguesia, que se encontram no estado de dano «Dano Total» para a acção sísmica intermédia, da região do Algarve, que será preconizada no futuro regulamento sismo-resistente de Portugal. Porém, quando se analisam os quantitativos absolutos de danos, verifica-se que a vulnerabilidade elevada dos edifícios do interior Algarvio e da sua costa Ocidental apenas é relevante em algumas freguesias dessas regiões. Assim, decisões para se proceder a medidas de reabilitação do parque habitacional deverão ser apoiadas em trabalhos de investigação mais aprofundados e que considerem, nomeadamente, os custos e os benefícios dessas intervenções, num intervalo de tempo definido. Note-se ainda que a presente análise de vulnerabilidade está a ser efectuada com base na resposta a uma acção sísmica de dimensionamento o que poderá penalizar a maioria dos edifícios existentes actualmente no parque habitacional do Algarve.

Na Figura 6 apresenta-se a distribuição dos edifícios nos estados de dano «Dano Total», por tipologia construtiva, para o cenário de acção sísmica constante em toda a região.



FIGURA 2







CAPÍTULO 9 VULNERABILIDADE SÍSMICA DO PARQUE EDIFICADO



FIGURA 4 Número de edifícios no estado de dano «Dano Total» para a acção sísmica da zona 1.2, em rocha, preconizada no Anexo Nacional do Eurocódigo 8 (período de retorno de 475 anos).



FIGURA 5

Mapa de vulnerabilidade sísmica: percentagem de edifícios, por freguesia, no estado de dano «Dano Total» para a acção sísmica da zona 1.2, em rocha, preconizada no Anexo Nacional do Eurocódigo 8 (período de retorno de 475 anos).

> Assim, verifica-se, globalmente, que é nas tipologias de um piso que existe uma maior número de edifícios nos estados de dano «Dano Severo» e «Total». Note-se porém, que a classe de edifícios com 1 piso é destacadamente a classe modal no universo do parque habitacional do Algarve, representando 56% do total dos seus edifícios, sendo seguida pela classe de edifícios com 2 pisos que representa 32% desse total (ver Figura 7). Além disso, é evidente que os edifícios com tipo de estrutura de Adobe Taipa ou Alvenaria de Pedra Solta e Outros, que representam uma classe de vulnerabilidade que engloba 17% do parque habitacional da região do Algarve, apresentam uma maior incidência de danos, por serem os mais vulneráveis.

> Por outro lado, o número de edifícios de cada classe de vulnerabilidade que se encontra no estado de dano «Dano Total» foi normalizado pelo número total de edifícios existente, na região do Algarve, em cada classe de vulnerabilidade, controlando-se, desta forma, não só a variabilidade da acção sísmica como a influência da variável exposição. Desta figura é possível concluir que a classe de edifícios com tipo de estrutura de Adobe Taipa ou Alvenaria de Pedra Solta é a mais vulnerável entre os edifícios do parque habitacional do Algarve, sendo seguida pelas classes de edifícios de Alvenaria até 1985. Verifica-se ainda uma percentagem muito reduzida de danos estruturais entre os edifícios de Betão Armado construídos depois do primeiro regulamento sismo-resistente (RSCCS, 1958).







FIGURA 7

Número de edifícios por tipologia, no estado de dano «Dano Total», para a acção sísmica da zona 1.2, em rocha, preconizada no Anexo Nacional do Eurocódigo 8 (período de retorno de 475 anos).

Percentagem de edifícios, normalizada por classe de vulnerabilidade, no estado de dano «Dano Total», para a acção sísmica da zona 1.2, em rocha, preconizada no Anexo Nacional do Eurocódigo 8 (período de retorno de 475 anos).

4.

CARACTERIZAÇÃO DA VULNERABILIDADE SÍSMICA DOS PONTOS VITAIS

Consideram-se Pontos Vitais os edifícios onde estão instaladas as entidades com papel relevante para a gestão de uma situação de emergência, quer pelo papel operacional que desempenham (Agentes de Protecção Civil, Forças Armadas, INEM, Cruz Vermelha, telecomunicações, etc.), quer pela importância do papel político que desenvolvem na cadeia de decisão durante a emergência (Autoridades políticas e administrativas), quer pelo seu papel na difusão de informação e avisos à população (serviços de rádio e de televisão).

Como foi referido na secção 2, foram elaboradas Fichas de inquérito para classificar a vulnerabilidade sísmica dos pontos vitais e permitir uma posterior avaliação dos seus danos e operacionalidade face à acção dos sismos.

Porém, apenas foi recebida a informação relativa às características de 21 pontos vitais, o que se revela manifestamente insuficiente. Da análise dessa informação é possível constatar que apenas 33% dos edifícios em que se localizam os pontos vitais foram construídos após 1985, data da entrada em vigor da regulamentação sismo-resistente actualmente em vigor (RSA, 1983) e que 38% foram construídos em data anterior a 1919. Por outro lado, verifica-se que 62% dos edifícios possuem estrutura de betão armado. Sabe-se ainda que edifícios de 1 e 2 pisos são os mais representativos dos pontos vitais analisados para o Algarve.

A análise da operacionalidade dos pontos vitais foi efectuada recorrendo a dois cenários de acção sísmica constante para toda a região do Algarve. O primeiro cenário corresponde a uma



FIGURA 8

Distribuição dos pontos vitais por estado de dano – acção sísmica constante, em rocha, com períodos de retorno de 95 e 475 anos.

acção sísmica com período de retorno de 475 anos, tendo-se adoptado, à semelhança do que foi efectuado na análise da vulnerabilidade sísmica do parque habitacional, a acção preconizada no Anexo Nacional do Eurocódigo 8 para a zona 1.2, em rocha. Como foi atrás referido esta acção está associada ao requisito de «não ocorrência de colapso». Não obstante, é também importante analisar o comportamento dos pontos vitais, face a uma acção sísmica menos severa, correspondente, por exemplo, ao requisito «de limitação de danos» daquele Eurocódigo, ou seja, a um cenário de acção sísmica com um período de retorno de 95 anos.

Na Figura 8 apresentam-se as distribuições dos pontos vitais, por estado de dano, para as acções sísmicas acima referidas, aplicadas de forma constante em toda a região do Algarve. Verifica-se que perto de 80% dos pontos vitais se encontram no estado de dano «Ausência de Dano» para a acção sísmica com o período de retorno de 95 anos, não existindo nenhum ponto vital no estado de dano «Dano Severo» e «Dano Total». Verifica-se ainda que para a acção sísmica com o período de retorno de 475 anos, a distribuição do número de pontos vitais pelos vários estados de dano é aproximadamente uniforme.

Na Figura 9 e na Figura 10 mostram-se os mapas da operacionalidade dos pontos vitais para um modelo de simulação exponencial (ver Sousa *et al.*, 2008) e adoptando uma acção sísmica constante, em rocha, para os períodos de retornos de 95 e 475 anos, respectivamente.

Quando se considera a acção sísmica correspondente ao período de retorno de 95 anos (Figura 9), observa-se que se obtém uma elevada percentagem de pontos vitais pertencentes à classe de operacionalidade «Operacional», não havendo nenhum na classe «Não Operacional». Analisando agora o mapa de operacionalidade dos pontos vitais para a acção sísmica correspondente ao período de retorno de 475 anos (Figura 10), observa-se exactamente a situação oposta, ou seja obtém-se uma elevada percentagem de pontos vitais pertencentes à classe de operacionalidade «Não Operacional». A distribuição geográfica apresentada, juntamente com a consulta à respectiva base de dados, permite identificar os pontos vitais cuja operacionalidade poderia ser comprometida face às acções sísmicas ensaiadas.





FIGURA 9

Mapa da operacionalidade dos pontos vitais acção sísmica constante, em rocha, com período de retorno de 95 anos.

FIGURA 10

Mapa da operacionalidade dos pontos vitais – acção sísmica constante, em rocha, com período de retorno de 475 anos.

5. CARACTERIZAÇÃO DA VULNERABILIDADE SÍSMICA DO PARQUE HOTELEIRO

Dada a enorme importância a nível socioeconómico que o turismo representa na região do Algarve, dada a quantidade significativa de edifícios afectos a este sector, bem como a concentração de pessoas que neles se encontra em determinados períodos do ano, revela-se de grande importância a avaliação da vulnerabilidade sísmica do parque hoteleiro.

Como foi referido na secção 2, a metodologia seguida para a caracterização da vulnerabilidade e quantificação dos danos do parque hoteleiro baseou-se na classificação da vulnerabilidade realizada com base nas respostas a uma Ficha de inquérito, seguindo os modelos de caracterização de vulnerabilidade sísmica e danos adoptados para o parque habitacional.

A amostra que foi possível recolher sobre o parque hoteleiro do Algarve respeita apenas 9 dos 16 municípios da região, compreendendo 533 respostas válidas com a informação necessária para a caracterização da respectiva vulnerabilidade sísmica. Para o efeito, elaborou-se uma base de dados georreferenciada englobando toda a informação.

A análise da informação recolhida permite concluir que as décadas de 60, 80 e 90 (do século XX) são aquelas em que a construção do parque hoteleiro teve maior incidência no universo do parque levantado, pois 34% das unidades foram construídas entre 1961 e 1970 e 47% após a entrada em vigor da nova regulamentação (RSA, 1983). É de notar também que a maioria



Classificação da vulnerabilidade sísmica do parque hoteleiro.

dos edifícios (mais de 95%) apresentam estrutura de betão armado ou alvenaria com placa e que 85% dos edifícios têm até 5 pisos acima do solo, sendo os edifícios de 1 ou 2 pisos os mais representativos.

Na Figura 11 apresenta-se a distribuição das unidades hoteleiras da região do Algarve por tipologia construtiva, constatando-se que apenas 1% do parque hoteleiro da região tem estrutura do tipo de Adobe, Taipa ou Alvenaria de Pedra Solta, que entre os restantes edifícios de alvenaria 18% foram construídos entre 1961 e 1985 e que 72% do parque hoteleiro tem estrutura de Betão Armado e foi construído em data posterior à da entrada em vigor do primeiro regulamento sismo-resistente.

Relativamente à zona em que se localizam as unidades hoteleiras, verificou-se que estas se encontram essencialmente na zona costeira, estando implantadas em terrenos arenosos e não arenosos numa distribuição equilibrada.

À semelhança do que foi efectuado na análise da vulnerabilidade sísmica do parque habitacional e pontos vitais adoptou-se um cenário de acção sísmica constante para toda a região do Algarve, correspondente à acção sísmica de 475 anos de período de retorno preconizada no Anexo Nacional do Eurocódigo 8 para a zona 1.2, em rocha.

Na Figura 12 apresenta-se a distribuições dos pontos vitais, por estado de dano, para a acção sísmica acima mencionada, verificando-se que 53% do parque hoteleiro se encontra nos estados de dano «Ausência de Dano» ou «Dano Ligeiro» e que 24% do parque se encontra nos estados de dano «Dano Severo» ou «Dano Total».



universo analisado.



Na Figura 13 exibe-se o mapa da probabilidade de cada unidade hoteleira se encontrar no estado de dano «Dano Total», para uma acção sísmica constante em todo o distrito do Algarve, sendo possível identificar quais os hotéis que possuem maior vulnerabilidade relativa no

0 10 Km 10

FIGURA 12

Distribuição do parque hoteleiro por estado de dano – accão sísmica constante em rocha de período de retorno de 475 anos.

FIGURA 13

Mapa da probabilidade de cada hotel se encontrar no estado de dano «Dano Total» condicionada por um cenário de acção sísmica constante, em rocha, com período de retorno de 475 anos.

Finalmente, a análise da Figura 14 permite tecer algumas considerações sobre a relação entre a vulnerabilidade sísmica do parque hoteleiro existente na região do Algarve e as suas tipologias construtivas. Assim, comparando a Figura 11, que ilustra a distribuição da exposição deste parque por tipologia construtiva, com a Figura 14, que ilustra a distribuição dos edifícios no estado de dano «Dano Total» também por tipologia construtiva, verifica-se, nesta última figura, uma redução acentuada do número de edifícios pertencentes às classes de vulnerabilidade de Betão Armado, apesar da sua exposição muito elevada, um aumento do número de edifícios de alvenaria com data de construção anterior a 1985 e um aumento do número de edifícios de Adobe Taipa ou Alvenaria de Pedra Solta. Note-se ainda que a grande incidência (56%) de edifícios no estado de dano «Dano Total» pertencentes à classe de vulnerabilidade dos edifícios de alvenaria construídos entre 1961 e 1985, não só deverá ser influenciada pela sua vulnerabilidade sísmica elevada, como também pela sua grande exposição no universo do parque hoteleiro do Algarve (18%).



