

Manual de Cenários de Risco e Danos de Tsunami

SCHEMA (Scenarios for Hazard-induced Emergencies Management), Project n° 030963,
Specific Targeted Research Project, Space Priority

SCHEMA (Cenários para a Gestão de Emergências induzidas por Riscos), Projecto n.º 030963,
Projecto de Investigação Especificamente Orientado, Prioridade Espacial

**S. Tinti, R. Tonini, L. Bressan, A. Armigliato, A. Gardi, R. Guillande,
N. Valencia, S. Scheer**



EUR 24691 PT - 2011

A missão do JRC-IPSC consiste em fornecer resultados de pesquisa e apoiar os decisores políticos da União Europeia nos seus esforços de segurança global e protecção dos cidadãos europeus contra acidentes, ataques deliberados, fraude e acções ilegais contrárias às políticas europeias.

Comissão Europeia
Centro de Pesquisa Conjunta
Instituto para a Protecção e Segurança do Cidadão

Contactos:

Endereço: Prof. Stefano Tinti, Departamento de Física, Sector de Geofísica, Universidade de Bolonha, Viale Berti Pichat 8 – 40127 Bolonha (Itália)

E-mail: stefano.tinti@unibo.it

Tel: +39 051 209 5025

Fax: +39 051 209 5058

<http://ipsc.jrc.ec.europa.eu/>

<http://www.jrc.ec.europa.eu/>

Supervisão gráfica: Annalisa Gardi, Geosciences Consultants, Paris

Aviso Legal

A Comissão Europeia e quaisquer pessoas actuando em sua representação não poderão ser responsabilizadas pelo uso dado à presente publicação.

Europa Directa é um serviço para ajudá-lo a encontrar respostas às suas questões sobre a União Europeia

***Número de telefone gratuito (*):
00 800 6 7 8 9 10 11***

(*) Certos operadores móveis não permitem o acesso a números 00 800 ou poderão taxar estas chamadas.

Informação adicional pode ser obtida pela internet, através do servidor

<http://europa.eu/>

JRC 61463

EUR 24691 PT

ISBN 978-92-79-19065-0

ISSN 1018-5593

doi:10.2788/22760

Luxemburgo: Gabinete de Publicações da União Europeia

© União Europeia, 2011

Reprodução autorizada mediante reconhecimento da fonte

Impresso em Itália

Agradecimentos

A pesquisa que conduziu a estes resultados foi financiada pelo Sexto Quadro Comunitário, sob a égide do acordo n.º SST5-CT-2006-030963.

Os autores gostariam de agradecer calorosamente aos muitos participantes de todos os parceiros envolvidos no projecto nos últimos três anos, contribuindo das mais variadas formas para a finalização do trabalho apresentado neste manual.

Um agradecimento especial para o principal revisor de projecto, Sr. François SCHINDELE, pela sua contribuição importante durante o processo de finalização.

Outro agradecimento especial para o coordenador da Comissão Europeia, Sr. Mats LJUNGQVIST, pela sua paciência e atitude encorajadora, que nos ajudaram na produção dos bons resultados deste projecto.

Muito do trabalho realizado em Rabat (Marrocos), Setúbal (Portugal), Mandelieu (França), Balchik (Bulgária) e Catania (Itália) não teria sido possível sem a disponibilidade e cooperação das autoridades locais. Os nossos agradecimentos pelo seu envolvimento e apoio na angariação de vários actores representativos de cada caso em estudo, bem como pela sua hospitalidade durante as reuniões e conferências locais.

A utilização de dados batimétricos pelo SHOM (© Copyright 2008 Service Hydrographique et Océanographique de la Marine - França) para o trabalho realizado em Mandelieu (França) foi autorizada pelo Contrato n.º S/1314 BP.

Afiliações dos autores

Stefano Tinti, Roberto Tonini, Lidia Bressan e Alberto Armigliato: Universidade de Bolonha, Itália

Annalisa Gardi, Richard Guillande e Nathalia Valencia: GEOSCIENCES CONSULTANTS sarl, Paris, França

Stefan Scheer, Comissão Europeia, Centro de Pesquisa Conjunta, Ispra, Itália

Outros contributos

Olivia Lesne, Antoine Mangin, Camille Renou e Frédéric Rouffi: ACRI-ST, Sophia-Antipolis, França

George Eftichidis, Vassiliki Varela: ALGOSYSTEMS, Atenas, Grécia

Abderrahman Atillah, Driss El Hadani e Hicham Moudni: Centre Royal de Télédétection Spatiale, Rabat, Marrocos

Adélio Silva, João Ribeiro e Paulo Leitão: HIDROMOD, Lisboa, Portugal

Gerassimos Papadopoulos, Anna Fokaefs, Georgia Diakogianni, Tatiana Novikova: Observatório Nacional de Atenas, Grécia

Boyko Rangelov e Garo Mardirossian: SSRI-BAS, Bulgária

Erhan Alparslan: Centro de Pesquisa TUBITAK Marmara – Instituto Terrestre e Marinho, Gebze-Kocaeli, Turquia

Índice

| | |
|--|----|
| Agradecimentos..... | 3 |
| Índice | 4 |
| Sumário executivo | 5 |
| 1 Introdução..... | 6 |
| 2 Cenários de tsunami: conceitos e metodologia..... | 7 |
| 2.1 Conceitos e definições..... | 7 |
| 2.2 Descrição geral da metodologia SCHEMA | 8 |
| 3 Cenários de risco de tsunami..... | 10 |
| 3.1 Selecção das fontes | 11 |
| 3.2 Modelos numéricos..... | 13 |
| 3.3 Bases de dados batimétricas e topográficas | 14 |
| 3.3.1 Combinação de dados terrestres e marítimos..... | 14 |
| 3.3.2 O problema das marés..... | 15 |
| 3.4 Lidar com resoluções diferentes | 16 |
| 3.5 Lidar com incertezas | 17 |
| 3.6 Cenários regionais de risco de tsunami..... | 18 |
| 3.7 Cenários locais de risco de tsunami | 19 |
| 3.8 Cenários combinados | 20 |
| 4 Cenários de danos causados por um tsunami | 21 |
| 4.1 Avaliação da vulnerabilidade..... | 21 |
| 4.2 Funções e matriz de danos..... | 23 |
| 4.3 Criação de inventário de edifícios para cenários de tsunami..... | 24 |
| 4.4 Inventários de outros objectos relevantes..... | 26 |
| 4.5 Mapas de danos causados por um tsunami..... | 27 |
| 4.6 Mapeamento de outros factores de danos..... | 28 |
| 5 Conclusões e expectativas | 30 |
| Referências | 32 |
| Anexo A – O projecto SCHEMA..... | 34 |
| Anexo B – Parceiros do consórcio SCHEMA | 36 |
| Anexo C – O <i>website</i> do SCHEMA..... | 37 |
| Lista de figuras..... | 38 |
| Lista de tabelas | 39 |

Sumário executivo

O manual de cenários de tsunami é o resultado de um trabalho intenso realizado no âmbito do projecto europeu FP6 SCHEMA, co-financiado num período de 39 meses, de 2007 a 2010, num consórcio de 11 parceiros liderado pela Geosciences Consultants (Paris).

O manual é um dos produtos do projecto, concebido para ilustrar os conceitos básicos e métodos criados e aplicados no projecto para a produção de cenários de tsunami, tendo em vista a disponibilização de ferramentas de avaliação de riscos de tsunami e danos potenciais. Um dos objectivos principais foi a elaboração de uma metodologia geral que pudesse ser facilmente adaptada às necessidades dos utilizadores finais, principalmente dos gestores públicos responsáveis pelo planeamento de estratégias de desenvolvimento e protecção costeiras, bem como das pessoas e organizações envolvidas na gestão de desastres e políticas de mitigação. Por estas razões, a metodologia do SCHEMA foi aplicada em cinco locais (Rabat, Marrocos; Setúbal, Portugal; Mandelieu, França; Catania, Itália; Balchik, Bulgária) com diferenças significativas entre si, tendo sido testada com o envolvimento activo dos utilizadores finais, assegurando a disponibilização de ferramentas úteis e práticas com flexibilidade suficiente para cobrir as necessidades locais.

O manual define, em primeiro lugar, o significado de “cenário de risco de tsunami” e “cenário de danos devidos a tsunami”, bem como o conceito de “pior cenário credível”. Este último conceito é um ponto-chave do manual, uma vez que a escolha do consórcio SCHEMA consistiu na adopção da abordagem de pior cenário credível em detrimento de cenários elaborados por análise probabilística, por se crer não existirem conhecimentos e dados actuais suficientes para avaliar fielmente a probabilidade de retorno de tsunamis e consequentemente a criação de cenários probabilísticos correspondentes.

A metodologia, descrita de forma sucinta no capítulo 3, consiste em três fases principais, por sua vez abrangendo outras sub-fases ou passos:

- 1 – Elaboração de um conjunto de cenários de risco de tsunami para cada local em estudo (também referido como zona-alvo), agregando-se num único cenário combinado;
- 2 – Análise da vulnerabilidade de elementos expostos, baseada em observações recolhidas em pesquisas de campo e na interpretação de imagens de satélite;
- 3 – Desenvolvimento de cenários de danos devidos a tsunami.

A fase 1 é descrita em detalhe no capítulo 4, ao passo que as fases 2 e 3 são ilustradas no capítulo 5.

Este manual tem como propósito realçar a abordagem SCHEMA aos cenários de tsunami e é deliberadamente pequeno e sintético. Todos os detalhes dos métodos e da sua aplicação podem ser obtidos nos vários e extensos documentos produzidos pelo consórcio no período de duração do projecto. Neste documento são apenas referidos os conceitos principais, ilustrados por exemplos recolhidos a partir do trabalho realizado pelos parceiros do consórcio.

O capítulo final do manual aponta para o futuro, principalmente através do foco nos desafios futuros e a forma como a metodologia poderá ser melhorada para lidar com esses desafios. Neste contexto, o tema principal é o multi-risco ou, noutras palavras, a forma como os cenários podem ser criados para cobrir não apenas tsunamis mas também outros fenómenos de risco.

O desafio está lançado, existindo actualmente o reconhecimento de que esta problemática é séria e antiga e que não há ainda certezas sobre a forma geral de lidar com o problema. Esperamos que sejam concretizados desenvolvimentos importantes nos próximos anos.

1 Introdução

Este manual é um dos produtos do projecto SCHEMA (ver objectivos e parceiros nos Anexos A e B e também o Anexo C). Descreve a metodologia desenvolvida pelos parceiros do projecto para a construção de cenários de risco e de danos causados por tsunamis. O manual ajuda ainda a definir termos e conceitos num campo da ciência que ainda não possui padrões e terminologia universalmente aceites. Destina-se principalmente a gestores locais responsáveis pela segurança pública, gestão e planeamento territoriais, com necessidade de avaliar os riscos de tsunamis e utilizar ferramentas tais como mapas de danos e zonas de inundação causados por um tsunami.

Estes gestores beneficiarão do conhecimento dos métodos e critérios sobre os quais os mapas referidos foram elaborados, bem como da definição clara dos termos e conceitos envolvidos, uma vez que isso lhes permitirá aproveitar na totalidade os produtos e ferramentas relativos ao impacto de tsunamis.

O manual, apesar de cobrir aspectos de carácter específico e técnico, foi escrito na linguagem mais simples possível, evitando detalhes matemáticos e numéricos, bem como sofisticções que pudessem tornar difícil a sua leitura e compreensão. Esses detalhes são fornecidos na sua plenitude nos relatórios técnicos produzidos no âmbito do projecto. Assim, o manual privilegia a descrição de conceitos e ideias, sendo rico em exemplos obtidos a partir do trabalho e resultados alcançados pelos parceiros do projecto SCHEMA.

A estrutura do manual contempla um capítulo introdutório com os conceitos básicos de “cenário de risco de tsunamis” e “cenário de danos causados por tsunamis” onde, entre outros assuntos, é explicada a razão pela qual o consórcio SCHEMA preferiu a abordagem baseada em cenários determinísticos do pior caso credível, em detrimento de outras abordagens possíveis baseadas no cálculo de teorias de probabilidades.

Nos dois capítulos seguintes são descritos em detalhe os passos necessários para o cálculo de cenários de danos causados por tsunamis, com recurso a exemplos obtidos a partir de estudos realizados pelos parceiros do projecto. Neste contexto, a avaliação da vulnerabilidade de tsunamis é tida em conta como um passo necessário na produção de cenários de danos.

O capítulo final é dedicado à discussão sobre a metodologia e especialmente às expectativas de:

- 1 – Aplicação da abordagem SCHEMA a outras áreas distintas das que foi possível estudar no âmbito deste projecto, escassas e limitadas;
- 2 – Melhoramentos e alternativas a considerar, dependentes da disponibilidade de dados apropriados;
- 3 – Criação de desafios, tais como o desenvolvimento de cenários multi-riscos.

2 Cenários de tsunami: conceitos e metodologia

2.1 Conceitos e definições

No mundo do estudo de riscos naturais, o risco é a descrição do fenómeno físico tal como um sismo, um incêndio, um furacão, um tsunami, etc. Um cenário consiste principalmente na hipótese de ocorrência de um risco numa determinada zona, com determinado nível de intensidade.

De acordo com documentos fornecidos pelo Grupo de Coordenação Intergovernamental para o Sistema de Mitigação e Aviso de Tsunamis do Oceano Índico (ICG/IOTWS, 2007), um cenário de tsunami é criado a partir da especificação das características da sua fonte geradora. Por outras palavras, um cenário consiste essencialmente num conjunto de elementos que caracterizam o sismo ou o deslizamento submarino gerador de um tsunami. De realçar que esta definição não inclui os efeitos em locais distantes afectados pelas ondas de tsunami e que não é partilhada por muitos estudos de cenários de risco de tsunami, em que o foco principal é o comportamento do tsunami na zona costeira.

A definição de cenário de risco adoptada no SCHEMA é a descrição do tsunami que se segue a uma fonte seleccionada, desde a propagação oceânica até aos seus efeitos locais de inundação, avanço, retrocesso e extensão das zonas inundadas, incluindo informação sobre a distribuição espacial e temporal do tsunami. Isto é relativo ao fenómeno ou processo natural.

O cenário de tsunami do projecto SCHEMA inclui ainda a descrição do seu impacto em pessoas e bens na zona costeira, de acordo com as necessidades de informação dos utilizadores finais. Deste modo, a noção de cenário de tsunami abrange duas dimensões:

1 – **Cenário de risco de tsunami**, descrevendo o fenómeno natural desde a sua origem, o seu desenvolvimento oceânico até chegar à costa e o grau de risco da área exposta (zona-alvo) para o evento específico considerado;

2 – **Cenário de danos causados pelo tsunami**, descrevendo as possíveis consequências dos danos provocados nos elementos expostos (pessoas, objectos) especificados pelos utilizadores finais.

Os **mapas de cenário** devem apresentar os elementos expostos da área afectada pelas ondas e os efeitos da inundação ou retrocesso da água, juntamente com a

intensidade ou grau respectivo de danos, quer sejam qualitativos (estimados) ou quantitativos (calculados).

A noção de cenário de risco de tsunami é geralmente associada às características de uma fonte isolada e ao tsunami que essa fonte pode gerar. Na realidade, pode ser vantajoso estudar o risco de tsunami resultante de várias fontes, nomeadamente todas as que possam afectar uma determinada área. Neste caso, é razoável estudar cada cenário de tsunami e o seu impacto na zona costeira de forma individual, combinando posteriormente os efeitos de todas as fontes de forma adequada, para obter o risco real e total de tsunami para a zona em estudo. O resultado obtido é o **cenário combinado de riscos de tsunami**, uma vez que resulta da combinação dos cenários individuais. Muitas vezes, a fonte tida em conta para a criação de um cenário é a mais poderosa de entre todas as que são expectáveis (credíveis) numa determinada região, de acordo com o conhecimento dos processos naturais em curso. Como tal, o cenário correspondente intitula-se “pior cenário credível”.

Por vezes existem elementos que permitem associar determinado cenário de risco à estimativa do período de retorno. Se tal puder ser feito exaustivamente para uma série de cenários, poderá ser adoptada uma abordagem probabilística, associando cada cenário calculado à probabilidade de ocorrência estimada. No entanto, a adopção de abordagens probabilísticas nem sempre é possível ou conveniente. Por exemplo, a avaliação da probabilidade de ocorrência de sismos em determinada região apenas é viável se estiver disponível um conjunto suficiente de registos históricos e instrumentais, bem como o conhecimento quantitativo dos processos tectónicos locais e regionais (por exemplo, a taxa de convergência das placas litosféricas numa região de subducção), o que sucede muitas vezes apenas em regiões de alta sismicidade ou com registos extensos de sismos, favorecidos por longas tradições civilizacionais.

Por outro lado, a avaliação da probabilidade de ocorrência de tsunamis devido a deslizamentos de terras é uma tarefa muito difícil de realizar ou mesmo proibitiva na maior parte das encostas oceânicas, devido à falta de dados e à incerteza quanto aos processos de desestabilização que iniciam a rotura das encostas. No âmbito do SCHEMA não foi seguida a abordagem probabilística, porque a ligação de um período de retorno a um cenário específico revela-se bastante arriscada e pouco viável para as regiões do

Mediterrâneo, Oceano Atlântico e Mar Negro, devido ao reduzido número de eventos importantes registados. Considerou-se mais realístico o estudo de cenários passados ou potenciais provenientes de várias fontes geradoras de tsunamis, ou seja, a compilação de um conjunto de cenários de pior caso credível num cenário combinado, obtendo as áreas de risco máximo.

2.2 Descrição geral da metodologia SCHEMA

A criação de cenários de risco e danos de tsunamis é um processo que requer vários passos. No âmbito do SCHEMA, foi desenvolvida a metodologia ilustrada na Figura 1, aplicada como abordagem comum aos cinco locais em estudo (Setúbal, Rabat, Mandelieu, Catania e Balchik). Tendo sido propositadamente seleccionado o critério de que as zonas em estudo fossem bastante diferentes entre si em aspectos como dados existentes, fontes geradoras de tsunamis, ambientes costeiros, urbanos e condições sociais e culturais, a aplicação da mesma metodologia a todos os locais constituiu uma boa forma de garantir a sua validação.

Conclui-se, a partir do esquema da Figura 1, que as acções incluídas nas caixas azuis do lado esquerdo referem-se à criação de cenários de risco de tsunamis aos níveis regional e local, enquanto que as acções nas caixas verdes referem-se à análise da vulnerabilidade e danos apenas ao nível local. Ambos os conjuntos de acções são necessários para o fornecimento de dados necessários à criação do cenário de danos causados por um tsunami ao nível local.

O processo de criação do pior cenário de risco inicia-se com a identificação das fontes capazes de gerar os tsunamis mais significativos na zona-alvo. Para cada uma das fontes seleccionadas, é calculada a geração e propagação do tsunami até à zona em estudo, através de modelos numéricos. Na abordagem adoptada no SCHEMA, foi tido como conveniente considerar uma moldura regional focada nos aspectos da propagação do tsunami e uma moldura local centrada nos aspectos relativos à inundação da zona afectada. Deste modo, obtiveram-se cenários regionais e locais.

A Figura 1 consiste num esquema de metodologia abrangendo a criação de cenários regionais e locais para os casos individuais e para o cenário combinado. A metodologia vai para além do cenário de risco, cobrindo igualmente aspectos do impacto e contra-medidas e focando-se principalmente na análise de danos em edifícios e estruturas, bem como na identificação das rotas e consequentes estratégias de evacuação.

