



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS
Núcleo de Engenharia Sísmica e Dinâmica
de Estruturas

Proc. 0305/1/14965

ESTABELECIMENTO DE CENÁRIOS SÍSMICOS PARA A REGIÃO DO ALGARVE COM BASE EM METODOLOGIAS PROBABILÍSTICAS

Relatório de Estágio

Lisboa • Janeiro de 2010

I&D ESTRUTURAS

RELATÓRIO 33/2010 – NESDE

NOTA PRÉVIA

O presente trabalho constitui o relatório de estágio da Dra Isabel Rodrigues no Núcleo de Engenharia Sísmica e Dinâmica de Estruturas (NESDE) do Departamento de Estruturas (DE) do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).

O estágio foi realizado entre 27 de Outubro de 2008 e 30 de Outubro de 2009 sob a orientação da Doutora Luísa Sousa, Investigadora Auxiliar do NESDE e enquadrado no projecto Estudo do Risco Sísmico e de Tsunamis do Algarve (ERSTA).

O trabalho desenvolvido integrou-se no âmbito da tarefa WP11 do projecto ERSTA, designada de *Definição com base probabilística de cenários sísmicos para o planeamento de emergência*, e teve como objectivos principais analisar a exaustividade do catálogo sísmico revisto pelo Instituto de Meteorologia, estimar os parâmetros da lei de Gutenberg-Richter para as zonas de sismogénese delineadas e identificar os cenários sísmicos que mais contribuem para a perigosidade sísmica da região do Algarve e as várias probabilidades de excedência que lhe estão associadas.

O trabalho elaborado pela estagiária deu origem a uma tese de mestrado em *Ciências Geofísicas – Especialização em Geofísica Interna* intitulada «Estabelecimento de cenários sísmicos para a região do Algarve com base em metodologias probabilísticas», orientado pela Doutora Luísa Sousa e pela Professora Paula Teves Costa e submetido, com sucesso, à Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, a 15 de Dezembro de 2009.

ÍNDICE

1. Introdução	1
2. Dados de base e parâmetros dos modelos.....	5
2.1. Introdução.....	5
2.2. Catálogo sísmico e zonas de sismogénese	5
2.3. Análise da exaustividade do catálogo sísmico.....	9
2.4. Novas leis de frequência-magnitude para a região do Algarve	10
2.5. Leis de atenuação	15
2.6. Caracterização espacial e temporal da ocorrência	17
2.7. Conclusões.....	19
3. Perigosidade sísmica e sua desagregação	21
3.1. Análise probabilística da perigosidade sísmica.....	21
3.2. Desagregação da perigosidade sísmica	30
3.2.1. Desagregação unidimensional em M	32
3.2.2. Desagregação geográfica.....	37
3.2.3. Desagregação 4D	47
3.2.4. Comparação com outros estudos	50
3.3. Conclusões.....	51
4. Cenários sísmicos para a região do Algarve	53
4.1. Estabelecimento de cenários sísmicos para a região do Algarve.....	53
4.2. Comparação com outros estudos	58
4.3. Conclusões.....	59
5. Conclusões	61
6. Referências Bibliográficas	63
ANEXO	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Mapa de epicentros e das zonas de sismogénese adoptadas, fornecido pelo Instituto de Meteorologia no âmbito do projecto ERSTA (IM, 2008).	7
Figura 2.2 – Principais falhas activas na margem continental SW-Ibérica [Ribeiro, 2005], zonas de sismogénese e alguns sismos que afectaram a região do Algarve. 8	
Figura 2.3 – Estudo da exaustividade do catálogo sísmico fornecido por IM [2008] [Rodrigues et al., 2009].	10
Figura 2.4 – Representação gráfica das leis de Gutenberg-Richter.....	13
Figura 2.5 – Distribuição espacial dos parâmetros estimados.....	13
Figura 2.6 – Distribuição geográfica do número de sismos por célula e zonas de sismogénese.....	19
Figura 3.1 – Envolvente das curvas de perigosidade sísmica para todas as freguesias da região do Algarve, para PGA (adaptada de Sousa et al., 2008) (em cima), Sa(2.5Hz) (ao centro) e Sa(1Hz) (em baixo).....	27
Figura 3.2 – Perigosidade sísmica para a região do Algarve, resolução geográfica da freguesia (mapa em PGA adaptado de Sousa et al., [2008]).....	28
Figura 3.3 – Desagregação 1D da magnitude, para as freguesias de Vila Real de Santo António, Faro e Vila do Bispo e, condicionada por PGA, Sa(2.5Hz) e Sa(1Hz), com 95, 475 e 975 anos de período de retorno.....	34
Figura 3.4 – Desagregação geográfica condicionada pelos níveis de perigosidade em PGA correspondentes aos 95, 475 e 975 anos de período de retorno.	38
Figura 3.5 – Desagregação geográfica condicionada pelos níveis de perigosidade em Sa(2.5Hz) correspondentes aos 95, 475 e 975 anos de período de retorno.	40
Figura 3.6 – Desagregação geográfica condicionada pelos níveis de perigosidade em Sa(1 Hz) correspondentes aos 95, 475 e 975 anos de período de retorno.	42
Figura 4.1 – Mapas dos cenários de perigosidade sísmica para todas as freguesias do Algarve.	56

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Síntese da informação contida no catálogo sísmico para Portugal Continental e região adjacente [Rodrigues et al., 2009].....	6
Tabela 2.2 – Exaustividade do catálogo sísmico [Rodrigues et al., 2009].....	10
Tabela 2.3 – Magnitude máxima e parâmetros estimados para cada zona.....	14
Tabela 2.4 - Coeficientes da lei de atenuação em aceleração espectral, rocha; cenários próximo / terra (a verde) e afastado / mar (a azul), distância RHP, (Sa em cm/s ² e $\sigma_\varepsilon = 0.25$ e $\sigma_\varepsilon = 0.22$, respectivamente) [Carvalho & Campos-Costa, 2008].....	17
Tabela 2.5 - Parâmetros das zonas de sismogénese.....	18
Tabela 3.1 - Valores modais e esperados da magnitude, M, resultantes da desagregação 1D.	33
Tabela 3.2 - Valores modais de X, Y e R, segundas contribuições mais importantes, valores esperados de M e ε da desagregação geográfica e contribuição das células modais para a perigosidade.	44
Tabela 3.3 - Valores modais de X, Y, M e ε da desagregação 4D.	48

Estabelecimento de cenários sísmicos para a região do Algarve com base em metodologias probabilísticas.

Relatório de Estágio

1. Introdução

A sismicidade na região do Algarve é caracterizada por um padrão de ocorrências heterogéneo, tanto a nível da localização, como da magnitude dos sismos que aí ocorrem. De facto, embora a maior parte dos sismos se localizem no mar, a sismicidade em terra também é importante [Teves-Costa, 2006]. Acresce a esta distribuição espacial o facto de *coabitarem*, em termos gerais, sismos de pequena severidade e de grande frequência com acontecimentos de grande impacto e frequência reduzida, reflectindo características sísmicas e geo-tectónicas que caracterizam a perigosidade desta região.

Neste contexto, a Autoridade Nacional de Protecção Civil (ANPC) identificou a necessidade de desenvolver o projecto Estudo do Risco Sísmico e de Tsunamis do Algarve (ERSTA), para avaliar os referidos riscos, na qual participaram diversas instituições, entre as quais o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).

De entre os desenvolvimentos atingidos no âmbito deste projecto, salientam-se a determinação de leis de atenuação espectrais válidas para a região do Algarve [Carvalho & Campos-Costa, 2008], a delineação de novas zonas de sismogénese que reflectem o conhecimento progressivo das estruturas tectónicas na margem SW-Ibérica e a revisão do catálogo sísmico pelo Instituto de Meteorologia (IM). A existência desta nova informação de base justificou uma nova avaliação da perigosidade sísmica da região, também efectuada no âmbito do projecto ERSTA [Sousa *et al.*, 2008].

O presente estudo, que se enquadrou no trabalho desenvolvido pelo LNEC para o projecto ERSTA, tem como principais objectivos analisar a exaustividade¹ do catálogo sísmico revisto, estimar os parâmetros da lei de Gutenberg-Richter para as zonas de sismogénese delineadas e identificar os cenários sísmicos que mais contribuem para a perigosidade sísmica da região do Algarve e as várias probabilidades de excedência que lhe estão associadas.

¹ Em inglês: *completeness*.

No final do século XX McGuire [1995] aborda a desagregação probabilística da perigosidade sísmica como o elemento de ligação entre a análise probabilística da perigosidade sísmica e uma representação simples da ameaça sísmica por um ou mais eventos, caracterizados por um conjunto de variáveis, capazes de reproduzir no local o movimento sísmico resultante dessa ameaça. A desagregação da perigosidade sísmica tem sido, desde então, largamente aplicada e desenvolvida a nível mundial, constituindo um compromisso entre a opção por cenários de ocorrência seleccionados *à priori*, de forma determinística, e a opção pela caracterização da acção com base nos resultados da análise probabilística da perigosidade sísmica [Sousa, 2006].

A análise de desagregação da perigosidade sísmica consiste, como o próprio nome indica, em analisar a perigosidade sísmica de forma desagregada, ou seja, em examinar as contribuições relativas para um dado nível de perigosidade, das variáveis envolvidas no processo. Esta metodologia tem vindo principalmente a ser explorada para a identificação do designado sismo de controlo, de dimensionamento, ou cenário sísmico. Este evento é correntemente identificado como o valor médio ou o valor modal da função de distribuição que representa a desagregação da perigosidade sísmica.

A partir deste evento é possível, por exemplo, estimar a duração do movimento sísmico, gerar séries temporais e espectros compatíveis com o nível de perigosidade do local ou estabelecer cenários sísmicos a serem utilizados no planeamento de emergência [Sousa & Campos-Costa, 2009].

De entre os muitos autores que têm implementado a análise probabilística da perigosidade sísmica destacam-se, além de Sousa [2006], os trabalhos desenvolvidos por Montilla [2000], Montilla *et al.*, [2002], Sousa & Campos-Costa [2009], por abrangerem o Algarve como região de estudo. Nestes estudos, os autores dão especial importância à introdução de leis de atenuação espectrais nos estudos de perigosidade, especialmente na região a SW do Cabo de S. Vicente, ao aprofundamento da caracterização de regiões que apresentam sismicidade moderada na plataforma continental e à revisão das magnitudes máximas das zonas de sismogénese e ao próprio delineamento dessas zonas.

O presente estudo nasce da aplicação de ferramentas desenvolvidas por Sousa [2006], para análise de desagregação da perigosidade sísmica, aos desenvolvimentos obtidos no âmbito do projecto ERSTA, não só no que toca da informação de base, como também no que diz respeito à análise da perigosidade sísmica.

Para compreender globalmente o estabelecimento dos cenários sísmicos para o Algarve torna-se necessário partir da descrição e da referida informação de base para chegar à análise probabilística de desagregação da perigosidade sísmica. Assim, no âmbito desta linha condutora apresentam-se, de forma resumida, os principais desenvolvimentos conseguidos no projecto ERSTA que interessam para a presente análise, e também, mas de forma detalhada, o trabalho agora realizado, nomeadamente a análise de exaustividade do catálogo sísmico, a estimativa dos parâmetros da lei de Gutenberg-Richter e os procedimentos para a identificação de cenários sísmicos.

Além dos capítulos inicial e final, de introdução e conclusão, este trabalho está estruturado em três capítulos principais que incluem a descrição da metodologia utilizada, uma abordagem teórica aos temas tratados, bem como a apresentação e justificação dos modelos seleccionados, englobando a pesquisa bibliográfica sobre o estado da arte dos temas referidos.

Apresentada a estrutura global desta tese, descrevem-se, resumidamente, os 5 capítulos que a constituem:

No presente capítulo, da introdução, apresenta-se o tema a desenvolver, as razões que o justificam, os objectivos e a estrutura global do trabalho.

Ao longo do 2º capítulo apresentam-se os dados de base e os parâmetros dos modelos posteriormente empregues na reavaliação da perigosidade sísmica e na sua desagregação.

No capítulo 3, introduz-se o conceito de perigosidade sísmica numa perspectiva probabilística e efectua-se a sua desagregação.

O estabelecimento de cenários sísmicos para a região do Algarve é abordado no capítulo 4, bem como a análise dos resultados obtidos.

Por fim, no capítulo 5, faz-se uma retrospectiva do trabalho desenvolvido, apresentam-se as suas principais conclusões e perspectivam-se possíveis trabalhos futuros.

2. Dados de base e parâmetros dos modelos

2.1.Introdução

Neste capítulo apresentam-se os dados e os parâmetros dos modelos que servirão de base à análise probabilística da perigosidade sísmica e subsequente desagregação, para a região do Algarve.

Assim, começa por se apresentar o catálogo sísmico e as zonas de sismogénese adoptadas neste projecto, que são o ponto de partida deste trabalho e, em particular, do estudo do processo espacial e temporal da ocorrência, que permite caracterizar a actividade sísmica para as zonas de sismogénese adoptadas (ver secção 2.2).

A análise dos catálogos sísmicos de uma determinada região permite obter uma relação empírica entre a frequência com que ocorrem os sismos e as respectivas magnitudes, para um período de tempo dado. Estas relações de frequência-magnitude caracterizam o comportamento sísmico da região, sendo elementos fundamentais para estimar a perigosidade sísmica e os intervalos de recorrência, ou períodos de retorno, associados a dada magnitude. Por essa razão, seguem-se, nas secções 2.3 e 2.4, respectivamente, a análise da exaustividade do catálogo sísmico adoptado e a estimativa de novas leis de frequência-magnitude, levadas a cabo por Rodrigues et. al. [2009], no âmbito do referido projecto, para estas novas zonas de sismogénese.

Na secção 2.5 far-se-á uma breve apresentação do trabalho desenvolvido por Carvalho & Campos-Costa [2008], no âmbito do projecto ERSTA, no qual se estudou a atenuação da energia sísmica desde a fonte de geração até aos diferentes locais, ao nível do substrato rochoso da região do Algarve e se determinaram leis de atenuação espectrais válidas para esta zona.

2.2.Catálogo sísmico e zonas de sismogénese

A revisão do catálogo sísmico, para Portugal Continental e região adjacente, efectuada pelo Instituto de Meteorologia incidiu sobre o período de tempo compreendido entre 1961-1969 e 2001-2003, tendo esta informação sido completada com dados do período 63 A.C. a 1960 do catálogo de Martins & Mendes-Victor [1990], com a informação do catálogo anteriormente revisto para o período 1970-2000 [Carrilho

et al., 2004] e com os dados instrumentais da base de dados instrumental do IM (2004-2007).

De acordo com a informação disponibilizada pela equipa de trabalho do Instituto de Meteorologia o catálogo fornecido apenas contem os sismos principais tendo sido removidos os precursores e as réplicas com recurso ao algoritmo proposto por Raesenberg [1985]. Este catálogo contém 10 552 sismos, históricos e instrumentais. A Tabela 2.1 apresenta uma síntese da informação contida no catálogo sísmico utilizado neste estudo.

Tabela 2.1 – Síntese da informação contida no catálogo sísmico para Portugal Continental e região adjacente [Rodrigues et al., 2009].

Catálogo		Região analisada
Data de início		63 A.C
Data de fim		2007
Nº de registos		10552
Latitude (grau)	Mínima	35.0N
	Máxima	41.0N
Longitude (grau)	Mínima	19W
	Máxima	5.0W
Magnitude mínima	ML	0.1
Magnitude máxima	ML	8.7

A análise estatística do catálogo permitiu constatar que: (i) o catálogo regista dez sismos com magnitude superior ou igual a 7.5, (ii) os sismos com magnitude inferior a 3.5 constituem 85.1% dos registos do catálogo, (iii) a partir de ano de 1909, a taxa média de ocorrências é de 104.5 sismos por ano e, no período anterior, é de 0.2 sismos por ano. Daqui se deduz que o catálogo existente não descreve, de forma exaustiva, a sismicidade da região, principalmente na gama de magnitudes mais baixas e no período histórico.