FIGURA 14

Número de unidades hoteleiras no estado de dano «Dano Total» distribuídas por tipologia construtiva – acção sísmica constante, em rocha, de período de retorno de 475 anos.

CONCLUSÕES

Descreveram-se os procedimentos conducentes ao levantamento do parque habitacional, hoteleiro e pontos vitais no distrito do Algarve visando caracterizar a respectiva vulnerabilidade à acção sísmica. Classificou-se o parque edificado levantado em tipologias construtivas e avaliaram-se os quantitativos de danos com base num modelo mecanicista fundamentado no método do espectro de capacidade. Recorreu-se a um "cenário" de acção sísmica constante para toda a região, correspondente à acção afastada e intermédia preconizada no Anexo Nacional do Eurocódigo 8 para a região do Algarve e para um afloramento rochoso. Pretendeu-se assim analisar e caracterizar a distribuição geográfica da vulnerabilidade sísmica do parque habitacional desta região.

A partir desta análise concluiu-se que os edifícios habitacionais localizados no interior Algarvio, bem como na costa Ocidental desta região, possuem uma vulnerabilidade superior à dos edifícios localizados na região litoral Sul do Algarve. De salientar que é nesta zona do Algarve que se localizam os edifícios pertencentes às tipologias mais pobres do parque, em termos de vulnerabilidade sísmica, esperando-se que sejam renovados naturalmente ao longo do tempo.

Relativamente aos pontos vitais refira-se que a amostra recebida possui uma dimensão excessivamente reduzida para que a análise efectuada possa fundamentar o desenvolvimento de um plano de emergência do risco sísmico nesta matéria.

Finalmente, no que toca ao parque hoteleiro, o mapa da probabilidade de cada unidade se encontrar no estado de dano Dano Total, para o cenário de acção sísmica constante, permite identificar as unidades hoteleiras mais vulneráveis entre as amostradas no território Algarvio. Verifica-se ainda que a classe de vulnerabilidade modal no estado de dano Dano Total é aquela a que pertencem os hotéis com estrutura de alvenaria, construídos entre 1961 e 1985. Esta incidência maioritária reflecte a exposição elevada desta classe e a sua maior vulnerabilidade sísmica relativamente à classe dos hotéis com estrutura de Betão Armado construídos depois do primeiro regulamento sismo-resistente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATC e SSC, (1996). "Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings". Relatório nº SSC 96 01, Applied Technology Council, ATC 40. Redwood City, Califórnia.

CARVALHO, E.C.; CAMPOS COSTA, A.; SOUSA, M.L.; MARTINS, A.; SERRA, J.B.; CALDEIRA, L. E COELHO, A.G., (2002). "Caracterização, vulnerabilidade e estabelecimento de danos para o planeamento de emergência sobre o risco sísmico na Área Metropolitana de Lisboa e nos municípios de Benavente, Salvaterra de Magos, Cartaxo, Alenquer, Sobral de Monte Agraço, Arruda dos Vinhos e Torres Vedras. Relatório final". Relatório 280/02 – G3ES. LNEC, Lisboa. COELHO, E., (2003). "Reabilitação sísmica de estruturas de edifícios". 3ºENCORE, pp. 1119-1128, LNEC, Lisboa.

FEMA e NIBS, (1999). "Earthquake loss estimation methodology – HAZUS 99". Federal Emergency Management Agency and National Institute of Buildings Sciences, Washington DC.

FREEMAN, S.A., (1999). "The capacity spectrum method as a tool for seismic design". 11th European Conference on Earthquake Engineering, Paris, Ed. Balkema, Roterdão.

INE, (2002). "Recenseamento da população e da habitação (Portugal) - Censos 2001". Instituto Nacional de Estatística, Lisboa.

RSA, (1983). "Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes". Decreto-Lei nº 235/83 de 31 de Maio e Decreto-Lei nº 357/85 de 2 de Setembro. Imprensa Nacional - Casa da Moeda, 1986, Lisboa.

RSCCS, (1958). Regulamento de Segurança das Construções Contra os Sismos. Decreto nº 41 658, Imprensa Nacional, Lisboa.

SANDI, H., (1986). "Vulnerability and risk analysis for individual structures and systems". 8th European Conference on Earthquake Engineering, LNEC, pp. 11-69, Lisboa.

SOUSA, M.L., (2006). "Risco Sísmico em Portugal Continental". Tese de Doutoramento em Engenharia do Território. IST, UTL, Lisboa.

SOUSA, M.L.; CAMPOS COSTA A.; CARVALHO, A. E COELHO, E., (2004). "An automatic seismic scenario loss methodology integrated on a geographic information system". 13th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 2526, Vancouver, Canada.

SOUSA, M.L.; CARVALHO, A.; BILÉ SERRA, J.P.; MARTINS, A. E MATEUS, A., (2008). "Estudo do risco sísmico e de tsunamis do Algarve. Relatório Final." Relatório 295/08 – NESDE. LNEC, Lisboa.

CAPÍTULO 10

VULNERABILIDADE SÍSMICA DE REDES DE INFRA-ESTRUTURAS

Azevedo, J. | Guerreiro, L. | Bento, R. | Lopes, M. Monteiro, A.J. | Proença, J. | Ferreira, M. Instituto Superior Técnico

1. INTRODUÇÃO

1.1 VULNERABILIDADE DE REDES

As redes de infra-estruturas, nomeadamente as de transportes rodoviários e ferroviários, telecomunicações, eléctrica, gás e combustíveis, abastecimento de água, saneamento de águas residuais, bem como, entre outras, as infra-estruturas de redes de equipamentos de ensino e saúde, são hoje peças vitais do funcionamento das sociedades modernas e desenvolvidas. É necessário que possuam elevados padrões de qualidade, sofisticação e fiabilidade, já que são essenciais à vida social e económica dessas sociedades. Em especial, mas não só, daquelas que possuem fortes características urbanas.

Em situações de calamidade, o seu adequado funcionamento torna-se ainda mais importante, em função da vulnerabilidade a que as populações ficam sujeitas. Não só porque estas ficam ainda mais dependentes da satisfação de necessidades básicas que estão dadas como existentes no dia-a-dia, mas também porque a garantia do seu funcionamento é também necessária ao retomar de padrões aceitáveis de qualidade de vida. Por outro lado, se a sua crescente sofisticação e complexidade não forem acompanhadas por maiores exigências de qualidade e fiabilidade, elas ficam mais vulneráveis aos diferentes factores de risco a que estão sujeitas.

Os grandes sismos, pela forma globalizante e indiscriminada como atingem os diferentes tipos de redes de infra-estruturas, estão entre os riscos naturais que maior impacto podem causar. São também, do ponto de vista histórico, quer em Portugal quer a nível internacional, os fenómenos que, comprovadamente, maior impacto negativo tem causado, não só a nível de vítimas, como também a nível do impacto sobre bens públicos e privados, incluindo as redes de infra-estruturas. Não é pois de estranhar que, em zonas consideradas sísmicas, a avaliação da vulnerabilidade sísmica destas redes seja uma preocupação das entidades responsáveis, quer as que têm responsabilidade directa da sua gestão, quer as que têm por função regular e supervisionar o seu funcionamento e garantir a sua utilidade pública.

O impacto dos sismos sobre as redes de infra-estruturas, embora com potenciais sérias consequências sociais, é sobretudo económico, pois o número de vítimas causadas pelos danos que lhes estão associados é normalmente pouco relevante face ao número de vítimas causado pelos danos no restante edificado.

Os danos económicos causados por um sismo podem classificar-se em directos e indirectos. Os directos são o somatório dos custos de reposição e reparação dos elementos da rede afectados. Os danos indirectos, muito mais difíceis de quantificar, mas muitas vezes de maior magnitude, estão relacionados com a forma como a economia é afectada pela interrupção de serviços vitais ou pelo seu deficiente funcionamento. Não é certamente ignorável o impacto que pode ter na economia de uma região a rotura das suas redes de transportes, de distribuição de energia ou de telecomunicações. A sua inoperacionalidade pode causar severos problemas sociais bem como levar à imobilização de grande parte do tecido empresarial durante um largo período de tempo, com importantes consequências na produtividade de uma região ou de um país. Por outro lado, o inadequado funcionamento de redes de infra-estruturas como a de cuidados de saúde, ou seja de hospitais e centros de saúde, pode causar severos problemas humanos e sociais.

Existem múltiplos exemplos das consequências do impacto de sismos passados, quer em Portugal quer a nível internacional. No nosso país, o terramoto de 1755, que ficou conhecido na história como o terramoto de Lisboa, causou elevadíssimo número de vítimas e grande destruição, não só em Lisboa como na zona sul do território continental, em particular no Algarve.

Existem, também, muitos exemplos de impactos de sismos sobre redes de infra-estruturas, embora as situações de maior visibilidade tenham ocorrido em tempos historicamente mais recentes e em locais especialmente vulneráveis pela dimensão e desenvolvimento dessas mesmas redes. A importância dos danos indirectos é, portanto, tanto maior quanto mais desenvolvida for a economia da zona afectada pelo sismo. Nos sismos de Northridge (1994), Kobe (1995) e Taiwan (1999), embora não tenha havido uma quantificação rigorosa dos danos indirectos existe a percepção de que estes excederam largamente os danos directos.

Portugal é, a nível mundial, um país com níveis de desenvolvimento que se podem considerar elevados, possuindo um conjunto de infra-estruturas com potencial vulnerabilidade sísmica, entre as quais se contam as redes acima referidas. O facto de muitas dessas infra-estruturas estarem localizadas em regiões que incorporam importantes aglomerados populacionais que estão simultaneamente sujeitas a elevada sismicidade, como é a região de Lisboa e também a do Algarve, justificam que uma especial atenção seja dada ao estudo do seu comportamento e da sua vulnerabilidade.

1.2 ANÁLISE DA VULNERABILIDADE SÍSMICA

O problema essencial na análise da vulnerabilidade de uma rede de infra-estruturas é a estimativa do nível de danos induzidos nessa rede por uma determinada acção sísmica. A forma como essa estimativa é feita depende do tipo de danos a que a rede em estudo está sujeita e do tipo de elementos que a compõem. Por exemplo, numa rede de distribuição de gás, água ou saneamento de águas residuais, o principal problema são as roturas nas tubagens enterradas, problema intimamente ligado com o nível de deformação do solo, enquanto que nas redes de transportes os problemas estão muitas vezes relacionados com o desempenho dinâmico das pontes e viadutos e numa rede de electricidade com o comportamento de certos equipamentos.

A metodologia mais utilizada actualmente para a determinação da vulnerabilidade sísmica de infra-estruturas é a metodologia HAZUS (HAZUS, 1999 e 2003). Esta metodologia criada no âmbito de um projecto desenvolvido nos Estados Unidos para mitigação do risco sísmico e especificamente para esse país, tem sido adaptada ao estudo da vulnerabilidade sísmica de outras regiões, sendo para isso sujeita a correcções associadas às especificidades de cada zona.

Neste texto é feita a apresentação das principais redes de infra-estruturas da região do Algarve, fazendo a descrição dos seus elementos fundamentais e da forma como estes são sensíveis ao efeito dos sismos.

2. REDES RODOVIÁRIA E FERROVIÁRIA

2.1 ÂMBITO E OBJECTIVOS

Tal como nas restantes redes de infra-estruturas o impacto dos danos provocados pelos sismos na rede de transportes é normalmente importante, não pelo número de vítimas registado, mas sim pelos prejuízos económicos por eles causados. Em geral, o número de vítimas causado pelos danos nas redes de transporte é muito baixo e sem significado do ponto de vista estatístico. A principal excepção a esta regra aconteceu em 1989, no sismo de Loma Prieta, onde 41 das 62 vítimas mortais pereceram devido ao colapso de um único viaduto extenso, o Viaduto de "Cypress" (Cypress Viaduct) (Basoz e Kiremidjian, 1997).