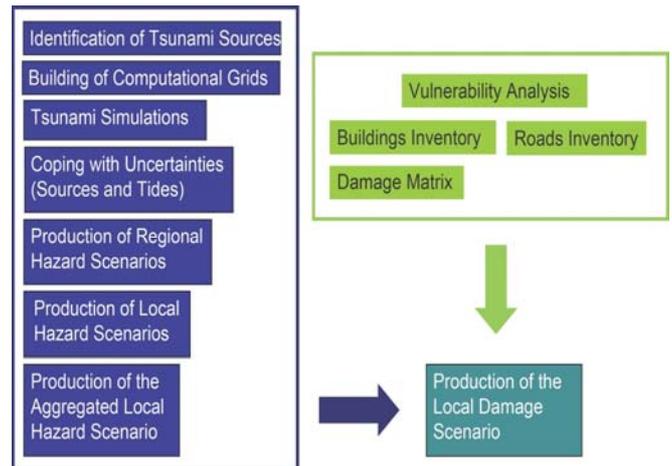


Figura 1: Esquema ilustrativo da metodologia desenvolvida para a criação de cenários de risco e danos de tsunamis

As estratégias de evacuação são o assunto de outro manual (Scheer et al., 2011) especificamente dedicado ao planeamento da evacuação devida a tsunamis; por essa razão, este aspecto não será abordado na presente publicação.

Quanto ao impacto, é relevante a avaliação de danos causados pelo tsunami em edifícios, envolvendo pelo menos três fases: conhecimento das características dos edifícios na zona costeira (e a sua classificação respectiva), definição de parâmetros relevantes do tsunami que possam ter reflexo nos edifícios e a relação entre a magnitude desses parâmetros e o grau dos danos causados pelo tsunami (curvas de fragilidade, matrizes de danos), com a consequente produção de mapas de danos.

Nesta secção realça-se que a análise de danos e os mapas podem ser elaborados para cenários individuais ou combinados. Por exemplo, se os danos num edifício forem assumidos como dependendo da espessura do fluxo de água (como é o caso do projecto SCHEMA), a estimativa de danos é elaborada tendo em conta esse factor, sendo um dos elementos fornecidos, conforme a necessidade dos utilizadores finais, em cenários individuais, combinados ou ambos. No caso do cenário combinado, a profundidade máxima do fluxo pode ser associada a diferentes casos de tsunamis em cada ponto do mapa.

Tal significa que o quadro geral de danos estimado no mapa não deriva apenas de um tsunami mas configura um efeito de “tsunami virtual” que representa, em cada zona do mapa, o pior caso possível. A modificação do grau de danos devidos a outros factores relativos ao edifício (orientação relativa à linha de costa, número de pisos, tipo de piso térreo, etc.) ou à envolvente (presença de muralhas, proximidade de zonas onde os objectos flutuantes possam ser elevados e transportados pela corrente do

tsunami) é bastante difícil de estimar e foi tida em consideração apenas qualitativamente e de forma grosseira, no âmbito do projecto SCHEMA.

A criação de um cenário pressupõe não só a especificação de etapas e métodos mas também do tipo de resultados ou produtos a fornecer aos utilizadores finais. No projecto SCHEMA, cada cenário é descrito através de uma série de mapas listados e caracterizados na Tabela 2.

Tabela 1: Lista de mapas caracterizadores de cenários de tsunami no projecto SCHEMA.

| Nome do mapa | Descrição |
|---|--|
| Cenários regionais de risco de tsunami (ver secção 3.6) | Consistem num número de mapas de diferentes tipos, ilustrando a propagação do tsunami em larga escala entre a fonte e o destino. Incluem mapas da elevação da superfície do mar obtida em diferentes alturas desde a fonte, bem como mapas de deslocação do tsunami. |
| Cenários locais de risco de tsunami (ver secção 3.7) | Focam-se em escalas mais pequenas na zona-alvo, descrevendo campos com vários parâmetros, incluindo a elevação máxima, velocidade e linha de máxima inundação e retrocesso da água do mar. Estão relacionados com cenários individuais. |
| Cenários combinados (mapas locais) (ver secção 3.8) | Representam a síntese de todos os resultados calculados (ou observados) para cada cenário potencial de tsunami e para o mesmo local, extraíndo as intensidades extremas de todos os cenários em vários parâmetros (principalmente a elevação da água do mar, velocidade das partículas, profundidade do fluxo e extensão do retrocesso). |
| Cenários de danos causados pelo tsunami (ver secção 4) | Baseados em cenários individuais ou combinados, fornecem uma descrição quantitativa dos graus de danos em edifícios, utilizando funções de fragilidade e outros elementos potenciadores da intensidade dos danos (critérios secundários de vulnerabilidade). Podem ser incluídos outros elementos úteis para as operações de salvamento, tais como a |

| | |
|-------------------------------------|--|
| | estimativa de estradas submersas ou ruas com provável obstrução. |
| Cenários de danos ambientais | A experiência recente do tsunami de 26 de Dezembro de 2004 no Oceano Índico revelou que podem ocorrer mudanças ambientais significantivas nos solos das zonas submergidas, aos níveis geomorfológico, topográfico e biogeoquímico. Estes mapas realçam o impacto esperado do tsunami em instalações industriais e condutas (por exemplo, a contaminação de solos e da água pela dispersão de poluentes). |
| Mapas de evacuação | Deverão indicar o caminho mais curto para locais seguros a partir de qualquer ponto da zona submergida pelo tsunami. São criados a partir do cenário combinado que sintetiza o efeito de todos os piores cenários credíveis de tsunami e traduzem a máxima extensão da área inundada. Tem que ser introduzida nos mapas de evacuação a informação sobre caminhos de evacuação, abrigos verticais, locais seguros e sinais de aviso e alerta. São abordados no manual SCHEMA sobre a criação de mapas de evacuação (Scheer et al., 2011) que complementa a presente publicação, pelo que não serão aqui apresentados com maior detalhe. |

3 Cenários de risco de tsunami

Tal como referido anteriormente, um cenário de risco de tsunami refere-se por norma ao tsunami gerado por uma fonte única (sismo, deslizamento de terras ou erupção vulcânica), possuindo uma determinada intensidade ou dimensão. Para cada fonte existe um número de opções a considerar para a criação de um cenário. Se a atenção for restringida aos aspectos hidrodinâmicos do tsunami, tecnicamente designados cenário de risco de tsunami, os elementos principais que formam esse cenário são os seguintes:

1. Mapas da elevação máxima da superfície do mar devida à propagação do tsunami;
2. Mapas da elevação instantânea da superfície do mar num tempo de propagação específico;
3. Mapas de tempos de chegada das primeiras ondas;
4. Registos obtidos por marégrafos numa série de pontos seleccionados;
5. Extensão máxima da inundação (limite da zona inundável);
6. Mapas da altura máxima do tsunami e profundidade (ou espessura) da inundação na zona afectada;
7. Nível máximo de retrocesso (nível mínimo do mar ao largo da costa);
8. Mapa da velocidade máxima da corrente (no mar e junto à costa).

Os pontos 1 a 4 da lista acima representam os elementos dos cenários regionais. O mapa da elevação máxima da superfície do mar (ponto 1) reflecte a propagação do tsunami, geralmente caracterizada por uma anisotropia muito forte, tal como o efeito duplo da geometria da fonte (usualmente com uma dimensão muito maior do que a outra) e por uma batimetria irregular. Os mapas que representam mais fielmente a propagação do tsunami são instantâneos da elevação da superfície do mar obtida em diferentes alturas (ponto 2). A partir destes mapas pode observar-se a irradiação da frente do tsunami a partir da fonte e possíveis reflexos na costa.

O tempo de deslocação do tsunami (ponto 3) descreve os isócronos correspondentes às diferentes alturas da propagação, cada isócrono definido como a linha que liga todos os pontos em que as ondas da frente do tsunami chegam ao mesmo tempo. Os registos dos medidores de maré em alto mar (ponto 4) fornecem o

historial do tsunami em locais específicos e servem para estimar a sequência das ondas, o período do tsunami, a atenuação da onda com o passar do tempo e a sua duração significativa.

Os cenários locais incluem todos os produtos e mapas listados de 4 a 8 na lista anterior. De notar que o processamento de registos dos marégrafos é uma das tarefas que se pode incluir na criação de cenários locais e regionais de tsunami, dependendo da localização dos marégrafos virtuais: se forem seleccionados em alto mar, dentro da rota de propagação do tsunami, os registos computadorizados serão elementos do cenário regional, enquanto que se forem seleccionados dentro da zona-alvo (por exemplo, um marégrafo num porto ou junto à costa), pertencerão ao cenário local.

A extensão máxima da inundação (ponto 5) traduz, independentemente da altura da água, a maior área inundada pelo tsunami: o tsunami pode inundar a zona-alvo com uma ou várias ondas, com chegada em alturas diferentes e com diversas amplitudes. Assim, a extensão máxima da inundação é a área que resulta da conjugação de todas as áreas inundadas pelas várias ondas de tsunami.

Os mapas de elevação máxima do tsunami e do fluxo máximo (ponto 6) fornecem informações sobre o nível mais alto alcançado pela superfície do mar em cada ponto e a altura máxima da coluna de água. Estas duas variáveis estão obviamente ligadas, uma vez que a segunda deriva da primeira apenas pela subtracção da altitude local do terreno.

O nível máximo de retrocesso (ponto 7) é a área máxima que permanece seca em zona habitualmente ocupada pelo mar, como resultado da chegada do tsunami à zona em estudo. Cada cava do tsunami faz com que o mar recue em relação à sua posição habitual junto à costa, deixando algumas zonas a descoberto. A soma das zonas secas correspondentes às várias cavas constitui o nível máximo de retrocesso.

O mapa da velocidade máxima da corrente (ponto 8) traduz a intensidade máxima da velocidade horizontal das partículas de água, calculada para a área em estudo, tanto em terra como no mar. Apesar de a velocidade vertical ter também alguma importância, os modelos de simulação de tsunami normalmente não consideram este factor, utilizando apenas a média da velocidade horizontal da coluna de água desde o

fundo do mar até ao nível instantâneo da superfície marítima.

A única forma viável de explorar cenários de tsunami e elaborar os mapas listados acima é recorrer a modelos e simulações numéricos onde as grelhas (regulares or irregulares) cubram o domínio em causa. Os campos da elevação máxima e mínima do mar na zona em estudo são muito importantes: para cada caso, eles mostram o nível máximo ou mínimo calculado em cada ponto da grelha, sendo assim úteis para o cálculo das linhas de inundação e retrocesso. A primeira traduz a fronteira entre a zona não alcançada pelo mar e a zona inundada pelo menos uma vez pela série de ondas de tsunami e a segunda é a fronteira entre a zona sempre coberta por água do mar e a que fica seca pelo menos uma vez, devido ao movimento de retrocesso da linha de costa durante o tsunami.

Quando o regime de marés é forte e existe uma diferença significativa entre a preia-mar e a baixa-mar, o que acontece mais nos oceanos do que em bacias e mares interiores, os cenários de risco de tsunami podem ser criados de forma distinta para condições de preia-mar e de baixa-mar.

Geralmente, é necessário um certo número de fontes para se compreender as várias formas possíveis de um tsunami atingir determinado local. A criação do pior cenário de risco de tsunami credível implica a modelação do pior caso credível de tsunami para o conjunto total de fontes que afectam um determinado local, combinando-as num cenário único.

A forma mais razoável de combinação é a criação de mapas incluindo a máxima extensão da inundação, do retrocesso e campos combinados (profundidade da inundação, velocidade da corrente) com intensidade máxima. O cenário resultante deve ser denominado “cenário combinado de risco de tsunami”, assumindo que o contexto clarifica o que na realidade se trata.

A síntese da combinação considera apenas os cenários locais, mais especificamente os produtos de 5 a 8. Um mapa típico do cenário de risco combinado, por exemplo, é o que apresenta a extensão máxima da zona inundada, obtida pela junção de todas as zonas inundadas resultantes dos vários cenários. Este mapa contém informação relevante para os utilizadores finais, uma vez que divide a zona de costa em duas classes: a que não é inundada por qualquer tsunami (segura) e a que pode ser afectada pelo menos por um dos casos de tsunami.

3.1 Selecção das fontes

O primeiro passo para a criação de cenários é a escolha das fontes que possuam potencial gerador de tsunami para o local em estudo (ver Figura 1). Os

estudos sismotectónicos feitos a partir de catálogos de sismos e tsunamis são as ferramentas principais utilizadas para compilar os cenários de pior caso de tsunami. Para os locais em estudo no SCHEMA, a interpretação cuidadosa dos dados e da literatura existentes foi determinante para a selecção das fontes, tal como descrito nos relatórios científicos elaborados pelos parceiros do projecto. Neste manual são apenas indicadas essas fontes, através da Tabela 2 e das referências relacionadas obtidas dessa literatura.

No caso de Rabat, dois dos três cenários seleccionados baseiam-se em sismos históricos: um é a hipótese de fonte do forte sismo de 1755 (Baptista et al., 2003) e outro é o sismo Mw=7.9 ocorrido em 1969 e localizado a Sul do Banco de Gorringe, a Sudoeste de Portugal. O terceiro cenário é o enorme deslizamento hipotético gerador de tsunami que pode seguir-se à erupção do vulcão Cumbre Vieja, na ilha de La Palma, nas Canárias (Ward and Day, 2001).

Tabela 2: Lista de fontes seleccionadas pelo SCHEMA

| Local | Parceiro | Fontes |
|-------------------|-----------------|---|
| Rabat, Marrocos | ACRI-ST | <ul style="list-style-type: none"> Potencial colapso da encosta do vulcão Cumbre Vieja (Ward and Day., 2001) Sismo de 1755 em Lisboa (Baptista et al., 2003) Sismo no Banco de Gorringe em 1969 (Gjevik et al., 1997; Guesmia et al., 1998) |
| Setúbal, Portugal | HIDROMOD | <ul style="list-style-type: none"> Sismo de 1755 em Lisboa (Baptista et al., 2003) Falha Marquês de Pombal (Zitellini et al., 1999 ; Omira et al., 2009) Falha do Banco de Guadalquivir (Omira et al., 2009) |
| Mandelieu França | GSC, UNIBOL | <ul style="list-style-type: none"> Sismo de 1887 na Ligúria Ocidental (UNIBOL e DISS, 2009) Deslizamento de terras de 1979 em Nice (Assier-Rzadkiewicz et al., 2000) Sismo de 2003 em Boumerdes, Argélia (UNIBOL e Delouis et al., 2003; Tinti et al. 2005) |
| Catania, Itália | UNIBOL | <ul style="list-style-type: none"> Sismo de 365 D.C. no Arco Vulcânico Helénico (Papazachos 1996; Tinti et al., 2005) Sismo de 1693 na Sicília Oriental (Argnani and Bonazzi, 2005) Deslizamento de terras de 1693 (especulativo) na Sicília Oriental (Armigliato et al., 2007) Sismo de 1908 no Estreito de Messina (Pino et al., 2009) Sismo e deslizamento especulativo de 1908 no Estreito de Messina (UNIBOL) |
| Balchik, Bulgária | SRI-BAS, NOA-GI | <ul style="list-style-type: none"> Sismo do Século VI DC (falha com direcção angular de 40°) (Ranguelov et al., 2008) Sismo do Século VI DC (falha com direcção angular de 90°) (Ranguelov et al., 2008) |

Em Setúbal foram examinadas três falhas ou sistemas de falhas principais no mar. A primeira é coincidente com a que foi seleccionada para Rabat, considerada a fonte do terremoto e tsunami de 1755 em Lisboa (Baptista et al., 2003). Foram identificadas duas fontes adicionais, localizadas no Golfo de Cádiz, por ter sido considerado o conjunto sismotectónico complexo da região de convergência entre as placas Africana e Eurasiática: intitulam-se falha Marquês de Pombal (Zitellini et al., 1999) e falha do Banco de Guadalquivir (Omira et al., 2009). A título de exemplo, a Figura 2 ilustra a elevação da água do mar produzida pelo cenário de sismo com origem na falha Marquês de Pombal, com parâmetros obtidos de Omira et al. (2009).

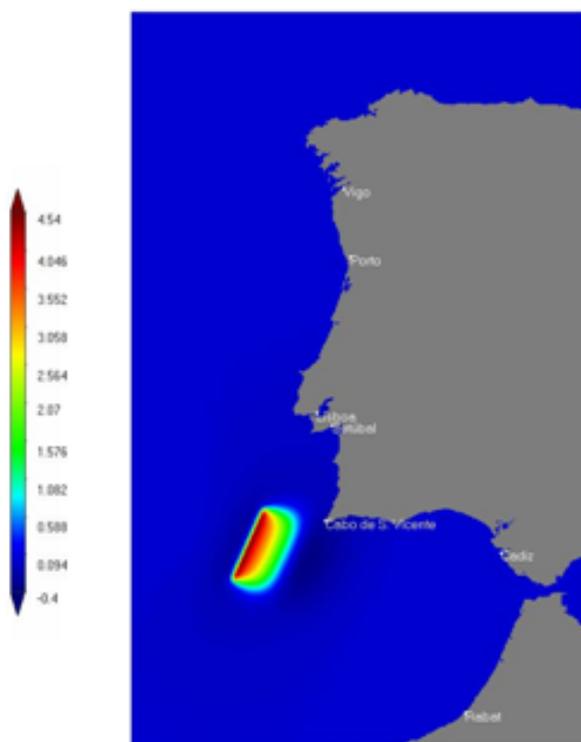


Figura 2: A falha Marquês de Pombal (Omira et al. 2009), a SW de Lisboa, foi seleccionada pela HIDROMOD para a criação do pior cenário credível para Setúbal. Nesta imagem ilustra-se a elevação inicial calculada para a superfície do mar, produzida pelo sismo.

Para Mandelieu, na Côte d'Azur, em França, foram criados três cenários diferentes com base em três eventos históricos geradores de tsunamis: o sismo de 1887 na Ligúria (Eva e Rabinovich, 1997), o deslizamento de terras de 1979 em Nice (Assier-Rzadkiewicz et al., 2000) e o recente sismo de 2003 na Argélia (Yelles et al., 2004). Duas das fontes são locais, localizadas a pouca distância da zona em estudo,

enquanto que a outra é bastante remota, do outro lado da bacia do Mediterrâneo Ocidental.

Para Catania, foram seleccionadas cinco fontes geradoras de tsunami. Uma delas, remota, localiza-se no Arco Vulcânico Helénico, baseada no sismo de 365 D.C. na zona ocidental de Creta (Papazachos, 1996), originando um tsunami que afectou as costas mediterrânicas centrais e orientais (Tinti et al., 2005). As restantes quatro fontes são baseadas nos dois eventos catastróficos ocorridos na Sicília Oriental e no Estreito de Messina em 1693 e 1908, respectivamente (ver Tonini et al., 2011).

No caso de Balchik, Bulgária, a fonte foi escolhida considerando o forte sismo gerador de tsunami ocorrido no Séc. VI mas igualmente o sismo mais recente de 1901 que danificou Balchik, uma vez que se especula que esses eventos terão tido origem na mesma fonte. Devido à dificuldade de caracterização da falha, foram exploradas duas hipóteses que diferem apenas no ângulo da mesma, resultando assim em dois cenários diferentes.

Podem ser feitas algumas considerações nesta altura: em primeiro lugar, foi tida em conta mais do que uma fonte para cada local de estudo, tal como esperado, uma vez que a maior parte das zonas sujeitas a tsunami podem ser atingidas por fenómenos deste tipo com origem em diferentes fontes. No entanto, isso não restringe o método; nalguns casos especiais, apenas uma fonte se revelou relevante para a análise.

Em segundo lugar, para alguns dos locais em estudo, foram seleccionados como possíveis fontes não apenas sismos mas também deslizamentos, quer ocorram em ambientes vulcânicos ou encostas continentais. Este factor é um forte argumento contra a adopção da abordagem probabilística para a criação de cenários, uma vez que é muito difícil determinar tempos de retorno relativos a deslizamentos de terras.

Em terceiro lugar, realça-se a selecção de várias fontes com base em ocorrências históricas. Isto não significa que o objectivo da análise seja a reconstrução do tsunami histórico mas apenas a utilização do mesmo como bom indicador para a construção do cenário. Normalmente, o cenário de pior caso credível adopta uma fonte mais intensa (de maior magnitude, no caso de um sismo) do que a estimada para o caso histórico.