Na Figura 2.1 apresenta-se o mapa de epicentros e das zonas de sismogénese, fornecido pelo IM, que se adoptou no presente projecto e na Figura 2.2 as zonas de sismogénese e as principais falhas activas da margem continental SW-Ibérica.

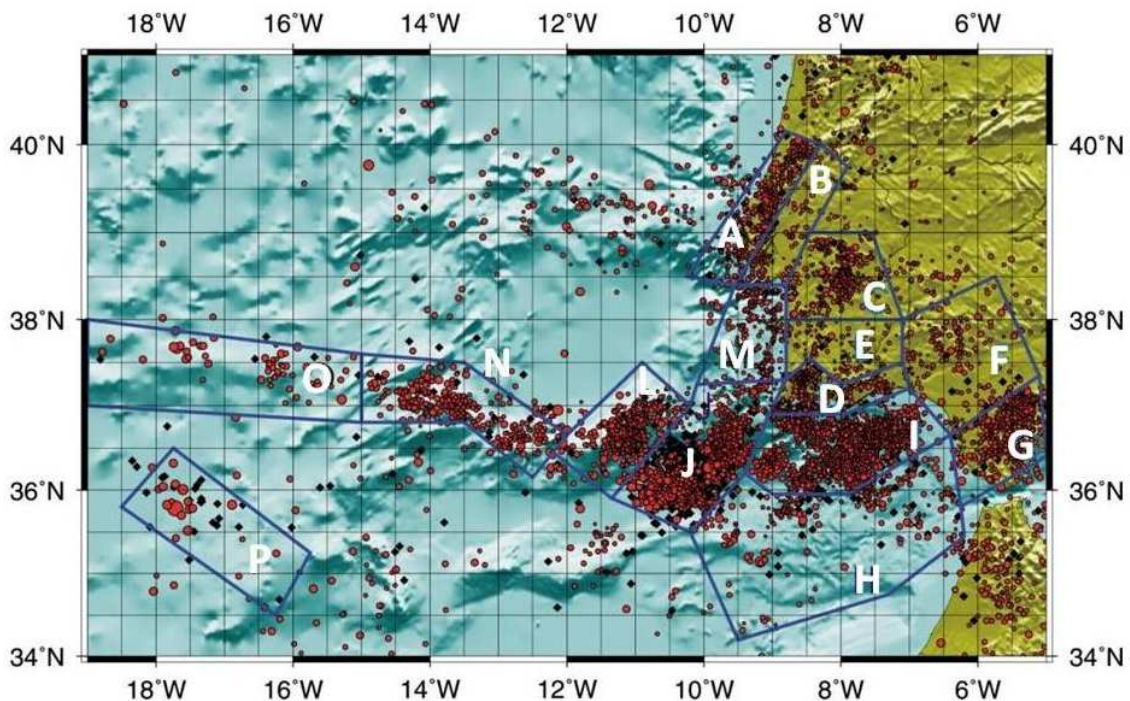


Figura 2.1 – Mapa de epicentros e das zonas de sismogénese adoptadas, fornecido pelo Instituto de Meteorologia no âmbito do projecto ERSTA [IM, 2008].

De entre as 15 zonas (Figura 2.1) importa, no âmbito deste trabalho, sublinhar o papel que desempenham as zonas B, M, D, I e J, na análise da perigosidade sísmica da região do Algarve (capítulo 3).

Para tal exibem-se, na Figura 2.2 as principais falhas activas na margem continental SW-Ibérica [Ribeiro, 2005], desenhando-se, na mesma figura, as zonas de sismogénese adoptadas no projecto ERSTA, e alguns sismos que afectaram a região do Algarve.

A zona B que inclui a região do Vale Inferior do Tejo, constitui uma das fontes sismogénicas (Figura 2.2) onde ocorreram sismos como o de 1531 [Senos, 1994] e o sismo de Benavente de 1909 [Senos, 1994], que foi o sismo mais destruidor, ocorrido em Portugal Continental, no século passado.

A falha Sines-Setúbal, na zona M, que se pensa ter sido responsável pelo sismo de Setúbal de 1858 [Senos, 1994], que provocou um elevado nível de destruição naquela região, e que foi sentido na região do Algarve.

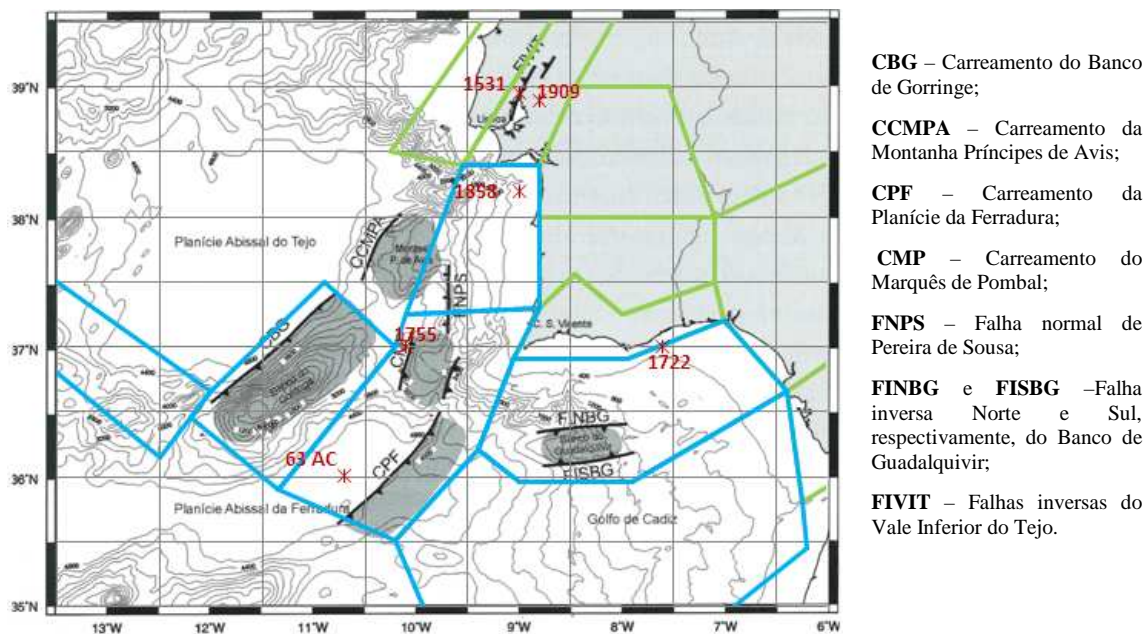


Figura 2.2 – Principais falhas activas na margem continental SW-Ibérica [Ribeiro, 2005], zonas de sismogénese e alguns sismos que afectaram a região do Algarve.

A zona D que inclui a região do Algarve, onde a sismicidade em terra desempenha um papel importante [Teves-Costa, 2006], exemplo disso foi o sismo de 1722 [Senos, 1994], que teve efeitos catastróficos e no qual foi quase totalmente destruída a vila de Loulé.

A área do Banco de Guadalquivir, enquadrada pela zona I, é uma região de marcada actividade sísmica, como o demonstram as elevadas concentrações de sismos visíveis na Figura 2.1.

E a zona J que engloba o carreamento do Marquês de Pombal e o carreamento da Planície da Ferradura que, além de apresentar uma actividade sísmica intensa, está intrinsecamente ligada à polémica em torno da localização da fonte geradora do sismo de 1755, que reflectem o conhecimento progressivo das estruturas tectónicas na margem SW-Ibérica, que levaram ao aparecimento, nas últimas décadas, de várias propostas para a fonte geradora deste sismo.

A este respeito, importa referir que os resultados mais importantes desta nova fase do estudo da fonte sismogénica para o sismo de 1755 se prendem com o abandono do Banco do Gorringe e com a descoberta das falhas activas ilustradas na Figura 2.1 [Terrinha *et al.*, 2005] e que Carvalho [2007] defende que os modelos que melhor justificam os danos causados por este sismo, em Portugal Continental, são aqueles que

consideram uma ruptura múltipla em que intervém a falha do Marquês de Pombal (CMP, Figura 2.2).

Assim, pese embora a dificuldade em descrever a localização do sismo de 1755 por um epicentro, dadas as suas características específicas, à semelhança dos outros sismos, este é listado no catálogo do IM pelas coordenadas de um ponto (37N,10.5W). De salientar que esta é a localização epicentral que consta do catálogo original de Martins & Mendes-Victor [1990], uma vez que o IM não efectuou a sua a revisão. Pelas razões expostas, adopta-se neste estudo, a relocalização deste epicentro proposta por Rodrigues *et al.*, [2009], que conduziu à sua integração na zona de sismogénese Ferradura - Marquês de Pombal (zona J, na Figura 2.1), em detrimento da zona do Banco do Gorringe (CBG, Figura 2.2), tal como é referenciado no catálogo do IM.

2.3.Análise da exaustividade do catálogo sísmico

Para assegurar que a distribuição de magnitudes do catálogo sísmico não se encontra enviesada, pelo facto do catálogo não se encontrar completo na gama de magnitudes mais baixas das épocas antigas, torna-se necessário proceder a um estudo da exaustividade do catálogo sísmico.

Este estudo, tem o objectivo de estimar os limiares inferiores dos intervalos de tempo para os quais o catálogo se considera completo para uma determinada gama de magnitudes ou intensidades epicentrais. O procedimento baseia-se num método gráfico em que se assume que o catálogo é completo a partir do momento em que a taxa de ocorrência de sismos, de determinada gama de magnitudes, é constante no tempo.

Assim, dividem-se as magnitudes, ou intensidades epicentrais, em classes e representa-se graficamente, para cada uma destas classes, o número cumulativo de sismos, em função do tempo. Assumindo que a taxa de ocorrência de sismos, de determinada gama de magnitudes, é constante no tempo, é possível ajustar-lhe uma função linear e determinar, graficamente, o período de tempo para o qual o declive da recta é constante.

O estudo da exaustividade do novo catálogo permitiu identificar os períodos de tempo para os quais este é completo, para as diferentes gamas de magnitude, sendo ilustrado graficamente na Figura 2.3.

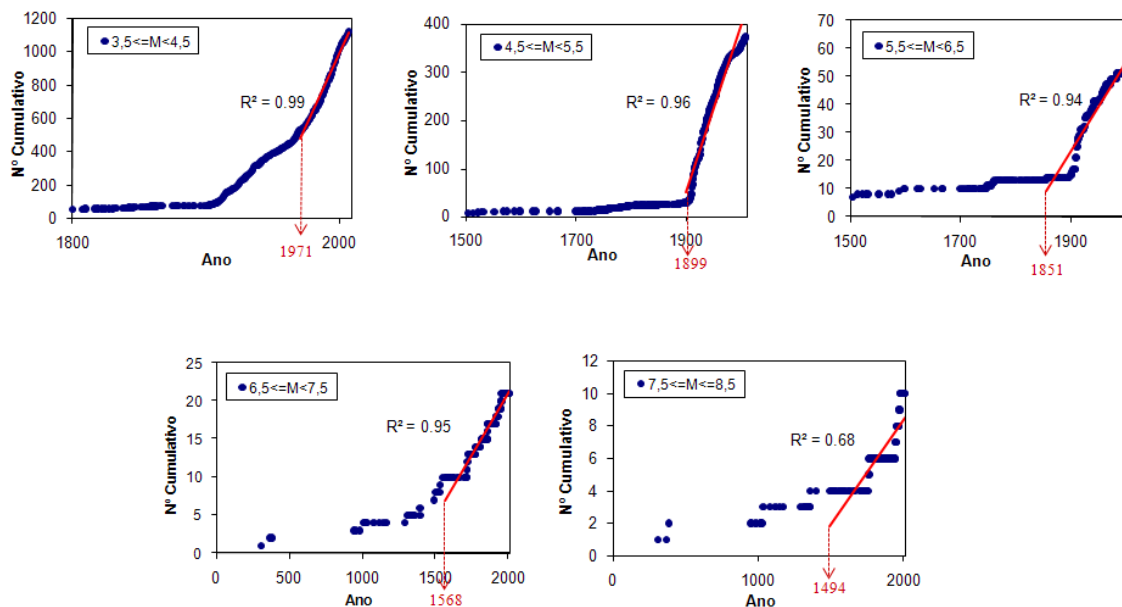


Figura 2.3 – Estudo da exaustividade do catálogo sísmico fornecido por IM [2008] [Rodrigues et al., 2009].

Analisando os resultados obtidos concluiu-se que o catálogo pode ser considerado completo para os diferentes intervalos de magnitude, para os seguintes anos: a partir de 1971 para o intervalo de magnitude [3.5; 4.5[, a partir de 1899 para o intervalo [4.5; 5.5[, a partir de 1851 para o intervalo [5.5; 6.5[, a partir de 1568 para o intervalo [6.5; 7.5] e a partir de 1494 para o intervalo [7.5; 8.7]. Estes resultados estão apresentados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Exaustividade do catálogo sísmico [Rodrigues et al., 2009].

Ano a partir do qual o catálogo é considerado completo	Gama de magnitude
1971	[3.5; 4.5[
1899	[4.5; 5.5[
1851	[5.5; 6.5[
1568	[6.5; 7.5[
1494	[7.5; 8.7]

2.4. Novas leis de frequência-magnitude para a região do Algarve

A análise dos catálogos sísmicos de uma determinada região permite obter uma relação empírica entre a frequência com que ocorrem os sismos e as respectivas magnitudes, para um período de tempo dado, caracterizando, assim, o comportamento

sísmico da região. Tratam-se, por isso, de elementos fundamentais para estimar a perigosidade sísmica e os intervalos de recorrência, ou períodos de retorno, associados a dada magnitude

A relação de frequência-magnitude mais utilizada, a nível mundial, é a lei de Gutenberg-Richter [Gutenberg *et al.*, 1944], em que é estabelecida uma dependência linear entre o logaritmo da frequência de ocorrências de sismos e as suas magnitudes, para uma dada região, k , que se considera homogénea em termos de sismicidade:

$$\log N(m) = a - b \cdot m \quad (2.1)$$

em que,

$N(m)$ é o número de sismos com magnitude maior ou igual a m que ocorre na região analisada, para um dado período de observação;

a é a actividade sísmica da zona sismogénese, que se relaciona com a taxa de ocorrência total dessa zona, no período de observação considerado, ou seja, com 10^a ;

b é um coeficiente que descreve a taxa relativa de ocorrência entre sismos de maior e menor magnitude em cada zona de sismogénese, sendo muitas vezes representado pelo parâmetro β , $\beta = b \cdot \ln(10)$.

Os parâmetros da lei de Gutenberg-Richter, que melhor se ajustam às características de cada uma das 15 zonas de sismogénese (A a P), foram estimados através do procedimento proposto por Weichert [1980], que recorre ao método da Máxima Verosimilhança para diferentes períodos de observação, associados a diferentes gamas de magnitude.

Assim, consideraram-se períodos de observação com extensões diferentes - os períodos de exaustividade descritos em 2.3 - agruparam-se os dados em classes de magnitude e, para cada zona, determinou-se a magnitude máxima m_{max} que, neste estudo, correspondeu à magnitude do sismo mais intenso que ocorreu no passado, com epicentro na zona analisada.