Uma rede de transportes é constituída essencialmente por dois tipos de elementos: as vias, sejam elas estradas ou linhas de caminho de ferro, e as obras de arte localizadas ao longo do seu trajecto (pontes, viadutos, etc.). O primeiro tipo de elementos constitui os troços da rede enquanto que as obras de arte podem ser consideradas como nós deste sistema reticulado. A presença de túneis deve também ser considerada. Os túneis têm normalmente um tratamento específico, podendo ser identificados como um troço de rede com características próprias ou como um nó, consoante a sua dimensão.

Para uma avaliação correcta dos danos nas redes de transportes é conveniente separar a análise de danos nas vias e nas obras de arte. Nas vias os danos são provocados essencialmente pela







FIGURA 1 Interrupção de uma estrada por efeito da liquefacção.

FIGURA 4 Rotura do tabuleiro da ponte.







FIGURA 2 Interrupção de uma via-férrea por deslizamento de terras.

FIGURA 3 Rotura do tabuleiro devido a movimentos dos apoios induzidos por liquefacção.

rotura do solo de fundação ou pela obstrução devida a diversos fenómenos que vão desde a liquefacção ao movimento de falhas, passando pelo deslizamento de taludes (Figuras 1 e 2).

Os danos em obras de arte podem ser divididos em dois grupos, de acordo com o fenómeno que está na sua origem: danos gerados por rotura do solo de fundação (movimento de falhas, liquefacção, deslizamento de terrenos) (Figura 3) ou danos originados pelo efeito dinâmico da vibração do solo (Figura 4). Enquanto que os danos originados pela rotura do solo de fundação dependem essencialmente do nível de deformação do solo, os danos devidos ao efeito dinâmico dependem muito das características dinâmicas das pontes e da capacidade da estrutura para resistir a acções cíclicas.

Os danos observados em obras de arte devidos aos efeitos dinâmicos são muito influenciados pela tipologia e data de construção (ou projecto) das referidas obras. A evolução no conhecimento e a sua aplicação prática, incorporada em nova regulamentação aplicável ao projecto e à construção, está bem evidente no tipo de danos registados ao longo dos tempos.

Em Portugal, à semelhança de outros países, as pontes de betão armado construídas até ao final da década de 1960 revelam, duma forma geral, insuficiente capacidade resistente dos pilares ao esforço transverso, devido à falta de armaduras transversais adequadas. Na maioria dos casos de danos registados, as armaduras transversais dos pilares pouco mais eram do que armaduras de montagem, não havendo qualquer relação aparente entre a dimensão da armadura e as dimensões do pilar.

A metodologia utilizada na análise da vulnerabilidade das redes de transporte (Guerreiro, 2008a e 2008b) baseia-se na definição de curvas de fragilidade que, para cada elemento em análise, permitem estimar os danos a partir de medidas directas da acção sísmica (espectro de resposta, movimento permanente do solo, aceleração de pico, etc.). Estas curvas são funções de probabilidade do tipo log-normal (Figura 5), cuja mediana e coeficiente de variação são definidos em função do tipo de elemento em estudo sendo para esse efeito as obras de arte



FIGURA 5 Exemplo de Curva de Fragilidade.

agrupadas em classes de tipologia. Essas curvas de fragilidade, para cada classe, permitem calcular a probabilidade associada a cada estado de dano em função de uma grandeza que traduz o nível da accão sísmica. Nas curvas de fragilidade representadas na Figura 5. os valores da probabilidade de danos são calculados em função do valor do espectro de resposta para estruturas com um período de 1,0 segundo.

2.2 SISTEMAS DE INFRA-ESTRUTURAS DE TRANSPORTES NA REGIÃO DO ALGARVE

Um passo essencial na definição da rede a estudar em cada região é a escolha das vias a incluir no estudo, ou seja, definir o grau de pormenorização pretendida na definição da rede. No caso da rede rodoviária da região do Algarve esta decisão foi orientada pelos seguintes critérios:

- cia, se considere necessário avaliar a sua vulnerabilidade.

Com base nestes critérios foram seleccionadas as seguintes vias (Guerreiro, 2008a):

a) Auto-estradas:

- A2 (Auto-Estrada do Sul)

- A22 (Via do Infante)

b) Estradas Nacionais:

- EN2: Desde o limite do Distrito de Faro até Faro
- EN125: Todo o percurso
- EN124: Todo o percurso
- EN270: Entre Tavira e Poço de Boliqueime
- EN125-4: Entre Faro e Loulé
- EN120: Até ao limite do Distrito de Faro
- EN268: Todo o percurso
- EN267: Todo o percurso
- EN525-1: Entre Albufeira e Guia
- EN269: Entre Algoz e Silves

completa identificação das redes.

• Inclusão de todas as Auto-Estradas e Vias Rápidas da área do projecto;

• Inclusão de todas as principais Estradas Nacionais, necessárias para garantir a circulação entre, e o acesso a, todas as sedes de concelho da área do projecto;

• Consideração de outras vias para as quais, por razões de segurança, e face à sua importân-

- EN122: Desde o limite do Distrito de Faro até V. R. S.to António

- EN266: Entre Porto de Lagos e o limite do distrito de Faro

No caso da rede ferroviária foi decidido incluir todas as linhas existentes na região. Após a selecção das vias a considerar no projecto procedeu-se à recolha da informação relativa a cada obra de arte construindo desta forma um sistema de informação geográfica com a

CAPÍTULO 10 VULNERABILIDADE SÍSMICA DE REDES DE INFRA-ESTRUTURAS

Nas Figuras 6 e 7 estão representadas, respectivamente, a rede rodoviária e a rede ferroviária da região do Algarve com indicação das respectivas obras de arte (Guerreiro, 2008b).



FIGURA 6 Rede rodoviária na região do Algarve com indicação das obras de arte.



FIGURA 7 Rede ferroviária na região do Algarve com indicação das obras de arte.

> Para cada obra de arte e troço de rede incluído no projecto foi definida uma curva de fragilidade, função através da qual é possível estimar o nível de dano associado a cada nível sísmico e, consequentemente a um dado cenário sísmico caracterizado por um dado nível da acção sísmica. Para uma melhor sistematização do estudo foram definidas classes de pontes com características semelhantes, tendo sido definidos para cada classe os valores das medianas associadas a cada estado de dano.

> Para a classificação de cada ponte ou viaduto dentro do conjunto de classes pré-definido foram identificadas in situ e caracterizadas todas as obras referidas no estudo. Nessas identificações in situ foi também avaliada a existência de factores que possam afectar (negativamente ou positivamente) o comportamento das obras de arte, informação essa traduzida através de um factor correctivo das medianas características da classe em que a obra de arte específica se insere.



FIGURA 8



FIGURA 9



FIGURA 10



FIGURA 11

Exemplos de Obras de Arte da Auto-Estrada A2: Passagem Superior (A2) e Viaduto do Barranco da Água Velha (A2).



Exemplos de Obras de Arte da Via do Infante (A22): Ponte sobre a Ribeira da Torre (A2) e Nó de ligação à A2 (A2).



Exemplos de Obras de Arte nas Estradas Nacionais: Ponte sobre o Rio Arade (Variante à EN125) e Ponte de Odeceixe (EN 120).



Exemplos de Obras de Arte nas Vias Ferroviárias : Ponte de Portimão e Ponte na Maritenda (EN 125).

Ao todo foram analisadas cerca de 350 obras (Guerreiro, 2008a e 2008b), sendo cerca de 60% dimensionadas já de acordo com a actual regulamentação (posteriores a 1985). O grande número de obras de arte recentes deve-se ao facto das auto-estradas existentes no Algarve terem sido construídas já depois de 1990 e incluírem cerca de 45% das obras de arte estudadas. Em contrapartida, a rede ferroviária é, quase na totalidade, anterior a 1985. Fora das auto-estradas foram estudadas 111 pontes, sendo 59 construídas em alvenaria.

Nas Figuras 8 a 11 apresentam-se algumas imagens de obras de arte incluídas no estudo da vulnerabilidade sísmica das redes de transporte na região do Algarve.

3. REDE DE TELECOMUNICAÇÕES

3.1 ÂMBITO E OBJECTIVOS

Os danos induzidos por uma acção sísmica na rede de telecomunicações podem ser divididos em três grupos, consoante o elemento da rede que é afectado:

- Rede de distribuição, constituída por antenas de transmissão, cabos, postes, condutas enterradas, etc.
- Equipamento de comutação e sistemas de suporte energético (baterias e geradores)
- Edifícios de telecomunicações que alojam o equipamento atrás referido.

Geralmente, o primeiro grupo é pouco vulnerável a acções sísmicas excepto quando estes elementos se localizam em solos de fraca qualidade, susceptíveis de roturas localizadas (liquefacção, deslizamento de terras, etc.), já que os seus elementos são geralmente leves e com pouca massa. Este tipo de danos foi observado no sismo de Loma Prieta (1989) em torres de transmissão rádio devido ao facto de terem sido construídas numa zona da baía de São Francisco onde o solo é sobretudo constituído por lama e lodo (Figura 12).

Uma análise geral das redes de telecomunicações, das suas componentes e dos efeitos de sismos passados nas mesmas, permite concluir que os elementos mais sensíveis e de maior importância no bom funcionamento da rede são as centrais de comutação e os equipamentos que se encontram no seu interior.

Os danos observados na rede de telecomunicações podem ser estimados a partir da metodologia proposta no HAZUS99 (1999; 2003), sendo função do tipo de componentes dos sistemas e do movimento esperado. Assim, aplica-se a metodologia às componentes principais das redes de telecomunicações, traçando-se as correspondentes curvas de fragilidade e probabilidades associadas a cada estado de dano dessas várias componentes.



3.2 SISTEMAS DE INFRA-ESTRUTURAS DE TELECOMUNICAÇÕES NA REGIÃO DO ALGARVE

No estudo da vulnerabilidade sísmica da rede de telecomunicações da região do Algarve, foram identificadas e caracterizadas as componentes principais. Efectuou-se o seu levantamento e obteve-se informação genérica sobre as suas características (em termos de vulnerabilidade sísmica) e suas funções. Foi recolhida informação sobre a constituição e operação das redes, tendo sido iniciada esta tarefa em articulação com representantes da ANACOM e dos operadores das redes fixa e móvel: PT, TMN, Vodafone e Optimus. Foi ainda feita recolha de informações das componentes principais no local, o que implicou o reconhecimento de instalações no Algarve, nomeadamente centrais principais e estações de transmissão tipo.

Com base na informação recolhida foram definidas funções de vulnerabilidade para cada componente principal. Estas funções permitem avaliar o seu comportamento expectável para os vários cenários de ocorrência sísmica e baseiam-se na metodologia proposta no HAZUS99, tendo sido realizados estudos específicos e aferidas as funções propostas para as componentes relevantes (Bento,2008).

Com base nesse estudo concluiu-se que os edifícios de telecomunicações (vulgarmente designados por centrais de comutação, identificados na Figura 13) e o equipamento que estes alojam são os elementos mais vulneráveis da rede de telecomunicações e os danos potenciais destes dois sistemas estão intimamente ligados. Por outro lado, como todos os edifícios das centrais de comutação possuem características semelhantes, decidiu-se estudar em pormenor, e no sentido de aferir as curvas de capacidade resistente definidas pelo Hazus para edifícios do mesmo tipo, os edifícios de Lagos, Quarteira e Tavira.

Todos os edifícios do Distrito do Algarve da PT Comunicação são edifícios com poucos pisos (no máximo três), constituídos por estruturas do tipo pórtico, com um esquema de organização interna semelhante. A entrada de cabos, baterias, postos de transformação eléctrica, alimentadores e geradores encontram-se nos pisos térreos, enquanto os transmissores, repartidores e equipamento de comutação se encontram nos pisos superiores. Desta forma, a estrutura

CAPÍTULO 10 VULNERABILIDADE SÍSMICA DE REDES DE INFRA-ESTRUTURAS



dos edifícios não será tão solicitada como inicialmente esperado aquando da ocorrência da accão sísmica, dada a localização do equipamento pesado nos pisos menos elevados.

No estudo foram ainda analisadas as infraestruturas de comunicações da ANPC, existentes no Distrito de Faro, em particular os repetidores rádio das redes REPC (Rede Estratégica da Protecção Civil) e ROB (Rede Operacional dos Bombeiros). As estruturas que constituem a rede própria de comunicação da ANPC (identificadas na Figura 13) são pouco vulneráveis à acção sísmica excepto quando estes elementos se

FIGURA 13

Localização das centrais de comutação e das antenas da rede própria de comunicações da ANPC. localizam em solos de pouca qualidade. Na realidade a rede própria da ANPC é essencialmente constituída, em termos estruturais, por abrigos de apenas um piso e por antenas instaladas em torres metálicas, i.e. por elementos geralmente leves e com pouca massa.