Por último, a escolha das fontes de tsunami é resultado de considerações científicas cuidadosas com um certo grau de arbitrariedade, uma vez que tem origem numa análise subjectiva. Isto é um problema transversal à avaliação de riscos, que pode ser encarado de várias formas.

No SCHEMA, os inevitáveis problemas de falta de objectividade nas fontes do cenário e da incerteza dos

parâmetros foram resolvidos assumindo que, para além dos cenários padrão, deveria ser desenvolvida em paralelo uma série de cenários de “fontes aumentadas”. Mais especificamente, foram aplicados dois métodos diferentes para obter uma “fonte aumentada”. São dados detalhes, na Secção 4.3, das incertezas e do modo como foram introduzidas e calculadas.

3.2 Modelos numéricos

Depois da selecção de fontes para determinada localização, são realizadas simulações numéricas do tsunami (ver Figura 1). No projecto SCHEMA, isso foi realizado em todos os locais, pelos parceiros com especialização em modelação numérica de tsunamis. Os modelos de código de tsunami utilizados no SCHEMA estão listados na Tabela 3.

Tabela 3: Modelos numéricos de tsunami utilizados para os locais em estudo no projecto SCHEMA.

| Parceiro | Modelo | Local em estudo | Cálculo de 2 vias | Solução |
|-------------|-------------------|-----------------|-------------------|---------------------|
| ACRI-ST | TIDAL | Rabat | Não | Boussinesq |
| HIDROMOD | MOHID | Setúbal | Sim | Água pouco profunda |
| GSC, UNIBOL | COMCOT UBO-TSUFDF | Mandelieu | Sim | Água pouco profunda |
| NOA-GI | FUNWAVE | Balchik | Sim | Boussinesq |
| UNIBOL | UBO-TSUFDF | Catania | Sim | Água pouco profunda |

Todos os modelos resolvem as equações de Navier-Stokes para a propagação de ondas aquáticas, com a aproximação de que a velocidade vertical das partículas de água é desprezável e que os componentes de velocidade horizontal são uniformes ao longo da coluna vertical do fluido.

O TIDAL é um software de utilização geral para a solução do fluxo do fluido, calor e problemas de transferência de massa em locais de água pouco profunda. Pode ser utilizado para simular problemas transitórios ou permanentes em locais com costa irregular, batimetria complexa e ilhas. O corpo de água pode conter rios, fontes, enseadas e promontórios. Pode ainda conter planícies costeiras ou leitos de maré que ficam inundados ou drenados de tempos a tempos.

A HIDROMOD realizou simulações de propagação de tsunamis utilizando o modelo MOHID (ver <http://www.mohid.com>). O MOHID é um sistema de modelação 3D em código aberto que foi usado na aproximação 2D para os cálculos de tsunami. Foi

desenvolvido pelo MARETEC (Centro de Pesquisa Tecnológica Marinha e Ambiental) do Instituto Superior Técnico (IST), que pertence à Universidade Técnica de Lisboa. O sistema de modelação MOHID permite a adopção de uma filosofia integrada de modelação, não apenas de processos (físicos e biogeoquímicos) mas também de diferentes escalas (permitindo a utilização de modelos encaixados) e sistemas (estuários e bacias hidrográficas), devido à adopção de uma filosofia de programação orientada para os objectos. Para a aplicação de tsunamis, o código foi aplicado na versão de aproximação de onda longa (ver Vaz et al., 2007).

A ferramenta numérica utilizada pela GSC é o pacote ComMIT (Interface Comunitária de Modelos para Tsunamis), baseado no Método de Divisão de Tsunami (MOST) desenvolvido pelo Laboratório Ambiental Marítimo do Pacífico (PMEL) da Administração Nacional Oceânica e Atmosférica (NOAA) dos Estados Unidos (<http://nctr.pmel.noaa.gov/ComMIT>; ver também Titov and Synolakis, 1995).

A propagação e inundação foram simuladas na NOA-GI com o FUNWAVE, um modelo Boussinesq que foi inicialmente desenvolvido para modelar a transformação de ondas oceânicas desde o mar alto até à costa, incluindo a rebentação e o run-up (<http://chinacat.coastal.udel.edu/programs/funwave/funwave.html>; ver também Kirby et al., 1998).

De modo a realizar simulações numéricas para os locais em estudo de Catania e Mandelieu, a UNIBOL utilizou o seu código de propagação de tsunamis UBO-TSUFDF, que resolve equações lineares e não-lineares para água pouco profunda, com um algoritmo *leap-frog* em grelhas descentradas com a técnica de diferença finita.

Um sistema encaixado multi-grelha (ver Figuras 3 e 7) foi implementado em todos os códigos, para permitir grelhas de diferentes resoluções na modelação à escala regional da propagação da onda em oceano profundo e no local de impacto, em águas pouco profundas perto da costa: no entanto, o TIDAL utiliza os resultados da grelha de maior resolução como dados de entrada para a grelha mais fina (acoplamento num sentido), enquanto que outros códigos realizam um acoplamento total entre as grelhas de maior e menor resolução, apesar de as técnicas de acoplamento diferirem de um código para outro.

O conjunto dos modelos utilizados no SCHEMA, indicados na Tabela 3, não cobrem todos os modelos possíveis e disponíveis para a propagação de tsunamis. Muitos outros têm sido desenvolvidos, especialmente nos últimos anos, depois do grande aumento do

interesse em tsunamis surgido após o desastre de 2004 no Oceano Índico.

Realça-se que a metodologia do SCHEMA não determina ou recomenda um código específico de simulação de tsunamis; observa-se, contudo, que a modelação de tsunamis tem um papel fundamental no procedimento, uma vez que está na base da criação dos cenários de tsunami e portanto qualquer *software* comercial ou criado internamente terá de ser desenvolvido tendo em vista as vantagens e limitações dos códigos, sabendo-se que a realização de simulações em modo fechado (sem conhecer o dispositivo que as realiza) pode levar a alguns resultados não-fiáveis.

De notar que todos os códigos de simulação de tsunami utilizados pelos parceiros do SCHEMA foram validados num caso comum, mais precisamente através do cálculo da propagação do tsunami de 2004 no Oceano Índico, desde a fonte até ao arquipélago das Seychelles, bem como através da comparação dos resultados com os dados de *run-up* na Ilha Praslin e com os registos dos marégrafos do porto de Pointe La Rue, na ilha de Mahé (ver a conclusão SCHEMA 1.3, 2008).

3.3 Bases de dados batimétricas e topográficas

A propagação de tsunamis é sensível à batimetria marítima. O impacto dos tsunamis na costa, bem como as inundações que se seguem, são sensíveis à topografia da costa. Assim, não surpreende que todos os modelos de tsunami sejam igualmente sensíveis aos dados batimétricos e topográficos e que um passo importante para a simulação de tsunamis seja a criação de um conjunto adequado de grelhas de cálculo topobatimétricas. Esta tarefa pode parecer simples em teoria mas na prática é bastante complexa, devido à falta de dados com resolução adequada e/ou devido ao facto de que tais dados poderão existir mas não estarem fácil e livremente disponíveis.

De facto, foram dados grandes passos nos últimos anos em resultado de projectos internacionais que produziram conjuntos de dados batimétricos e topográficos em grelha, homogéneos e a nível mundial, tais como o GEBCO (Carta Batimétrica Geral do Oceano, <http://www.gebco.net>) e o SRTM (Missão Topográfica de Radar do Vaivém, <http://srtm.usgs.gov>) com resoluções de 30 segundos de arco e 90m, respectivamente. Esta resolução é suficiente para a escala regional e para a produção de cenários regionais de risco de tsunami (ver Tabela 2) mas não é adequada para a análise local e detalhada requerida nos locais em estudo no SCHEMA.

Assim, cada parceiro recolheu dados topobatimétricos a partir de uma variedade de fontes, em colaboração com a administração local, e compilou conjuntos de dados em grelhas através de procedimentos adequados de interpolação e combinação de dados.

3.3.1 Combinação de dados terrestres e marítimos

Uma complicação adicional deriva da necessidade típica dos estudos de tsunami que apontam para o cálculo de inundações e altura máxima da onda depois do embate na costa. Normalmente, os dados topográficos e batimétricos são recolhidos por diferentes agências e instituições e processadas independentemente, o que tem como consequência não possuírem uma referência ou um zero comuns relativamente à coordenada vertical.

De facto, tradicionalmente, as elevações terrestres são determinadas com base no nível médio da água do mar ao longo de um período longo (de preferência à volta de 18 anos), enquanto que a profundidade do mar nas cartas náuticas é relativa ao datum dessas cartas, definido como um nível abaixo do qual a maré raramente chega, digamos o nível mínimo da maré. É bastante frequente, portanto, que a representação da linha de costa desses conjuntos de dados seja inconsistente. Se apenas nos limitarmos a juntar esses dados, um corte que atravessasse a linha de costa resultará quase sempre numa descontinuidade na passagem do mar para a terra. Por isso, é necessário especial cuidado com o processamento específico e a validação de dados, para criar um conjunto de dados coerente e único na zona costeira, onde a resolução requerida no SCHEMA abrange valores entre 1 e 40m.

Um exemplo da compilação de várias bases de dados para os cenários locais de tsunami é dado nas Figuras 3 e 4, que se referem a Mandelieu, França. Vê-se na Figura 3 que a batimetria resulta da combinação dos dados GEBCO e dos dados adquiridos pelo IFREMER (Instituto Francês de Pesquisa para a Exploração do Mar, 1998 e 2004) e pelo SHOM© (Serviço Hidrográfico e Oceanográfico da Marinha) durante uma série de pesquisas realizadas em alto mar e perto da costa.

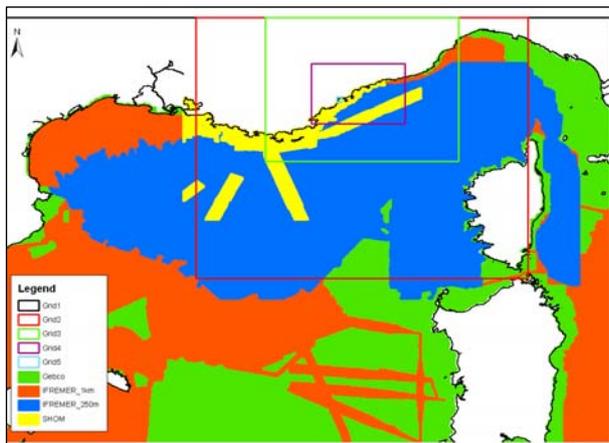


Figura 3: Compilação de dados batimétricos para Mandelieu, pela GSC. Os retângulos representam as fronteiras do sistema multi-grelha criado pela UNIBOL para simulações numéricas.

Um modelo de elevação digital local (DEM) muito preciso foi utilizado para a topografia de Mandelieu. A posição das linhas de costa, que são a fronteira entre o DEM e os dados oceânicos, foi determinada a partir da análise de imagens do Google Earth e validada através de observações de campo (Figura 4). Para além disso, a posição da linha de costa pode ser usada como um ponto de partida para harmonizar os conjuntos de dados em terra e no mar, no processo de criação de uma base de dados topobatimétrica única.



Figura 4: Exemplo de linha de costa detalhada na zona de Mandelieu. A posição da linha de costa foi deduzida da interpretação fotográfica de imagens do Google Earth.

Os DEM foram adquiridos pelos parceiros SCHEMA para todos os locais em estudo. É dado um exemplo na Figura 5 que representa o DEM na região de Varna, Bulgária, utilizado para o local em estudo de Balchik.

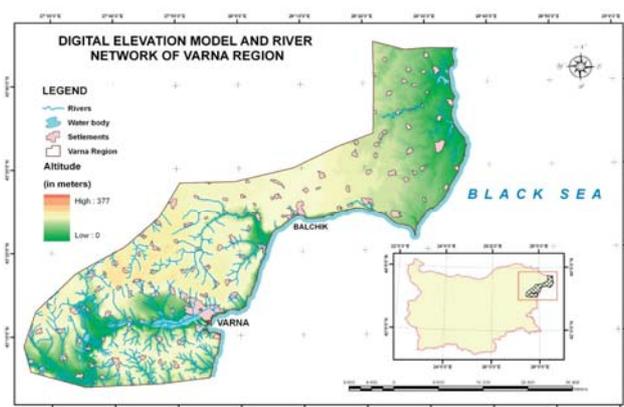


Figura 5: Modelo de Elevação Digital (DEM) da região de Varna, Bulgária, incluindo a cidade de Balchik, seleccionada como um dos locais em estudo do projecto SCHEMA (disponibilizado pela SRI-BAS).

3.3.2 O problema das marés

É trivial observar que a posição da linha de costa varia constantemente com a erosão marítima, actividades humanas e marés. As marés podem rapidamente modificar a posição da linha de costa ao longo do dia, nalguns locais. No tocante aos cenários de tsunami, as marés podem alterar significativamente o nível da inundação produzido pelo tsunami e como tal o impacto do mesmo na costa e as consequências em termos de cenário de danos.

No âmbito do SCHEMA, abordou-se o problema das marés considerando que, para os locais onde as mesmas são fortes, é conveniente elaborar dois cenários locais de tsunami distintos, para as condições de baixa-mar e de preia-mar. Na perspectiva do pior cenário credível adoptado no SCHEMA, no entanto, o cenário de preia-mar é o que está associado ao maior impacto e maior grau de danos esperado.

Assim, se na fase de cálculo dos cenários de risco de tsunami ambos os regimes de maré foram tidos em consideração, na fase seguinte os cenários de danos apenas foram elaborados para as condições de preia-mar.

As marés são bastante fracas no Mediterrâneo e no Mar Negro, portanto não são tão relevantes nos locais em estudo do SCHEMA que se localizam nessas bacias, ao passo que no Oceano Atlântico as marés são já bastante fortes. É dado um exemplo na Figura 6 para a península de Tróia, em Setúbal, Portugal, onde se ilustra a inundação provocada por uma preia-mar com 3.8m.



Figura 6: Diferença entre as linhas de costa de baixa-mar e preia-mar na península de Tróia, em Setúbal, calculadas pela HIDROMOD.

No tocante aos cálculos de tsunamis, a maré assume-se no SCHEMA como um processo estático capaz de alterar o valor de referência do nível do mar e consequentemente o valor das elevações terrestres ou da profundidade do fundo do mar. Noutras palavras, uma vez que se tenha construído uma grelha local para a baixa-mar, a grelha para a preia-mar pode ser obtida simplesmente pela subtracção do mesmo valor fixo aos valores da elevação de todos os nós da grelha.

3.4 Lidar com resoluções diferentes

Os cenários de risco de tsunami podem ser distinguidos entre regionais e locais, conforme referido anteriormente, ou seja, cenários abrangendo a propagação em larga escala do tsunami ao longo de grandes distâncias e cenários abrangendo o impacto de tsunamis em estruturas terrestres, o que é normalmente um processo realizado a uma escala pequena.

A resolução espacial necessária para representar adequadamente a interacção das ondas de tsunami com os elementos locais é regulada pela escala geométrica dos objectos descritos, ao passo que na escala maior ela é ditada pelo comprimento de onda do tsunami ou pela escala das características principais do fundo do mar.

Normalmente, se quisermos descrever a forma como um tsunami interage com um quebra-mar ou como atinge um edifício, necessitaremos de uma grelha com espaçamento de 1 a 10m, ao passo que na grelha de alto mar esse espaçamento poderá ser de 500 a 5000m, para o tratamento da propagação de tsunamis gerados por grandes sismos.

Os modelos numéricos lidam com resoluções diferentes de duas formas: a utilização de uma grelha única não-estruturada com resolução heterogénea ou

um conjunto de grelhas estruturadas interconectadas, com diferentes densidades de nós. Normalmente, a primeira categoria de grelhas é formada por polígonos tais como triângulos de vários tamanhos, utilizados pelos códigos e baseados na técnica de elementos finitos. São usados polígonos mais pequenos para cobrir as áreas do domínio onde é requerida maior resolução. Estes modelos não foram utilizados no projecto SCHEMA.

A segunda categoria cobre o domínio através de uma série de grelhas encaixadas umas às outras, em que a mais grosseira abrange a mais fina. Esta técnica, adoptada pelos modelos de diferença finita, permite o cálculo da propagação de ondas com resolução crescente à medida que a onda passa de uma grelha grosseira para outra mais fina. Através da combinação de uma série de grelhas, pode obter-se o grau desejado de resolução para a zona em estudo.

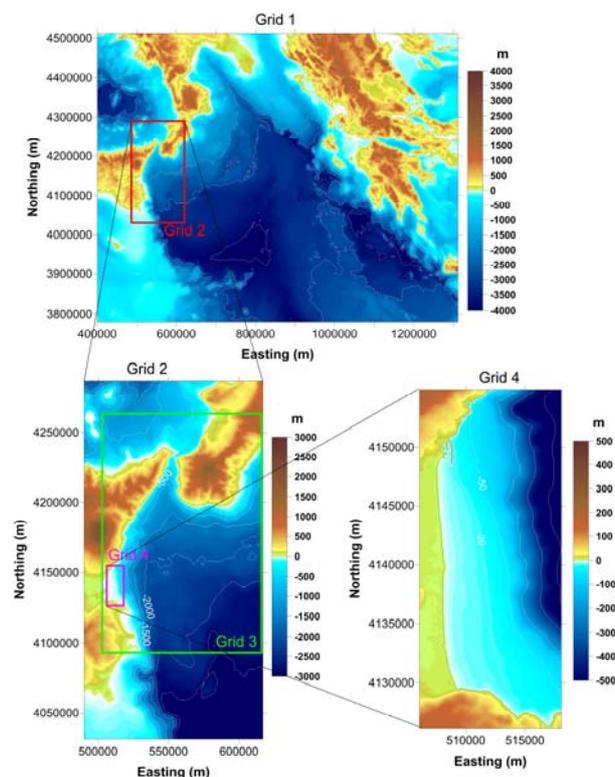


Figura 7: Sistema de quatro grelhas acopladas utilizado pela UNIBOL para cobrir a região do Mediterrâneo Central, desde o Arco Helénico Ocidental (entre o Peloponeso e Creta Ocidental, fonte do sismo e tsunami de 365 D.C.) até à Sicília Oriental, onde se encontra a zona-alvo de Catania.

Tal como referido na secção 4.2, todos os modelos utilizados pelos parceiros SCHEMA usam sistemas de grelhas encaixadas para cobrir o domínio a calcular. Um exemplo dessa acoplagem já foi fornecido na Figura 3, onde é visível que o Mar Mediterrâneo ao largo de Mandelieu está coberto por um conjunto de

cinco grelhas, com a resolução máxima proporcionada por um espaçamento de 8m na grelha 5. Outro exemplo é dado na Figura 7, onde a região entre a fonte do tsunami de 365 D.C. e a cidade de Catania (ver Tabela 3) está coberta por um conjunto de quatro malhas com espaçamento de 3000m para a grelha exterior mais grosseira (grelha 1) e de 40m para a grelha mais fina (grelha 4), cobrindo a cidade de Catania e a praia a Sul, chamada La Plaia, passando pelos passos intermédios de 1000m (grelha 2) e 200 m (grelha 3) (ver Tonini et al., 2011).

3.5 Lidar com incertezas

As incertezas em resultados de cálculos são inevitáveis e dependem de um grande número de factores. No âmbito de cenários de risco de tsunami baseados em piores cenários credíveis, as incertezas são principalmente devidas à selecção das fontes de tsunami e ao cálculo da sua propagação.

As fontes são seleccionadas com base no julgamento pessoal dos peritos; como tal, existe sempre um certo grau de subjectividade envolvido: podem ser seleccionadas fontes adicionais ou as mesmas fontes mas com diferentes níveis de intensidade (maiores ou menores). A propagação depende do modelo assumido de geração de tsunami, da qualidade do modelo de simulação e do conjunto de dados topobatimétricos considerados. Podem ser consultados mais detalhes sobre este último ponto em Gardi et al. (2011).