Para incorporar os diferentes períodos de observação na função verosimilhança, L ,

$$L(\beta | n_i, m_i) = \frac{N!}{\prod_i n_i} \prod_i p_i^{n_i} \quad (2.2)$$

Weichert [1980] propõe que a probabilidade, p_i , de que um determinado sismo ocorra no i -ésimo intervalo, em que constam n_i eventos na classe de magnitude (m_i) para um período de observação (t_i) seja dada por:

$$p_i = \frac{t_i e^{(-\beta m_i)}}{\sum_j t_j e^{(-\beta m_j)}} \quad (2.3)$$

Desta forma, quando se maximiza a função *verosimilhança* é possível estimar os parâmetros da lei de Gutenberg-Richter tendo em conta os diferentes períodos de exaustividade do catálogo.

O erro da estimativa, considerando que é possível aplicar a lei dos grandes números, e que β tem distribuição normal com variância, $\sigma^2(\beta)$, é calculado por:

$$\sigma^2(\beta) = \left(\frac{\partial^2 \ln L}{\partial \beta^2} \right)^{-1} \quad (2.4)$$

Assumindo que os eventos sucessivos de uma dada zona de sismogénese são independentes, que os sismos com magnitude inferior a m_0 que ocorrem numa zona de sismogénese não são relevantes para o cálculo da perigosidade sísmica, pois não causam estragos do ponto de vista da engenharia, e que em cada zona existe um valor de magnitude m_{max} que não pode ser ultrapassado, então a função densidade de probabilidade da magnitude que se adequa à lei de Gutenberg-Richter, truncada inferior e superiormente, escreve-se [Araya & Der Kiureghian, 1988]:

$$f_M(m) = \frac{\beta e^{-\beta(m-m_0)}}{1 - e^{-\beta(m_{max}-m_0)}}, \quad m_0 \leq m \leq m_{max}, \quad (2.5)$$

Na Figura 2.4 apresenta-se a representação gráfica da relação linear entre o logaritmo da frequência de ocorrências de sismos e as suas magnitudes, para cada zona de sismogénese, e para uma zona global, que corresponde à região compreendida entre 35.0 e 41.0N e 19.0 e 5.0W (apresentada na Figura 2.1).

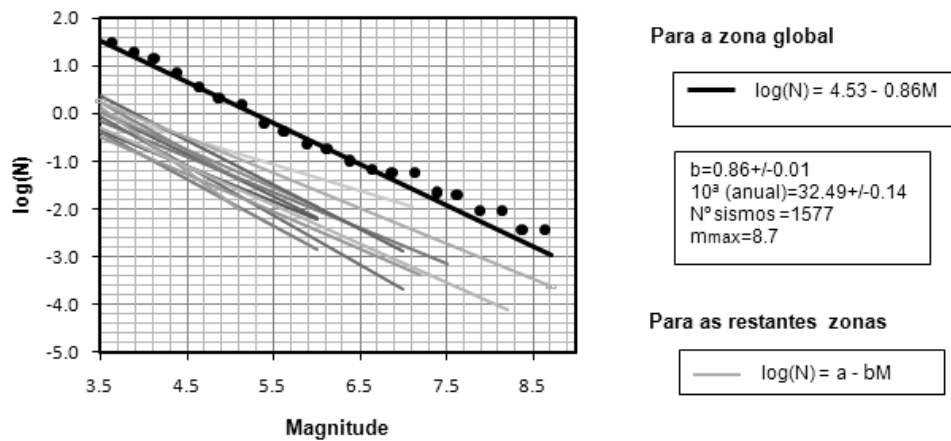


Figura 2.4 – Representação gráfica das leis de Gutenberg-Richter.

Os valores estimados para os parâmetros b e para a magnitude máxima de cada zona de sismogénese apresentam-se na Figura 2.5, de forma a facilitar análise da sua distribuição espacial.

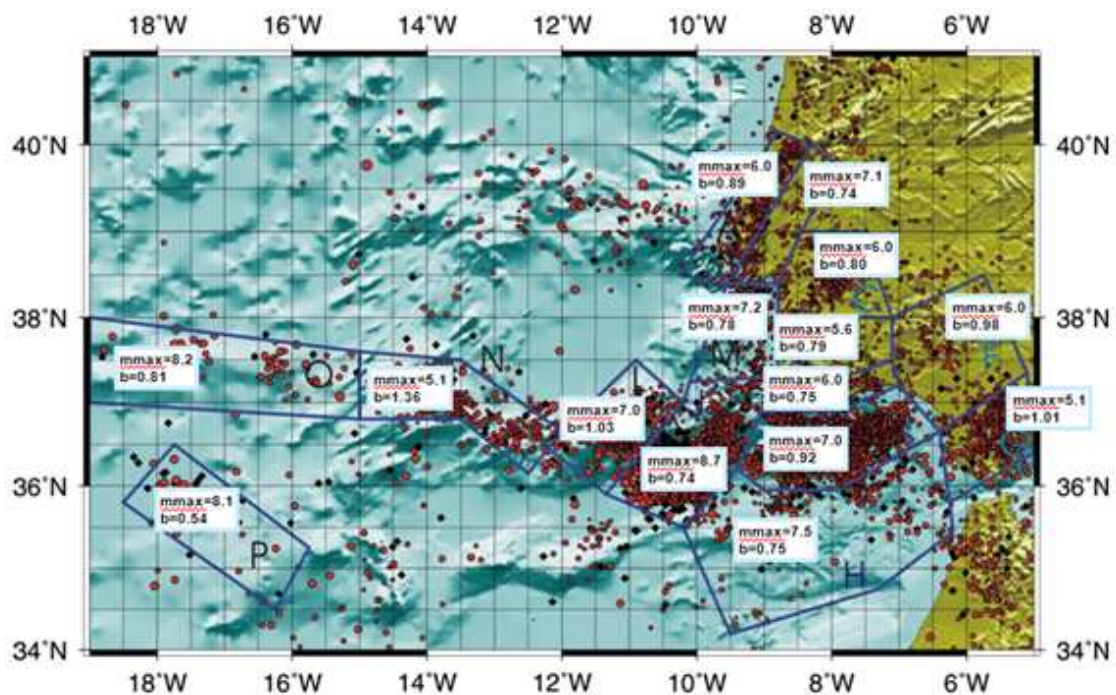


Figura 2.5 – Distribuição espacial dos parâmetros estimados.

Na Tabela 2.3 reúnem-se os parâmetros m_{max} , b e $\sigma(b)$ estimados para cada uma das 15 zonas, segundo o procedimento descrito ao longo desta secção. Acrescenta-se ainda a estimativa destes parâmetros para a zona global, compreendida entre 35.0 e 41.0N e 19.0 e 5.0W (ver Figura 2.1).

Tabela 2.3 – Magnitude máxima e parâmetros estimados para cada zona.

Zona	m_{max}	b	$\sigma(b)$
A	6	0.8947	0.0811
B	7.1	0.7371	0.048
C	6	0.805	0.0697
D	6	0.7546	0.0999
E	5.6	0.7882	0.1942
F	6	0.9815	0.1532
G	5.1	1.0131	0.0797
H	7.5	0.7519	0.0791

Zona	m_{max}	b	$\sigma(b)$
I	7	0.9222	0.0595
J	8.7	0.7441	0.0495
L	7	1.0317	0.1139
M	7.2	0.7832	0.1237
N	5.1	1.3642	0.1341
O	8.2	0.8106	0.1061
P	8.1	0.5351	0.1373
global	8.7	0.8534	0.021

O valor de b , indicador da proporção entre sismos de grandes e pequenas magnitudes, varia significativamente de zona para zona, assumindo valores entre 0.54 e 1.36 na região analisada.

A zona de geração N possui o maior valor absoluto de b_k , ou seja, possui a lei de Gutenberg-Richter mais inclinada, revelando a predominância de sismos de baixas magnitudes relativamente aos sismos com magnitudes elevadas. Por outro lado, a zona P é a que apresenta o valor de b mais reduzido, isto é, possui a lei de Gutenberg-Richter menos inclinada, revelando uma maior incidência de sismos de magnitudes elevadas em relação aos sismos com magnitudes baixas.

A análise dos gráficos permite ainda constatar que, para a região global, o número de ocorrências oscila em torno da recta obtida através do método de Weichert [1980].

De facto, uma vez que o método utilizado tem em conta diferentes os períodos de observação, associados a diferentes gamas de magnitude, as zonas caracterizadas por gerarem sismos muito intensos, como é o caso da zona de sismogénese Ferradura-Marquês de Pombal (zona J na Figura 2.1), apresentam rectas marcadamente afectadas pelos intervalos de magnitude em que se verificam mais sismos, associados aos respectivos períodos de observação. Desta forma, os valores obtidos são superiores

aos valores apresentados noutros estudos, em que se utilizam outros métodos para estimar estes parâmetros.

Os testes F à qualidade global dos modelos revelaram-se significativos (a 5%) para todas as zonas. O mesmo se verifica para os testes t à significância do parâmetro b .

No entanto, para os valores de truncatura da magnitude utilizados, o número de sismos existente no catálogo revela-se reduzido em algumas zonas.

2.5. Leis de atenuação

Uma lei de atenuação, ou equação de previsão da amplitude dos movimentos do solo, mostra a forma como a energia gerada numa fonte é atenuada, ao longo do percurso, à medida que se afasta desta fonte.

Estas leis são relações empíricas, concretizadas sob a forma de equações cujos coeficientes, para as várias frequências, são encontrados através da análise de regressão, e que permitem estimar as amplitudes dos movimentos dos solos em eventos futuros, como função de variáveis explicativas como a magnitude ou a distância à fonte.

A forma geral de um modelo de atenuação para traduzir a amplitude dos movimentos do solo, nomeadamente em relação às variáveis ou parâmetros que deve contemplar, pode escrever-se, genericamente:

$$Y = f(M, R, P_i) + \varepsilon \quad (2.6)$$

Em que Y representa a intensidade do movimento do solo que se pretende prever (aceleração espectral ou valores de pico da aceleração, neste caso); R é a distância (hipocentral, neste caso) entre a fonte e o local em análise; M é a variável que descreve a grandeza do sismo (magnitude ou intensidade epicentral); P_i representa um vector de variáveis que pode ser utilizado, por exemplo, para caracterizar a fonte, a propagação das ondas no meio, ou as condições locais; ε é uma variável aleatória que reflecte a natureza imprevisível do movimento do solo e as características do modelo utilizado, que se traduz numa dispersão em relação ao valor previsto pelo modelo de atenuação (admite-se que esta variável tem distribuição normal de média nula e variância σ^2).

No âmbito do projecto ERSTA, adoptaram-se as leis de atenuação espectral, desenvolvidas por Carvalho & Campos-Costa [2008], que serão usadas neste estudo e cuja relação funcional é expressa por:

$$\log_{10} S_a = c_1 + c_2 M + c_3 R + c_4 \log_{10} R + \sigma_\varepsilon \quad (2.7)$$

Em que S_a representa a aceleração espectral, M representa a magnitude de momento e R a distância hipocentral.

Para as obterem, os autores simularam os movimentos intensos do solo, utilizando o programa de modelação estocástica de falha finita RSSIM [Carvalho, 2007], inserido no Simulador de cenários sísmicos LNECloss [Sousa *et al.*, 2004] existente no NESDE (Núcleo de Engenharia Sísmica e Dinâmica de Estruturas), para uma grelha de magnitudes, distâncias e frequências para dois cenários que caracterizam a acção sísmica em Portugal Continental. Criaram, assim, uma base de dados sintética que permite ultrapassar as lacunas existentes no registo de movimentos do solo (provocados por magnitudes moderadas a elevadas) que impossibilita o desenvolvimento de leis de atenuação espectrais a partir de regressões de dados empíricos [Carvalho & Campos-Costa, 2008].

Neste contexto importa ainda referir que os cenários considerados foram o *cenário próximo / terra* (que pretende representar um segmento da falha do Vale Inferior do Tejo - *FIVIT*, Figura 2.2 - e que irá ser traduzido por leis de atenuação representativas de sismos de magnitude moderada a curtas distâncias com epicentro maioritariamente em terra), e o *cenário afastado / mar* (que representa a geometria da falha do Marquês de Pombal - *CMP*, Figura 2.2 - e que irá ser traduzido em leis de atenuação representativas de sismos de magnitude elevada com epicentro na região oceânica [Carvalho & Campos-Costa, 2008]. Importa referir que estas leis referidas correspondem a leis de atenuação capazes de simular a acção sísmica tipo 2 do Anexo Nacional do EC8 que correspondem a leis de atenuação capazes de simular a acção sísmica tipo 1 do Anexo Nacional do EC8).

As relações de atenuação foram, assim, estimadas por regressão dos dados sintéticos, para o espectro de resposta (espectro em aceleração, 5% amortecimento) e para a aceleração de pico do movimento sísmico (*PGA*), em rocha, para Portugal Continental, como função da magnitude de momento, M , e da distância hipocentral, R_{HP} .

A Tabela 2.4 apresenta os valores obtidos por Carvalho & Campos-Costa [2008], para os coeficientes da expressão (2.7), para o cenário *próximo* e *afastado*, respectivamente, considerando R_{HP} . A incerteza aleatória, σ_ε , obtida como resultado da regressão efectuada, teve um valor muito próximo para todos os períodos considerados pelo que foi adoptado o seu valor médio, constante para toda a banda de frequências analisada [Carvalho & Campos-Costa, 2008].

Tabela 2.4 - Coeficientes da lei de atenuação em aceleração espectral, rocha; cenários próximo / terra (a verde) e afastado / mar (a azul), distância RHP, (Sa em cm/s² e $\sigma_\varepsilon = 0.25$ e $\sigma_\varepsilon = 0.22$, respectivamente) [Carvalho & Campos-Costa, 2008].

Frequência [Hz]	Período [s]	<i>c1</i>	<i>c2</i>	<i>c3</i>	<i>c4</i>	<i>c1</i>	<i>c2</i>	<i>c3</i>	<i>c4</i>
40.00	0.03	-0.4041	0.5893	-0.0022	-0.8715	0.8937	0.3998	-0.0020	-0.7327
20.00	0.05	-0.0387	0.5608	-0.0026	-0.8611	1.1550	0.3952	-0.0023	-0.7521
10.00	0.10	0.0004	0.5539	-0.0026	-0.7831	1.0343	0.3971	-0.0025	-0.6121
6.33	0.16	-0.1521	0.5671	-0.0024	-0.7501	0.8692	0.4025	-0.0024	-0.5462
5.00	0.20	-0.3041	0.5799	-0.0023	-0.7250	0.7660	0.4069	-0.0024	-0.5224
4.00	0.25	-0.4658	0.5962	-0.0022	-0.7142	0.6574	0.4126	-0.0023	-0.5068
3.33	0.30	-0.6390	0.6133	-0.0021	-0.6990	0.5551	0.4178	-0.0022	-0.4932
2.50	0.40	-0.9811	0.6480	-0.0020	-0.6723	0.3579	0.4299	-0.0020	-0.4754
2.00	0.50	-1.3027	0.6818	-0.0019	-0.6509	0.1652	0.4428	-0.0020	-0.4606
1.67	0.60	-1.5885	0.7136	-0.0018	-0.6402	-0.0212	0.4559	-0.0019	-0.4475
1.26	0.79	-2.0959	0.7699	-0.0017	-0.6181	-0.3343	0.4810	-0.0018	-0.4418
1.00	1.00	-2.5549	0.8212	-0.0016	-0.6038	-0.6177	0.5066	-0.0016	-0.4525
0.50	2.00	-3.9623	0.9838	-0.0012	-0.6192	-1.4806	0.6040	-0.0012	-0.5923
0.33	3.03	-4.6871	1.0691	-0.0009	-0.6795	-2.0410	0.6803	-0.0009	-0.7061
0.25	4.00	-5.0911	1.1183	-0.0006	-0.7570	-2.4172	0.7315	-0.0008	-0.7833
0.20	5.00	-5.3309	1.1480	-0.0004	-0.8327	-2.6854	0.7676	-0.0007	-0.8403
	<i>PGA</i>	-0.5057	0.5947	-0.0021	-0.8531	0.7984	0.4012	-0.0020	-0.7038

2.6. Caracterização espacial e temporal da ocorrência

Para se caracterizar o processo espacial e temporal da ocorrência sísmica considera-se, por um lado, a divisão da zona em estudo nas zonas de sismogénese, apresentadas na secção 2.2, e por outro, a divisão de toda a região em células elementares, i , de dimensão constante, $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$.