A análise do desempenho sísmico das centrais de comutação, através da determinação de pontos de desempenho, para a solicitação preconizada no EC8 e no correspondente anexo nacional, permitiu concluir que para as acções sísmicas consideradas os edifícios estudados não sofrem danos que coloquem a sua integridade em risco. No entanto, esta resistência é conseguida pelo sobredimensionamento da estrutura, sendo de esperar que para um eventual aumento da intensidade da acção solicitante face ao regulamentarmente previsto as estruturas sofram danos mais graves e repentinos, consequência, em geral, da sua fraca ductilidade.

Por outro lado, a rede de comunicação da ANPC é, na grande maioria dos casos, pouco vulnerável a acções sísmicas. Atendendo às suas características e composição (equipamentos rádio alimentados por energia da rede pública e localizados em edifícios de um único piso e antenas, instaladas em torres, e respectiva cablagem de ligação ao equipamento rádio) verifica-se que os seus elementos são geralmente leves e com pouca massa. A vulnerabilidade sísmica deste tipo de equipamento ocorre fundamentalmente quando os repetidores da ROB e/ou da REPC se localizam em solos de fraca qualidade, susceptíveis a roturas localizadas (liquefacção, deslizamento de terras, movimentos de falhas), o que não é o caso de nenhuma das instalações.

REDE ELÉCTRICA

4.1 ÂMBITO E OBJECTIVOS

De uma forma sintética pode afirmar-se que uma rede eléctrica é também constituída por linhas e nós. As linhas eléctricas fazem o transporte de energia entre os nós e podem ser aéreas, principalmente em zonas rurais, ou subterrâneas, em zonas urbanas. As estruturas de suporte das linhas aéreas são em geral metálicas ou de betão armado.

Os nós têm diversas funções: (i) transformação de tensão, (ii) seccionamento de linhas, ou seja, linhas de entrada que distribuem para várias linhas de saída, podendo ou não existir transformação do nível de tensão, (iii) protecção e controle da rede. Se há transformação de tensão, os nós designam-se por subestações ou, caso a redução de tensão seja para 400 V, postos de transformação (PT). Caso contrário, designam-se por postos de corte ou postos de seccionamento.

Um dos principais elementos da rede eléctrica são os transformadores que, de uma forma geral, estão apoiados em rodas, algumas das quais destravadas, tal como se pode observar em pormenor na Figura 14. No entanto no Algarve existem subestações em que os transformadores têm as rodas todas travadas para deslocamentos horizontais ou se encontram fixados às fundações, o que reduz muito fortemente a sua vulnerabilidade sísmica. A figura 15 mostra um exemplo de um desses transformadores.



FIGURA 14

Pormenor dos apoios de um transformador de potência.

FIGURA 15 Transformador rigidamente ligado à fundação.

FIGURA 16 Barramento por barras.

FIGURA 17 Ligações entre transformadores e outros equipamentos eléctrico.

Em diversos casos, as ligações entre os transformadores e outros equipamentos são asseguradas por cabos que apresentam alguma folga (Figura 16). No entanto, em grande parte dos transformadores algumas ligações são asseguradas por barras metálicas e pequenos ligadores flexíveis com reduzida capacidade para acomodar deslocamentos relativos entre as extremidades.

Na Figura 17 mostra-se um exemplo de um barramento eléctrico. Este tipo de elementos tem a função extremamente importante de ligar as várias linhas e transformadores entre si.

4.2 SISTEMAS DE INFRA-ESTRUTURAS DA REDE DE ELECTRICIDADE NA REGIÃO DO ALGARVE

A Figura 18 mostra um mapa da rede de Muito Alta Tensão (V>60KV) no Algarve (em funcionamento – linhas a cheio; linhas projectadas, a tracejado) que inclui três subestações: Tunes, Estói e Portimão.



FIGURA 18 Rede de Muito Alta Tensão no Algarve.

A EDP recebe a energia das 3 subestações da REN a 60kV, sendo transportada daí para as 22 subestações da EDP no Algarve e para a subestação da REFER em Tunes. Aí a energia é transformada para a tensão de 15kV, à qual é distribuída para os cerca de 4000 PT existentes em todo o Algarve, muitos dos quais são PT de cliente. Cerca de metade dos PT são aéreos e metade estão no solo, em cabines próprias ou em edifícios. A partir dos PT a energia é distribuída aos consumidores domésticos a 400V.

De entre os elementos constituintes das redes eléctricas são os equipamentos das subestações os mais vulneráveis aos sismos. Em contrapartida, as linhas são em geral pouco vulneráveis, pois são mais leves e com maior área de exposição, sendo por isso mais susceptíveis de serem danificadas por ventos do que por sismos. As excepções são as linhas apoiadas ou enterradas em (i) solos brandos, susceptíveis de liquefazer ou sofrer deformações significativas, (ii) encostas com reduzida margem de segurança aos deslizamentos, ou (iii) zonas de transição entre extractos de rigidez bastante diferente com potencial para deslizamentos nas interfaces. Nestes casos é usual exprimir a vulnerabilidade sísmica pelo número de reparações por quilómetro em função do deslocamento permanente do solo (PGD – *Permanent ground displacement*).

Os danos nos equipamentos das subestações, em particular nos transformadores, dependem dos deslocamentos destes relativamente a equipamentos adjacentes aos quais se ligam. O início do movimento dos transformadores pode ser avaliado em função das forças de inércia horizontais que os solicitam e que são proporcionais ao valor de pico da aceleração horizontal do solo (PGA – *Peak ground acceleration*). Para transformadores assentes no solo, com sistemas de travamento por atrito, a PGA correspondente ao início do movimento é em média igual ao coeficiente de atrito entre o transformador e a base multiplicado pela aceleração da gravidade. No entanto só há danos se a amplitude dos deslocamentos exceder a capacidade de deformação das ligações aos equipamentos adjacentes, que pode ser bastante variável. Essa amplitude também depende fortemente da duração dos diferentes impulsos (intervalos de tempo com acelerações no mesmo sentido), ou de forma equivalente, do conteúdo de frequências da acção sísmica. Assim, a vulnerabilidade dos equipamentos das subestações depende em geral dos seguintes parâmetros: valor de pico da aceleração horizontal (PGA), conteúdo de frequências da acção sísmica e capacidade de deformação das ligações entre equipamentos (Lopes, 2008).

5. REDES DE ABAST E DE SANEAMEN

5.1 ÂMBITO E OBJECTIVOS

A análise das vulnerabilidades das redes de infra-estruturas de abastecimento de água e de saneamento de águas residuais é necessária, já que a interrupção do seu normal funcionamento afecta directamente a sociedade organizada.

O abastecimento de água é essencial para a manutenção da vida humana. Se houver um sismo destrutivo em zonas urbanizadas, diversas infra-estruturas de abastecimento de água podem ser significativamente afectadas e provocar interrupções de abastecimento por períodos

REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E DE SANEAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS

CAPÍTULO 10 VULNERABILIDADE SÍSMICA DE REDES DE INFRA-ESTRUTURAS

consideráveis que vão afectar directamente a população residente e a sociedade organizada. A interrupção do abastecimento de água após um sismo pode impedir o combate eficaz a incêndios que possam ocorrer, permitindo que estes se espalhem de forma descontrolada e com consequências desastrosas. Para além disso, um longo período de interrupção no abastecimento pode trazer graves problemas de saúde pública.

No domínio das águas residuais o colapso das infra-estruturas de drenagem e tratamento podem acarretar problemas sérios de saúde pública. Esta situação é particularmente grave quando associada a outras interrupções de serviços essenciais, como as do abastecimento de água ou da recolha dos resíduos sólidos urbanos, podendo dar origem a epidemias de origem hídrica directa (gastroenterites, cólera, etc.) ou de origem indirecta (mosquitos, roedores).

A análise da vulnerabilidade deverá ter como objectivo a definição das funções de vulnerabilidade dos danos que poderão ocorrer em cada infra-estrutura e o desenvolvimento dum modelo para estimar, em função desses danos, o tempo necessário para o restabelecimento do serviço nessas infra-estruturas e nos aglomerados afectados.

Neste domínio o conteúdo da análise deverá incluir: a) uma caracterização sumária dos sistemas de abastecimento de água e de saneamento das águas residuais; b) a abordagem e a metodologia efectuada para proceder à identificação, caracterização e estimativa de danos dos elementos vulneráveis nas diferentes infra-estruturas; c) as funções de vulnerabilidade dos danos que poderão ocorrer em cada infra-estrutura e uma proposta de modelo para estimar, em função desses danos, o tempo necessário para o restabelecimento do serviço nessas infra-estruturas e nos aglomerados afectados; d) comentários sobre as limitações do trabalho desenvolvido e algumas recomendações para acções futuras.

Os sistemas são constituídos por tubagens enterradas (em alguns casos particulares podem ser não enterradas) e outras instalações, tais como estações de bombagem e estações de tratamento.

A avaliação da vulnerabilidade sísmica de todos os elementos constituintes das redes de água e saneamento pode ser feita a partir de relações empíricas definidas a partir dos danos observados em componentes semelhantes em sismos passados. As relações empíricas referidas baseiam-se no tratamento estatístico das consequências de um sismo nas estruturas em questão.

Para a avaliação sísmica das componentes não enterradas da rede usam-se funções de vulnerabilidade, definidas a partir da análise do comportamento estrutural para níveis de intensidade sísmica diferentes.

Relativamente às tubagens enterradas estudam-se separadamente os danos provocados pela propagação das ondas sísmicas e pelas deformações permanentes do solo (HAZUS 1999, 2003). A determinação dos danos (número de reparações por unidade de comprimento - RR) associados ao efeito dinâmico do solo é feita em função do valor de pico da velocidade do solo (PGV - Peak Ground Velocity) e de parâmetros e factores correctivos que quantificam a influência dos diferentes materiais e diâmetros das tubagens. Os danos associados às deformações permanentes do solo (PGD - Permanent Ground Displacement) dependem da probabilidade de ocorrerem deslocamentos resultantes da liquefacção, deslizamentos de terrenos ou da ocorrência de movimentos numa falha geológica.

DO AI GARVE

SISTEMA DE PRODUÇÃO E ADUÇÃO DAS ÁGUAS DO ALGARVE

O Sistema Multimunicipal de Abastecimento do Algarve, pertencente às Águas do Algarve, S.A. (AdA), abastece em alta pressão os municípios de Albufeira, Alcoutim, Aljezur, Castro Marim, Faro, Lagoa, Lagos, Loulé, Olhão, Monchique, Portimão, São Brás de Alportel, Silves, Tavira, Vila do Bispo e Vila Real de Santo António. Foi um projecto desenvolvido com o objectivo de aplicar a uma situação regional específica as mais recentes concepções e práticas de tratamento e adução de água para consumo humano. Poderá fornecer, no horizonte do projecto, até 180 milhões de m³/ano. A população servida actualmente é da ordem dos 400 000 habitantes em época baixa e mais de 100 0000 em época alta.

O sistema multimunicipal de abastecimento de água do Algarve (SMAAA) dispõe de quatro ETA: ETA de Alcantarilha (259 000 m³/dia); ETA de Tavira (190 000 m³/dia); ETA de Beliche (13 000 m³/dia); e ETA das Fontainhas (29 000 m³/dia).

Águas do Algarve.





5.2 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA NA REGIÃO

Na Figura 19 apresentam-se as principais componentes do sistema adutor das Águas do Algarve e das infra-estruturas do INAG que interessam ao abastecimento de água das ETA da

> FIGURA 19 ultimunicipal de abastecimento (Águas do Algarve)

SISTEMAS CONCELHIOS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

A jusante do sistema da AdA existe um conjunto de sistemas de distribuição de água municipais. A maior parte da população recebe actualmente água de origem superficial (AdA) mas ainda existe um conjunto significativo de captações subterrâneas, algumas em fase de desactivação, por já serem servidas pela AdA e outras, de menor dimensão, que servem pequenos aglomerados com sistemas autónomos.

Na Figura 20 apresentam-se as localizações dos principais reservatórios municipais e as áreas das redes de distribuição de água (Monteiro, 2008a).



FIGURA 20 Reservatórios municipais e redes de distribuição.