Os modelos de simulação utilizados pelos parceiros foram validados pela comparação com testes clássicos de referência, tendo sido aplicados a muitos casos de simulação de ondas longas. Apresentam tecnologia de ponta e são fiáveis. Os conjuntos de dados topobatimétricos foram reunidos com grande cuidado mas a exactidão média dos dados é difícil de determinar, sendo ainda mais difícil determinar a dimensão do maior erro possível. De considerar que uma discrepância de alguns metros no fundo do oceano tem pouca influência na propagação do tsunami mas grande importância na zona costeira e em terra, uma vez que pode afectar de forma significativa a extensão da área inundada.

Uma forma conveniente de lidar com as incertezas é a realização de análises de sensibilidade, o que significa alterar alguns parâmetros de entrada de dados do procedimento, realizar cálculos com o novo conjunto de parâmetros e verificar quais as diferenças nos resultados finais. Uma vez que o parâmetro mais relevante é o nível da fonte, a análise foi restringida apenas a este tipo de mudança, de modo a mantê-la simples e económica.

Devido ao facto de as fontes usadas nos locais em estudo no SCHEMA serem essencialmente sismos ou deslizamentos de terras (ver Tabela 3), foram adoptadas duas estratégias diferentes.

Quando o tsunami é causado por um sismo, é sabido que o mesmo desloca inicialmente a água do mar para cima ou para baixo praticamente na mesma proporção em que se move o fundo do mar. Na zona onde o sismo determine um abatimento (ou elevação), o nível do mar desce (ou sobe) e forma uma cava (ou uma crista) na superfície do mar.

O padrão da superfície do mar produzido pelo sismo é conhecido como o estado (ou condição) inicial da onda de tsunami. A alteração do tamanho do sismo significa alterar o tamanho do deslocamento vertical do fundo do mar e portanto a amplitude da onda inicial de tsunami e vice-versa. De modo a realizar a análise de sensibilidade para tsunamis induzidos por sismos, os parceiros SCHEMA consideraram cada fonte de sismo constante da Tabela 3 e aumentaram a amplitude do tsunami inicial em 20%.

O mecanismo de geração de um tsunami motivado por deslizamento de terras é mais complexo do que o de um sismo. O conceito de onda inicial de tsunami não tem significado neste caso porque a geração do tsunami decorre do processo de deslizamento. Pode no entanto notar-se que a amplitude da onda de tsunami é fortemente correlacionada com a espessura dos deslizamentos e, dentro de certos limites, pode ser observada uma dependência linear. Em analogia com o caso de geração de sismos, foi efectuada a análise de sensibilidade com o aumento da espessura do deslizamento no mesmo factor de 20%.

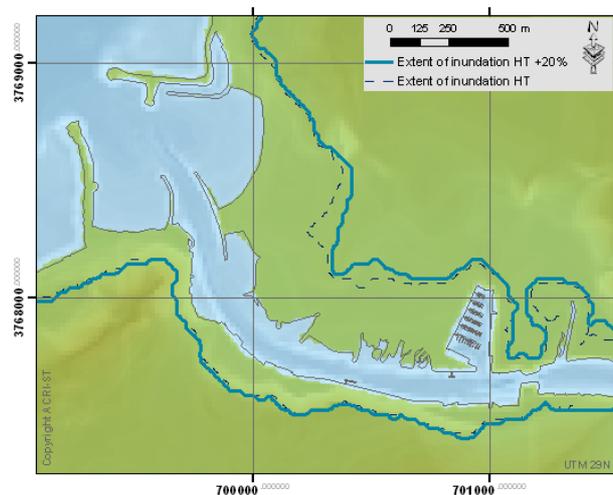


Figura 8: Comparação entre extensões de inundação do cenário local (linha tracejada) e do correspondente cenário aumentado (linha contínua). O exemplo refere-se a Rabat, o cenário baseia-se no sismo de 1755 em Lisboa e é o resultado da colaboração entre a ACRI-ST e a CRTS.

O cenário elaborado com a fonte mais intensa é denominado **cenário aumentado**, ao passo que aquele que possui o tamanho de referência é denominado cenário de referência ou, de forma mais simples, cenário. É óbvio que os efeitos do tsunami na costa serão mais severos para a fonte aumentada: a linha de inundação mover-se-á mais para o interior, a linha de retrocesso mover-se-á mais para fora da costa, as elevações e depressões máximas da superfície do mar serão maiores, etc.

3.6 Cenários regionais de risco de tsunami

Os cenários regionais de risco de tsunami são obtidos através de simulações numéricas e focam-se principalmente nas características de propagação das ondas de tsunami, desde as fontes até às proximidades da zona em estudo. Na Tabela 3 realça-se o que se espera existir num cenário deste tipo, sendo especificado de forma mais detalhada no princípio deste capítulo. Nesta secção, restringimo-nos a fornecer alguns exemplos dos mapas que contribuem para a composição do cenário, retirados dos estudos dos vários parceiros.

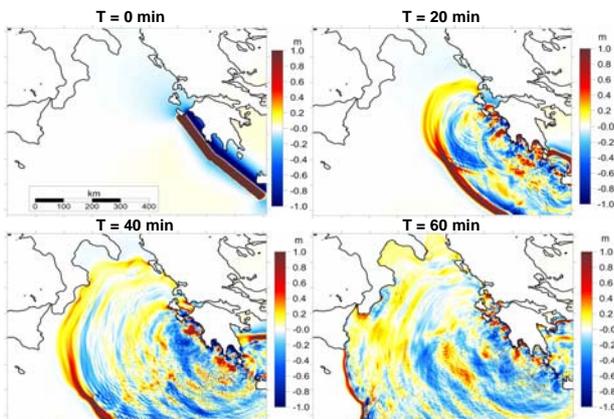


Figura 9: Instantâneos da propagação do tsunami para um dos cenários considerados em Catania, baseado no evento ocorrido em 365 D.C. ao largo de Creta Ocidental, na Grécia, calculado pela UNIBOL.

São apresentados, na Figura 9, instantâneos das frentes de onda de tsunami calculadas. Referem-se ao tsunami provocado por uma fonte na zona de subducção do Arco Helénico Ocidental.

O deslocamento inicial da superfície do mar (canto superior esquerdo) revela que o sistema de falhas consiste em dois segmentos de falha abrangendo um comprimento que excede 400 Km, desde Creta Ocidental até ao Peloponeso Ocidental. A frente principal viaja em direcção a SSW e demora mais de 40 minutos e alcançar a Sicília Oriental e a cidade de Catania (ver Tonini et al., 2011).

Os mapas de tempos de deslocação são outra componente do cenário regional de risco de tsunami. A Figura 10 fornece um exemplo de um mapa desse tipo com a propagação, no Oceano Atlântico, do tsunami provocado pelo colapso do vulcão Cumbre Vieja nas Ilhas Canárias.

Os mapas de tempos de deslocação fornecem o tempo mínimo necessário para que a frente do tsunami alcance uma localização específica. Entre as fontes tidas em consideração (ver Tabela 3) no projecto SCHEMA, as mais remotas em termos de propagação são o deslizamento de terras em La Palma para Rabat, o sismo de Boumerdes-Algiers para Mandelieu e o sismo do Arco Helénico Ocidental para Catania.

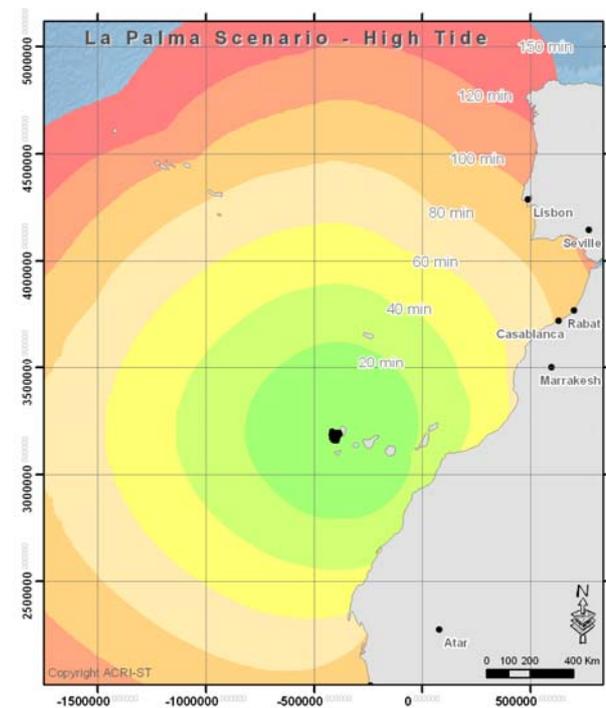


Figura 10: Mapa de tempos de propagação para o cenário associado com o mega-colapso do Cumbre Vieja na ilha de La Palma, elaborado para Rabat pela ACRI-ST. As primeiras ondas do tsunami atingem Rabat decorridos cerca de 90 minutos.

Os mapas com os instantâneos da propagação de tsunami necessitam de ser complementados pelos mapas das elevações máximas e mínimas da superfície do mar induzidas pelo tsunami. Isto é bastante útil, uma vez que permite ter uma ideia imediata do padrão principal seguido pela frente do tsunami e das áreas onde chegará com maior amplitude, portanto com maior energia.

A Figura 11 refere-se ao tsunami associado com a falha Marquês de Pombal, que é uma das fontes seleccionadas para Setúbal. Surge claramente desta figura que a propagação do tsunami não é isotrópica. A maior parte da energia da onda viaja ao longo de

feixes perpendiculares ao eixo da falha (aproximadamente NNE-SSW). Ao irradiarem da fonte, estes feixes são em breve fortemente curvados em direcção ao Cabo de São Vicente, como efeito da batimetria. O aumento do máximo calculado junto à costa é resultado da amplificação bem conhecida que os tsunamis sofrem ao chegar a terra.

3.7 Cenários locais de risco de tsunami

Os cenários locais de risco de tsunami são o passo final da fase de cenário de risco de tsunami e são centrados nos aspectos locais da interacção do tsunami com a costa, com foco nos valores extremos dos campos hidrodinâmicos tais como a elevação máxima da água do mar, máxima velocidade do fluido, etc. que podem servir para caracterizar o impacto do tsunami nos elementos expostos.

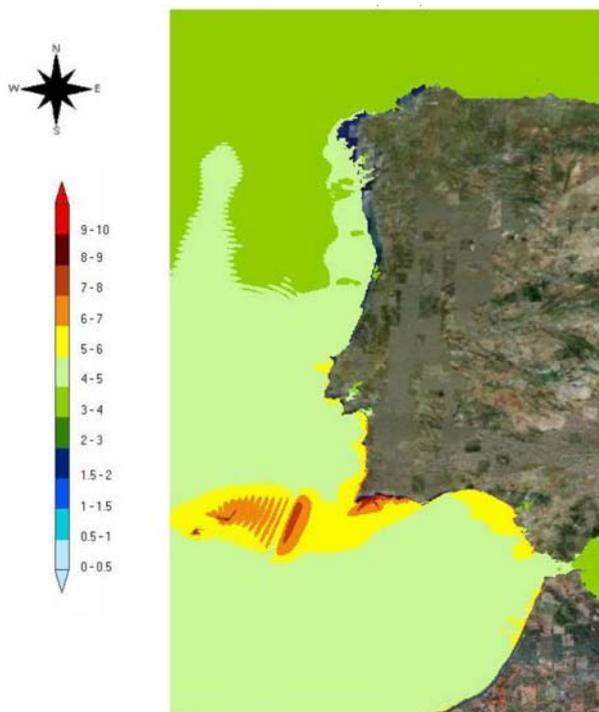


Figura 11: Elevação máxima da superfície do mar (em metros) para o tsunami com origem na falha Marquês de Pombal, analisado para Setúbal à escala regional. Os cálculos foram realizados pela HIDROMOD, com condições iniciais de tsunami fornecidas pela UNIBOL.

Os mapas locais são os mais exigentes em termos de exactidão do conjunto de dados topobatimétricos e da resolução da grelha de cálculo, uma vez que os resultados da simulação do tsunami dependem fortemente da qualidade das grelhas.

O conjunto de Figuras 12 a 14 apresenta os campos de elevação máxima e mínima da água do mar, bem

como a velocidade máxima da corrente para Rabat, calculados para o cenário associado com o sismo de 1755 nas condições de preia-mar (2.97m acima do nível mínimo). É interessante verificar que o tsunami penetra profundamente no rio Bouregreg, separando as cidades de Rabat (na margem SW) e Salé (na margem NE), mesmo que a foz do rio esteja protegida por um complexo de quebra-mares.

A penetração de tsunamis em rios é uma característica comum da dinâmica de tsunamis, portanto muitas vezes os elementos e pessoas situados nas margens dos rios estão tão expostos à ameaça do tsunami como aqueles localizados em zonas costeiras marítimas.

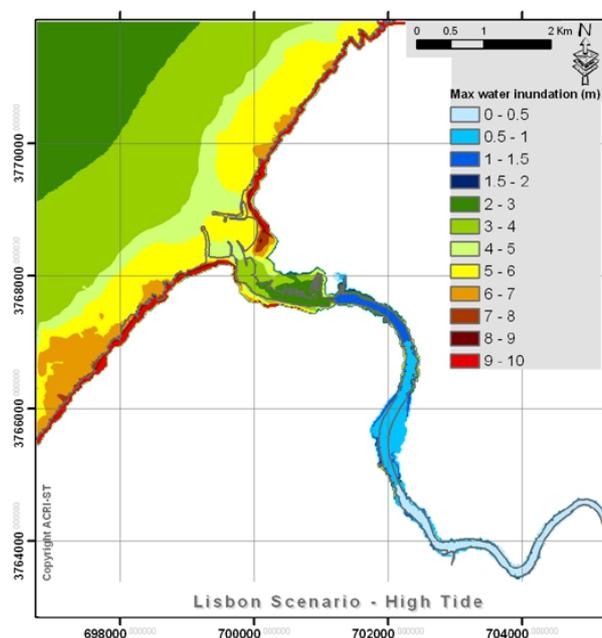


Figura 12: Elevação máxima da superfície do mar em Rabat, para o cenário do sismo de 1755 em Lisboa, calculado pela ACRI-ST.

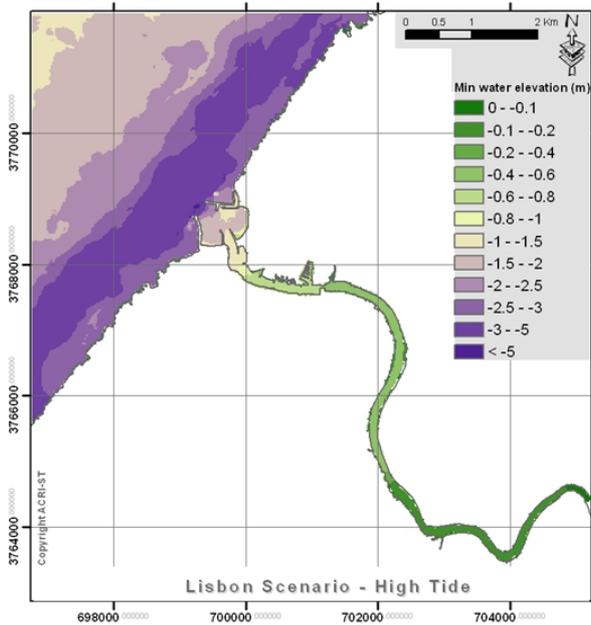


Figura 13: Elevação mínima da superfície do mar em Rabat para o cenário do sismo de 1755 em Lisboa, calculada pela ACRI-ST.

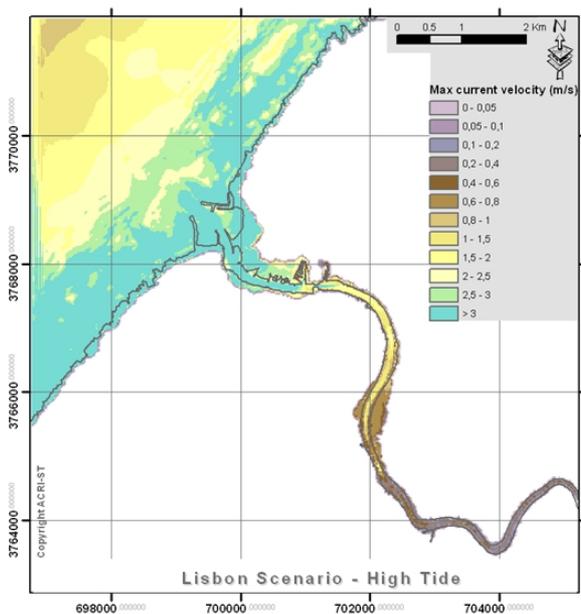


Figura 14: Velocidade máxima da corrente em Rabat para o cenário do sismo de 1755 em Lisboa, calculada pela ACRI-ST.

3.8 Cenários combinados

Quando se aplica a abordagem de pior cenário credível à avaliação de risco de tsunami, um passo fundamental é a combinação dos resultados obtidos para as fontes individuais de tsunami. O resultado da combinação é o cenário combinado, consistindo o processo na selecção, para cada posição do mapa, do

valor extremo (máximo e mínimo) calculado para os casos individuais, tal como explicado no capítulo 3.

Um exemplo da combinação é dado na Figura 15, referindo-se a Catania e apresentando o campo obtido pela combinação da elevação máxima do mar calculada para os cinco cenários examinados neste local de estudo (ver Tabela 3 e Tonini et al., 2011).

A linha de inundação é a fronteira da extensão máxima da inundação. De notar que muitas vezes o mapa combinado é dominado por um caso individual que em cada ponto do mapa atinge o valor máximo ou mínimo. Isto sucede por exemplo em Rabat, onde o cenário do tsunami de 1755 é de longe o mais severo, relativamente aos outros considerados. Como consequência, as Figuras 12 a 14 constituem exemplos adicionais de mapas de cenários combinados.

4 Cenários de danos causados por um tsunami

Os cenários de danos de tsunami descrevem, à escala local, as possíveis consequências de danos do tsunami tal como foram dadas nos cenários de risco de tsunami referidos na secção anterior. Relativamente à metodologia básica esquematizada na Figura 1, verifica-se que esta é a última fase da análise e que deve ser precedida da análise de vulnerabilidade.

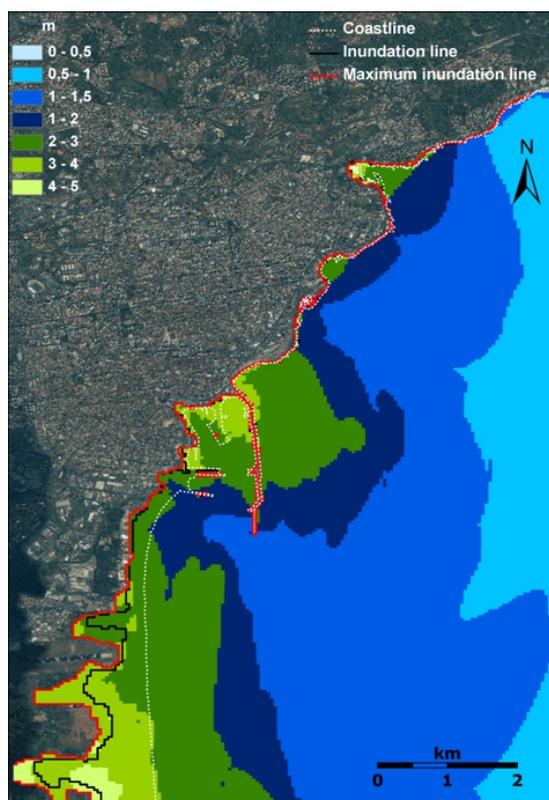


Figura 15: Mapa combinado da elevação máxima da superfície do mar, calculada pela UNIBOL para Catania. São mostradas em simultâneo, para comparação, as linhas de inundação do cenário combinado (a preto) e do cenário combinado aumentado (a vermelho).