Estas divisões geográficas permitem efectuar a análise da desagregação da perigosidade sísmica usando o modelo de cálculo misto adoptado por Sousa [2006], seguindo a metodologia proposta por Frankel [1995], em que parte dos parâmetros dos modelos probabilísticos são tratados de forma homogénea em cada zona de sismogénese, mas os restantes parâmetros são avaliados de forma discreta

e heterogénea em células de dimensão seleccionada criteriosamente, reflectindo a distribuição observada da localização dos epicentros dos sismos existentes no catálogo da região [Sousa, 2006, citando Frankel, 1995].

Os parâmetros que dizem respeito às zonas de sismogénese, estimados ao longo deste capítulo, são apresentados na Tabela 2.5. Para cada zona apresentam-se as leis de atenuação, $L.A.$, dados os cenários considerados na sua estimativa (ver secção 2.5), a magnitude máxima, m_{max} , a taxa anual de ocorrência de sismos, α (anual), o parâmetro β da lei de Gutenberg-Richter (secção 2.4) e o período de retorno, $P.R.$, associado à magnitude máxima de cada zona.

Tabela 2.5 - Parâmetros das zonas de sismogénese.

zona	L. A.	m_{max}	α (anual)	β	P.R.
A	terra	6.0	1.1356	2.0602	202
B	terra	7.1	1.8484	1.6973	423
C	terra	6.0	1.1273	1.8536	140
D	terra	6.0	0.4553	1.7376	281
E	terra	5.6	0.1366	1.8150	514
F	terra	6.0	0.4188	2.2600	795
G	terra	5.1	1.7002	2.3300	27
H	mar	7.5	0.7191	1.7314	2394
I	mar	7.0	2.3081	2.1235	939
J	mar	8.7	1.7851	1.7660	7115
L	mar	7.0	0.8796	2.1146	5080
M	mar	7.2	0.3304	1.8033	3831
N	mar	5.1	1.4419	3.1412	75
O	mar	8.2	0.4966	1.8666	19914
P	mar	8.1	0.1015	1.2322	7405

Para caracterizar o processo de ocorrência no espaço, $f_R(r)$, contabilizou-se o número de sismos com epicentro dentro de cada célula, i . A taxa de ocorrência, v_i , resulta da ponderação da taxa de ocorrência de uma zona k , v_k , pela razão entre o número de sismos, n_i , que ocorre em cada célula e o número de sismos total da zona, n_k , sendo preservada a taxa de ocorrência global da região, ou seja, $v_i = v_k \cdot n_i / n_k$.

Na Figura 2.6 ilustra-se a distribuição geográfica da taxa de ocorrência, representando-se o número de sismos por célula e alguns dos sismos históricos que constam no catálogo sísmico.

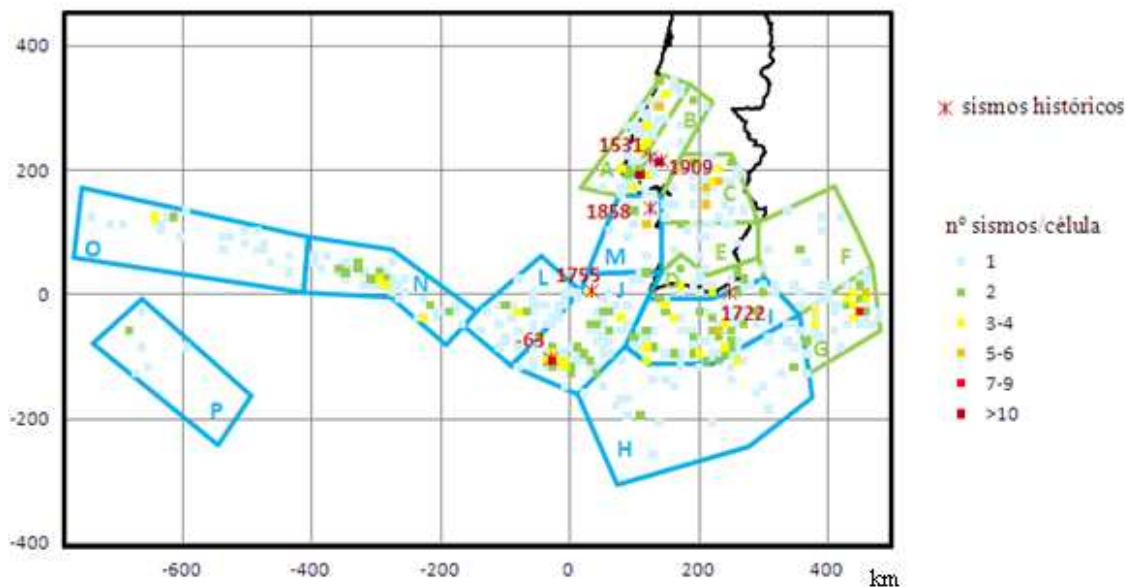


Figura 2.6 – Distribuição geográfica do número de sismos por célula e zonas de sismogénese.

2.7. Conclusões

Neste capítulo apresentou-se uma síntese da informação contida no catálogo sísmico disponibilizado pelo Instituto de Meteorologia e das 15 zonas de sismogénese adoptadas no projecto ERSTA. Efectuou-se também a análise de exaustividade deste catálogo, tendo-se concluído que o mesmo não é completo, principalmente no que toca aos sismos pertencentes à gama de magnitudes mais baixas e ao período histórico.

Para as 15 zonas de sismogénese adoptadas, e para os diferentes intervalos de exaustividade identificados, estimaram-se os parâmetros das leis de frequência-magnitude, pelo o método da máxima verosimilhança proposto por Weichert [1980]. Os testes F à qualidade global dos modelos revelaram-se significativos para todas as zonas. O mesmo se verificou para os testes t à significância do parâmetro b . Constata-se que os valores estimados para a inclinação dessas leis variam entre 0,54 e 1,36. Assim, conclui-se que o maior

valor absoluto de b foi estimado para a zona N, de elevada sismicidade, situada a Oeste do Banco de Gorringe e que o menor valor absoluto de b foi obtido na zona P, localizada na proximidade do limite sudoeste da região em análise. Esta zona apresenta uma sismicidade muito reduzida, mas engloba um sismo de magnitude elevada ocorrido já no período instrumental.

A secção 2.5 reúne as leis de atenuação espectrais utilizadas no âmbito do projecto ERSTA para avaliar a perigosidade sísmica e finalmente, na secção 2.6, caracterizou-se o processo espacial e temporal da ocorrência sísmica dividindo a zona em análise em células elementares.

3. Perigosidade sísmica e sua desagregação

3.1. Análise probabilística da perigosidade sísmica

O conceito de perigosidade é definido como a probabilidade de excedência de um determinado nível de severidade de um fenómeno potencialmente nefasto para a sociedade, numa área e num período de tempo de exposição determinados.

Nesta secção far-se-á uma apresentação alargada do conceito de perigosidade sísmica, numa perspectiva probabilística, e da análise desenvolvida por Sousa *et al.*, [2008], no âmbito do projecto ERSTA, no qual se insere este trabalho, tendo por base a formulação apresentada por Sousa [2006].

Esta metodologia, iniciada por Cornell [1968], foi introduzida, em Portugal, por Oliveira [1977], recorrendo a uma variante do modelo de Cornell, tendo sido um trabalho pioneiro na Europa, que serviu de suporte ao estabelecimento das acções sísmicas regulamentares em Portugal [RSA, 1983].

Desde então esta metodologia tem tido uma grande divulgação a nível mundial por permitir identificar, quantificar e combinar as variáveis aleatórias associadas à severidade, localização, e taxa de ocorrência dos sismos e à variação das características do movimento do solo com a magnitude e localização do sismo de uma forma racional de modo a fornecer um cenário mais completo da perigosidade sísmica (Teves-Costa, 2005).

É ainda de salientar que as metodologias subjacentes a este tipo de análise têm vindo a ser constantemente melhoradas, não só em virtude de existirem actualmente novas ferramentas informáticas, mas também em consequência da disponibilização de novos dados e da aplicação de novos métodos [Sousa, 2006].

Assim, no âmbito do projecto ERSTA, e no presente trabalho, a perigosidade sísmica e a sua análise são realizadas com recurso aos modelos probabilísticos referidos, na sequência do que tem vindo a ser feito em Portugal, como demonstra a longa bibliografia, publicada por diversos autores, de que são exemplo Campos-Costa [1993], Matias *et al.*, [2008], Oliveira *et al.*, [1977], Sousa [2006], Sousa & Campos-Costa [2009], Vilanova [2007] e Vilanova e Fonseca [2007].

A metodologia de cálculo utilizada baseia-se no teorema da probabilidade total segundo o qual a probabilidade de um acontecimento A ocorrer, é dada pelo produto da probabilidade condicional de A , dado um valor \mathbf{x} de \mathbf{X} , sendo \mathbf{X} um vector de variáveis aleatórias contínuas de que A depende, pela função densidade de probabilidade conjunta das variáveis do vector \mathbf{X} , e integrando este produto para todos os valores possíveis de \mathbf{X} , para os quais A ocorre.

$$P(A) = \int_{\mathbf{X}} P(A | \mathbf{x}) f_{\mathbf{X}}(\mathbf{x}) d\mathbf{x} \quad (3.1)$$

No âmbito deste trabalho, o acontecimento, representado por A na equação (3.1) é aqui substituído pela possibilidade de a aceleração espectral, S_a , provocada por um sismo, exceder um determinado nível de aceleração, designada por s_a , num dado local, durante um determinado sismo.

Neste caso, as variáveis aleatórias do vector \mathbf{X} são as variáveis explicativas, incluídas no modelo de atenuação representado pela equação (2.6), que caracterizam o sismo, desde a fonte até ao local cuja perigosidade se pretende determinar.

No que diz respeito à origem dos sismos, estas têm lugar em zonas da crosta terrestre, que podem ser delimitadas de acordo com as características sismológicas, tectónicas e geológicas. Nestas zonas, designadas zonas de sismogénese (apresentadas na secção 2.2), os processos de ocorrência dos sismos podem ser descritos pelas mesmas distribuições de probabilidade.

Assim, considere-se que os sismos capazes de afectar o local em análise têm origem numa região sísmica constituída por n zonas de sismogénese, e que um acontecimento, com origem numa zona arbitrária k , é capaz de provocar uma aceleração S_a .

Considere-se ainda que as variáveis aleatórias contidas no vector \mathbf{X} são a magnitude M e a distância hipocentral R e assumam-se que estas variáveis são estatisticamente independentes. A probabilidade de excedência do nível s_a pode representar-se, efectuando as substituições referidas no teorema da probabilidade total:

$$P(S_a > s_a)_k = \iint_{MR} P(S_a > s_a | m, r)_k f_R(r)_k f_M(m)_k dr dm \quad (3.2)$$

em que a função $f_R(r)_k$ representa a função densidade de probabilidade da distância hipocentral obtida a partir da distribuição espacial dos epicentros da zona k e da relação desta zona com o local em análise (secção 2.6), e a função $f_M(m)_k$ representa a função densidade de probabilidade da magnitude, ou distribuição da magnitude dos sismos (equação (2.5), deduzida a partir das leis de frequência magnitude apresentadas na secção 2.4).

Para se calcular taxa de excedência, ou seja, a taxa média, λ_k , de ocorrência de sismos na zona de sismogénese k que originam no local em estudo acelerações S_a superiores ou iguais a um determinado valor de referência, s_a , multiplica-se a probabilidade dada pela expressão (3.2) pelo número médio de ocorrências, na unidade de tempo, nessa zona de geração, ν_k .

$$(\lambda_{S_a > s_a})_k = \nu_k \cdot \iint_{MR} P(S_a > s_a | m, r)_k f_R(r)_k f_M(m)_k dr dm \quad (3.3)$$

Sousa [2006] afirma ser conveniente, como se tornará claro, quando se proceder à desagregação da perigosidade sísmica, reescrever a equação (3.3) de acordo com uma notação mais genérica, em que as funções de densidade probabilidade de todas as variáveis aleatórias são explicitadas [Sousa, 2006, citando Bazzurro e Cornell, 1999 e McGuire, 1995].

Para tal, representa-se a função cumulativa de distribuição condicional, explicitamente, em função da magnitude, M , da distância hipocentral, R , e da aleatoriedade do movimento do solo, ε :

$$P(S_a > s_a)_k = H[S_a(M, R, \varepsilon)_k - s_a] f_\varepsilon(\varepsilon)_k d\varepsilon \quad (3.4)$$

em que $H[S_a(M, R, \varepsilon)_k - s_a]$ representa a função de Heaviside que assume o valor nulo se $S_a(M, R, \varepsilon)_k$ for inferior a s_a e igual à unidade, caso contrário, garantindo assim que a taxa de excedência só assume valores não nulos caso se verifique a excedência do parâmetro de referência s_a .

A taxa média de ocorrência de sismos, para uma dada zona de geração, que originam no local acelerações, S_a , superiores ao nível de referência, s_a , assume a expressão:

$$(\lambda_{S_a > s_a})_k = \nu_k \cdot \iiint_{MR\epsilon} H[S_a(M, R, \epsilon)_k - s_a] f_R(r)_k f_M(m)_k f_\epsilon(\epsilon)_k dr dm d\epsilon \quad (3.5)$$

Para alargar esta expressão para toda a região sísmica, para um dado período de tempo, considera-se que o processo temporal das ocorrências é independente de zona para zona ou seja, considera-se que a ocorrência de um sismo numa qualquer zona não condiciona a ocorrência de outros sismos, noutras zonas. Ou seja, considera-se que o processo temporal das ocorrências verifica a propriedade do processo de Poisson não ser afectado pela agregação de n_i processos de Poisson independentes [Hillier & Lieberman, 1990].

Assim, a probabilidade de excedência, na unidade de tempo, devida à ocorrência aleatória de sismos em qualquer uma das n zonas de sismogénese que contribuem para a sismicidade sentida no local, pode ser obtida a partir da soma das taxas de ocorrência de um processo geral de Poisson do acontecimento $S_a > s_a$:

$$P(S_a > s_a) = 1 - \exp \left[- \sum_{k=1}^n (\lambda_{S_a > s_a})_k \right] \quad (3.6)$$

Se não for elevado o número esperado de sismos por unidade de tempo, capazes de causar no local, pelo menos uma vez, acelerações superiores ou iguais a ao nível de referência s_a , então esse número é uma boa aproximação² para a perigosidade associada à aceleração de referência [Sousa, 1995], ou seja:

$$P(S_a > s_a) \cong \sum_{k=1}^n (\lambda_{S_a > s_a})_k = \lambda_{S_a > s_a} \quad (3.7)$$

Esta expressão pode rescrever-se por forma a identificar, formalmente, a perigosidade sísmica com a taxa anual de excedência:

$$\lambda_{S_a > s_a} = \sum_k \nu_k \cdot \iiint_{MR\epsilon} H[S_a(M, R, \epsilon)_k - s_a] f_R(r)_k f_M(m)_k f_\epsilon(\epsilon)_k dr dm d\epsilon \quad (3.8)$$

Nesta aproximação, uma curva de perigosidade sísmica exprime-se pela frequência de excedência em função da amplitude de um determinado perigo sísmico

² Esta aproximação resulta do desenvolvimento em série de Taylor de $1 - e^{-x} = 1 - (1 - x + x^2/2! - \dots)$

como o movimento vibratório do solo [McGuire, 2004]. No âmbito deste trabalho, estas curvas serão apresentadas em gráficos da aceleração, s_a , em função do *período de retorno*, PR_0 :

$$PR_0 \equiv PR(s_a) = \frac{1}{P(S_a > s_a)} \cong \frac{1}{\sum_{k=1}^n (\lambda_{S_a > s_a})_k} \quad (3.9)$$

O período de retorno é definido como o inverso da probabilidade anual de excedência, pelo menos uma vez, no local em estudo, de um determinado nível de aceleração, s_a .

