

ESTUDO DO
RISCO SÍSMICO
E DE TSUNAMIS
DO ALGARVE



ESTUDO DO
RISCO SÍSMICO
E DE TSUNAMIS
DO ALGARVE



FICHA TÉCNICA

Título: Grupo de Risco Sísmico e de Tsunami de Aveira

Símbolo: Autoridade Nacional de Proteção Civil

Coordenação: Direção Nacional de Planeamento de Emergência / Núcleo de Risco e Alerta

Design gráfico e paginação: Homena Homena

Impressão: A2 – Artes Gráficas

Data de publicação: Dezembro de 2018

Truques: 300 exemplares

ISBN: 978-989-82-03-04-0

Deposito legal: 221814/18

Disponibilização em suporte pdf: www.pnccp.pt

Símbolo co-financiado por:



Autoridade Nacional de Proteção Civil

Avenida Roma em Camacha

2794-912 Camacha / Portugal

Tel. +351 214 247 100 / Fax +351 214 247 190

geral@pnccp.pt / www.pnccp.pt

ÍNDICE

PÁG. 5

CAPÍTULO 1: Introdução

PÁG. 9

CAPÍTULO 2: Sismotectónica do Algarve

PÁG. 29

CAPÍTULO 3: Sismicidade

PÁG. 45

CAPÍTULO 4: Propagação da energia sísmica

PÁG. 55

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

PÁG. 71

CAPÍTULO 6: Cartografia do risco de tsunami

PÁG. 85

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

PÁG. 93

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

PÁG. 105

CAPÍTULO 9: Vulnerabilidade sísmica do parque edificado

PÁG. 121

CAPÍTULO 10: Vulnerabilidade sísmica de redes de Infra-estruturas

PÁG. 147

CAPÍTULO 11: Cenários de avaliação de danos

PÁG. 155

CAPÍTULO 12: Planeamento da Emergência

PÁG. 163

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

Projecto ERSTA

Estudo do Risco Sísmico e Prevenção de Tsunamis no Algarve

AVALIAÇÃO DE RISCO SÍSMICO NO ALGARVE: EFEITO DE SÍTIO

Grupo de Trabalho WP5

Luís Albardeiro & Delminda Moura

Universidade do Algarve

1. INTRODUÇÃO

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

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

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

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

2. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE

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

$$\text{Índice de Vulnerabilidade (IV)} = \text{Litologia} + \text{Espessura} + \text{Carsificação} + \text{Declive} \quad (1)$$

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

$$\text{IV} = \text{Litologia} [3 \cdot P1 + 2 \cdot P3 + 1 \cdot (P4 + P5 + P6)] + \text{Espessura (P2)} + \text{Carsificação (P7)} + \text{Declive (P8)} \quad (2)$$

onde:

P1 – Grau de consolidação dos sedimentos Plio-Quaternários

P2 – Espessura dos sedimentos Plio-Quaternários

P3 – Grau de consolidação das rochas do Miocénico

P4 - Grau de consolidação das rochas do Cretácico

P5 - Grau de consolidação das rochas do Jurássico e do Paleozóico

P6 - Grau de consolidação das rochas do Triássico

P7 – Grau de carsificação das unidades carbonatadas (Mesozóico e Miocénico)

P8 – Declive do terreno (em função da litologia - o mesmo valor de declive tem diferentes efeitos para litologias diferentes)

3, 2, 1 – Índices de ponderação

Litologia

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

Tabela 1 – Parametização dos sedimentos Plio-Quaternários

Litologia	valor
• Aluviões 1 – Aluviões activos, zonas inundáveis pela maré	4
• Aluviões 2 – Outras aluviões	3
Sedimentos não consolidados: <ul style="list-style-type: none">• Areias de praia e de duna• Depósitos de terraços marinhos• Depósitos de terraços fluviais• Depósitos areno-siltíticos do Pliocénico e Quaternário	2
Sedimentos total ou parcialmente consolidados	1

Tabela 2 – Parametização das formações do Miocénico

litologia	valor
Rochas detríticas pouco consolidadas	2
Rochas detríticas consolidadas	1
Rochas consolidadas não detríticas	1
Formações mistas (detrítico-carbonatadas)	1

Tabela 3 – Parametização das formações do Cretácico

litologia	valor
Rochas detríticas	2
Formações mistas (detríticas e carbonatadas) consolidadas – consolidadas	1
Rochas filonianas e intrusivas	0

Tabela 4 – Parametização das formações do Jurássico e do Paleozóico

litologia	valor
Calcários, dolomias, calcários dolomíticos, calcários margosos do Jurássico	0
Xistos e grauvaques do Paleozóico	0

Tabela 5 – Parametriação das formações do Triássico

litologia	valor
Rochas detríticas consolidadas	1

Espessura das formações

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

Tabela 6 – Espessura e valores de vulnerabilidade para os sedimentos Plio-Quaternários.

Espessura das formações do Plio-Quaternário	valor
* Depósitos < 10 metros	1
* Depósitos 10 - 20 metros	2
* Depósitos 20 – 40 metros	3
* Depósitos > 40 metros	4

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

Carsificação

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

Tabela 7 – Tipo de carso e valores de vulnerabilidade.

carsificação	valor
Carso sub-superficial geralmente com preenchimento sedimentar	4
Carso maioritariamente superficial (Poljes, dolinas, úvalas, lapiás) Carsificação forte mista (sub-superficial/subterrâneo)	3
Carso maioritariamente subterrâneo (Algares, grutas) Carsificação média mista (sub-superficial/subterrâneo)	2
Carso incipiente/provável/desconhecido	1
Sem carsificação	0

Declive

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

Tabela 8 – Cruzamento de dados de classes de declive com litologias predominantes.