A primeira parte deste capítulo é dedicada a realçar como pode ser avaliada a vulnerabilidade dos elementos expostos ao tsunami e como o nível de danos pode ser formalmente relacionado com o nível de risco, ao passo que a segunda parte foca-se na forma como os cenários de danos de tsunami são construídos. Em analogia com a definição de cenário de risco de tsunami, mesmo para um cenário de danos poderemos afirmar que ele consiste numa série de mapas específicos onde são mapeados os elementos expostos da zona em estudo afectados pelas ondas e

pelos efeitos da inundação, com indicação do respectivo nível de danos, sejam qualitativamente estimados ou quantitativamente calculados. Estes mapas podem ser produzidos com base apenas num cenário de risco de tsunami ou num cenário combinado resultante da combinação de todos os casos individuais. Nesta abordagem atribuiu-se mais importância à análise feita a partir do cenário combinado e, se não forem consideradas mais especificações, é isto que significa **cenário de danos de tsunami**.

O passo seguinte é a construção de mapas de evacuação, que apenas poderão estar compilados após a análise do cenário de danos estar completa. Existe um manual específico, publicação semelhante a esta, dedicada inteiramente aos métodos para a criação de mapas de evacuação e a definição de estratégias de evacuação capazes de garantir a resposta mais apropriada em caso de tsunami (Scheer et al., 2010). Devido a isso, o assunto apenas será abordado brevemente no final deste capítulo.

4.1 Avaliação da vulnerabilidade

Objectos ou elementos expostos ao impacto do tsunami são diversos e pertencentes a diferentes categorias. A maior parte dos esforços do projecto SCHEMA foi dedicada à avaliação da vulnerabilidade dos edifícios. Os tsunamis podem causar danos em edifícios, dependendo de vários factores que podem ser sintetizados da seguinte forma:

- A resistência intrínseca das construções, devido às suas características estruturais;
- A proximidade de edifícios relativamente à linha de costa;
- A altura da onda que afecta os edifícios;
- O ambiente envolvente dos edifícios.

As acções mecânicas directas que podem afectar a resistência dos edifícios e levar mesmo ao seu colapso total são, de acordo com Yeh et al. (2005):

- Forças hidroestáticas;
- Forças flutuantes (verticais);
- Forças hidrodinâmicas;
- Forças súbitas;
- Impacto de objectos e detritos flutuantes e a pressão exercida por esses objectos;

- Forças de rebentação das ondas.

A esta descrição básica pode ainda adicionar-se:

- O número total de ondas e eventos de retrocesso que atinjam o edifício;
- A duração da inundação.

Muito poucos destes factores poderão ser encontrados com facilidade no campo e descritos à escala de cada edifício, ao longo da grande área que fica sujeita à inundação sob a acção de um tsunami. Isto proporciona justificação para uma abordagem redutora, considerando apenas um sub-conjunto desses factores ou mesmo uma dimensão única e mensurável do tsunami.

Na maior parte dos métodos existentes, os danos directos causados a determinado edifício são definidos apenas como função da profundidade do fluxo, que é a altura da coluna de água que o atinge, considerando que os edifícios devem ser diferenciados de acordo com a sua capacidade estrutural de resistência. Noutras palavras, o nível de danos dos edifícios depende do seu tipo e da profundidade da inundação.

A primeira abordagem deste tipo foi proposta por Shuto (1993), tendo sido recuperada por vários autores mais recentemente. Concretamente, a aplicação do método necessita de uma série de pré-requisitos tais como:

- Uma tipologia padrão de edifícios;
- Uma escala padrão de danos;
- Uma função de danos para cada tipo de edifício, relativa à profundidade do fluxo;
- Um inventário dos edifícios.

O primeiro passo consiste na adopção da descrição de tipos de edifício padrão, para qualificar todas ou quase todas as construções costeiras expostas ao risco de tsunami.

Depois do tsunami de 26 de Dezembro de 2004, vários autores (Leone et al., 2006 e 2010; Garcin et al., 2007; Reese et al., 2007) propuseram tipologias de edifícios de modo a elaborar funções de vulnerabilidade. A tipologia de edifício proposta nesta publicação deriva principalmente de Leone et al. (2006) mas foi completada e alargada, de modo a incluir o tipo de construções que se pode encontrar nos cinco locais em estudo pelo SCHEMA.

Foram definidas quatro classes de edifícios (dividas em sub-classes) com base nas suas características de resistência estrutural, tal como indicado na Tabela 5:

- I. Construções ligeiras;
- II. Construções de alvenaria sem betão armado;

- III. Construções de betão armado;
- IV. Outras construções.

Tabela 4: Tipologia de edifícios com base na capacidade de resistência das construções.

| Classe | | Tipo de edifício | Número de pisos |
|-------------------------------|----|---|---------------------|
| I. Ligeiros | A1 | Construção ligeira de praia ou frente marítima em <i>madeira e barro</i> | 0 ou 1, raramente 2 |
| | A2 | Construções muito ligeiras sem design. Cabanas construídas em <i>madeira, barro e cobertura em zinco</i> | Apenas 1 |
| II. Alvenaria e betão simples | B1 | <i>Tijolo não reforçado, cimento, paredes de argamassa, pedra aparelhada e alvenaria</i> | 1 ou 2 |
| | B2 | Construções ligeiras e muito concentradas: <i>madeira e materiais argilosos</i> | 1 ou 2 |
| | C1 | Edifícios individuais, moradias: <i>tijolo com colunas reforçadas e preenchimento com alvenaria</i> | 1 ou 2 |
| | C2 | Edifícios com paredes executadas em <i>pedra de lava</i> , normalmente de formato ortogonal, alternando com <i>tijolos de barro</i> | 1 ou 2 |
| | D | Moradias e edifícios colectivos, residenciais ou comerciais: <i>betão simples</i> | 1 a 3 |
| III. Betão armado | E1 | Estruturas residenciais ou colectivas, escritórios, estacionamentos, escolas: <i>betão armado, estrutura metálica</i> | 0 a 3 |
| | E2 | Estruturas residenciais ou colectivas, escritórios, estacionamentos, escolas, prédios: <i>betão armado, estrutura metálica</i> | > 3 |
| IV. Outros | F | Edifícios portuários e industriais, hangares: <i>betão armado, estrutura metálica</i> | Indiferenciado |
| | G | Administrativos, históricos, religiosos, outros | Indiferenciado |

O nível de danos em edifícios pode ser classificado através de uma escala qualitativa descrevendo uma severidade crescente, desde “sem danos” até “colapso total”. Foi adoptada pelo SCHEMA uma escala de 6 graus, de acordo com a proposta de Leone et al. (2010), Peiris (2007) e Garcin et al. (2007), indicada na Tabela 6. É igualmente sugerida a possível utilização

do edifício no período imediatamente posterior ao desastre (ver coluna 3), bem como a expectativa de eficácia das técnicas de observação por satélite relativamente à detecção e avaliação do nível de danos (ver a quarta coluna).

| Nível de danos | Danos na estrutura | Utilização como abrigo / Utilização pós-crise | Detecção por observação via satélite |
|--------------------------------|---|--|---|
| D0 Sem danos | Sem danos significativos. | Abrigo / ocupação imediata. | Sem sinal de danos visíveis nos edifícios e na envolvente. A ausência de danos não pode ser provada apenas pelas imagens tiradas do espaço. |
| D1 Danos ligeiros | Sem danos estruturais – danos menores, reparáveis: <i>destacamento de estuque, fissuração ligeira, danos em portas e janelas.</i> | Abrigo / ocupação imediata. | Quase imperceptível. |
| D2 Danos importantes | Danos importantes mas não estruturais: <i>deslocamento ou colapso de paredes ou painéis sem comprometer a integridade estrutural, deixando as fundações parcialmente expostas.</i> | Evacuação / Não adequado para ocupação imediata, adequado após reparações. | Danos na cobertura pouco visíveis. Outros danos não visíveis. |
| D3 Danos graves | Danos estruturais que podem afectar a estabilidade do edifício: <i>deslocamento ou colapso de alvenaria, colapso parcial de pisos, fissuração grave e colapso de secções da estrutura devido a assentamentos.</i> | Evacuação / Demolição requerida, uma vez que é inadequado para ocupação. | Danos não visíveis ou pouco visíveis, se as coberturas não tiverem sido removidas. |
| D4 Colapso parcial | Danos graves que comprometem a integridade estrutural, colapso parcial do edifício. | Evacuação / Demolição total requerida. | Visível. |
| D5 Colapso | Colapso total: <i>fundações e lajes visíveis e expostas</i> | Evacuação. | Bastante visível. |

Tabela 5: Escala do nível de danos em edifícios



Figura 16: Exemplos de danos estruturais em edifícios, de acordo com a escala proposta na Tabela 6.

A Figura 16 ilustra a escala de danos proposta na Tabela 6, que classifica os danos estruturais em

edifícios na província de Banda Aceh (Sumatra) depois do tsunami de 2004. As fotos mostradas na Figura 16 referem-se aos efeitos do tsunami desastroso de 2004 no Oceano Índico (fontes: Leone et al. 2010, Peiris 2006 e Garcin et al. 2007).

4.2 Funções e matriz de danos

Uma abordagem desenvolvida para a determinação da vulnerabilidade de um edifício consiste em derivar funções de danos empíricas a partir de observações de campo (Ruangrassamee et al., 2006; Leone et al., 2006; Peiris, 2006; Reese et al., 2007). O nível de danos deve ser ligado à única dimensão fiável e uniforme da magnitude do tsunami que pode ser observada ou medida depois da sua ocorrência: a profundidade máxima do fluxo.

As funções de danos propostas para os edifícios foram elaboradas a partir de uma base de dados compilada na zona sudoeste de Banda Aceh (Sumatra, Indonésia) que foi atingida pelo tsunami do Oceano Índico em 2004. Elas referem-se apenas às classes de edifícios A, B, C, D e E1 que puderam ser verificadas na área estudada por pesquisa de campo e interpretação de fotos. Infelizmente, a falta de amostras relativas às classes de edifícios E2, F e G na base de dados de Banda Aceh não permitiu o cálculo das leis empíricas dos danos médios.

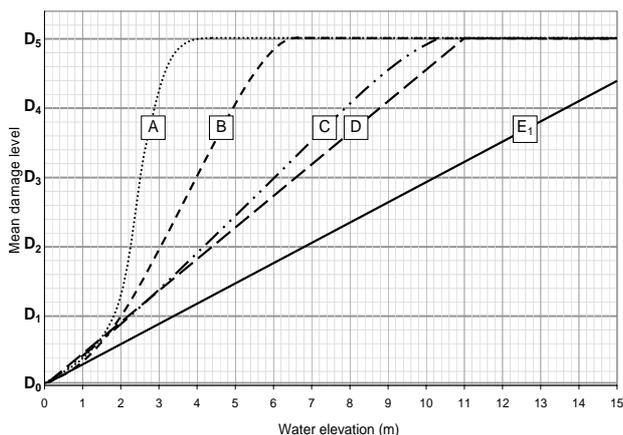


Figura 17: Funções de danos para as classes de edifícios A, B, C, D e E1, calculadas a partir das observações de campo recolhidas após o tsunami do Oceano Índico ocorrido em 26 de Dezembro de 2004, desenvolvidas durante o projecto SCHEMA pela GSC.

As funções de danos foram desenvolvidas a partir de observações reais do nível médio de danos medido e da profundidade máxima de fluxo observada na zona de Banda Aceh. A função resultante é uma curva envelope que reflecte o nível máximo de danos esperado (de acordo com a escala da Tabela 6) pela correspondência de um dado valor da profundidade máxima do fluxo induzida pelo tsunami.

Para todas as curvas, os danos aumentam com a profundidade do fluxo. A saturação das curvas no nível D5, significando colapso total, ocorre para a classe A (construções leves) com profundidade de fluxo muito menor do que para a classe E (betão armado): cerca de 4m, contra mais de 15m. A Figura 17 mostra essas curvas desenhadas em conjunto, para melhor comparação. Pode ser encontrada uma descrição detalhada do método e funções de danos actualizadas em Valencia et al. (2011).

Uma vez que as funções de danos acima indicadas traduzem a relação entre uma variável contínua (profundidade do fluxo) e uma variável descritora (nível de danos), resulta de forma natural que cada nível de danos esteja associado a um intervalo de

valores de profundidade de fluxo. Tendo esta consideração em mente, o conjunto de curvas desenhado na Figura 17 pode ser transformado numa matriz, intitulada **matriz de danos**, mostrada na Tabela 6.

As entradas foram fixadas de modo a levar em conta os piores cenários. O nível de danos D0 corresponde apenas às áreas não inundadas; por outras palavras, às áreas onde o nível da água é igual a zero. Acima de 0m, existe a possibilidade de os edifícios sofrerem pelo menos danos ligeiros. A partir da Tabela 6 é visível que um tsunami com profundidade de fluxo de 12.5m provocará o colapso total de todas as construções abaixo da categoria E1 que estejam no seu caminho.

Tabela 6: Matriz de danos adoptada no projecto SCHEMA. Valores da profundidade de fluxo indicados em metros.

| Nível de danos | Valores mais baixos e mais altos da profundidade de fluxo (m) para cada tipologia de edifício | | | | |
|------------------------------|---|--------|----------|------------|-------------|
| | A | B | C | D | E1 |
| D0: Sem danos | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| D1: Danos ligeiros | 0 1.8 | 0 2 | 0 2.5 | 0 2 | 0 3 |
| D2: Danos importantes | 1.8 2.2 | 2 3 | 2.5 4 | 2 4.5 | 3 6 |
| D3: Danos graves | 2.2 2.6 | 3 4 | 4 6 | 4.5 6.5 | 6 9.5 |
| D4: Colapso parcial | 2.6 3.8 | 4 5 | 6 8 | 6.5 9 | 9.5 12.5 |
| D5: Colapso total | > 3.8 | > 5 | > 8 | > 9 | > 12.5 |

4.3 Criação de inventário de edifícios para cenários de tsunami

A **tipologia padrão de edifícios** (Tabela 4), a **escala padrão de danos** (Tabela 5) e a **matriz padrão de danos** (Tabela 6) são três dos quatro pré-requisitos listados na primeira secção deste capítulo, necessárias para a criação de cenários de danos de tsunami.

A criação de um inventário de edifícios é uma tarefa exigente, que pode beneficiar grandemente da colaboração da administração local e da consulta de bases de dados ou arquivos cadastrais públicos.

Muitas vezes, essas bases de dados são fornecidas sob a forma de camadas temáticas de arquivos GIS produzidos, mantidos e distribuídos por instituições

públicas ou agências com responsabilidades na informação e mapeamento territoriais. Contudo, os dados de arquivos públicos, se estiverem disponíveis, são muitas vezes insuficientes, uma vez que vários dos parâmetros necessários para a caracterização dos edifícios quanto à vulnerabilidade a tsunamis podem não ser encontrados, sendo então necessárias actividades específicas de aquisição de dados.

Em todos os locais em estudo no projecto SCHEMA foi dado grande cuidado na criação de uma base de dados de edifícios adequada, com o objectivo de alocar classes de vulnerabilidade a cada construção através da interpretação de fotos, de acordo com a tipologia de edifícios adoptada (ver Tabela 4).

A análise deverá ser restringida à zona costeira e, em princípio, deve ser conduzida apenas dentro da área de inundação. No entanto, uma vez que a extensão máxima da inundação só pode ser conhecida no final da fase de cenário de risco de tsunami, este estudo pode ser desenvolvido numa área maior, correspondente à área máxima de inundação expectável, com base na estimativa grosseira da altura local do tsunami.

Todos os dados possíveis devem ser usados para elaborar o inventário de edifícios numa abordagem responsável, complementando as bases de dados públicas disponíveis com imagens de satélite e pesquisas de campo. A interpretação de imagens de satélite é uma ferramenta poderosa para a classificação massiva de muitas construções mas necessita de validação no terreno.

A Figura 18 é um exemplo retirado do estudo em Mandelieu, pela GSC: o mesmo edifício, atribuído à classe B, visto do solo e identificado numa imagem de satélite que permite atribuir a mesma classe a outras construções na envolvente que tenham o mesmo aspecto ou sejam parecidas.

No conjunto de figuras 19 a 21, são mostrados mapas da distribuição dos tipos de construção para Rabat, Mandelieu e Balchik, para ilustrar os resultados obtidos ao nível local. A padronização da paleta para os símbolos gráficos (círculos coloridos) identificando as classes de edifícios favorece a comparação entre os vários locais em estudo.

Realça-se que, na criação do inventário de edifícios, o objectivo principal é a classificação de cada construção existente na zona costeira exposta. No entanto, no caso de densidades muito grandes de edifícios, como é o caso do centro de Rabat, a análise individual de edifícios é muito difícil e poderá não se revelar muito útil, podendo ser aplicada a conjuntos caracterizados por edifícios do mesmo tipo. A densidade de edifícios dentro de cada conjunto depende das condições arquitectónicas urbanas.



Figura 18: Classificação de um edifício a partir de uma imagem de satélite do Google Earth (em baixo), validada por foto tirada durante uma pesquisa de campo (em cima) levada a cabo pela GSC em Mandelieu.



Figura 19: Mapa da tipologia de edifícios na costa e margens do rio em Rabat. Trabalho realizado pela CRTS. Copyright de imagem da Quickbird, 2008-09-28, res: 0.63m.

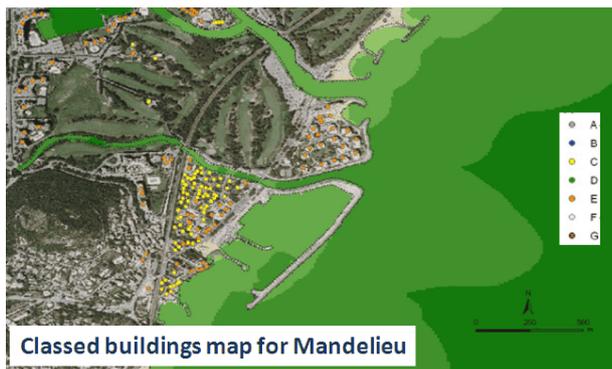


Figura 20: Distribuição da tipologia de edifícios em Mandelieu, mapeada pela GSC.



Figura 21: Distribuição da tipologia de edifícios para o porto de Balchik, mapeada pela SRI-BAS.

4.4 Inventários de outros objectos relevantes

Para além dos edifícios e outras construções, existem outros objectos que contribuem para os efeitos danosos de um tsunami. Alguns são relevantes por aumentarem as consequências de um tsunami nos edifícios mas outros são-no devido à sua vulnerabilidade ou porque a sua indisponibilidade total ou parcial devido ao tsunami pode ter fortes impactos negativos na capacidade de resposta de curto prazo (busca e salvamento) ou na capacidade de resiliência da população afectada a longo prazo.

No primeiro caso, podem incluir-se todos os objectos que sejam facilmente levados pela corrente na forma de detritos flutuantes, o que aumenta de forma significativa a capacidade destrutiva dos tsunamis. Os detritos potenciais têm sido identificados como veículos em terra (motas, automóveis e mesmo camiões, semi-reboques e autocarros), bem como barcos e navios que estavam no mar. As principais fontes destes objectos são estradas com tráfego denso e parques de estacionamento na proximidade do mar e de marinas.

Uma vez que alguns destes objectos têm grande valor económico por si mesmos, podem ser incluídos na segunda categoria de objectos mencionada

anteriormente. Os objectos da terceira categoria são tipicamente infra-estruturas (cabos eléctricos, telecomunicações, tubagens de água, esgotos e gás), infra-estruturas da protecção civil (serviços de bombeiros, hospitais e centros médicos de emergência) e redes de transportes, incluindo aeroportos, portos marítimos, estações ferroviárias e rodoviárias, bem como elementos de infra-estruturas importantes tais como pontes.