Note-se que a probabilidade anual de excedência é dada pela expressão (3.7), considerando a unidade de tempo como um ano. A partir da distribuição da probabilidade anual é possível obter a distribuição de probabilidade relativa a um intervalo de tempo de exposição de τ anos [Sousa, 2006 citando Oliveira, 1977]:

$$P_\tau(S_a \leq s_a) = [1 - P(S_a > s_a)]^\tau \cong \left(1 - \frac{1}{PR_0}\right)^\tau \quad (3.10)$$

Esta expressão tem a vantagem de relacionar, de forma expedita, a probabilidade de excedência, para um determinado tempo de exposição (também designado de período de vida) τ , com o período de retorno, e vice-versa. Através da sua aplicação, no decurso deste capítulo, considerar-se-ão as acções sísmicas correspondentes a períodos de retorno de 95, 475 e 975 anos, o que corresponde a assegurar, respectivamente, uma probabilidade de excedência de 10% durante um período de exposição de 10 anos, uma probabilidade de excedência de 10% durante um período de exposição de 50 anos, uma probabilidade de excedência de 5% durante um período de exposição de 50 anos.

Nesta secção apresenta-se a reavaliação da perigosidade sísmica, levada a cabo por Sousa *et al.*, [2008], no âmbito do projecto ERSTA, baseada nos dados, opções e resultados apresentados nas secções anteriores e escolhendo para modelos de atenuação as leis estabelecidas por Carvalho & Campos-Costa [2008], apresentadas na secção 2.5.

Neste trabalho, análise da perigosidade sísmica e sua desagregação será efectuada em termos de *PGA* e de acelerações espectrais, S_a , correspondentes às frequências de 1 e

de 2.5 Hz (0.4 e 1s) valores representativos das frequências fundamentais de vibração de tipologias de edifícios de pequeno e de grande porte, respectivamente.

Para o efeito, apresentam-se, na Figura 3.1, as envolventes das curvas de perigosidade sísmica, em *PGA*, *S_a(2.5Hz)* *S_a(1Hz)* para todas as freguesias da região algarvia, destacando-se, as curvas de perigosidade sísmica para Faro, Vila do Bispo e Vila Real de Santo António.

Para mapear os resultados obtidos, escolheram-se períodos de retorno de 95, 475 e 975 anos, ou seja, adoptaram-se as probabilidades de excedência (PE) de, respectivamente, 10%, num intervalo de tempo de exposição de 10 anos, 10% em 50 anos e 5% em 50 anos – valores referidos no Eurocódigo 8 [CEN, 2004] como os períodos de retorno da acção sísmica correspondentes à “exigência de limitação de danos”, à “exigência de não colapso” e à probabilidade de excedência associada à acção sísmica subjacente ao Regulamento sismo-resistente actualmente em vigor [RSA, 1983]. Este mapeamento é ilustrado pela Figura 3.2, onde se exhibe a distribuição geográfica da perigosidade sísmica, por freguesia, no território Algarvio.

A análise dos gráficos - e da informação subjacente a estes – permite verificar que a envolvente máxima de todas as curvas de perigosidade coincide com as curvas de perigosidade sísmica de Sagres e Vila do Bispo, para as três frequências em análise. A envolvente mínima coincide, para as três frequências em análise, com a distribuição da perigosidade sísmica de Alcoutim, freguesia situada no extremo oposto a Sagres e a Vila do Bispo, na região algarvia.

Confirma-se igualmente que os valores das acelerações aumentam com o aumento do período de retorno, tal como seria de esperar, uma vez que quanto maior é o intervalo de tempo considerado, maior é a probabilidade de ocorrer um evento que produza maiores acelerações.

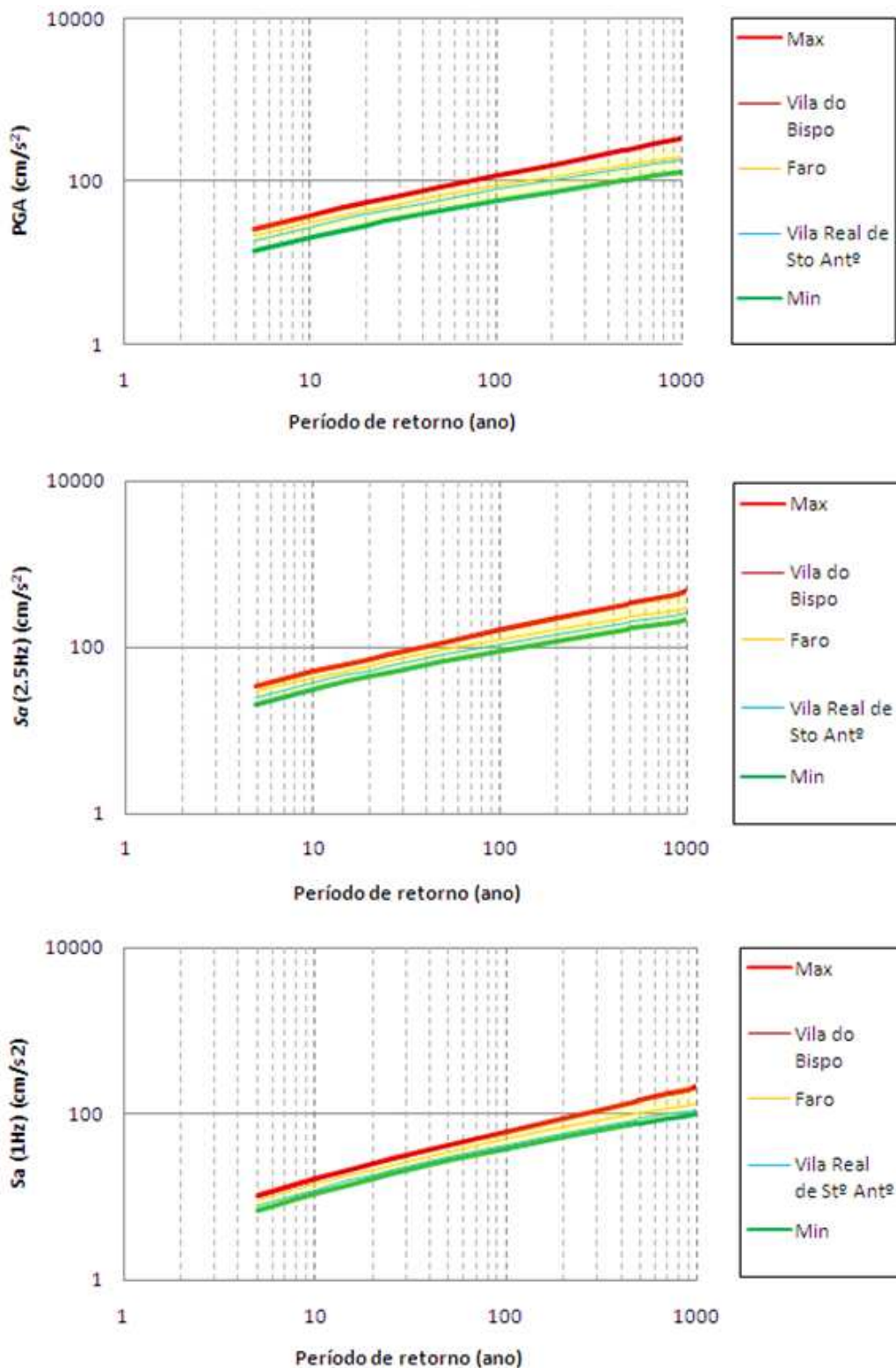


Figura 3.1 – Envolvente das curvas de perigosidade sísmica para todas as freguesias da região do Algarve, para PGA (adaptada de Sousa et al., 2008) (em cima), Sa(2.5Hz) (ao centro) e Sa(1Hz) (em baixo).

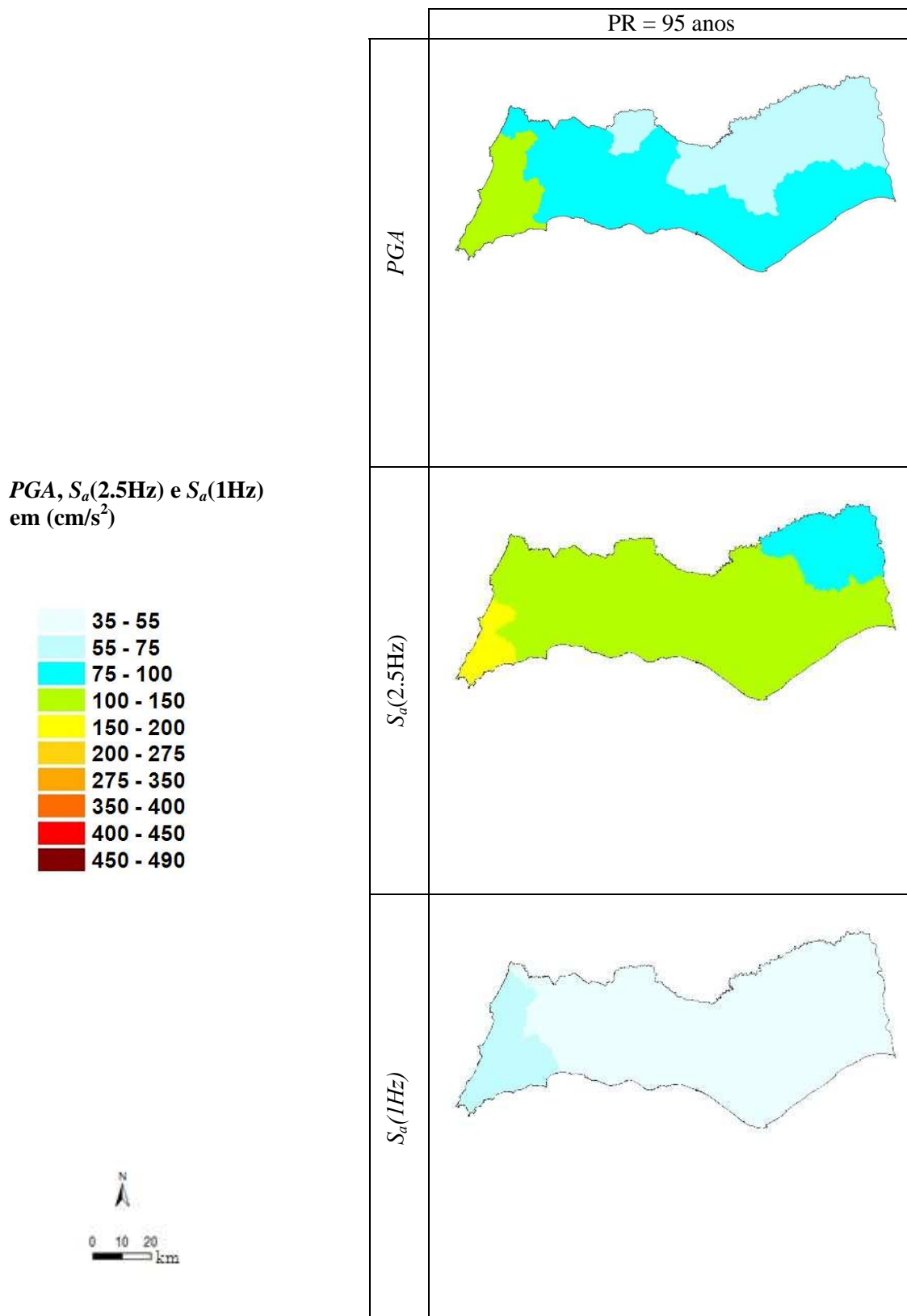
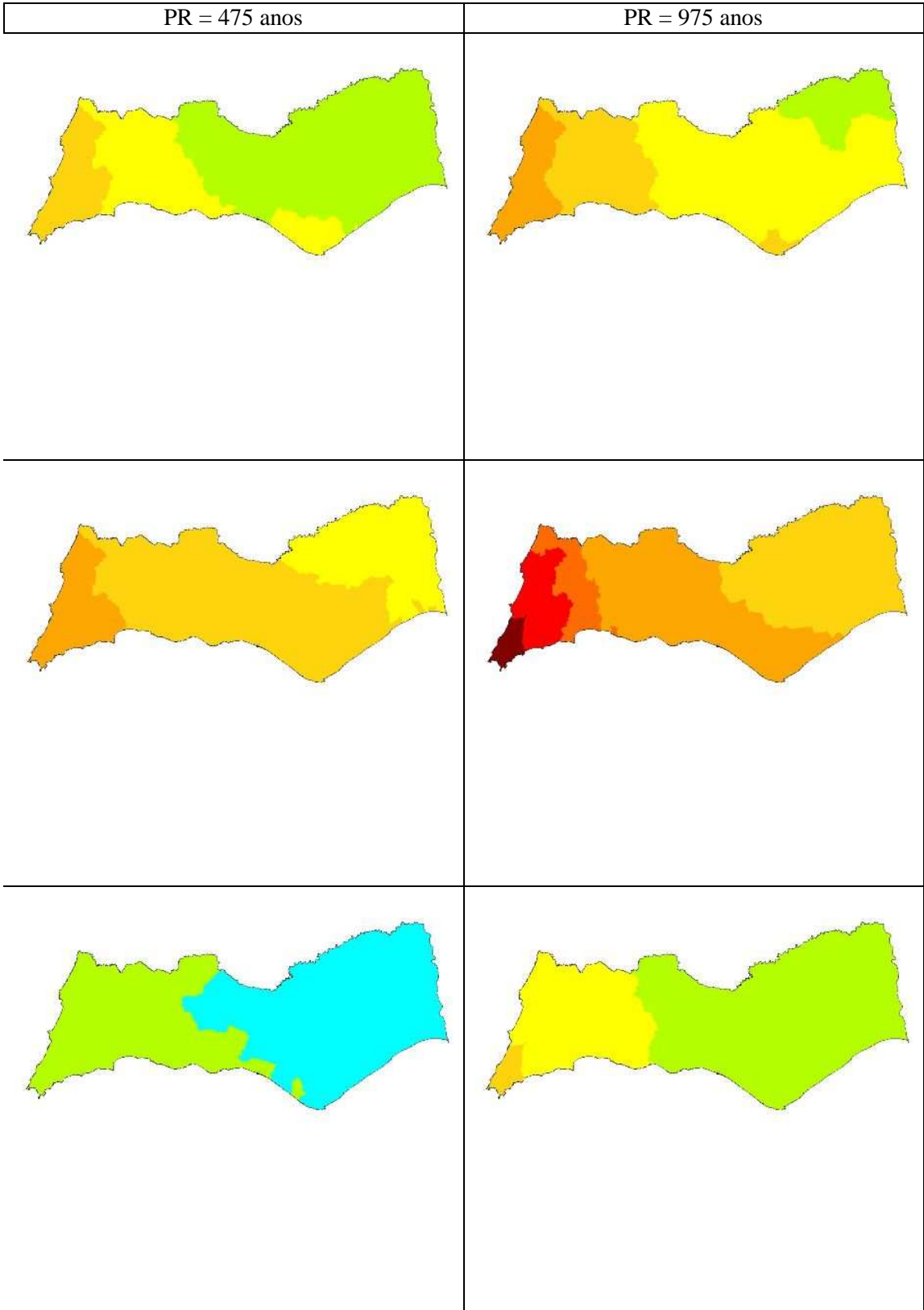


Figura 3.2 – Perigosidade sísmica para a região do Algarve, resolução geográfica da freguesia (mapa em PGA adaptado de Sousa et al., [2008]).