5.3 SISTEMA DE SANEAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS DO ALGARVE

A Águas do Algarve, S.A., para além de ser uma entidade multimunicipal de abastecimento de água, exerce também desde 2001 a actividade de exploração e gestão do Sistema Multimunicipal de Saneamento do Algarve. Este sistema é constituído por um conjunto de interceptores e ETAR que permitem o saneamento integrado das águas residuais de vários municípios.

O sistema Multimunicipal previsto para a região do Algarve em matéria de saneamento e tratamento de águas residuais, compreende 71 sub-sistemas, dos quais, 17 correspondem a populações servidas com mais de 10 000 habitantes e 3 destes servem populações de mais de 10 0000 habitantes.

A concepção geral proposta para o Sistema caracteriza-se pelos seguintes grandes números: 179 km de interceptores, emissários e condutas elevatórias a construir e 146 km destas mesmas

infra-estruturas "em alta" existentes a integrar no Sistema; 47 novas estações elevatórias a construir, 11 a remodelar e 59 existentes a integrar no Sistema; 46 ETAR com tratamento secundário, 35 das quais servindo povoações com menos de 2000 habitantes; 17 ETAR com tratamento secundário e desinfecção; 8 ETAR com tratamento terciário e desinfecção.

Ao contrário do sistema de abastecimento de água em alta que está estabilizado, o sistema de saneamento está ainda numa fase de desenvolvimento. Na Figura 21 apresentam-se os principais interceptores, emissários, ETAR e redes de drenagem do sistema de saneamento do Algarve (Monteiro, 2008b)



REDES DE EQUIPAMENTOS DE ENSINO E DE SAÚDE

6.1 ÂMBITO E OBJECTIVOS

Os edifícios dos equipamentos de ensino apresentam uma importância diferenciada, quando comparados com os edifícios correntes (de habitação ou de serviços) na eventualidade de ocorrência de um sismo. Para esta diferenciação concorrem a elevada densidade de ocupação e a também elevada relevância social, assim como o facto de constituírem locais estrategicamente distribuídos para a concretização das operações de emergência após sismo. Constituem centros privilegiados de centralização e coordenação local das acções de emergência ao que acrescem as capacidades que dispõem de servir de centros locais de alojamento e de apoio às vítimas do sismo.

FIGURA 21 Sistema de saneamento da região do Algarve.

Também os edifícios dos equipamentos de saúde apresentam uma importância sísmica diferenciada. À semelhança dos equipamentos de ensino, estes apresentam uma elevada importância social e densidade de ocupação. A sua função social é aumentada na eventualidade de ocorrência de um sismo, sendo, nesse contexto, formuladas exigências de funcionalidade na prestação dos cuidados de saúde, exigências naturalmente redobradas face à afluência de feridos. Tratam-se, por fim, de equipamentos sociais de elevado valor económico, devido, sobretudo, aos equipamentos médicos e instalações.

Face às considerações anteriores torna-se necessário considerar explicitamente os equipamentos de ensino e de saúde, aqui considerados como constituindo redes (de ensino e de saúde, respectivamente). Embora em ambos os casos se tratem sobretudo de edifícios, geograficamente localizados, pode ainda assim aplicar-se o conceito de rede, uma vez que prestam serviços de uma forma integrada, completando, a nível regional, as ofertas de níveis de ensino (escolas) e as valências (hospitais e centros de saúde).

Apresenta-se de seguida uma breve descrição e caracterização das redes de equipamentos de ensino e de saúde actualmente existentes no Algarve considerados no simulador sísmico da ANPC, assim como alguns indicadores relativamente às suas vulnerabilidades sísmicas (Proença e Ferreira, 2008).

6.2 CARACTERIZAÇÃO DA REDE DE EQUIPAMENTOS DE ENSINO

A caracterização da rede de equipamentos de ensino existente no Algarve foi realizada com o apoio da DREALG – Direcção Regional de Educação do Algarve – do Ministério da Educação que tutela de uma forma geral todos os equipamentos de ensino de nível pré-universitário e de uma forma particular todos os equipamentos que compreendem os níveis de ensino básico de 2º e 3º ciclos e secundário. Refere-se ainda a colaboração das Câmaras municipais na caracterização dos equipamentos correspondentes aos níveis de ensino de Jardim de Infância e primeiro ciclo do Ensino Básico, assim como das universidades.

O universo considerado de equipamentos escolares é constituído por um total de 378 recintos, dos quais se caracterizaram 319, correspondentes a 76493 alunos e 572 edifícios. Na figura 22 apresenta-se a distribuição geográfica dos equipamentos de ensino considerados, indicando o número de alunos por escalões.

Faz-se notar que as escolas tuteladas directamente pela DREALG, embora em número relativamente reduzido (67), correspondem a uma elevada percentagem de alunos inscritos (36832 alunos, 48,1% da população escolar correspondente ao universo considerado). Deste facto resulta que as escolas que leccionam os níveis de ensino do 2º e 3º ciclo do ensino básico e ensino secundário apresentam uma representatividade acrescida.

O procedimento de caracterização compreendeu o preenchimento de uma ficha por equipamento de ensino.



Dado o elevado número de escolas existentes, desenvolveu-se um portal Web que serviu assim para o carregamento remoto da informação referente aos diferentes equipamentos de ensino. Para cada equipamento, a ficha de caracterização continha uma sub-ficha de informação geral do recinto, e, para cada um dos edifícios constituintes do recinto, uma sub-ficha de caracterização particular do edifício. Na sub-ficha de caracterização geral referem-se as seguintes informações: identificação, localização (morada e georeferenciação), área total de implantação, número total de edifícios, riscos decorrentes da implantação, acessibilidade e condições de acesso e evacuação, assim como indicadores sobre a ocupação (número de alunos e funcionários docentes e não docentes, distribuídos por vários períodos do dia). Na sub-ficha individualizada por edifício indicava-se o número de pisos, área total, tipo de estrutura e de cobertura, data de construção assim como alguns factores de modificação da vulnerabilidade (irregularidades estruturais e danos pré-existentes).

A metodologia adoptada e desenvolvida para a avaliação da vulnerabilidade sísmica dos edifícios encontra-se baseada numa metodologia análoga apresentada por Giovinazzi e Lagomarsino (Giovinazzi *et al.*, 2003) recorrendo à Escala Macrosísmica Europeia 98 (EMS-98) (Grunthal, 1998). Nessa metodologia define-se a vulnerabilidade sísmica do edifício, V, variável entre 0,0 (ausência de vulnerabilidade) e 1,0 (vulnerabilidade total), tendo por base um agrupamento dos edifícios, baseado na observação de danos ocorridos em sismos, tendo em conta o tipo de estrutura – alvenaria, betão armado (estrutura em pórtico, pilar-viga, ou com paredes resistentes), pré-fabricada (em madeira ou betão armado) ou ATAPS (adobe, taipa ou pedra solta) – o número de pisos, o tipo de lajes de piso e de cobertura e a data de construção. Refere-se que as datas de construção foram subdivididas de acordo com a entrada em vigor da regulamentação sismo-resistente em Portugal (1958 –RSCCS, Regulamento de Segurança das Construções Contra os Sismos, 1961 – RSEP, Regulamento de Solicitações em Edifícios e Pontes, 1967 –REBA, Regulamento de Estruturas de Betão Armado, e 1983 – RSA/REBAP, Regulamento de Segurança e Acções em Estruturas de Edifícios e Pontes / Regulamento de Estruturas de Betão Armado

FIGURA 22

Localização geográfica dos equipamentos de ensino e número de alunos inscritos por escalões.
e Pré-esforçado). A vulnerabilidade dos edifícios foi ainda modificada considerando factores de agravamento ou de desagravamento, como sejam aqueles que decorrem da configuração estrutural, do número de pisos e do estado geral de conservação.

Apresentam-se na Figura 23 os valores da vulnerabilidade média dos edifícios, agrupados por níveis de ensino. Note-se que estes resultados são apresentados por categorias que correspondem aos agrupamentos verificados de níveis de ensino.



FIGURA 23

Vulnerabilidade média dos edifícios por nível de

ensino. Entre parênteses o número de edifícios

em cada classe. II – lardim de Infância. FB1 – Ensino Básico 1º Ciclo: FB2 – Ensino Básico 2º

Ciclo; EB3 – Ensino Básico 3º Ciclo; EBI – Ensino

Básico Integrado; ES – Ensino Secundário; SUP -Ensino Superior; Sem Info – Sem informação

A categoria que apresenta maior vulnerabilidade média corresponde às escolas que combinam os níveis de ensino JI e EB1/EB2 sendo reduzido o seu número.

A categoria que apresenta uma menor vulnerabilidade média corresponde aos níveis de ensino EB2/EB3. As escolas que leccionam o nível de ensino secundário, isoladamente ou conjun-

tamente com outros níveis, também apresentam uma menor vulnerabilidade média, sendo no entanto penalizadas por compreenderem alguns edifícios mais antigos.

Para um determinado cenário sísmico, os danos expectáveis num determinado equipamento podem ser descritos pelo designado grau médio de dano (GMD, ou, em Inglês, Mean Damage Grade, MDG), que pode, por sua vez, ser determinado a partir da intensidade macrosísmica no local e da vulnerabilidade final, determinada com base na metodologia referida anteriormente. O grau médio de dano assim calculado pode correlacionar-se com a graduação dos danos da Escala Macrosísmica Europeia (EMS-98), dando origem a um valor entre 0 (sem danos) e 5 (ruína total), e em que os graus intermédios apresentam significados diferentes consoante se tratem de estruturas de alvenaria ou de betão armado.

6.3 CARACTERIZAÇÃO DA REDE DE EQUIPAMENTOS DE SAÚDE

Procedeu-se à caracterização da rede de equipamentos de saúde mais relevantes existentes no Algarve, contando para o efeito coma colaboração da ARS Algarve, IP (Administração Regional de Saúde do Algarve), do Ministério da Saúde. Num rastreio inicial agruparam-se os equipamentos de saúde nas seguintes categorias:

- Hospitais. Hospital de Faro e Centro Hospitalar do Barlavento Algarvio, que agrupa os Hospitais de Portimão e de Lagos.
- Centros de Saúde. Cada concelho dispõe de um centro de saúde principal, complementado por extensões de saúde de dimensão muito variável.
- Outros. Referem-se o Centro de Medicina Física e de Reabilitação do Sul (CMRFSul, S. Brás de Alportel) e o Laboratório Regional de Saúde Pública (LRSP, Parque das Cidades, Faro-Loulé).

no estudo.

Refere-se que de entre as extensões dos centros de saúde, apenas foram alvo de estudo discriminado as extensões de maior dimensão. Refere-se, também, que a importância dos equipamentos de saúde decorre ainda do tipo de serviço de urgência que dispõem (sem SU, SUB – serviço de urgência básica, SUMC – serviço de urgência médico-cirúrgica, ou SUP – serviço de urgência polivalente). A generalidade dos centros de saúde e extensões não dispõem de serviços de urgência, exceptuando-se os casos de Albufeira, Loulé e V. R. de Santo António que dispõe de serviços de urgência básica. Os hospitais apresentam genericamente serviços de urgência mais evoluídos.

A caracterização dos equipamentos da saúde foi realizada mediante o preenchimento de fichas individualizadas por unidade de saúde. O conteúdo destas fichas era muito próximo daquele que foi utilizado nos equipamentos de ensino. Estas fichas apresentavam ainda alguma informação





Na Figura 24 apresentam-se a localização e classificação das unidades de saúde consideradas

FIGURA 24 Localização e tipo de equipamentos de saúde considerados.

FIGURA 25

Distribuição geográfica dos centros de saúde, correspondentes extensões e hospitais, com população inscrita (30/06/2009).

relativamente ao número de utentes e equipamentos médicos mais relevantes. Representa-se na Figura 25 a distribuição geográfica de todos os centros de saúde (e suas extensões) com a correspondente população inscrita.

A distribuição da população pelos centros hospitalares – do Barlavento Algarvio e de Faro – é realizada de acordo com os concelhos de residência. Os residentes nos concelhos de Albufeira, Alcoutim, Castro Marim, Faro, Loulé, Olhão, S. B. de Alportel, Tavira e V. R. de Santo António encontram-se associados ao Hospital de Faro. Os residentes nos restantes concelhos encontram-se associados ao Centro Hospitalar do Barlavento Algarvio.