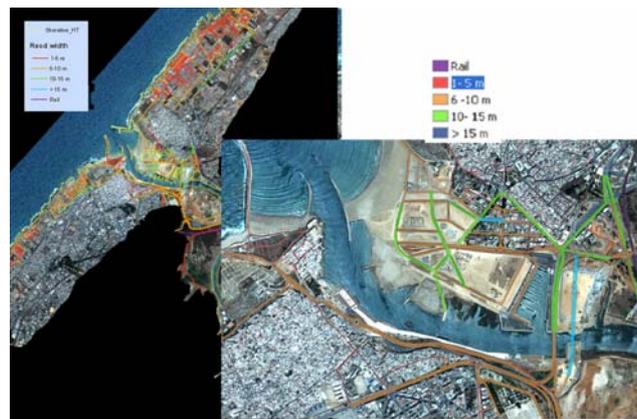


Figura 22: Classificação de estradas baseada na largura da faixa de rodagem, na cintura junto à costa e nas margens do rio Bouregreg, em Rabat (CRTS). Copyright de imagem da Quickbird, 2008-09-28, res: 0.63m.

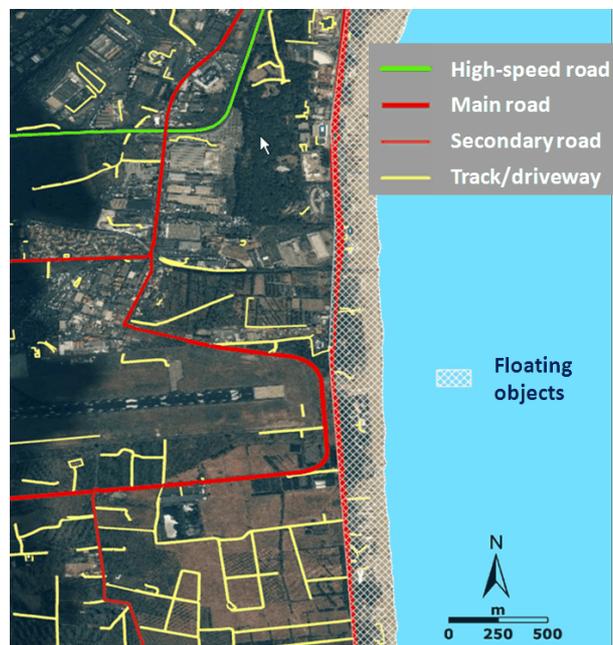


Figura 23: Classificação de estradas baseada na relevância das mesmas na cintura costeira de La Plaia, a Sul de Catania. São mostradas igualmente as áreas com potencial de fonte de objectos flutuantes, tais como construções ligeiras de madeira (UNIBOL).

Uma avaliação quantitativa dos danos infringidos a estes objectos adicionais é bastante complexa e não

foi abordada no projecto SCHEMA. No entanto, os parceiros, juntamente com os utilizadores finais, identificaram os elementos críticos e criaram mapas temáticos para serem adicionados aos mapas de classificação de edifícios. Em todos os locais estudados, foi considerada de grande interesse a rede de estradas, classificadas de acordo com a sua largura e relevância (desde caminhos de terra até vias rápidas e auto-estradas).

Nas figuras 22 e 23 são dados exemplos da classificação de estradas na proximidade de zonas potencialmente inundáveis, respectivamente relativos a Rabat e a Catania.

4.5 Mapas de danos causados por um tsunami

Os mapas de danos são os elementos básicos de um cenário de danos. Apenas podem ser criados depois de o cenário de risco e a análise de vulnerabilidade estarem concluídos, uma vez que estes fornecem os dados básicos, conforme esquema da Figura 1.

Através da combinação dos campos combinados de profundidade de fluxo resultantes dos cenários de risco de tsunami com a distribuição dos edifícios proveniente do inventário e fazendo uso da matriz de danos, é possível estimar o nível de danos em cada edifício, produzido pelo pior cenário combinado credível. Este procedimento foi aplicado não apenas aos cenários combinados mas também aos cenários aumentados (com fontes aumentadas), de modo a explorar a forma como os resultados são sensíveis às mudanças nas fontes. Para além disso, este tipo de análise foi igualmente efectuada aos cenários individuais.

Note-se que, de um ponto de vista lógico, os cenários podem ser vistos como camadas temáticas de um GIS, sendo o cenário combinado uma nova camada que resulta da selecção, em cada ponto, do pior caso. Por outro lado, os mapas resultantes da análise de vulnerabilidade (distribuição de edifícios, redes de estradas, etc.) podem ser incluídos numa base de dados GIS sob a forma de camadas específicas.

O cruzamento de camadas de profundidade de fluxo com camadas de edifícios através da filtragem da matriz de danos, de modo a avaliar os danos em cada edifício, é uma operação que pode ser realizada automaticamente num ambiente GIS, desde que as ferramentas de cálculo específicas tenham sido desenvolvidas. Esta operação foi realizada em todos os locais estudados pelo SCHEMA.

As figuras seguintes mostram alguns dos resultados do projecto. A Figura 24 mostra o cenário de danos na foz do rio Bouregreg (Rabat). O cenário combinado

coincide com o cenário associado à fonte do sismo de 1755 (aumentado e em condições de preia-mar). De notar que muitas construções em zonas pouco elevadas ficam severamente danificadas ou destruídas.

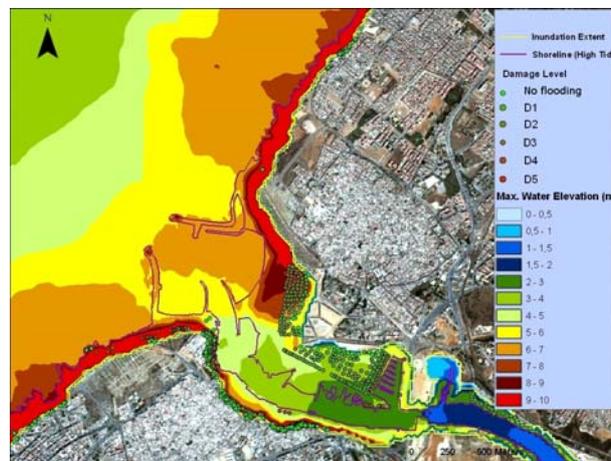


Figura 24: Ampliação do cenário de danos na foz do rio Bouregreg, resultante da colaboração entre a ACRI-ST e a CRTS. Copyright de imagem da Quickbird, 2008-09-28, res: 0.63m.

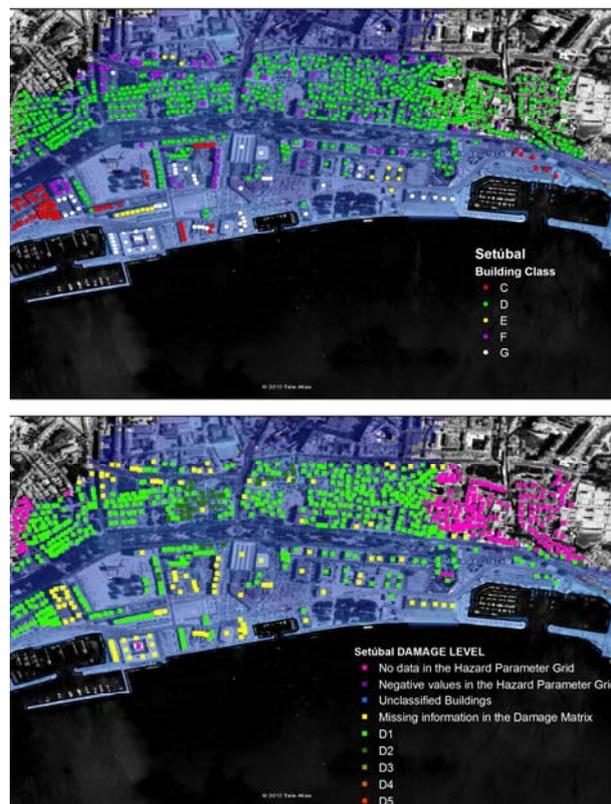


Figura 25: Distribuição da tipologia de edifícios (em cima) e cenário de danos (em baixo) para Setúbal, calculada pela HIDROMOD. De notar que o nível D0 é atribuído mesmo aos edifícios cujas classes (F e G) não permitem a estimativa de danos através da matriz de danos do SCHEMA.

A Figura 25 mostra a distribuição de edifícios (em cima), bem como o cenário de danos (em baixo) para Setúbal. O cenário de danos é associado com o sismo de 1755 em condições de praia-mar. É visível que o tsunami penetra uma grande distância na cidade, com profundidade de fluxo substancial, causando danos severos (D3-D4) a muitos edifícios. Vale a pena observar a existência de construções pertencentes às classes F e G para as quais não foi elaborada curva de fragilidade no SCHEMA; por essa razão, não está disponível qualquer entrada na matriz de danos. A consequência deste facto é a impossibilidade de determinar os danos para estes edifícios.

A Figura 26 ilustra o cenário de danos calculado para a zona a Sul da cidade de Catania, chamada La Plaia (uma atracção turística famosa, graças à sua magnífica praia). De acordo com os estudos da UNIBOL, o cenário combinado é dominado pelo cenário baseado no sismo de 365 D.C. no Arco Helénico ocidental e pelo cenário criado da combinação do sismo de 1908 com um deslizamento de terras. O terreno nesta zona é bastante plano e o tsunami deste cenário penetra uma longa distância no interior.

A maior parte das construções da praia, que são predominantemente instalações temporárias para turistas, são danificadas pelo tsunami.

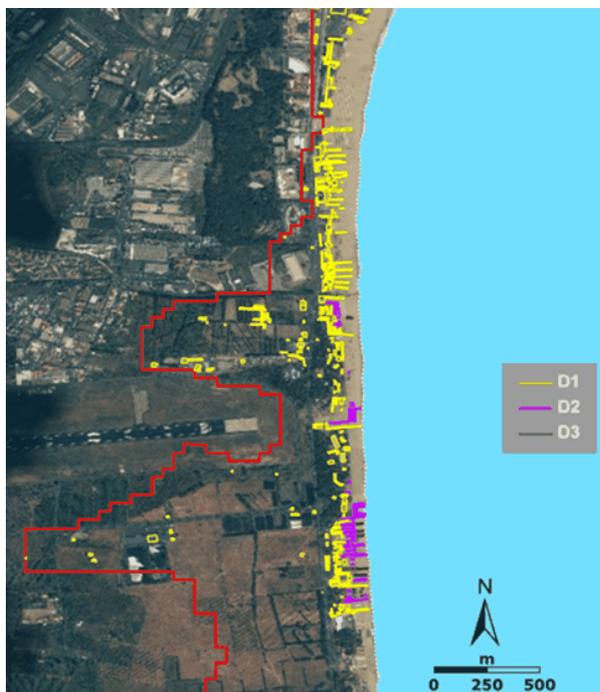


Figura 26: Cenário combinado de danos para La Plaia, a Sul de Catania, calculado pela UNIBOL para fontes aumentadas. A maior parte das construções de praia são danificadas mas a profundidade do fluxo é demasiado baixa para causar o seu colapso.

A Figura 27 apresenta dois cenários de danos distintos para os dois sismos seleccionados para Balchik. Uma vez que a caracterização da tectónica local é pobre, as duas fontes representam na prática duas hipóteses de falha para a mesma fonte de sismo, diferindo apenas no ângulo da falha: 40° e 90°. Os cenários correspondentes são representados respectivamente nas imagens de cima e de baixo. Apesar de o segundo tsunami ser bastante mais forte do que o primeiro, o cenário de danos não difere muito de um para o outro. O impacto do tsunami aparenta ser fraco e apenas algumas construções da frente marítima são ligeiramente danificadas.

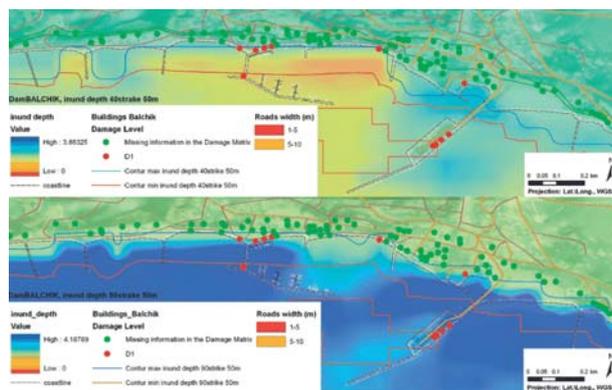


Figura 27: Cenários de danos calculados para Balchik pela SRI-BAS e pela NOA-GI, para sismos com falhas de 40° (em cima) e 90° (em baixo).

De realçar que, para a criação de mapas de danos, foi desenvolvido um pacote de *software* (DamASCHE) como módulo para o ArcGIS. Este módulo requer três tipos de dados: uma camada com os parâmetros de risco, outra camada de pontos representativos da localização dos edifícios, com um ficheiro contendo informação da sua classe de vulnerabilidade (A, B, C ou D) e a matriz de danos. A ferramenta DamASCHE sobrepõe as diferentes camadas de dados e fornece o nível estimado de danos para cada edifício, como função da sua classe e profundidade de fluxo prevista para a sua localização.

4.6 Mapeamento de outros factores de danos

Os inventários e os mapas de danos esperados em edifícios não são os únicos elementos caracterizadores dos cenários de danos; outros factores podem influir nessa caracterização. A produção de cenários de danos de tsunami implica a combinação de dados de cenários de risco não apenas com critérios de vulnerabilidade quanto aos edifícios mas também com critérios quanto aos elementos expostos referidos na secção 4.4, relativos à população sistemática

(residentes, trabalhadores) ou ocasional (turistas) no caso das zonas costeiras afectadas por tsunamis.

O nível esperado de danos pode ser aumentado por vários factores secundários que afectam os edifícios. Um desses factores é o volume de detritos flutuantes, tendo sido identificadas como fontes principais desses detritos os estacionamento e marinas, a partir dos quais o tsunami pode elevar automóveis e embarcações e arrastá-los violentamente contra paredes e pilares de edifícios, ou mesmo contra o topo dos telhados.

A Figura 28 mostra as áreas reservadas para estacionamento e as marinas com embarcações acostadas que se situam dentro da área inundada pelo tsunami associado com o cenário de 1755 para Setúbal. Apenas é facultada informação sem mais detalhe, uma vez que não há forma quantitativa de ligar a presença de fontes de detritos aos níveis de danos em edifícios. Apenas se pode afirmar que os danos poderão ser maiores ou, noutras palavras, que os cálculos realizados apenas com a matriz de danos podem levar a subestimar os danos nalguns casos.



Figura 28: Marinas e locais de estacionamento identificados em Setúbal, dentro da área de inundação para o cenário de risco de tsunami (HIDROMOD).



Figura 29: Mapa de obstáculos e acessibilidades para Mandelieu (GSC). Escadas, túneis pedonais sob a linha férrea e muralhas ao longo de toda a praia serão obstáculos ou pontos críticos em caso de evacuação.

O mapeamento da rede de estradas e de obstáculos potenciais proporciona uma vista imediata das

interrupções locais e problemas que podem ser encontrados em caso de evacuação ou acessibilidade à zona afectada. A Figura 29 mostra o mapa de obstáculos e rede viária em Mandelieu.

O cenário de risco de tsunami para o sismo de Boumerdes-Argélia em Mandelieu não provoca inundação substancial mas, como é provado pelo cenário de tsunami, nalguns locais a estrada litoral pode ser inundada e potencialmente interrompida, o que é um elemento de grande importância no âmbito duma evacuação ou operação de salvamento. A evacuação pode tornar-se crítica devido a obstáculos na zona da praia tais como escadas, túneis para peões, linhas férreas e muralhas ao longo da praia.

Um exemplo surge em Catania. A rede de estradas na proximidade da zona de La Plaia é severamente afectada pelo cenário combinado de tsunami, que penetra mais de 1 Km no interior. Apesar de não existir uma análise quantitativa dos danos possíveis nas estradas, a extensão da zona afectada fornece algumas pistas razoáveis relativamente à possibilidade de a estrada poder ser interrompida em vários pontos. Isto causaria provavelmente o isolamento da praia, populada por milhares de turistas no Verão, deixando de ser acessível a equipas terrestres de salvamento.

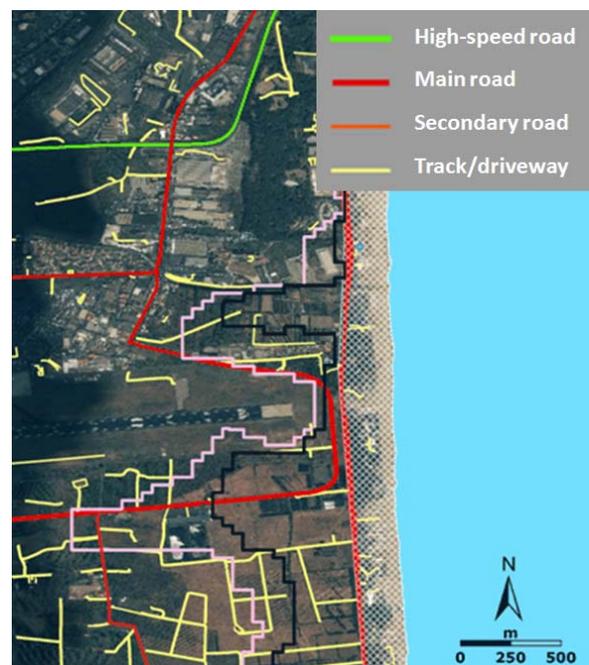


Figura 30: Estradas na zona de La Plaia, Catania, desenhadas conjuntamente com a linha de inundação (cor de rosa) para o cenário combinado resultante de fontes aumentadas. Toda a rede principal de estradas é afectada pelo tsunami, provocando o isolamento da praia e dificultando a acessibilidade a equipas de salvamento por terra (UNIBOL).

5 Conclusões e expectativas

Este manual ilustra, de forma breve, os conceitos principais da metodologia de avaliação de riscos de tsunami e de danos, baseadas em cenários, mais precisamente em piores cenários credíveis individuais, combinados posteriormente num cenário final.

Foram fornecidas as razões pelas quais a abordagem de pior cenário credível deve ser preferida em detrimento de cenários probabilísticos, em que os períodos de retorno das fontes geradoras de tsunami estão longe de ser fiáveis, sendo quase sempre esse o caso quando se consideram deslizamentos de terras. Apontou-se que os conceitos “credibilidade” e “pior caso” são bastante subjectivos e que, portanto, a selecção das fontes de tsunami é igualmente subjectiva, sendo este o ponto de partida do método.

Uma forma de reduzir a subjectividade ou lidar com ela é seguir um certo grau de flexibilidade nos parâmetros da fonte. Esta possibilidade foi tratada de um ponto de vista ligeiramente diferente neste manual, uma vez que foi introduzida sob o nome “análise de sensibilidade”.

Um dos pilares do método é o desenvolvimento de cenários de risco de tsunami: isto é levado a cabo através da selecção das maiores fontes de tsunami que afectam uma determinada zona, fazendo correr simulações que permitam calcular o seu impacto. A modelação de tsunamis é assim uma ferramenta básica, requerendo bons modelos e bons dados de entrada. Quanto aos últimos, realçou-se a necessidade da existência de dados batimétricos e topográficos de boa qualidade (em exactidão e resolução), especificamente na cintura costeira (no mar e em terra), o que normalmente implica bastante esforço para recolher e processar dados.

O maior interesse reside no cálculo do comportamento do tsunami junto à costa, o que inclui a interacção com elementos a pequena escala tais como quebra-mares, plataformas de embarque, inundações, estruturas terrestres e penetração ao longo de rios. Todos estes aspectos são considerados nos modelos de simulação de tsunami de última geração, mas todos esses modelos implicam aproximações das equações hidrodinâmicas, especialmente na proximidade da linha de costa móvel e das discontinuidades ou gradientes fortes que necessitam de ser lidados com cuidado, para evitar

que os possíveis artefactos do modelo possam ser substituídos por efeitos físicos reais.