3.2.Desagregação da perigosidade sísmica

A desagregação da perigosidade sísmica consiste, como o nome sugere, no procedimento que permite analisar a perigosidade sísmica de forma desagregada. Ou seja, trata-se do procedimento em que se examinam as contribuições relativas das diferentes variáveis aleatórias envolvidas num determinado nível de perigosidade. Para as condições específicas de um dado local, a magnitude e a distância à fonte de um evento sísmico são algumas das variáveis principais envolvidas no processo e que permitem caracterizar o movimento do solo nesse local (Chapman, 1995).

Este tipo de análise, que pode ser considerado recente, é abordado por McGuire [1995] como o elemento de ligação entre a análise probabilística da perigosidade sísmica e uma representação simples da ameaça sísmica por um ou mais eventos, caracterizados por um conjunto de variáveis, capazes de reproduzir no local o movimento sísmico resultante dessa ameaça e foi também recomendada pela SSHAC [1997] como uma oportunidade para a melhor compreensão dos resultados da perigosidade sísmica, nomeadamente das fontes que a dominam num determinado local.

Desde então tem vindo a ser largamente discutida e aplicada, nomeadamente por Barani *et al.*, [2009], Bazzurro [1998], Bazzurro & Cornell [1999], Campos-Costa *et al.*, [2002], Carvalho *et al.*, [2001], Chapman [1995], Cramer & Petersen [1996], Frankel *et al.*, [1996], Frankel *et al.*, [2000], Harmsen & Frankel [2001], Harmsen *et al.*, [1999], McGuire [1995], Montilla [2000], Montilla *et al.*, [2002], Sousa [2006], Sousa & Carvalho [2001] e Sousa *et al.*, [2001], Sousa & Campos-Costa [2009].

A desagregação da perigosidade sísmica, concretizada formalmente pela função de densidade de probabilidade conjunta das variáveis aleatórias envolvidas na análise de perigosidade sísmica, condicional à excedência de um nível aceleração s_a no local, obtém-se [Bazzurro & Cornell, 1999] somando as taxas médias de ocorrência ν_k de cada zona de geração k , ponderadas pelo integrando da expressão (3.8) e normalizando o somatório pela taxa anual de excedência, $\lambda_{S_a > s_a}$:

$$f_{M,R,\mathcal{E}}(m,r,\mathcal{E} | S_a > s_a) = \frac{\sum_k \nu_k \cdot \mathcal{H}[S_a(M,R,\mathcal{E})_k - s_a] f_M(m)_k f_R(r)_k f_{\mathcal{E}}(\mathcal{E})_k}{\lambda_{S_a > s_a}} \quad (3.11)$$

A desagregação da perigosidade sísmica é obtida, na prática, durante a integração numérica da taxa anual de excedência. Neste processo, acumula-se, em cada célula tridimensional³, a contribuição para a taxa anual de excedência das variáveis aleatórias envolvidas no processo e normaliza-se o valor acumulado no final, pela frequência anual de excedência total no local [Bazzurro & Cornell, 1999]. O que corresponde, objectivamente, a separar as contribuições para a taxa de excedência total em células elementares do espaço das variáveis aleatórias nele envolvidas [Sousa, 2006].

Seguindo a metodologia adoptada por Sousa [2006], neste trabalho *desagrega-se* a variável aleatória R em termos das suas componentes *latitude* e *longitude*. Assim, R representa a variável aleatória vectorial $\mathbf{R} \equiv (X, Y)$, passando o espaço das variáveis aleatórias a ser representado por células elementares quadridimensionais⁴. Este procedimento tem, entre outras, a vantagem de permitir determinar a localização das fontes que mais contribuem para a perigosidade sísmica [Bazzurro & Cornell, 1999].

Procede-se à análise da desagregação da perigosidade sísmica, efectuada a várias dimensões - partindo da desagregação unidimensional em M , até à desagregação 4D em $M-(X, Y)-\varepsilon$ e respectivo estabelecimento de cenários de perigosidade sísmica. Esta análise “multidimensional” tem a vantagem de mostrar as várias perspectivas detalhadas simplificadas, bem como – confirmando-se que os resultados são coincidentes, ou suficientemente próximos - de permitir representar a análise da desagregação 4D, mais pesada em termos computacionais e gráficos, de forma mais expedita e de fácil leitura em termos gráficos.

Para se proceder á análise de desagregação efectuada neste trabalho recorreu-se a programas de cálculo automático desenvolvidos no LNEC em projectos anteriores, actualizado com os dados de base obtidos neste trabalho e no âmbito do projecto ERSTA

³ Na formulação especificada, as dimensões de base dessas células, são a magnitude, a distância e o desvio do movimento sísmico.

⁴ de dimensões: $\Delta m = 0.1$, $\Delta x = \Delta y = 10$ km, $\Delta \varepsilon = 0.05$ constantes em todo o domínio. As células consideram-se representadas, para efeitos de cálculo e de apresentação, pelo seu ponto central.

No que se refere à escolha do tipo medidas estatísticas de tendência central a adoptar para apresentação de resultados, há que considerar, por exemplo, que os resultados em termos de valores modais podem depender da dimensão das células, enquanto que, em termos de valores esperados, podem especificar um evento que não seja realizável fisicamente e que pode contribuir de forma desprezável para a perigosidade [Sousa, 2006 citando Harmsen *et al.*, 1999]. Ainda segundo Montilla *et al.*, [2002], a comparação entre valores esperados e modais é uma maneira simples e rápida de determinar quando é que as fontes geradoras da perigosidade numa dada região são muitas e heterogéneas, pois nesse caso os valores esperados diferem significativamente dos valores modais.

Esta análise foi efectuada para todas as freguesias da região do Algarve e para os 16 níveis de perigosidade obtidos em 3.1.

3.2.1. Desagregação unidimensional em M

A formalização matemática da desagregação unidimensional em M obtém-se marginalizando a distribuição conjunta condicional das três variáveis aleatórias mencionadas, expressa pela equação (3.11), é, assim, representada por:

$$f_M(m|S_a > s_a) = \int_R \int_{\mathcal{E}} f_{M,R,\mathcal{E}}(m,r,\varepsilon|S_a > s_a) d\varepsilon dr \quad (3.12)$$

Na prática, tal como referido anteriormente, esta distribuição marginal de M , condicionada pela excedência de um determinado nível de perigosidade, s_a , consiste em, acumular, para cada célula, ao longo do processo de cálculo, a contribuição relativa para a taxa anual de excedência $\lambda_{S_a > s_a}$.

Este valor acumulado, terminado o processo, é normalizando pela frequência anual de excedência total no local [Bazzuro e Cornell, 1999].

Na Tabela 3.1 apresentam-se os valores esperados e modais da distribuição marginal da magnitude.

Tabela 3.1 - Valores modais e esperados da magnitude, M , resultantes da desagregação 1D.

	PR= 95 anos		PR= 475 anos		PR= 975 anos	
Valores Modais de						
M						
Vila Real S¹⁰ Ant^o						
<i>PGA</i>	5.65		5.95		5.95	
<i>S_a(2.5Hz)</i>	5.95		6.95		6.95	
<i>S_a(1Hz)</i>	6.95		6.95		6.95	
Faro						
<i>PGA</i>	5.95		5.95		6.95	
<i>S_a(2.5Hz)</i>	5.95		6.95		6.95	
<i>S_a(1Hz)</i>	6.65		6.95		6.95	
Vila do Bispo						
<i>PGA</i>	5.75		6.55		6.95	
<i>S_a(2.5Hz)</i>	6.65		6.95		7.15	
<i>S_a(1Hz)</i>	6.75		6.95		7.65	
Valores Esperados de M						
Vila Real S¹⁰ Ant^o						
<i>PGA</i>	5.89		6.20		6.29	
<i>S_a(2.5Hz)</i>	6.27		6.75		6.64	
<i>S_a(1Hz)</i>	6.52		6.90		6.96	
Faro						
<i>PGA</i>	6.19		6.54		6.61	
<i>S_a(2.5Hz)</i>	6.44		6.99		7.24	
<i>S_a(1Hz)</i>	6.60		7.01		7.10	
Vila do Bispo						
<i>PGA</i>	6.22		6.76		6.93	
<i>S_a(2.5Hz)</i>	6.48		7.12		7.41	
<i>S_a(1Hz)</i>	6.61		7.09		7.17	

A Tabela 3.1 permite constatar que:

O aumento do período de retorno, reflecte-se, para todos os casos, no crescimento dos valores esperados da magnitude. Em relação aos valores modais, este facto apenas se verifica para Vila do Bispo. Em relação às freguesias de Faro e Vila Real de Santo António constata-se que, em geral, os valores modais de M crescem com o aumento do período de retorno de 95 para 475 anos, e que se mantêm com o aumento do período de retorno de 475 para 975 anos. De uma maneira geral, verifica-se que os valores esperados da magnitude são superiores aos valores modais – à excepção da freguesia de Vila do Bispo, nos períodos de retorno de 95 e 975 anos, caso em que os valores modais são superiores aos valores esperados. O mesmo acontece no caso de Vila Real de Santo António para o período de retorno de 475 anos.

Na Figura 3.3 apresenta-se a desagregação unidimensional em M , para as três freguesias de Faro, Vila do Bispo e Vila Real de Santo António.

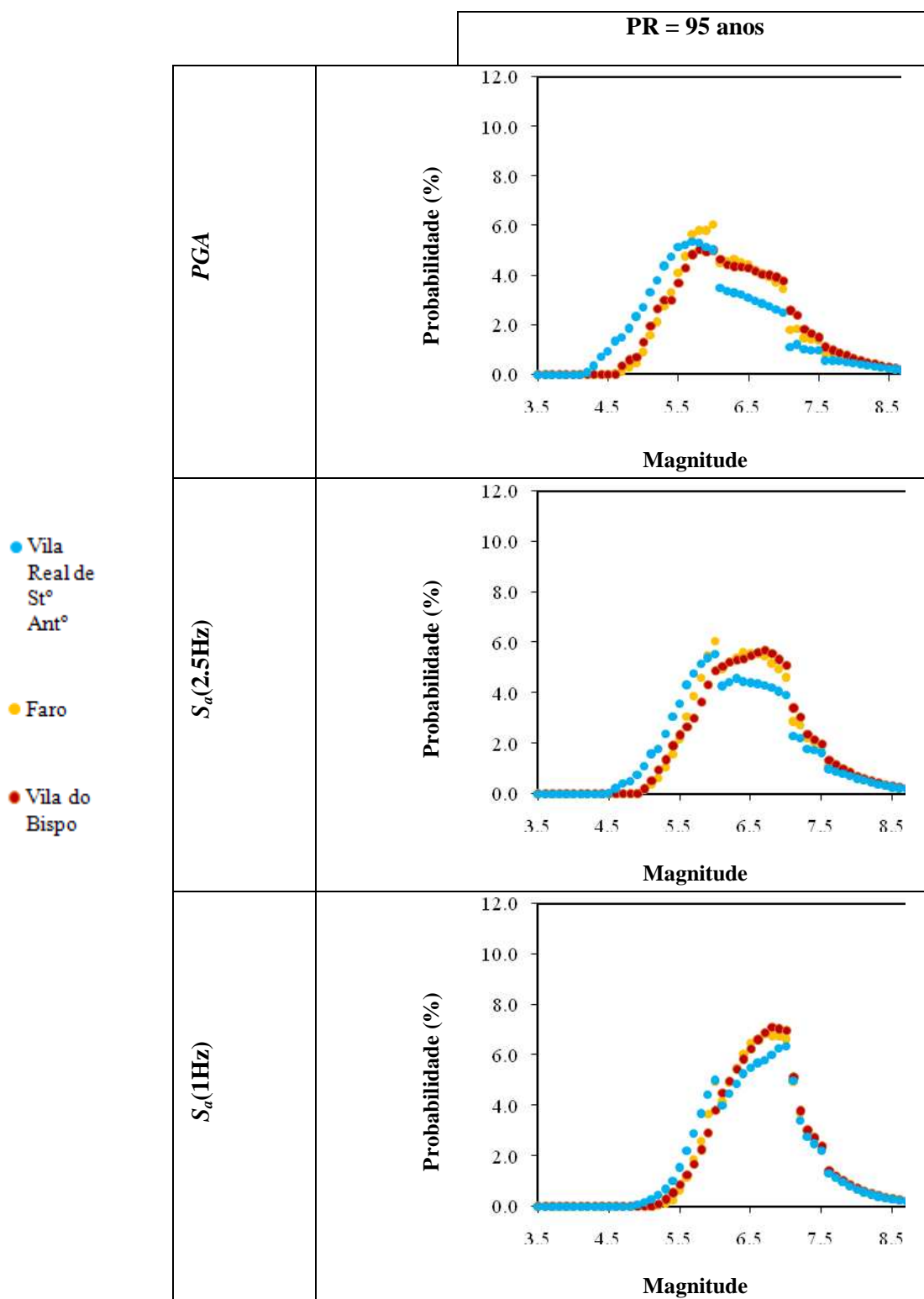
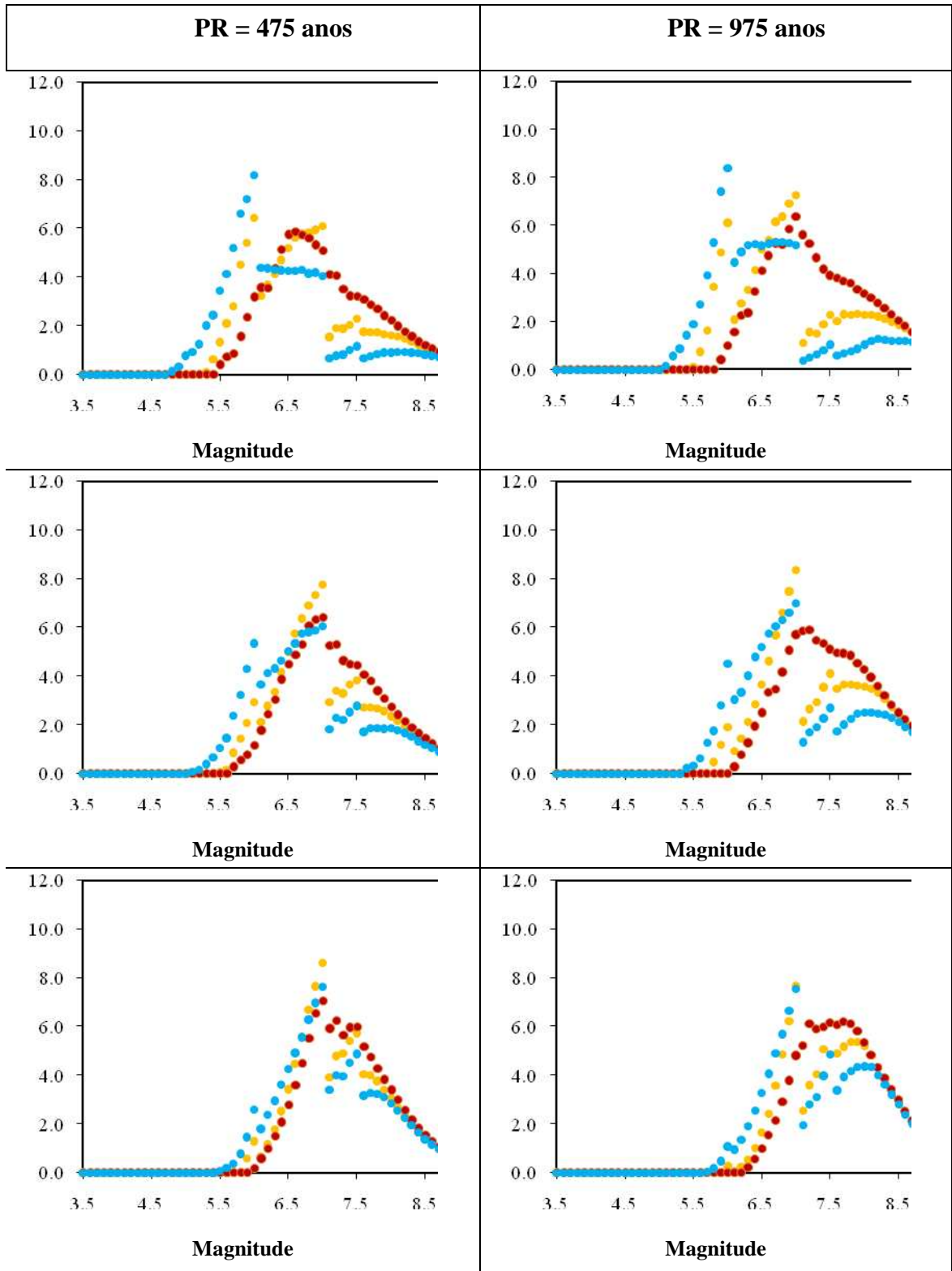


Figura 3.3 – Desagregação 1D da magnitude, para as freguesias de Vila Real de Santo António, Faro e Vila do Bispo e, condicionada por PGA, $S_a(2.5\text{Hz})$ e $S_a(1\text{Hz})$, com 95, 475 e 975 anos de período de retorno.