À semelhança do verificado nos equipamentos de ensino, adoptou-se genericamente um modelo de vulnerabilidade sísmica dos edifícios baseado e adaptado nos estudos de por Giovinazzi e Lagomarsino (Giovinazzi *et al.*, 2003) recorrendo à Escala Macrosísmica Europeia 98 (EMS-98) (Grunthal, 1998). Este modelo de vulnerabilidade foi aplicado aos edifícios dos centros de saúde, extensões e outros equipamentos, excluindo hospitais. A aferição da vulnerabilidade sísmica dos edifícios dos hospitais foi realizada com base na metodologia HAZUS, introduzindo informações importantes e individualizadas como sejam as características dinâmicas das estruturas, as características das acções sísmicas previsíveis e o nível de dimensionamento sísmico considerado no projecto dessas estruturas. Este procedimento é naturalmente mais discriminado e individualizado do que aquele que foi utilizado para os centros de saúde, extensões e outros. Na Figura 26 representam-se os diagramas de vulnerabilidade (grau médio de dano, GMD, versus valor de pico da aceleração no solo, PGA) referente a um dos equipamentos de saúde sujeitos ao estudo mais individualizado. Apresenta-se também o diagrama de vulne-



rabilidade que poderia ser obtido de acordo com a metodologia, mais generalizada, adoptada para os centros de saúde (considerando uma vulnerabilidade, V, de 0,493).

A metodologia mais individualizada (HAZUS modificado) distingue os dois cenários sísmicos extremos que se consideram representativos do território continental Português: sismo tipo 1 (sismo afastado, tendencialmente de maior magnitude, duração e conteúdo em gamas de baixa frequência); e sismo tipo 2 (sismo próximo, tendencialmente de menor magnitude, duração e conteúdo em gamas de baixa frequência). Da comparação dos resulta-

FIGURA 26



dos anteriores conclui-se que na gama mais relevante de valores de PGA (até 1g) a metodologia generalizada conduz a resultados intermédios daqueles que se obtêm duma forma individualizada para os dois tipos de sismo.

/. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nas sociedades desenvolvidas as infra-estruturas têm um papel cada vez mais importante nas actividades económicas e sociais das suas populações.

Em zonas sísmicas com uma grande concentração de redes de infra-estruturas o risco associado a fenómenos sísmicos pode ser elevado. Em Portugal, as zonas mais expostas quer pelo seu nível de industrialização e concentração de população, quer pela sua sismicidade são as regiões da Grande Lisboa e do Algarve, para as quais a Autoridade Nacional de Protecção Civil tem promovido estudos para a análise do impacto de um eventual sismo.

A análise da vulnerabilidade das diferentes redes de infra-estruturas pode ser efectuada tendo por base a vulnerabilidade dos seus componentes.

A metodologia proposta recorre ao uso de um simulador sísmico em que todas as redes estão implementadas. Nesse simulador podem ser analisados diferentes cenários sísmicos, nomeadamente em termos de localização epicentral e magnitude da acção sísmica a considerar.

As consequências de um dado cenário podem ser avaliadas, sendo possível detectar os diferentes níveis de danos a que ficam sujeitos os diferentes componentes das várias redes. Conhecendo a sua importância relativa para o funcionamento da rede, podem estimar-se os impactos sobre essas mesmas redes, quer em termos de danos directos, quer em termos de tempos de inactividade de funcionamento. As conclusões das análises de simulação permitem, também, a definição de tarefas prioritárias tendentes a minorar a vulnerabilidade sísmica das redes.

Um aspecto que não deve ser descurado na análise da vulnerabilidade sísmica de redes de infra-estruturas é a sua elevada interdependência. Com efeito, o adequado funcionamento de algumas redes é vital ao funcionamento de outras. É o caso da rede eléctrica, sem a qual não funcionam, entre outros, todos os serviços de controlo operacional das outras redes, a bombagem de água, os transportes ferroviários movidos a electricidade e os serviços hospitalares. Sem sistemas de transportes a funcionar, também não é possível movimentar os equipamentos e as pessoas necessárias a operações de reparação ou manutenção das diversas redes. Ainda sem as telecomunicações não existe informação sobre o adequado funcionamento das várias redes, não havendo a garantia do seu adequado funcionamento.

Estes são exemplos da necessidade de um planeamento integrado das redes de infra-estruturas que só pode ser feito a um nível global, estimando todos os impactos e prevendo as medidas de mitigação do risco sísmico que se manifestarem necessárias, prevendo e implementando sistemas suficientemente resilientes e redundantes que garantam níveis mínimos de fiabilidade integrada das várias redes na eventualidade, e até na certeza, da futura ocorrência de sismos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASOZ, N. E KIREMIDJIAN, A. (1997) "Evaluation of Bridge Damage Data From the Loma Prieta and Northridge Earthquakes", The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Report No. 127.

BENTO, R. (2008) "Estudo de risco sísmico e de tsunamis do Algarve – WP19 – Redes de infra-estruturas viárias, abastecimento de água, electricidade, saneamento básico e telecomunicações – Rede de telecomunicações", Relatório ICIST – EP nº 71/2008, IST.

GIOVINAZZI, S., LAGOMARSINO, S. (2003) Seismic Risk Analysis: a Method for the Vulnerability Assessment of Built-up areas, Proceedings, European Safety & Reliability Conference, Maastricht.

GRUNTHAL, G. (1998) European Macroseismic Scale 1998. Cahiers du centre Eur. De Géodyn. et de Séismologie, Vol. 15, 1-99.

GUERREIRO, L. (2008a) "Estudo de risco sísmico e de tsunamis do Algarve – WP19 – Redes de infra-estruturas viárias, abastecimento de água, electricidade, saneamento básico e telecomunicações – Rede rodoviária", Relatório ICIST – EP nº 66/2008, IST.

GUERREIRO, L. (2008b) "Estudo de risco sísmico e de tsunamis do Algarve – WP19 – Redes de infra-estruturas viárias, abastecimento de água, electricidade, saneamento básico e telecomunicações – Rede ferroviária", Relatório ICIST – EP nº 67/2008, IST.

LOPES, M. (2008) "Estudo de risco sísmico e de tsunamis do Algarve – WP19 – Redes de infra-estruturas viárias, abastecimento de água, electricidade, saneamento básico e telecomunicações – Rede eléctrica", Relatório ICIST – EP nº 65/2008, IST.

MONTEIRO, A. (2008a) "Estudo de risco sísmico e de tsunamis do Algarve – WP19 – Redes de infra-estruturas viárias, abastecimento de água, electricidade, saneamento básico e telecomunicações – Rede de abastecimento de água", Relatório ICIST – EP nº 68/2008, IST.

MONTEIRO, A. (2008b) "Estudo de risco sísmico e de tsunamis do Algarve – WP19 – Redes de infra-estruturas viárias, abastecimento de água, electricidade, saneamento básico e telecomunicações – Rede de saneamento de águas residuais", Relatório ICIST – EP nº 69/2008, IST.

PROENÇA, J., FERREIRA, M. (2008) "Estudo de risco sísmico e de tsunamis do Algarve – WP19 – Redes escolar e hospitalar", Relatório ICIST – EP nº 70/2008, IST.

SCHIFF, A.J., (1998) "The Loma Prieta, California, Earthquake of October 17, 1989-Lifelines", U.S. Geological Survey Professional Paper 1552-A, U.S. Geological Survey, Denver.

HAZUS 99 (1999) Earthquake Loss Estimation Methodology - Technical Manual, Federal Emergency Management Agency and National Institute of Building Sciences.

HAZUS-MH MR1, (2003) "Advanced Engineering Building Module", Federal Emergency Management Agency, Washington D.C

146

CAPÍTULO 11

CENÁRIOS DE AVALIAÇÃO DE DANOS

Costa, E. | Pires, P. | Vicêncio, H. Autoridade Nacional de Proteccção Civil



INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de cenários sísmicos conduz a uma avaliação de danos que permite não só programar as acções de protecção civil antes da emergência, ao nível da adopção de medidas preventivas e de mitigação, mas também durante a emergência na definição das zonas de intervenção no âmbito do Sistema Integrado de Operações de Protecção e Socorro, nas quais assentará a organização da resposta dos agentes de protecção civil.

Apesar das incertezas inerentes aos diversos modelos incluídos no simulador, este produz cenários sísmicos credíveis e coerentes com o estado de conhecimentos actuais (MOTA DE SÁ, 2009). Deste modo o simulador apresenta extrema utilidade no âmbito do planeamento de emergência de protecção civil, na elaboração de planos de emergência sectoriais de redes e infra-estruturas e na adopção de medidas preventivas, para minimizar danos e assegurar a reposição de serviços. Adicionalmente poderá ser utilizado em tempo quase real como auxiliar dos aspectos da organização do socorro.

São apresentados dois casos que ilustram as potencialidades do Simulador: o primeiro caso (cenário A) é respeitante a um sismo com epicentro em terra (falha de Carcavai) e magnitude 6; o segundo caso corresponde ao epicentro do sismo ocorrido a 17 de Dezembro de 2009, com magnitude de 8.

Apresentam-se nas Figuras 1 a 6 as cartas de intensidades, os danos no parque habitacional, e na população, respectivamente para os dois cenários. Na Figura 7 apresentam-se ainda as zonas inundadas na região da Quarteira e Vilamoura para o cenário B.

QUADRO 1 - CARACTERÍSTICAS DOS CENÁRIOS

CENÁRIO A	CENÁRIO B
Epicentro: 13,8 Km, NNW de Faro (falha de Carcavai)	Epicentro: 188 Km, WSW de Faro
Magnitude: 6.0	Magnitude: 8.0
Data/Hora: Maio, 10:00 h	Data/Hora: Agosto, 12:00h



FIGURA 1 - Carta de Intensidades EMS-98 (cenário A).



FIGURA 2 - Carta de Intensidades EMS-98 (cenário B).



FIGURA 3 - Danos no parque habitacional (cenário A).



XI - XI

Intensidade - V V - VI VI VI - VII VII VII - VIII VIII VIII - IX IX IX - X X - XI







FIGURA 4 - Danos no parque habitacional (cenário B).



FIGURA 5 - Danos humanos (cenário A).

Mortos • 1 Dot = 10 Feridos • 1 Dot = 10 Feridos ligeiros • 1 Dot = 10 Desalojados 1 Dot = 10



Mortos • 1 Dot = 10 Feridos • 1 Dot = 10 Feridos ligeiros • 1 Dot = 10 Desalojados 1 Dot = 10



2. PLANEAMENTO DE EMERGÊNCIA

Após a fase de emergência, onde são criadas as condições e utilizados os meios indispensáveis à minimização de consequências, existe todo um conjunto de acções e medidas de recuperação da normalidade e mitigação de consequências. Delas fazem parte, designadamente, as operações de limpeza de entulhos e as acções de inspecção que são necessárias para garantir as condições de utilização segura dos equipamentos afectados.

DANOS (valor médio)	CARCAVAI, 6	SW CABO S. VICENTE, 8
Desalojados	954	5.097
Feridos ligeiros	145	520
Feridos a necessitar de cuidados hospitalares	46	178
Mortos	51	243

QUADRO 3 - VALORES MÉDIOS DE DANOS NO PARQUE EDIFICADO

DANOS (val	or	méd	io)

Edifícios colapsados

Edifícios danos severos

Edifícios com utilização condicionada

CARCAVAI, 6	SW CABO S. VICENTE, 8
280	782
775	4.421
8.042	44.728

Seguidamente, apresentam-se alguns resultados que foi possível apurar, com base em estimativas de valores médios para os dois cenário acima descritos, quer do volume de entulhos a remover, quer do número de equipas de técnicos especializados para levar a cabo as inspecções para o universo dos edifícios que ficariam com utilização condicionada (em função do grau de dano).

Com base na caracterização do parque edificado desenvolvida no ERSTA (LNEC, 2008), foi possível apurar o número médio de pisos e de alojamentos com os quais se estimou de forma aproximada o volume de entulhos, assumindo uma área média de construção de 250 m2/piso a que deverá corresponder um volume de construção de cerca de 1350 m³ (Lourenço, 2007). Com estes pressupostos, estimou-se o número de cargas necessárias para efectuar a limpeza de todo o material, assumindo uma capacidade média de contentorização de cerca de 9 m³/unidade.