O cenário de risco de tsunami foi definido através do conjunto de produtos que a análise fornece como resultado, na forma de mapas e gráficos, distinguindo entre a propagação a grande escala (cenário regional) e a escala pequena (cenário local), sendo esta última a mais relevante para a criação de cenários de danos.

O conceito de combinação de todos os cenários em apenas um é consequência da possibilidade de definir uma multiplicidade de fontes de tsunami e portanto de cenários para uma determinada localização. Na abordagem de pior cenário credível, a combinação implica simplesmente a selecção do valor mais intenso em cada um dos pontos que tiverem sido calculados para os vários cenários.

O segundo pilar do método é a análise de vulnerabilidade, utilizando observações de satélite e pesquisas de campo. Esta análise é necessária para identificar os elementos expostos ao risco de tsunami e definir algumas relações entre as características intrínsecas destes elementos e os parâmetros físicos que descrevem o risco de tsunami.

O nosso método colocou os edifícios no centro da cena, definindo uma classificação dos mesmos, introduzindo uma escala qualitativa de danos, determinando funções de danos (ou, de forma equivalente, uma matriz de danos) para cada classe de edifícios, relacionando o nível de danos com a profundidade de fluxo do tsunami e estabelecendo inventários da tipologia dos edifícios em zonas costeiras, através da interpretação de fotos.

Finalmente, a colaboração com os utilizadores finais e entidades locais permitiu refinar a metodologia desenvolvida de avaliação de vulnerabilidade, de acordo com as suas necessidades. Os cenários produzidos foram compilados num Atlas para cada local estudado, de modo a apoiar as entidades (protecção civil, autoridades locais) na preparação para o desastre e na gestão de riscos de tsunami.

Os desafios começam exactamente neste ponto. Dizem respeito à forma como se poderá ter em conta outros elementos vulneráveis para além dos edifícios e como levar em conta outros factores para além da profundidade do fluxo, para estimar de forma mais exacta o dano infligido aos edifícios.

No manual, facultar-se uma resposta inicial a este problema. Por exemplo, identificaram-se os factores que podem aumentar o nível de danos em edifícios (factores agravantes tais como fontes de objectos móveis potencialmente flutuantes: estacionamentos, marinas) e adicionaram-se esses factores aos mapas. De igual modo, foram identificados elementos vulneráveis estratégicos tais como infra-estruturas, serviços de emergência e redes de estradas. Mesmo neste caso, a resposta foi o mapeamento e o cruzamento de dados com a linha de inundação resultante do cenário de risco de tsunami, de modo a verificar se esses elementos se encontram dentro ou fora da zona inundada.

Os parceiros do SCHEMA aplicaram na totalidade a metodologia e calcularam todos os cenários descritos para os cinco locais estudados seleccionados no projecto. Relatórios detalhados dos vários passos podem ser encontrados na documentação do projecto (www.schemaproject.org).

Conforme já referido, foi criado um Atlas para cada local estudado, na sua língua nacional, contendo todos os mapas de cenários de risco de tsunami e de cenários de danos. A Figura 31 mostra uma página do Atlas criado pela CRTS e pela ACRI-ST para Rabat.

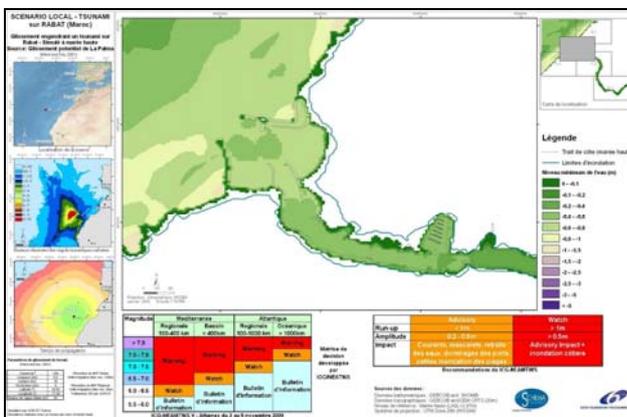


Figura 31: Exemplo de cenário local detalhado retirado do Atlas relativo a Rabat. O retrocesso máximo da água do mar é mostrado na imagem principal, juntamente com a linha de inundação máxima para o cenário potencial de La Palma. É fornecida informação geral sobre o cenário específico à escala regional, através das imagens periféricas, juntamente com tabelas contendo informação útil para as estratégias de aviso.

No futuro, serão desenvolvidas respostas mais completas e terá que ser desenvolvida uma abordagem mais quantitativa para todas as categorias de objectos vulneráveis e não apenas para os edifícios.

Isso será bastante complexo, porque necessitará da criação de um modelo físico descrevendo a interacção do tsunami com esses objectos e porque os mesmos poderão interagir de igual modo entre si e não apenas com o fluxo de água.

Deverão ser feitas considerações em separado relativamente aos seres humanos e à perda de vidas. Os aspectos sociais e individuais de um desastre em geral e de um tsunami em particular têm sido objecto de diversos estudos, especialmente desde o evento de 2004 no Oceano Índico.

Nesse sentido, reconheceu-se que as comunidades locais têm a sua própria dimensão e que muitas acções (reabilitação, resistência) e medidas preventivas (sistemas de aviso de tsunami e implementação de planos de evacuação) não podem ser resolvidas sem o envolvimento directo das pessoas desses locais. Esses estudos, até ao presente, não produziram métodos viáveis de definição da vulnerabilidade das pessoas e das sociedades costeiras como um todo, nem sequer da definição de algumas matrizes multidimensionais com base em análises quantitativas.

Um comentário final da possível extensão do método diz respeito à abordagem multi-riscos. Muitas vezes, um cenário de tsunami tem pouco valor se for examinado sozinho. De facto, num tsunami causado por um sismo local, a zona-alvo é afectada pelas ondas sísmicas e pelas ondas do tsunami. Assim, os objectos vulneráveis tais como edifícios têm que resistir à solicitação de ambos os tipos de forças. O tsunami pode afectar um edifício depois de o mesmo ter sido enfraquecido pelo sismo e uma réplica, por sua vez, pode afectar um edifício depois de o mesmo ter sido atingido pelo tsunami. A análise multi-riscos necessita assim da utilização de um modelo físico mais complicado e da cooperação entre as comunidades científicas, numa abordagem multi-disciplinar.

Estes são os desafios para o futuro. Estes são os problemas que os utilizadores finais e as populações costeiras em risco nos pedem para resolver. Estes são os problemas que gostamos de resolver.

Referências

- Argnani A., Bonazzi C., 2005. Malta Escarpment fault zone offshore eastern Sicily: Pliocene-Quaternary tectonic evolution based on new multichannel seismic data. *Tectonics*, 24, TC4009, doi:10.1029/2004TC001656.
- Armigliato A., Tinti S., Argnani A., Zaniboni F., Pagnoni G., 2007. Tsunamigenic potential of recently mapped submarine mass movements offshore eastern Sicily (Italy): numerical simulations and implications for the 1693 tsunami. IUGG XXIV General Assembly, Perugia (Italy), July 2-13 2007, Abstract JSS002-1811.
- Assier-Rzadkiewicz S., Heinrich P., Sabatier P. C., Savoye B., Bourillet J. F., 2000. Numerical Modelling of a Landslide-generated Tsunami: The 1979 Nice Event. *Pure and Applied Geophysics*, 157, 1707-1727.
- 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.
- Delouis B. and 9 co-authors, 2004. Slip distribution of the 2003 Boumerdes-Zemmouri earthquake, Algeria, from teleseismic, GPS, and coastal uplift data. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L18607, doi:10.1029/2004GL020687.
- DISS Working Group, 2009. Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.1.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, © INGV 2009 - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.
- Eva C., Rabinovich A. B., 1997. The February 23, 1887 tsunami recorded on the Ligurian Coast, western Mediterranean. *Geophys. Res. Letts*, 24, 2211-2214, doi:10.1029/97GL02110.
- Garcin M., Prame B., Attanayake N., De Silva U., Desprats J.F., Fernando S., Fontaine M., Idier D., Lenotre N., Pedreros R., C.H.E.R. Siriwardana, 2007. A Geographic Information System for Coastal Hazards. Application to a pilot site in Sri Lanka (Final Report). BRGM Open file BRGM/RP-55553-FR, 124 p.
- Gardi A., Valencia N., Guillande R., André C., 2011. Inventory of the uncertainties associated with the process of tsunami damage assessment on buildings (SCHEMA FP6 EC co-funded project). *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11, 883-893.
- Gjevik B., Pedersen G., Dybesland E., Harbitz C. B., Miranda P. M. A., Baptista M. A., Mendes-Victor L., Heinrich P., Roche R., Guesmia M., 1997. Modeling tsunamis from earthquake sources near Goringe Bank southwest of Portugal. *Journal of Geophysical Research*, 102, C13, 27931-27949.
- Guesmia M., Heinrich P., Mariotti C., 1998. Numerical simulation of the 1969 Portuguese tsunami by a finite-element method. *Natural Hazards*, 17, 31-46.
- ICG/IOTWS, 2007. Workshop on tsunami risk assessment for the Indian Ocean, Final Report, Dubai, 4-6 October.
- IFREMER Editions: CA 98-01 Multibeam bathymetric data synthesis (occidental Mediterranean Sea) A.Normand, R. Le Suavé. 1/250 000 - 6 folded maps, undercovered, 1998.
- IFREMER Editions: CA 04-01 The gulf of Lyon, morpho-bathymetric map, S. Berné, D. Carré, B. Loubrieu, JP. Mazé, L. Morvan, A. Normand 1/250 000 - 1 map, 2004.
- Kirby J. T., Wei G., Chen Q., Kennedy A. B. Dalrymple, R. A., 1998. FUNWAVE 1.0. Fully nonlinear Boussinesq wave model, documentation and user's manual. Rep. CACR-98-06, Cent. For Appl. Coastal Res., Dep. Of Civ.and Environ. Eng.,Univ. of Del., Newark.
- Leone F., Denain J. C., Vinet F., Bachri S., 2006. Analyse spatiale des dommages au bâti de Banda Aceh (Sumatra, Indonésie): contribution à la connaissance du phénomène et à l'élaboration de scénarios de risque tsunami. Scientific report of Tsunarisque (2005-2006) programme.
- Leone F., Lavigne F., Paris R., Denain J-C., Vinet F., 2010. A spatial analysis of the December 26th, 2004 tsunami-induced damages: Lessons learned for a better risk assessment integrating buildings vulnerability. *Applied Geography*, doi:10.1016/j.apgeog.2010.07.009.
- Omira R., Baptista M. A., Matias L., Miranda J. M., Catita C., Carrilho L., Toto E., 2009. Design of a sea-level tsunami detection network for the Gulf of Cadiz. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9, 1327-1338.
- Papazachos B. C., 1996. Large Seismic Faults in the Hellenic Arc. *Annali di Geofisica*, 39, 891-903.
- Peiris N., 2006. Vulnerability functions for tsunami loss estimation. First European conference on Earthquake Engineering and Seismology (a joint event of the 13th

- ECEE & 30th General Assembly of the ESC), Geneva, Switzerland, Paper number 1121.
- Pino N. A., Piatanesi A., Valensise G., Boschi E., 2009. The 28 December 1908 Messina Straits Earthquake (Mw 7.1): A Great Earthquake throughout a Century of Seismology. *Seism. Res. Lett.*, Vol. 80, 2, 243-259.
- Reese S., Cousins W. J., Power W. L., Palmer N. G., Tejakusuma I. G., Nugrahadi S., 2007. Tsunami vulnerability of buildings and people in South Java-field observations after the July 2006 Java tsunami. *Natural Hazards and Earth Systems Sciences*, 7, 573-589.
- Rangelov B., Mircheva E., Lazarenko I., Encheva R., 2008. The archaeological site – possible evidence about multihazard ancient events. *Proceedings Conf. Geoarchaeology and Archaeomineralogy.*, 29-30 October 2008, Sofia, “St. Ivan Rilski” Publishing House, 347-352.
- Ruangrassamee A., Yanagisawa H., Foytong P., Lukkunaprasit P., Koshimura S., Imamura F., 2006. Investigation of tsunami-induced damage and fragility of buildings in Thailand after the December 2004 Indian Ocean Tsunami. *Earthquake Spectra*, Special Issue, 22, S377-S401.
- Santos A., Martins H., Coelho H., Leitão P.C., Neves R., 2002. A circulation model for the European ocean margin. *Applied Mathematical Modelling*, 26 (5), 563-582.
- Scheer S., Gardi A., Guillande R., Eftichidis G., Varela V., de Vanssay B., Colbeau-Justin L., 2011. *Handbook of Evacuation Planning*, EUR 24707 EN, JRC61202, Luxembourg (Luxembourg): OP, 2011.
- SCHEMA Deliverable 1.3, 2008. Lessons learned from Asia test sites (<http://www.schema.project.org/>).
- SCHEMA Deliverable 2.1, 2009. Generic aspects and rules on vulnerability evaluation: Classification of the building vulnerability as regards to tsunami hazard. Internal report.
- SCHEMA Deliverable 4.1, 2009. Development of complete approach on Rabat test site. Internal report.
- SCHEMA Deliverable 4.2, 2009. Development of complete approach on Balchik test site. Internal report.
- SCHEMA Deliverable 4.3, 2010. Development of complete approach on French test site. Internal report.
- SCHEMA Deliverable 4.4, 2009. Development of complete approach on the Setúbal test site. Internal report.
- SCHEMA Deliverable 4.5, 2009. Development of complete approach on Catania test site. Internal report.
- Shuto, N. 1993. Tsunami intensity and disasters. In: Tinti, S. (ed.) *Tsunamis in the World*, Kluwer Academic, Dordrecht, 197-216.
- Tinti S., Armigliato A., Pagnoni G., Zaniboni F., 2005. Scenarios of giant tsunamis of tectonic origin in the Mediterranean. *ISET Journal of Earthquake Technology*, 42, 171-188.
- Titov V.V., Synolakis C.E. 1995. Modeling of breaking and non breaking long-wave evolution and run up using VTCS-2. *J Waterway Port Coast Ocean Eng*, 121, 308-316.
- Tonini R., Armigliato A., Pagnoni G., Zaniboni F., Tinti S., 2011. Tsunami hazard for the city of Catania, eastern Sicily, Italy, assessed by means of Worst-case Credible Tsunami Scenario Analysis (WCTSA). *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11, 1217-1232.
- Yeh H., Robertson I., Preuss J., 2005. Development of Design Guidelines for Structures that Serve as Tsunami Vertical Evacuation sites. Washington division of Geology and Earth Resources, Open File Report 2005-4.
- Yelles K., Lammali K., Mahsas A., Calais E., Briole P., 2004. Coseismic deformation of the May 21st, 2003, Mw=6.8 Boumerdes earthquake, Algeria, from GPS measurements. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L13610, doi:10.1029/2004GL019884
- Valencia N., Gardi A., Gauraz A., Leone F., Guillande R, 2011. New tsunami damage functions developed in the framework of SCHEMA project: application to Euro-Mediterranean coasts. *Nat. Hazards Earth Syst. Sciences*, under review.
- Vaz N., Dias J. M., Leitão P. C., Nolasco R., 2007. Application of the Mohid-2D model to a mesotidal temperate coastal lagoon. *Computers & Geosciences* 33, 1204–1209.
- Ward S. N., Day S., 2001. Cumbre Vieja Volcano - Potential collapse and tsunami at La Palma, Canary Islands. *Geophys. Res. Lett.*, 28, 397-400.
- Zitellini N., Chierici F., Sartori R., Torelli L., 1999. The tectonic source of the 1755 Lisbon Earthquake. *Annali di Geofisica*, 42(1), 49–55.

Anexo A – O projecto SCHEMA

O SCHEMA é um esforço de pesquisa levado a cabo por um consórcio que incluiu inicialmente onze organizações, não só da União Europeia mas também da Turquia e Marrocos (ver Anexo B). A parceria pretendia utilizar observações de satélite para desenvolver uma metodologia geral com utilidade para auxiliar os especialistas na construção de mapas de risco, vulnerabilidade e danos relacionados com a ocorrência de tsunamis.

O projecto foi coordenado pela Geosciences Consultants (GSC), uma empresa privada francesa com sede em Paris. Foi lançado em Agosto de 2007, com duração até ao final de Outubro de 2010, financiado pela Comissão Europeia no âmbito do 6º Quadro Comunitário de Apoio.

As características principais do trabalho de pesquisa e desenvolvimento do projecto SCHEMA podem ser sumarizadas nos seguintes pontos:

- Clarificação de conceitos como vulnerabilidade, risco e cenário, de modo a produzir documentos e mapas acessíveis e facilmente assimiláveis pelos utilizadores finais (protecção civil, planificadores de salvamentos de emergência);
- Análise da limitação da modelação matemática em reproduzir a realidade, de modo a avaliar o grau de incerteza quando o risco é estimado em modelos e não em eventos reais do passado;
- Desenvolvimento de uma metodologia geral, validada pelos utilizadores finais, de produção de cenários de tsunami e do impacto de fenómenos relacionados;
- Extracção dos indicadores de vulnerabilidade e risco tais como utilizados na metodologia geral, a partir de observações de satélite;
- Validação inicial da metodologia em casos reais, tal como o observado durante o recente tsunami na Ásia;
- Validação exaustiva da metodologia protótipo resultante nos 5 locais estudados, com ambientes diferentes (Setúbal em Portugal, Rabat em Marrocos, Mandelieu no Sul de França, Catania na Itália e Balchik na Bulgária).

Os parceiros do SCHEMA trabalharam tendo em mente os utilizadores finais e as vantagens para os mesmos, devidas à pesquisa e produtos do projecto. Estes benefícios podem ser sintetizados na seguinte lista:

1. Para as organizações de segurança civis: uma técnica homogénea e completa para avaliar os níveis de risco de tsunamis e fenómenos relacionados, baseados em variáveis intrínsecas de vulnerabilidade (altura e tipos de edifícios, descrição dos habitantes) e variáveis do ambiente (densidade de edifícios por unidade de área, largura das estradas) e, como tal, uma técnica capaz de ajudá-los a desenvolver medidas gerais de prevenção;
2. Para os planificadores de salvamentos: uma descrição clara das áreas acessíveis aquando da ocorrência de um multi-desastre, fornecendo aos planificadores de salvamento as ferramentas de avaliação das variáveis de vulnerabilidade em modo de organização de crise;
3. Para os decisores de políticas de segurança: um conjunto de recomendações de padronização da recolha de dados e preparação para os estudos de vulnerabilidade, baseado em cenários de simulação de tsunami e fenómenos relacionados, concentrando os esforços de prevenção e instrução nas áreas mais expostas;
4. Para as companhias de seguros: dados espaciais úteis relativos ao potencial máximo de danos em edifícios dentro das zonas de inundação potenciais, permitindo-lhes responder a questões tais como o nível de prémios que deve ser estabelecido para os edifícios, perda de recheio e lucros cessantes nas zonas de risco, ou o nível de reclamações potencial de um portfolio particular de bens seguros numa dada localidade;
5. Para os gestores e planificadores do território: a abordagem que combina modelos, pesquisas de campo e avaliações de vulnerabilidade deve ser usada como base para a planificação da gestão costeira e tida em conta aquando da realização de construções ou modificação de uma zona costeira exposta ao risco de tsunamis.

Com vista ao cumprimento dos objectivos do projecto, os parceiros do SCHEMA identificaram seis objectivos específicos e estruturaram o trabalho em vários

pacotes (WP), indicados lado-a-lado na Tabela A1. Um sétimo WP cobre a coordenação e gestão de projecto.