Da análise da Figura 3.3 sobressaem os seguintes traços gerais:

As funções densidade de probabilidade, em M , centram-se, de forma aproximada, em torno do seus valores esperados, os quais crescem com o aumento do período de retorno. Para os períodos de retorno mais elevados, as truncaturas impostas pela magnitude máxima do catálogo, resultam numa menor dispersão das distribuições e no acentuar das descontinuidades associadas às truncaturas impostas pelas magnitudes máximas das zonas individuais.

No que toca às acelerações espectrais e de pico verifica-se que as funções de densidade de probabilidade apresentam uma dispersão tanto menos acentuada quanto menor é a frequência considerada.

Os valores modais e esperados apresentados na Tabela 3.1 permitem inferir, tal como seria de esperar da distribuição ilustrada graficamente na Figura 3.3, que existem várias e heterogéneas fontes geradoras de perigosidade, para Faro e Vila Real de Santo António.

A variação da localização geográfica das freguesias – de Este para Oeste – reflecte-se no aumento dos valores esperados da magnitude, para todas as frequências e todos os períodos de retorno. Efectivamente os valores esperados da magnitude correspondentes a Vila do Bispo são sempre superiores, para o mesmo período de retorno e frequência da aceleração espectral, aos valores esperados correspondentes a Faro, tendência idêntica se verifica entre as freguesias de Faro e de Vila Real de Santo António. O mesmo não se reflecte na variação dos valores modais, para os quais não é possível estabelecer um padrão de crescimento do valor modal M com a variação da longitude.

Em traços gerais, confirma-se, como seria de esperar desta análise, que o aumento do período de retorno e a diminuição da frequência espectral se reflecte no aumento dos valores modais de M [Barani *et al.*, 2009] – excepto quando é atingida a magnitude máxima das zonas de sismogénese que controlam a perigosidade, para os domínios considerados (ver Figura 2.1 e Figura 3.3). Salienta-se ainda o padrão multi-modal das distribuições – evidenciado pelas suas descontinuidades – que aumenta de Oeste para Este, o que revela a importância da análise mais detalhada dos valores modais. Assim, na secção seguinte, analisam-se as contribuições relativas para a perigosidade em termos das variáveis *latitude* e *longitude*, em maior rigor, em termos de coordenadas cartográficas planas (x e y), que permitirão aprofundar esta análise em termos de

distância às freguesias, nomeadamente no que diz respeito às descontinuidades apresentadas por estas distribuições.

3.2.2. Desagregação geográfica

Formalmente, a desagregação geográfica é representada pela distribuição conjunta marginal de (X, Y) , condicionada pela excedência de um nível de perigosidade:

$$f_M(x, y | S_a > s_a) = \int_M \int_{\mathcal{E}} f_{M,(X,Y),\mathcal{E}}(m, (x, y), \mathcal{E} | S_a > s_a) d\mathcal{E} dm \quad (3.13)$$

Este procedimento foi proposto por Bazzurro & Cornell [1999], permitindo avaliar as contribuições relativas para a perigosidade em termos das variáveis *latitude* e *longitude*, por substituição da variável R^5 , auxiliando, por exemplo, a determinação da localização de uma fonte mais provável que contribui para a perigosidade sísmica do local [Bazzurro & Cornell, 1999].

Nas Figura 3.4, Figura 3.5 e Figura 3.6 representam-se as funções de massa de probabilidade conjunta de (X, Y) que resultam da soma de todas as contribuições elementares (Δm e $\Delta \mathcal{E}$) para a perigosidade das freguesias de Faro, Vila do Bispo e Vila Real de Santo António. A altura das barras desta figura representa a contribuição relativa das células, de dimensão 10 km x 10 km, para a perigosidade da freguesia. As cores das barras identificam a magnitude esperada $E[M | (X = x_i, Y = y_i), S_a > s_a]$, que ocorre em cada célula geográfica i .

Na Tabela 3.2 apresentam-se as 3 contribuições mais relevantes para a perigosidade (a moda e as duas contribuições que se seguem mais elevadas).

⁵ R representa a distância entre o local em análise e o centro da célula em que a taxa de ocorrência é acumulada, para uma variável aleatória vectorial, $R \equiv (X, Y)$

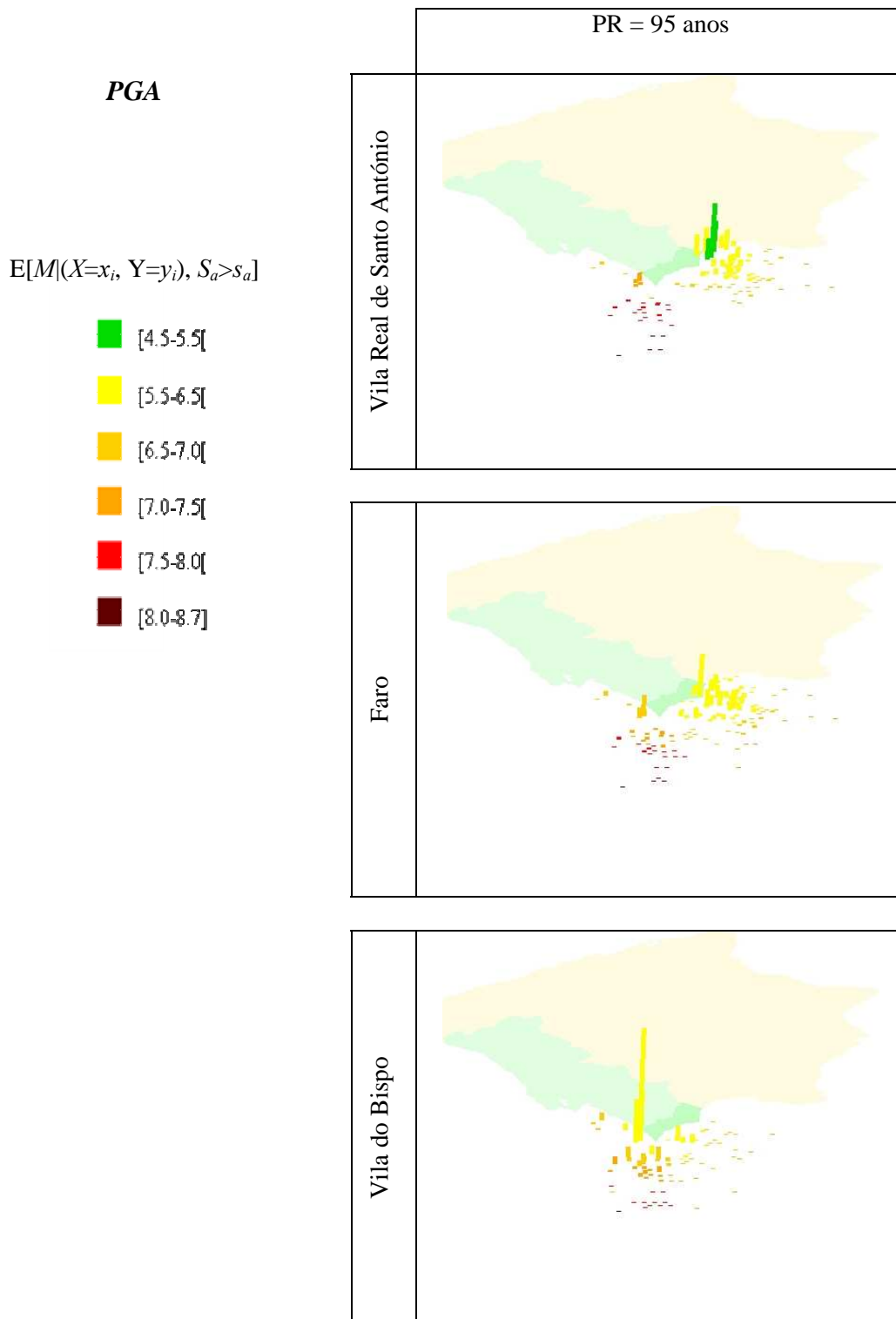
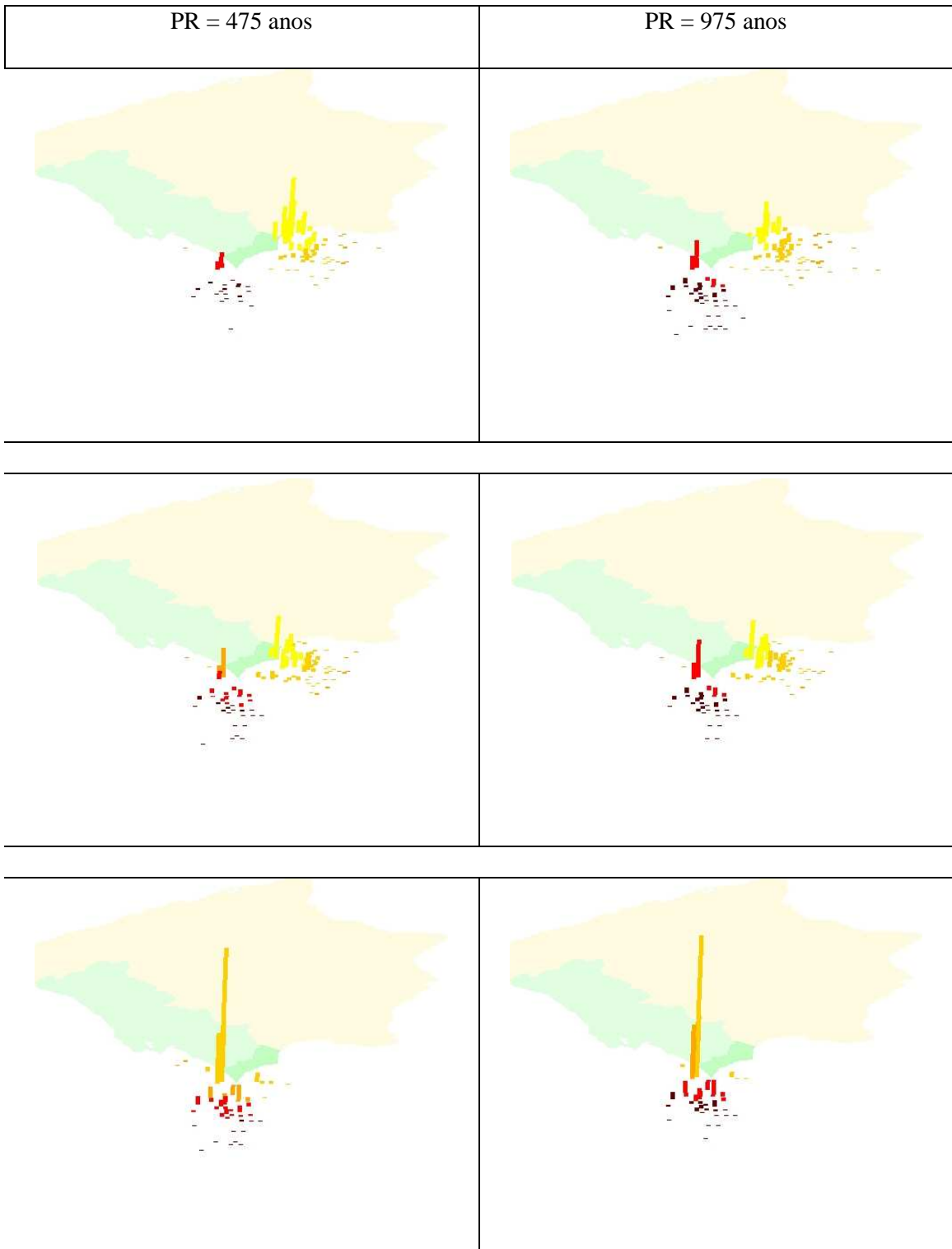


Figura 3.4 – Desagregação geográfica condicionada pelos níveis de perigosidade em PGA correspondentes aos 95, 475 e 975 anos de período de retorno.