Para a estimativa do número de técnicos necessários para a realização das inspecções, considerou-se a experiência adquirida em Áquilla, Itália. Assim, assumindo-se um período médio de 3 meses para duração das visitas técnicas, por equipas de 2 elementos, admitindo ainda a realização de 5 inspecções/dia, é possível verificar que, no cenário mais gravoso, seriam necessários mais de 300 técnicos a actuar no terreno.

QUADRO 4 - VALORES ESTIMADOS PARA EQUIPAS DE INSPECÇÃO

DANOS (valor médio)	CARCAVAI, 6	SW CABO S. VICENTE, 8
Edifícios a inspeccionar	8.817	49.149
Tempo médio para inspecções (dias)	1.763	9.830
Nº equipas inspecção/3 mês inspecções	29	164
Nº técnicos/3 mês inspecções	59	328

QUADRO 5 - VALORES ESTIMADOS PARA ENTULHO PRODUZIDO

DANOS (valor médio)	CARCAVAI, 6	SW CABO S. VICENTE, 8
Edifícios colapsados (média)	280	782
Volume médio de construção/edifício (m³)	1.350	1.350
Estimativa de entulho (m³)	378.000	1.055.700
Número médio de contentores p/ transporte	42.000	117.300

CONCLUSÕES

Com base no simulador desenvolvido no âmbito do Estudo do Risco Sísmico e Tsunamis do Algarve foi desenvolvida uma metodologia para quantificação de meios a alocar em caso de sismo, nomeadamente número de inspectores necessários para avaliação de estruturas e o volume de entulho a remover. A aplicação desta metodologia revela-se de grande utilidade para a prossecução das actividades da protecção civil, nomadamente no que concerne à preparação para a resposta a eventos sísmicos de grande dimensão.

Tendo em consideração o número de técnicos necessários para a realização das inspecções, é fundamental planear este tipo de acções. As Ordens dos Engenheiros, Arquitectos, Engenheiros Técnicos e o LNEC são parceiros fundamentais nesta matéria.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LNEC, DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS, NÚCLEO DE ENGENHARIA SÍSMICA E DINÂMICA DE ESTRU-TURAS (2008). Estudo do Risco Sísmico e de Tsunamis do Algarve (ERSTA). Relatório Final". Relatório técnico elaborado para o Estudo do Risco Sísmico e Tsunamis do Algarve.

LOURENÇO, C. I. DE CAMPOS (2007). Optimização de sistemas de demolição – demolição selectiva. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico.

MOTA DE SÁ, F. (2009). SSA – Simulador sísmico do Algarve - Manual de Utilização. Relatório técnico WP22 realizado para o Estudo do Risco Sísmico e Tsunamis do Algarve.





Mendes, C. | Serrano, S. Autoridade Nacional de Proteccção Civil

1. INTRODUÇÃO

Os Planos de Emergência de Protecção Civil são instrumentos formais ao dispor das Autoridades Políticas de Protecção Civil para determinar o modo de actuação dos vários organismos, serviços e estruturas a empenhar em operações de protecção civil. Destinam-se também a antecipar os cenários susceptíveis de desencadear um acidente grave ou uma catástrofe, definindo, de modo inequívoco, a estrutura organizacional e os procedimentos para a preparação e o aumento da capacidade de resposta à emergência.

De um modo genérico, os Planos de Emergência incluem uma tipificação dos riscos existentes, a indicação das medidas de prevenção a adoptar, a identificação dos meios e recursos mobilizáveis, a atribuição das responsabilidades das estruturas envolvidas, a definição da estrutura operacional de resposta e os critérios de mobilização e mecanismos de coordenação dos meios e recursos a empenhar. Na prática, fica assim expresso um conjunto de medidas, normas, procedimentos e missões, destinados a fazer face a situações de acidente grave ou catástrofe e a minimizar as suas consequências.

Embora se trate de peças fundamentais, os Planos de Emergência não deverão ser entendidos como representando a totalidade do processo de planeamento, mas apenas como constituindo uma sua componente. Na realidade, em protecção civil "planear" não implica apenas "estabelecer" mas, sobretudo, "testar" e "colocar em prática" as normas e os procedimentos destinados a serem aplicados numa situação de acidente grave ou catástrofe.

O novo enquadramento legal (Resolução n.º 25/2008, de 18 de Julho – Directiva relativa aos critérios e normas técnicas para a elaboração e operacionalização de planos de emergência de protecção civil) constitui um estímulo para operacionalizar os Planos de Emergência, já que introduz orientações destinadas a agilizar o seu processo de elaboração, revisão e aprovação, ao mesmo tempo que clarifica os mecanismos de verificação periódica da sua eficácia. Além disso, são estabelecidos novos desafios para o futuro, tais como uma maior interligação entre os mecanismos de planeamento de emergência de protecção civil e os instrumentos de planeamento e ordenamento do território ou uma definição dos critérios para acesso público aos Planos de Emergência, incluindo a obrigatoriedade de ser garantida a disponibilização das suas componentes não reservadas em plataformas baseadas nas tecnologias de informação e comunicação.

A Directiva prevê também a existência de Planos Especiais de Emergência, destinados a serem aplicados quando ocorrerem acidentes graves e catástrofes específicas, cuja natureza requeira uma metodologia técnica e/ou científica adequada. É precisamente nesse contexto que se insere o Plano Especial de Emergência para o Risco Sísmico e de Tsunamis na Região do Algarve, adiante designado por PEERST-ALG, classificado como especial, quanto à finalidade, e como distrital, quanto à área geográfica de abrangência.

O PEERST-ALG enquadra-se legalmente pelo disposto na Lei de Bases da Protecção Civil (Lei n.º 27/2006, de 3 de Julho), no Sistema Integrado de Operações de Protecção e Socorro (Decreto-Lei n.º 134/2006, de 25 de Julho) e nos critérios e normas técnicas para a elaboração e operacionalização de planos de emergência de protecção civil (Resolução da Comissão Nacional de Protecção Civil n.º 25/2008, de 18 de Julho).

2. PLANEAR PARA O RISCO SÍSMICO

O Plano Especial de Emergência para o Risco Sísmico e de Tsunamis na Região do Algarve constitui a última etapa de um processo iniciado com a Resolução do Governo de 23 de Abril de 1981, com directivas para se desenvolver um "Programa de Acções para a Mitigação do Risco Sísmico", ao qual se realizou o Estudo para o Risco Sísmico e Tsunamis do Algarve, coordenado pela Autoridade Nacional de Protecção Civil.

O PEERST-ALG, é um instrumento de suporte ao Sistema de Protecção Civil para a gestão operacional em caso da ocorrência de um evento sísmico e/ou ocorrência de tsunami, definindo a estrutura de Coordenação, Direcção, Comando e Controlo e regulando a forma como é assegurada a coordenação institucional e a articulação e intervenção das organizações integrantes do Sistema Integrado de Operações de Protecção e Socorro (SIOPS) e de outras entidades públicas ou privadas a envolver nas operações.

A existência do PEERST-ALG encontra-se justificada pelos registos históricos que demonstram que a Região do Algarve é a que, ao longo dos tempos, tem registado maiores intensidades sísmicas em Portugal Continental, sendo esta uma região de características particulares, pois além da grande concentração urbana junto ao litoral, recebe sazonalmente um intenso fluxo populacional, nacional e internacional. A importância da Região do Algarve no contexto do país é por demais evidente pelas características urbanas, sociais, económicas, turísticas e políticas deste território. Para além da concentração demográfica, em especial no litoral, animada por intensos fluxos e movimentos, sobretudo na época estival, fins-de-semana prolongados, festejos de passagem de ano, Carnaval e período da Páscoa, localizam-se nesta Região órgãos de decisão política e administrativa de nível distrital e municipal, a par de estruturas e administrações de importantes grupos turísticos que a tornam um espaço vital e sensível em situações de emergência. Jogam-se aqui, por efeito da potencial ameaça sísmica, não só consequências de ordem local e regional, mas também efeitos ao nível nacional e mesmo internacional.

Para além desta ordem de razões, importa considerar que um evento sísmico grave e/ou a ocorrência de um tsunami poderão atingir de forma decisiva a eficácia do funcionamento do próprio Sistema de Protecção Civil, podendo ser necessário recorrer a ajuda externa (nacional e internacional).

Por outro lado, a dimensão humana da resposta à catástrofe é um aspecto não negligenciável, porquanto neste tipo de emergências é vulgar assistir-se a atrasos e interrupções da resposta institucional, devendo os grupos, comunidades e indivíduos estar preparados para prestar as primeiras medidas de socorro e garantirem as suas necessidades básicas por um período que se pode prolongar por tempo superior a 24 horas. Neste contexto, o Plano Especial de Emergência para o Risco Sísmico e de Tsunamis da

Região do Algarve apresenta como objectivos gerais:

- Providenciar, através de uma resposta concertada, as condições e a disponibilização dos meios indispensáveis à minimização dos efeitos adversos de um evento sísmico de grande amplitude;
- Desenvolver, nas entidades envolvidas nas operações de Protecção Civil e Socorro, o nível adequado de preparação para a emergência, de forma a criar mecanismos de resposta imediata e sustentada, sobretudo nas primeiras 72 horas pós-evento;
- Promover estratégias que assegurem a continuidade e a manutenção da assistência e possibilitem a reabilitação, com a maior rapidez possível, do funcionamento dos serviços públicos e privados essenciais e das infra-estruturas vitais, de modo a limitar os efeitos do evento sísmico;
- Preparar a realização regular de treinos e exercícios, de carácter sectorial ou global, destinados a testar o Plano, permitindo a sua actualização;
- Promover junto das populações acções de sensibilização para a autoprotecção, tendo em vista a sua preparação e entrosamento na estrutura de resposta à emergência, especialmente nos habitantes ou utilizadores de infra-estruturas existentes na área com maior probabilidade de danos.

De modo a conseguir alcançar os objectivos a que se propõe, o PEERST-ALG constitui-se como uma plataforma que se encontra preparada para responder organizadamente aos danos provocados por um evento sísmico, regulando a forma como é assegurada a coordenação, articulação e intervenção das organizações integrantes do Sistema Integrado de Operações de Protecção e Socorro e de outras entidades públicas ou privadas a envolver nas operações.

3. ORGANIZAÇÃO DA RESPOSTA

O PEERST-ALG é activado mediante decisão da Comissão Distrital de Protecção Civil de Faro (CDPC Faro), ao abrigo da alínea c) do n.º 1 do artigo 38.º da Lei de Bases da Protecção Civil. Após a sua activação, o Governador Civil de Faro assume a direcção do Plano, competindo-lhe assegurar a adopção das medidas excepcionais de emergência, com vista a minimizar a perda de vidas e bens e os danos ao ambiente, assim como o restabelecimento, tão rápido quanto possível, das condições mínimas de normalidade.

As acções a desenvolver no âmbito do PEERST-ALG visam criar as condições favoráveis ao rápido empenhamento, eficiente e coordenado, de todos os meios e recursos distritais ou resultantes de ajuda nacional ou internacional solicitada, apoiando a direcção, o comando e a conduta das operações de protecção civil e socorro de nível distrital e municipal, através do Governador Civil e dos respectivos Presidentes das Câmaras Municipais.

No âmbito do Dispositivo Integrado de Resposta que será mobilizado, as diversas entidades (agentes de protecção civil e organismos de apoio) desempenham missões de intervenção, reforço, apoio e assistência, quer durante a Fase de Emergência, quer durante a Fase de Reabilitação. As estruturas de intervenção destas entidades funcionam e são empregues sob direcção das correspondentes hierarquias, previstas nas respectivas leis orgânicas ou estatutos, sem prejuízo da necessária articulação operacional com os postos de comando, aos seus diferentes níveis.

Paralelamente, com vista a garantir a continuidade da resposta operacional, no tempo e no espaço, são definidas estruturas de comando operacional, designadas de Postos de Comando (PC), que se desenvolvem em dois escalões distintos: distrital e municipal. Aos seus diversos níveis, os PC serão responsáveis pela gestão de todas as operações de protecção civil e socorro decorrentes dos eventos sísmicos e/ou tsunamis.

Para além das acções desenvolvidas pelos Agentes de Protecção Civil (APC) e pelas entidades intervenientes, nas fases anteriormente referidas, desempenham também um papel preponderante as próprias populações, enquanto socorristas de si mesmas, dos seus familiares e dos seu vizinhos. Deve ser potenciada a colaboração solidária e espontânea, manifestada pelas comunidades, grupos sociais e indivíduos para reforçar as acções de resposta.