Litologia	Classes de declive (graus)				
	0 – 5	5 - 20	20 - 45	45 - 65	65 - 90
Aluviões	2	3	4	4	4
Calcários	1	2	3	4	4
Calcários margosos	1	3	4	4	4
Detríticas consolidadas	1	2	3	4	4
Detríticas não consolidadas	2	3	4	4	4
Intrusivas	0	1	2	3	4
Pelitos e calcários	1	2	3	4	4
Pelitos e margas	1	2	3	4	4
Pelitos e margas com evaporitos	1	2	3	4	4
Rochas filonianas	1	2	3	4	4
Dolomitos	1	2	3	4	4
Xistos e grauvaques	1	2	3	4	4

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

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

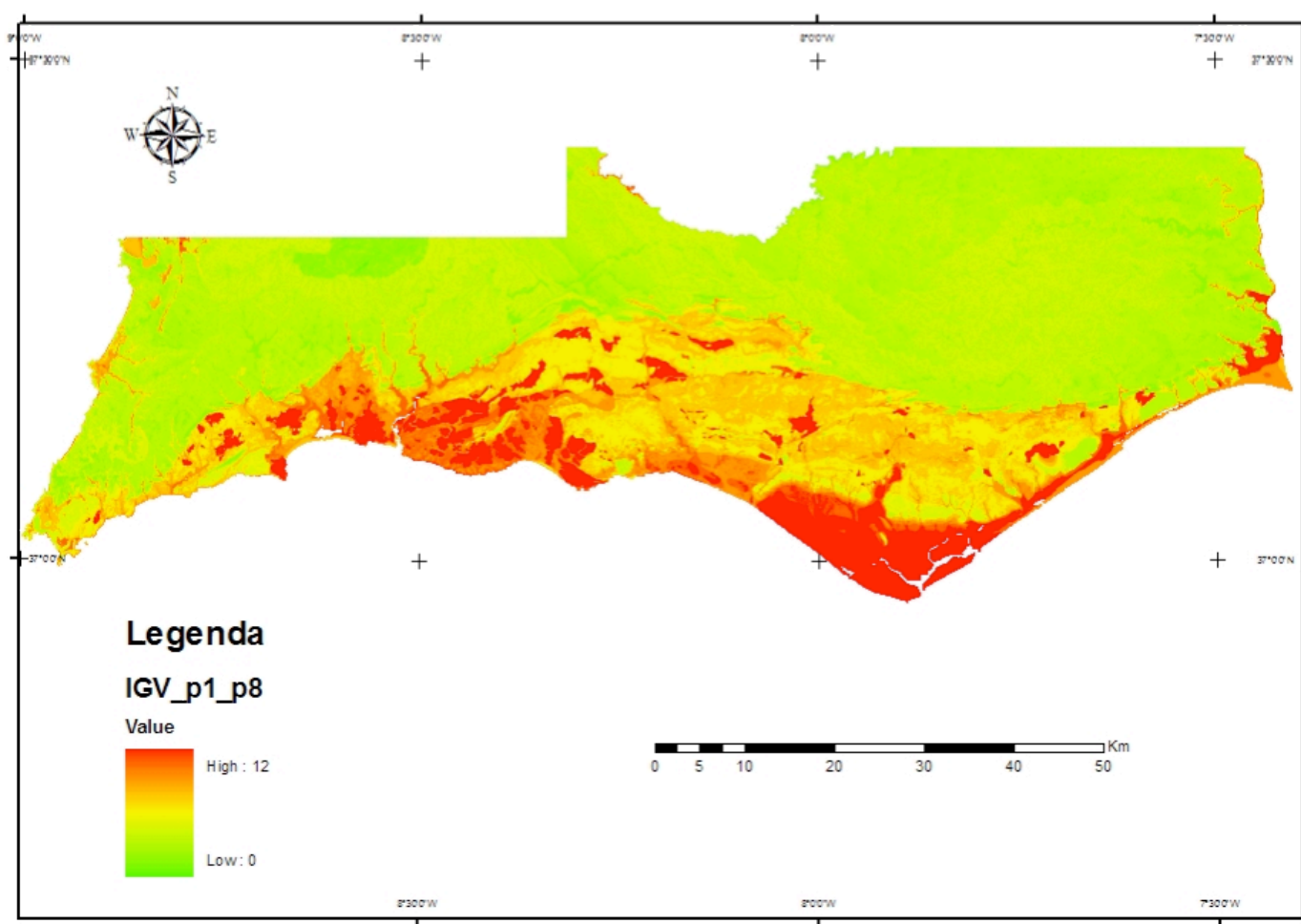


Figura 1- Índice de vulnerabilidade sísmica da região do Algarve de acordo com o efeito de sítio decorrente das particularidades litológicas, estruturais e morfológicas

Referências

Ergin, M., Ozalaybey, S., Aktar, M., Yalçın, M.N., 2004. Site amplification at Avcılar, Istanbul. *Tectonophysics*, 391, 335-346.

Harbi, A., Maouche, S., Vaccari, F., Aoudia, A., Oussadou, F., Panza, G.F., Benouar, D., 2007. Seismicity, seismic input and site effects in the Sahel-Algiers region (North Algeria). *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 27, 427-447.

Mândrescu, M., Radulian, M., Mărmureanu, Gh., 2007. Geological, geophysical and seismological criteria for local response evaluation in Bucharest urban area. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 27, 367-393.

Psarropoulos, P.N., Tsompanakis, Y., Karabatsos, Y., 2007. Effects of local site conditions on the seismic response of municipal waste landfills. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 27, 553-563.

Semblat, J.F., Kham, M., Parara, E., Bard, P.Y., Pitilakis, K., Makra, K., Raptakis, D., 2005. Seismic wave amplification: Basin geometry vs soil layering. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 25, 529-538.