Table A1: Pacotes de trabalho (WP) e Objectivos do projecto SCHEMA.

| WP | Descrição | Objectivos |
|----|--|--|
| 1 | Lições aprendidas da pesquisa e do tsunami do Oceano Índico. | <i>Recolher, a partir de estudos anteriores do tsunami do Oceano Índico em 2004, dados de entrada e saída para a modelação de risco, avaliação de vulnerabilidade e danos e gestão de emergências envolvendo ameaças de tsunami.</i> |
| 2 | Definição dos requisitos para a descrição consensual da intensidade de risco de tsunami, danos, vulnerabilidade e evacuação. | <i>Especificar regras consensuais que forneçam descrições de cenários de risco, vulnerabilidade e danos, a ser usadas por gestores de segurança e auxílio a populações, planificadores e decisores de políticas de salvamento.</i> |
| 3 | Desenvolvimento de uma metodologia para o mapeamento de vulnerabilidade e criação de uma abordagem para a elaboração de cenários de crise envolvendo tsunamis. | <i>Criar e desenvolver uma metodologia de elaboração de cenários, em coordenação com os operadores de salvamento e auxílio.</i> |
| 4 | Construção de cenários protótipo de eventos e planos de evacuação dos cinco locais em estudo. | <i>Propor cenários de desastre por tsunami em cinco locais seleccionados, envolvendo sismos com ou sem sistemas de aviso prévio e facultar esquemas de evacuação relevantes, com processos apropriados de salvamento e auxílio em linha com a sucessão de eventos (sismo ou deslizamento de terras, seguido de tsunami).</i> |
| 5 | Validação do cenário protótipo pelas autoridades locais e retorno de informação para a metodologia de criação de cenários. | <i>Validar a metodologia geral de desenvolvimento de cenários, baseada na revisão dos resultados dos locais em estudo com os decisores políticos, operadores de salvamento e auxílio, planificadores de território e organizações civis.</i> |
| 6 | Transferência e disseminação da metodologia, com harmonização das recomendações. | <i>Disseminar a metodologia resultante, através de simpósios e a utilização de portais na internet.</i> |
| 7 | Coordenação e gestão estratégicas. | |

Anexo B – Parceiros do consórcio SCHEMA

| Logótipo | Nome abreviado | País | Área de especialidade | Papel no projecto SCHEMA |
|---|--------------------|-------------------|--|---|
|  | GSC | França | Riscos naturais, avaliação de vulnerabilidades e danos, observação por satélite, medidas de mitigação e redução da vulnerabilidade | Coordenador Metodologia de construção do mapeamento GIS de perigos naturais e danos. Trabalho de campo em França |
|  | ALGOSYSTEMS | Grécia | GIS, gestão de riscos naturais, avaliação multi-riscos | Disseminação e retorno de informação. Trabalho em simulações por tsunamis |
|  | HIDROMOD | Portugal | Modelação em propagação de ondas, planificação de resposta de emergência | Modelação de tsunamis, trabalho de campo em Portugal |
|  | UNIBOL | Itália | Observação de tsunamis, mecanismo de geração, modelação, avaliação de perigo e risco | Desenvolvimento de metodologia, modelação de tsunamis, trabalho de campo em França e Itália |
|  | UNICOV* | Reino Unido | Avaliação de capacidade / risco / vulnerabilidade, desenvolvimento de cenários | Avaliação da vulnerabilidade a tsunamis, gestão de crises, retorno de informação |
|  | NOA-GI | Grécia | Monitorização de sismos, avaliação do risco de sismo e tsunami, estudo de fontes sísmicas e de tsunamis, modelação de tsunamis e mapeamento de riscos | Desenvolvimento de metodologia, modelação de tsunamis, trabalho de campo na Bulgária |
|  | CRTS | Marrocos | Observação terrestre em Marrocos para mapeamento de perigos nesse país, avaliação de vulnerabilidade | Avaliação de vulnerabilidade, trabalho de campo em Marrocos |
|  | ACRI-ST | França | Dinâmica de fluidos, geofísica, modelação oceânica, vigilância e previsão do ambiente terrestre, sistemas de integração online de observações por satélite | Desenvolvimento de metodologia, modelação de tsunamis, trabalho de campo em Marrocos, contribuição para o trabalho de campo em França |
|  | SRI-BAS | Bulgária | Detecção remota, sistemas de bordo, geo-informática | Avaliação de vulnerabilidade, trabalho de campo na Bulgária |
|  | JRC-IPSC | Comissão Europeia | Avaliação e prevenção de perigos, avaliação de vulnerabilidade, avaliação de necessidades dos utilizadores | Disseminação e retorno de informação do painel de utilizadores. Planos de evacuação |
|  | TUBITAK – MRC-EMSI | Turquia | Mapeamento e avaliação do perigo de sismos e tsunamis, monitorização geofísica, modelação de processos naturais | Troca de experiências com trabalho em curso, relativo ao sismo e tsunami na Turquia. Retorno de informação dos utilizadores |

* Parceiro retirado no decurso no projecto

Anexo C – O website do SCHEMA

O *website* do projecto SCHEMA na internet pode ser encontrado em <http://www.schemaproject.org>. Este *site* fornece toda a informação essencial acerca do projecto e, graças ao menu de navegação horizontal, pode facilmente ter-se uma vista sintética do projecto (Project description) e dos seus principais objectivos (Objectives). Para além disto, podem ser encontrados alguns detalhes no fluxo de trabalho (Work packages), nos locais estudados (Test sites) e nos parceiros envolvidos (Partnership).

Está disponível um menu de navegação vertical adicional, fornecendo informação relacionada com o trabalho realizado durante o projecto: nomeadamente, a lista dos resultados finais que descrevem as diferentes fases do projecto (Publications), a lista dos encontros organizados para permitir a troca de resultados e dados entre os parceiros (Meetings), a lista dos trabalhos apresentados em encontros internacionais e trabalhos publicados em revistas internacionais, resultantes dos esforços dos parceiros no âmbito do SCHEMA (Dissemination). Um campo adicional (News) fornece a informação mais recente aos parceiros. Finalmente, clicando na secção “Links”, obtém-se uma série de ligações a projectos relacionados ou a *websites* contendo informação sobre tópicos relacionados.

A área restrita (Consortium area) permite aos parceiros fazer *login* e partilhar material, dados e opiniões duma forma confidencial.

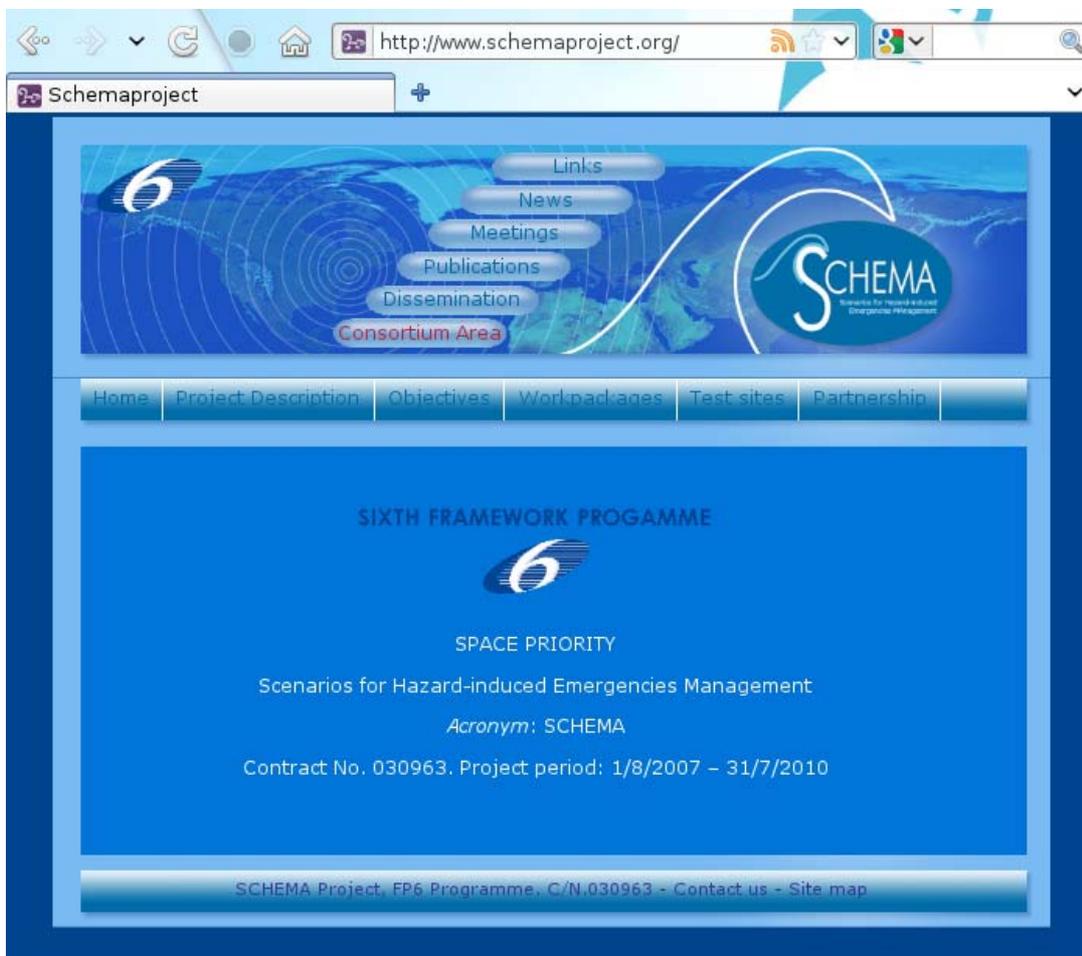


Figura 32: Página principal do website do projecto SCHEMA.

Lista de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1: Esquema ilustrativo da metodologia desenvolvida para a criação de cenários de risco e danos de tsunami..... | 8 |
| Figura 2: A falha Marquês de Pombal (Omira et al. 2009), a SW de Lisboa, foi seleccionada pela HIDROMOD para a criação do pior cenário credível para Setúbal. Aqui ilustra-se a elevação inicial calculada da superfície do mar, produzida pelo sismo | 12 |
| Figura 3: Compilação de dados batimétricos para Mandelieu, pela GSC. Os rectângulos representam as fronteiras do sistema multi-grelha criado pela UNIBOL para simulações numéricas. | 15 |
| Figura 4: Exemplo de linha de costa detalhada na zona de Mandelieu. A posição da linha de costa foi deduzida da interpretação fotográfica de imagens do Google Earth. | 15 |
| Figura 5: Modelo de Elevação Digital (DEM) da região de Varna, Bulgária, incluindo a cidade de Balchik, seleccionada como um dos locais de estudo do projecto SCHEMA (disponibilizado pela SRI-BAS)..... | 15 |
| Figura 6: Diferença entre as linhas de costa de baixa-mar e preia-mar na península de Tróia, em Setúbal, calculadas pela HIDROMOD..... | 16 |
| Figura 7: Sistema de quatro grelhas acopladas utilizado pela UNIBOL para cobrir a região do Mediterrâneo Central, desde o Arco Helénico Ocidental (entre o Peloponeso e Creta Ocidental, fonte do sismo e tsunami de 365 D.C.) até à Sicília Oriental, onde se encontra a zona-alvo de Catania..... | 16 |
| Figura 8: Comparação entre extensões de inundação do cenário local (linha tracejada) e do correspondente cenário aumentado (linha contínua). O exemplo refere-se a Rabat, o cenário baseia-se no sismo de Lisboa em 1755 e é o resultado da colaboração entre a ACRI-ST e a CRTS..... | 17 |
| Figura 9: Instantâneos da propagação do tsunami para um dos cenários considerados em Catania, baseado no evento ocorrido em 365 D.C. ao largo de Creta Ocidental, na Grécia, calculado pela UNIBOL..... | 18 |
| Figura 10: Mapa de propagação para o cenário associado com o mega-colapso do Cumbre Vieja na ilha de La Palma, elaborado para Rabat pela ACRI-ST. As primeiras ondas do tsunami atingem Rabat decorridos cerca de 90 minutos. | 18 |
| Figura 11: Elevação máxima da superfície do mar (em metros) para o tsunami com origem na falha Marquês de Pombal, analisado para Setúbal à escala regional. Os cálculos foram realizados pela HIDROMOD, com condições iniciais de tsunami fornecidas pela UNIBOL. | 19 |
| Figura 12: Elevação máxima da superfície do mar em Rabat, para o cenário do sismo de 1755 em Lisboa, calculado pela ACRI-ST..... | 19 |
| Figura 13: Elevação mínima da superfície do mar em Rabat para o cenário do sismo de 1755 em Lisboa, calculado pela ACRI-ST..... | 20 |
| Figura 14: Velocidade máxima da corrente em Rabat para o cenário do sismo de 1755 em Lisboa, calculada pela ACRI-ST. | 20 |
| Figura 15: Mapa combinado da elevação máxima da superfície do mar, calculada pela UNIBOL para Catania. São mostradas em simultâneo, para comparação, as linhas de inundação do cenário combinado (a preto) e do cenário combinado aumentado (a vermelho). | 21 |
| Figura 16: Exemplos de danos estruturais em edifícios, de acordo com a escala desenvolvida por Leone et al. (2006)..... | 23 |
| Figura 17: Funções de danos para as classes de edifícios A, B, C, D e E1, calculadas a partir das observações de campo recolhidas após o tsunami do Oceano Índico ocorrido em 26 de Dezembro de 2004, desenvolvidas durante o projecto SCHEMA pela GSC. | 24 |
| Figura 18: Classificação de um edifício a partir de uma imagem de satélite do Google Earth (em baixo), validada por foto tirada durante uma pesquisa de campo (em cima) levada a cabo pela GSC em Mandelieu..... | 25 |
| Figura 19: Mapa da tipologia de edifícios na costa e margens do rio em Rabat. Trabalho realizado pela CRTS. Copyright de imagem da Quickbird, 2008-09-28, res: 0.63m. | 25 |
| Figura 20: Distribuição da tipologia de edifícios em Mandelieu, mapeada pela GSC..... | 26 |
| Figura 21: Distribuição da tipologia de edifícios para o porto de Balchik, mapeada pela SRI-BAS | 26 |
| Figura 22: Classificação de estradas baseada na largura da faixa de rodagem, na cintura perto da costa e das margens do rio Bouregreg, em Rabat (CRTS). Copyright de imagem da Quickbird, 2008-09-28, res: 0.63m. | 26 |
| Figura 23: Classificação de estradas baseada na relevância das mesmas na cintura costeira de La Plaia, a Sul de Catania. São mostradas igualmente as áreas com potencial de fonte de objectos flutuantes, tais como construções ligeiras de madeira (UNIBOL)..... | 26 |
| Figura 24: Ampliação do cenário de danos na foz do rio Bouregreg, resultante da colaboração entre a ACRI-ST e a CRTS. Copyright de imagem da Quickbird, 2008-09-28, res: 0.63m. | 27 |
| Figura 25: Distribuição da tipologia de edifícios (em cima) e cenário de danos (em baixo) para Setúbal, calculada pela HIDROMOD. De notar que o nível DO é atribuído mesmo aos edifícios cujas classes (F e G) não permitem a estimativa de danos através da matriz de danos do SCHEMA..... | 27 |

| | |
|---|----|
| Figura 26: Cenário combinado de danos para La Plaia, a Sul de Catania, calculado pela UNIBOL para fontes aumentadas. A maior parte das construções de praia são danificadas mas a profundidade do fluxo é demasiado baixa para causar o seu colapso | 28 |
| Figura 27: Cenários de danos calculados para Balchik pela SRI-BAS e pela NOA-GI, para sismos com falhas de 40° (em cima) e 90° (em baixo). | 28 |
| Figura 28: Marinas e locais de estacionamento identificados em Setúbal, dentro da área de inundação para o cenário de risco de tsunami (HIDROMOD). | 29 |
| Figura 29: Mapa de obstáculos e acessibilidade para Mandelieu (GSC). Escadas, túneis pedonais sob a linha-férrea e muralhas ao longo de toda a praia serão obstáculos ou pontos críticos em caso de evacuação..... | 29 |
| Figura 30: Estradas na zona de La Plaia, Catania, desenhadas conjuntamente com a linha de inundação (a rosa) para o cenário combinado resultante de fontes aumentadas. Toda a rede principal de estradas é afectada pelo tsunami, provocando o isolamento da praia e dificultando a acessibilidade a equipas de salvamento por terra (UNIBOL). | 29 |
| Figura 31: Exemplo de cenário local detalhado retirado do Atlas relativo a Rabat. O retrocesso máximo da água do mar é mostrado na imagem principal, juntamente com a linha de inundação máxima para o cenário potencial de La Palma. É fornecida informação geral sobre o cenário específico, à escala regional, através das imagens periféricas, juntamente com tabelas contendo informação útil para as estratégias de aviso. | 31 |
| Figura 32: Página principal do website do projecto SCHEMA..... | 37 |

Lista de tabelas

| | |
|---|-----|
| Tabela 1: Lista de mapas caracterizadores de cenários de tsunami no projecto SCHEMA..... | 9 |
| Tabela 2: Lista de fontes seleccionadas pelo SCHEMA | 11 |
| Tabela 3: Modelos numéricos de tsunami utilizados para os locais em estudo no projecto SCHEMA. | 13 |
| Tabela 4: Tipologia de edifícios com base na capacidade de resistência das construções..... | 22 |
| Tabela 5: Escala do nível de danos em edifícios | 23 |
| Tabela 6: Matriz de danos adoptada no projecto SCHEMA. Valores da profundidade de fluxo indicados em metros. | 24 |
| Tabela A1: Pacotes de Trabalho (WP) e Objectivos do projecto SCHEMA..... | 355 |

Comissão Europeia

EUR 24691 PT– Centro de Pesquisa Conjunta – Instituto para a Protecção e Segurança do Cidadão

Título: Manual de Cenários de Risco e Danos de Tsunami

Autores: S. Tinti, R. Tonini, L. Bressan, A. Armigliato, A. Gardi, R. Guillande, N. Valencia, S. Scheer

Luxemburgo: Gabinete de Publicações da União Europeia

2011 – 42 pp. – 21 x 29.7 cm

EUR – série de Pesquisa Científica e Técnica – ISSN 1018-5593

ISBN 978-92-79-19065-0

doi:10.2788/22760

Resumo

O manual de cenários de tsunami é um dos produtos do projecto, concebido para ilustrar os conceitos básicos e métodos criados e aplicados no projecto para a produção de cenários de tsunami, tendo em vista a disponibilização de ferramentas de avaliação de riscos de tsunami e danos potenciais. Um dos objectivos principais foi a elaboração de uma metodologia geral que pudesse ser facilmente adaptada às necessidades dos utilizadores finais, principalmente dos gestores públicos responsáveis pelo planeamento de estratégias de desenvolvimento e protecção costeiras, bem como das pessoas e organizações envolvidas na gestão de desastres e políticas de mitigação. Por estas razões, a metodologia do SCHEMA foi aplicada em cinco locais (Rabat, Marrocos; Setúbal, Portugal; Mandelieu, França; Catania, Itália; Balchik, Bulgária) com diferenças significativas entre si, tendo sido testada com o envolvimento activo dos utilizadores finais, assegurando a disponibilização de ferramentas úteis e práticas com flexibilidade suficiente para cobrir as necessidades locais.

Como obter publicações da UE

As nossas publicações estão disponíveis na Livraria da UE (<http://bookshop.europa.eu>), onde pode encomendar a sua publicação junto do vendedor da sua escolha.

O Gabinete de Publicações tem uma rede mundial de vendedores. Pode obter os seus contactos enviando um fax para (352) 29 29 42758.

A missão do JRC é fornecer suporte científico e técnico dirigido ao consumidor para a concepção, desenvolvimento, implementação e monitorização das políticas da UE. Como serviço da Comissão Europeia, o JRC funciona como um centro de referência de ciência e tecnologia para a União. Juntamente com o processo de decisão política, serve o interesse comum dos Estados-Membros, ao mesmo tempo que se mantém independente de interesses especiais, privados ou nacionais.