INTERVENÇÃO OPERACIONAL

A resposta operacional desenvolve-se na área dos 16 municípios abrangidos pelo PEERST-ALG, que é designada por Zona de Intervenção (ZI). Em função das informações obtidas através das acções de reconhecimento e avaliação técnica e operacional, esta delimitação geográfica poderá ser alterada. Nos termos do Sistema Integrado de Operações de Protecção e Socorro, a ZI divide-se em Zona de Sinistro (ZS), Zona de Apoio (ZA), Zona de Concentração e Reserva (ZCR) e Zona de Recepção de Reforços (ZRR).

As ZS permitem a definição clara de responsabilidades de comando e controlo, sob a responsabilidade exclusiva de um único Posto de Comando Distrital (PCDis). Nas ZS, a mobilidade é restrita, garantindo as forças de segurança a montagem de um perímetro de segurança, com o objectivo de impedir a entrada de pessoas estranhas às actividades de emergência.

As ZA são zonas adjacentes à ZS, de acesso condicionado, onde se concentram os meios de apoio logístico estritamente necessários ao suporte dos meios de intervenção ou onde estacionam meios de intervenção para resposta imediata.

As ZCR são zonas onde se localizam temporariamente meios e recursos disponíveis sem missão imediata e nas quais se mantém um sistema de apoio logístico e assistência pré-hospitalar às forças de intervenção. É nas ZCR que terá lugar a concentração dos recursos solicitados pelos Postos de Comando Municipais (PCMun) ao PCDis e onde são transmitidas as orientações tácticas necessárias. Paralelamente, todos os municípios definirão Zonas de Concentração e Reserva Municipais (ZCRMun) necessárias à intervenção. Nestas ZCRMun será mantido um sistema de apoio logístico e assistência pré-hospitalar às forças de intervenção.

As ZA e ZCR podem sobrepor-se em caso de necessidade.

As ZRR são zonas de controlo e apoio logístico, sob a responsabilidade do PCDis, para onde se dirigem os meios de reforço e apoio logístico que eventualmente venham a ser disponibilizados pelo patamar nacional.

Outro dos conceitos fundamentais do Plano é o de sustentação operacional. Na realidade, considerando a possibilidade de a estrutura distrital responsável pelas operações de protecção civil e socorro poder vir a ficar parcial ou totalmente inoperativa em resultado do evento sísmico, foi desenvolvido um esquema de sustentação operacional no sentido de garantir, tão depressa quanto possível, a reposição da capacidade de coordenação, comando e controlo.

Assim, caberá prioritariamente às estruturas operacionais dos distritos mais próximos constituírem-se como Distritos de Sustentação Operacional (DSO), de forma a assegurarem o comando, controlo, comunicações e informações das operações de protecção civil e socorro, nos termos a fixar em Directiva Operacional Nacional Específica.

Por fim, interessará referir que, caso necessário, caberá ao patamar nacional a atribuição de meios de reforço nacionais, tendo em conta critérios de proximidade, prontidão e disponibilidade para fazer face às necessidades operacionais decorrentes do evento sísmico. Caberá ainda ao patamar nacional, a decisão da emissão de um pedido de auxílio internacional, face à avaliação das necessidades e da emergência em curso. Se tal ocorrer, o reforço de meios será prioritariamente assegurado pelos serviços de protecção civil dos países com os quais Portugal possui acordos de cooperação bilateral (Espanha, França, Marrocos e Cabo Verde), União Europeia (UE), Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN) e Organização das Nações Unidas (ONU).

CONCLUSÕES

As especificidades da resposta a um evento sísmico envolvem um leque abrangente de valências. Um pré-requisito para a elaboração de um Plano de Emergência adequado é um estudo detalhado de análise de riscos, devendo este ser considerado como um pressuposto básico para a sua elaboração. Da análise de riscos devem ser extraídas, entre outras, as seguintes informações:

- Cenários:
- Possíveis impactos e áreas afectadas.

Este trabalho é essencial à definição de normas e procedimentos a adoptar, em ordem a proteger as populações, bens e ambiente.

na região.

No âmbito do planeamento de emergência, o simulador apresenta-se como uma ferramenta de extrema utilidade no sentido de contribuir para a elaboração do Plano de Emergência para o Risco Sísmico e de Tsunamis na Região do Algarve.

• Consequências esperadas em cada uma das hipóteses consideradas;

O Estudo do Risco Sísmico e de Tsunamis do Algarve vem fornecer esses resultados, através de um simulador de cenários sísmicos, tendo como objectivos directos providenciar a avaliação de danos que descrevem as consequências de um possível sismo e/ou tsunami De modo geral, o PEERST-ALG deve contemplar todas as acções necessárias para evitar o agravamento do incidente, sendo um instrumento prático que proporciona respostas rápidas e eficazes em situações de emergência e contemplando, de forma clara e objectiva, as atribuições e responsabilidades dos envolvidos.

As diversas entidades intervenientes só serão úteis e rentáveis na implementação do Plano, quando devidamente organizadas e dirigidas. Fica então reservado ao planeamento de emergência, a eliminação do improviso e da desorganização. O diálogo, o debate e a análise das inúmeras situações surgem da organização que o Plano de Emergência garantir e, acima de tudo, do sentido de missão e do objectivo a que o Plano se propõe.

Entre outras acções importantes, a actualização periódica do mesmo é uma das tarefas mais importantes a realizar no âmbito do planeamento de emergência. A actividade na área do planeamento de emergência "nunca tem fim", não termina com a elaboração do Plano, mas sim segue em função de um ciclo (exercícios, revisão e actualização).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANPC, 2008, "CADERNO TÉCNICO PROCIV 3 – Manual de apoio à elaboração e operacionalização de Planos de Emergência de Protecção Civil"

DECRETO-LEI Nº 134/2006, "Sistema Integrado de Operações de Protecção e Socorro (SIOPS), Ministério da Administração Interna"

LEI Nº 27/2006, "Lei de Bases da Protecção Civil, Assembleia da República"

RESOLUÇÃO Nº 22/2009, "Plano Especial de Emergência de Protecção Civil para o Risco Sísmico na Área Metropolitana de Lisboa e Concelhos Limítrofes, Comissão Nacional de Protecção Civil"

RESOLUÇÃO Nº 25/2008, "Directiva relativa aos critérios e normas técnicas para a elaboração e operacionalização de planos de emergência de protecção civil, Comissão Nacional de Protecção Civil"

CAPÍTULO 13

PRINCIPAIS ENSINAMENTOS A COLHER DO ESTUDO DO RISCO SÍSMICO E DE TSUNAMIS DO ALGARVE

C. S. Oliveira

Autoridade Nacional de Proteccção Civil Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura

CAPÍTULO 13 PRINCIPAIS ENSINAMENTOS A COLHER DO ESTUDO DO RISCO SÍSMICO E DE TSUNAMIS DO ALGARVE

O Projecto ERSTA, "Estudo do Risco Sísmico Sísmico e de Tsunamis do Algarve" foi desenvolvido por um largo conjunto de Instituições Nacionais de Ciência e Tecnologia que, de forma coordenada, realizaram um trabalho pioneiro para a quantificação dos efeitos que potenciais sismos possam vir a provocar no Algarve.

Com efeito, o Algarve, situado na Margem Continental Portuguesa, junto da fronteira das Placas Euro-Asiática e Africana (Núbia), está sob o efeito da sismicidade proveniente quer das estruturas geológicas associadas a esta fronteira, quer das falhas activas que atravessam o território algarvio. Historicamente, são bem conhecidos os efeitos catastróficos de sismos como o de 1755, oriundo na fronteira de placas e o de 1722, proveniente da rotura da falha de Loulé. Infelizmente, a actividade sísmica mais intensa continua a manifestar-se de tempos a tempos, como foi o caso do sismo de 1969, e mais recentemente o sismo de 17 de Dezembro de 2009 que, embora não tenha causado estragos foi bem sentido em todo o território do Algarve tendo provocado algum pânico nas populações das zonas mais a Barlavento.

O trabalho que agora foi desenvolvido, permitiu coligir informação recente sobre as mais amplas matérias, que envolvem o tratamento do risco sísmico no Algarve: o estudo das fontes geradoras de sismos a SW do Cabo de São Vicente e Sul do Algarve, as falhas mais importantes que atravessam o território, a propagação das ondas sísmicas desde a sua origem até qualquer ponto à superfície e a influência dos solos na acção sísmica que vai actuar nas fundações das diferentes construções existentes.

Procedeu-se ainda à identificação das principais tipologias construtivas, sua distribuição geográfica e suas vulnerabilidades, ao estudo dos danos provocados quer na população (mortos, feridos, desalojados), tendo em conta a hora do dia e o dia da semana em que o evento possa acontecer, quer sobre os parques habitacionais e principais redes (electricidade, água, saneamento, transportes, comunicações, etc.) e ainda ao estudo do impacto em certos equipamentos urbanos nomeadamente, escolas, hospitais, hotéis e pontos vitais para a emergência pós-sismo.

Muitos dos dados foram fornecidos por variadas Entidades públicas e privadas, através de protocolos celebrados com o ex-Serviço Nacional de Bombeiros e Protecção Civil.

Sempre que os dados existentes para a concretização das tarefas eram escassos ou pouco fiáveis, procedeu-se a estudos complementares que permitissem colmatar tais insuficiências.

Um estudo com a envergadura do ERSTA, envolvendo um largo conjunto de Instituições, exige um grande esforço por parte de todos os intervenientes no sentido de reduzir as sobreposições e de encontrar em cada uma delas as mais-valias que pudessem complementar as lacunas que se foram observando ao longo do trabalho. Felizmente, pensa-se que este esforço foi muito bem sucedido, produzindo resultados inéditos. Pela primeira vez em estudos desta índole foi possível incluir o efeito dos tsunamis sobre a Orla Algarvia, utilizando os dados mais detalhados dos fundos do Oceano e da altimetria de pormenor de algumas zonas de maior risco na costa, conhecendo-se com grande precisão os tempos de chegada das ondas oceânicas geradas em vários locais e as respectivas áreas de inundação.

Toda a informação foi montada num sistema de informação geográfica, onde não só estão depositados todos os conhecimentos sobre o território, quer do ponto de vista natural como dos parques construídos, como é possível accionar um programa em que, dado um sismo caracterizado pela sua *magnitude e localização focal*, ou através da *falha* que o possa originar, permite *simular* a maior parte dos fenómenos desencadeados, da vibração sentida, dos fenómenos de liquefacção e deslizamento que podem ser induzidos, à onda do tsunami que chega poucos minutos depois, afectando os portos e inundando as áreas de cotas mais baixas, estimando as zonas de maior impacto e quantificando os efeitos humanos e materiais produzidos.

Este *simulador* constitui uma ferramenta fundamental para a definição de um Plano Especial de Emergência de Risco Sísmico para o Algarve, bem como pode vir a ser utilizado para o Planeamento Urbano, em colaboração com os Municípios, quer de novas áreas de expansão quer na definição de políticas de reabilitação dos parques existentes.

Cientes das enormes incertezas que envolvem todo o processo físico do risco sísmico (ocorrência, propagação das ondas, vulnerabilidades, localização da população à hora do sismo, para falar apenas nos fenómenos mais complexos), o *simulador* dá-nos não só os valores mais prováveis dos danos que podem ocorrer, como também nos fornece alguns *intervalos de confiança*.

No sentido da redução de incertezas, o *simulador* foi construído de forma a permitir actualizações sempre que novos conhecimentos fiquem disponíveis. Será ainda de referir que o *simulador* produziu resultados muito consentâneos com os observados aquando do sismo de 17 de Dezembro de 2009, o que vem assegurar das suas capacidades gerais de simular os acontecimentos que possam ocorrer no futuro.

Este estudo, realizado a uma *escala regional*, em que a maior parte das variáveis estão discretizadas a nível da Sub-Secção Estatística (quarteirão), constitui portanto um passo de grande importância para o conhecimento da realidade sísmica do Algarve, revertendo-se nele um conjunto de novos ensinamentos extremamente importantes para a mitigação dos Riscos Sísmicos. Ele dá já provimento a algumas acções recomendadas recentemente pela Assembleia da República (Resolução n.º 102/2010, nomeadamente nos pontos 1, 2, 3, 4 e 9).

Será certamente um excelente *protótipo* para estudos de outras zonas do País de elevado risco sísmico, dando continuidade à Resolução do Governo de 1981.