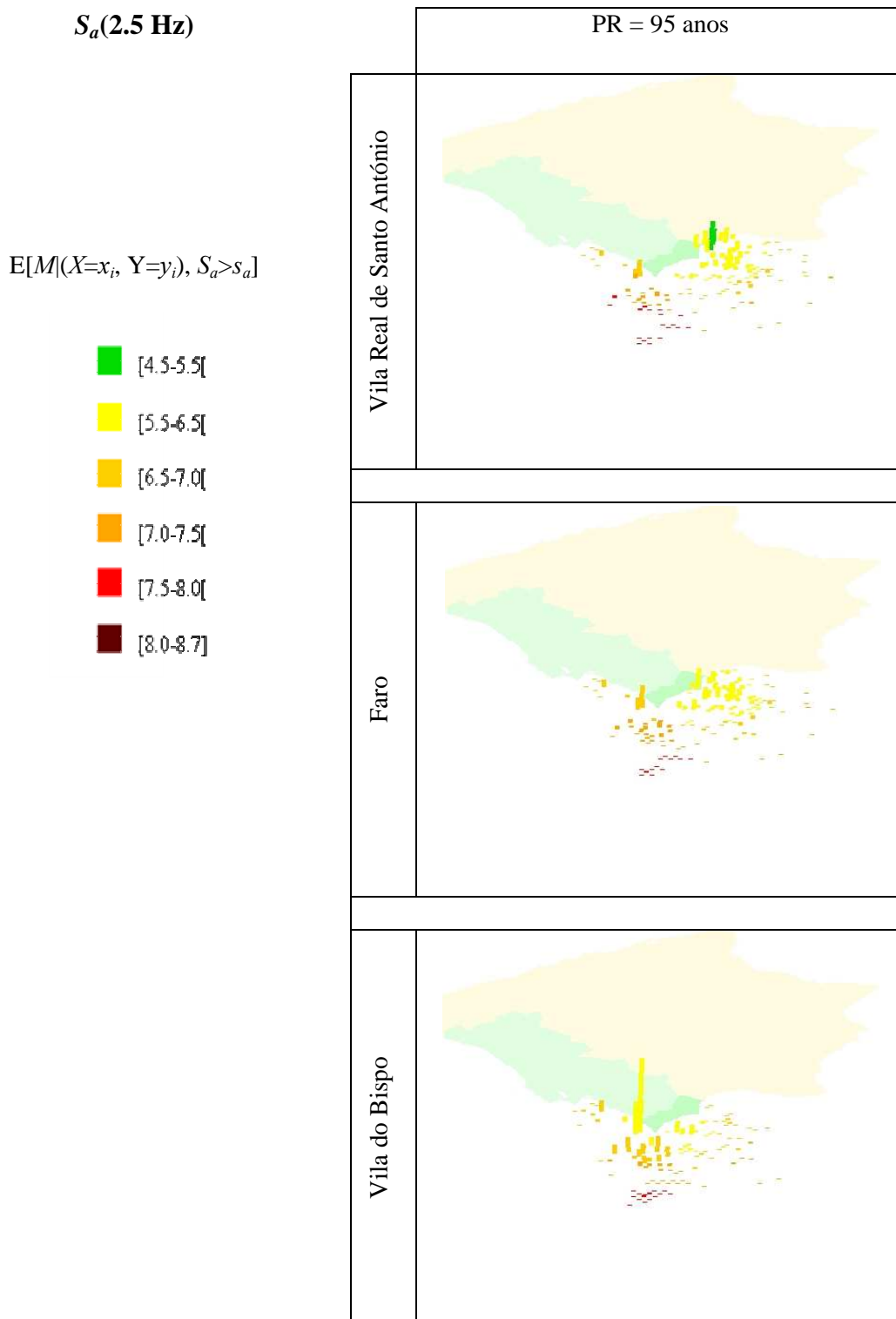
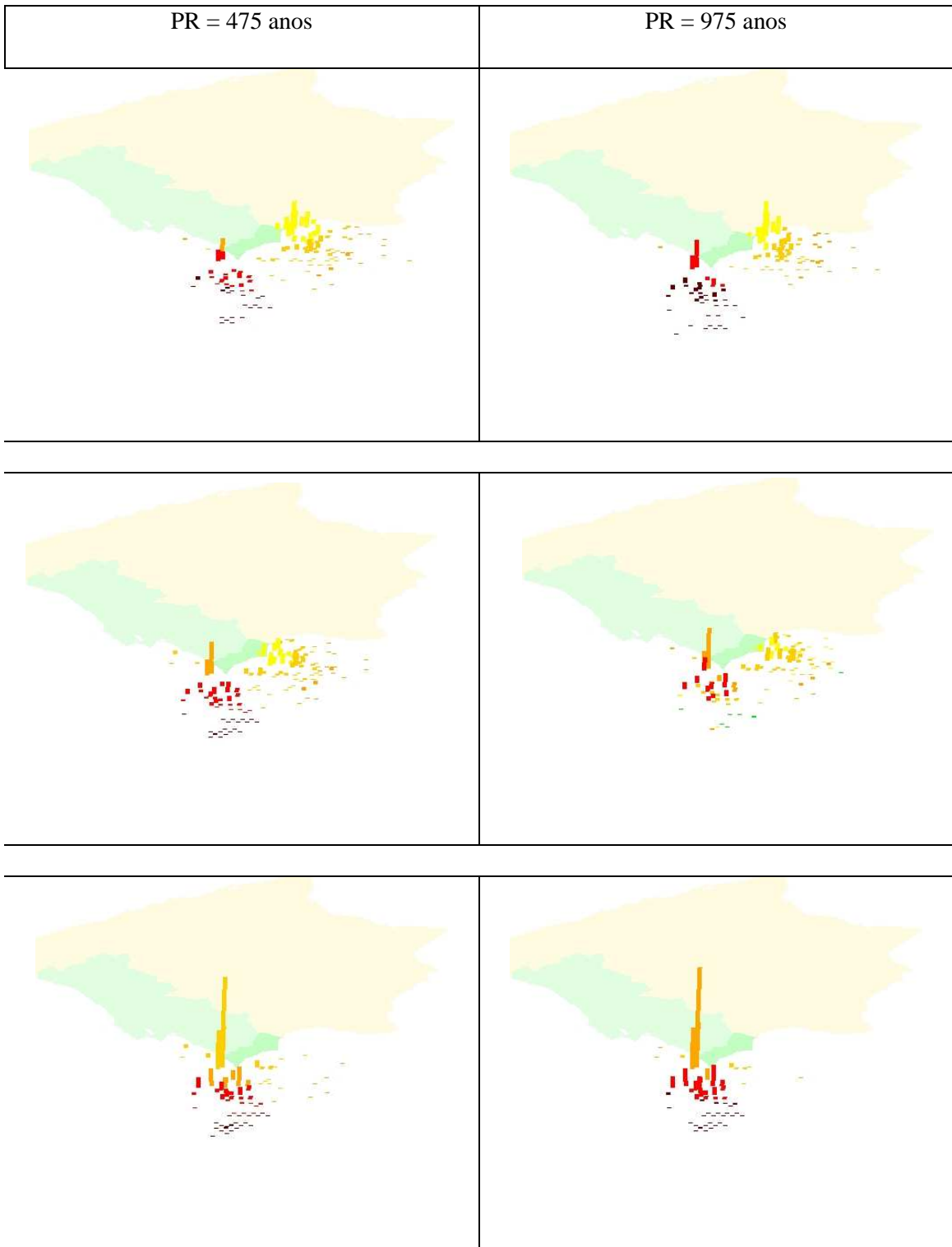


Figura 3.5 – Desagregação geográfica condicionada pelos níveis de perigosidade em $S_a(2.5\text{Hz})$ correspondentes aos 95, 475 e 975 anos de período de retorno.



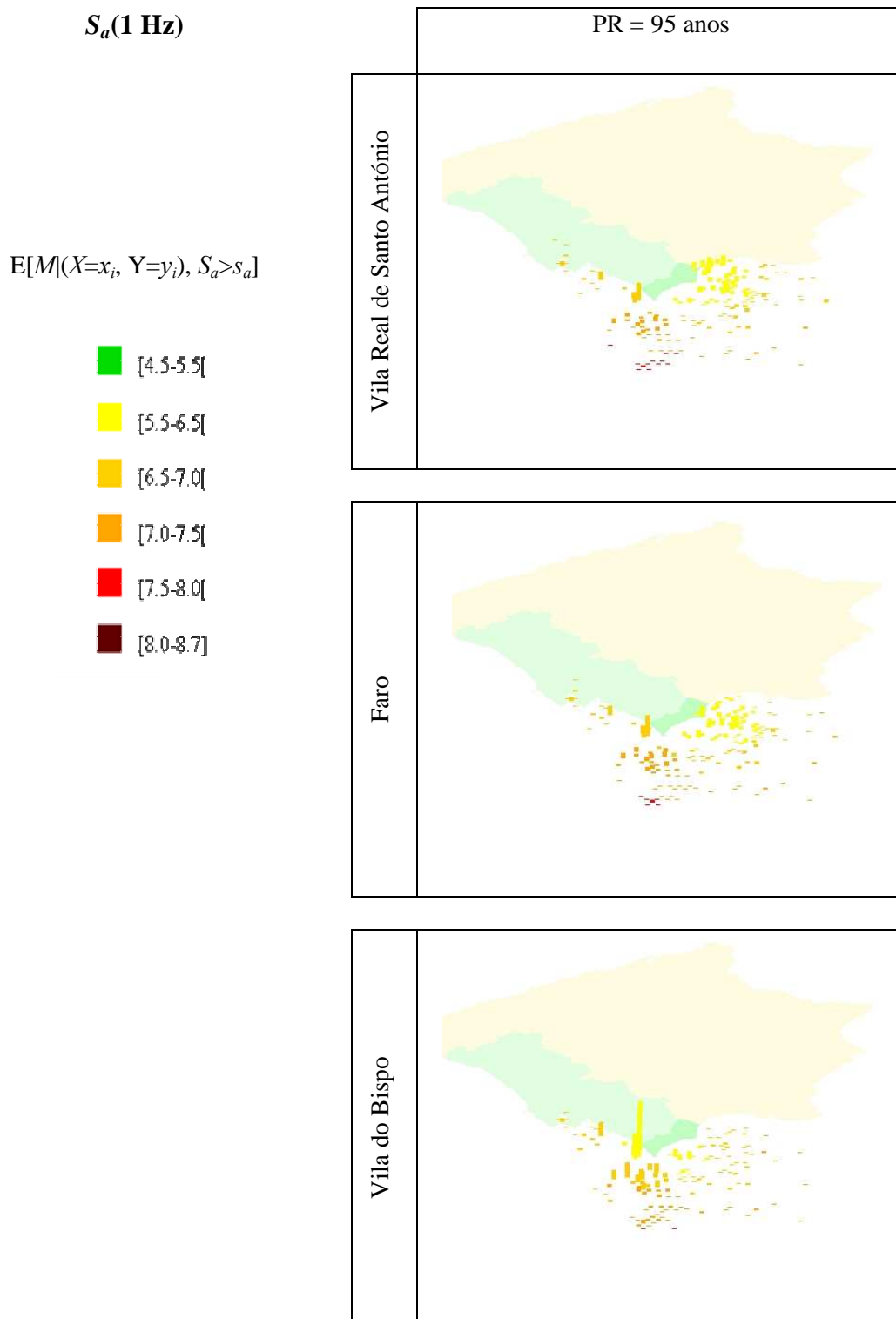


Figura 3.6 – Desagregação geográfica condicionada pelos níveis de perigosidade em $S_a(1 \text{ Hz})$ correspondentes aos 95, 475 e 975 anos de período de retorno.

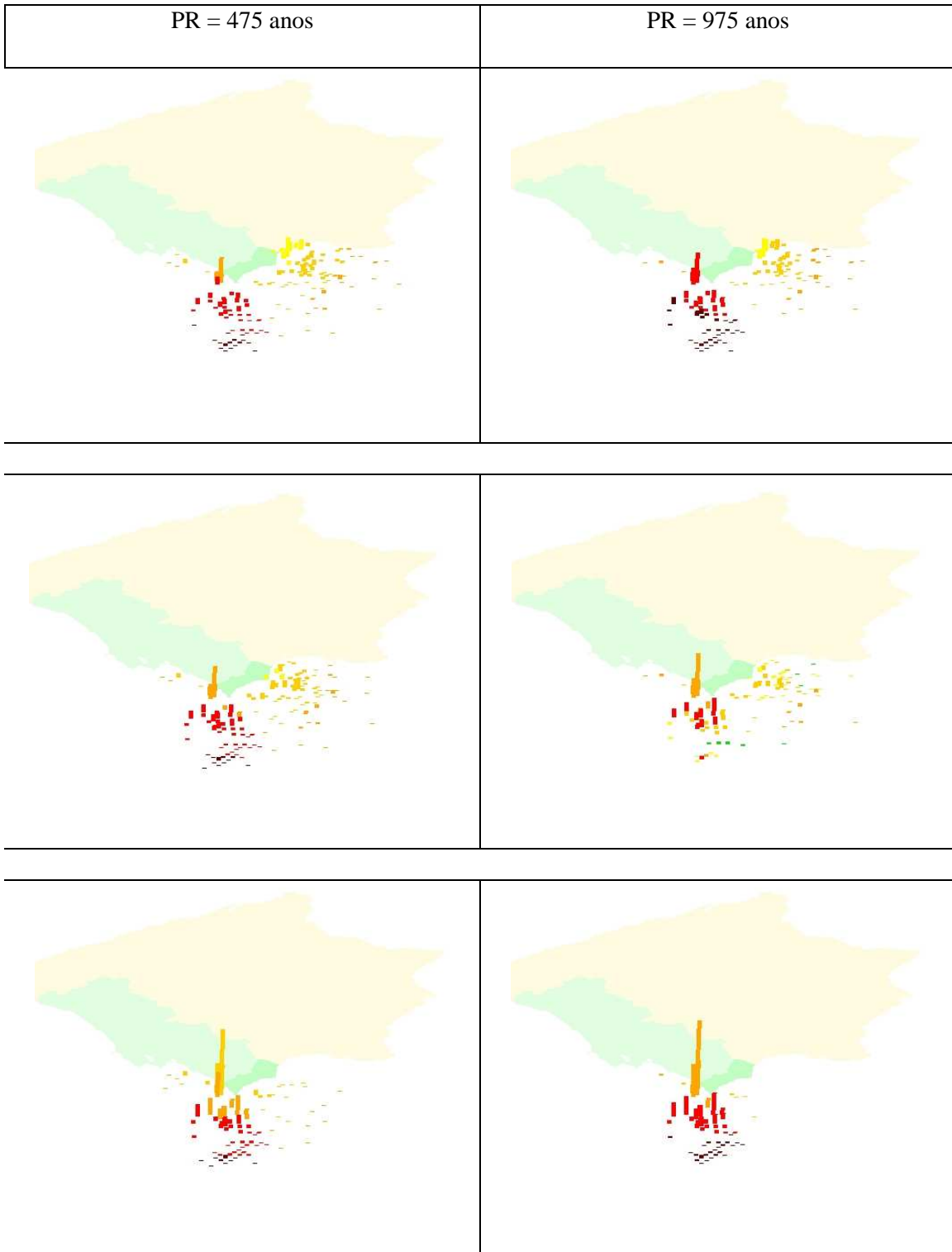


Tabela 3.2 - Valores modais de X , Y e R , segundas contribuições mais importantes, valores esperados de M e ε da desagregação geográfica e contribuição das células modais para a perigosidade.

		PR=95 anos						
X	Y	Zona	R	$E[M]$	$E[\varepsilon]$	C (%)		
Vila Real de Santo António	PGA	258.0	3.9	I	28.2	5.2	0.26	130.3
		277.9	13.9	I	25.8	5.1	0.26	76.8
		268.0	23.9	D	12.3	5.5	0.25	61.1
	$S_a(2.5\text{Hz})$	258.0	3.9	I	28.2	5.5	0.26	72.6
		277.9	13.9	I	25.8	5.4	0.26	41.0
		297.7	3.9	I	44.3	5.7	0.26	37.7
	$S_a(1\text{Hz})$	258.0	3.9	I	28.2	5.7	0.25	42.4
		119.1	33.9	J	145.7	6.9	0.24	35.4
		297.7	3.9	I	44.3	5.9	0.25	27.3
Faro	PGA	218.4	3.9	D	12.5	5.6	0.26	102.1
		198.5	-26.1	I	46.6	5.8	0.26	44.5
		119.1	33.9	J	102	6.8	0.24	39.9
	$S_a(2.5\text{Hz})$	218.4	3.9	D	12.5	5.7	0.29	52.4
		119.1	33.9	J	102.0	6.7	0.25	44.4
		228.3	-56.0	I	68.3	6.1	0.27	34.0
	$S_a(1\text{Hz})$	119.1	33.9	J	102.0	6.8	0.24	42.2
		218.4	3.9	D	12.5	5.8	0.29	29.0
		228.3	-56.0	I	68.3	6.2	0.26	27.1
Vila do Bispo	PGA	119.1	33.9	J	29.4	5.8	0.24	244.2
		109.2	23.9	J	30.7	5.8	0.24	115.8
		109.2	33.9	J	34.7	6.0	0.24	93.0
	$S_a(2.5\text{Hz})$	119.1	33.9	J	29.4	6.0	0.25	164.7
		109.2	23.9	J	30.7	6.0	0.25	80.6
		109.2	33.9	J	34.7	6.1	0.25	69.0
	$S_a(1\text{Hz})$	119.1	33.9	J	29.4	6.2	0.24	127.1
		109.2	23.9	J	30.7	6.3	0.23	55.7
		109.2	33.9	J	34.7	6.3	0.24	53.2

PR=475 anos							PR=975 anos						
X	Y	Zona	R	E[M]	E[ε]	C (%)	X	Y	Zona	R	E[M]	E[ε]	C (%)
258.0	3.9	I	28.2	5.8	0.26	161.3	258.0	3.9	I	28.2	6.1	0.26	186.3
277.9	13.9	I	25.8	5.8	0.26	94.1	277.9	13.9	I	25.8	6.0	0.26	111.1
268.0	23.9	D	12.3	5.8	0.30	80.6	248.1	3.9	I	31.6	6.1	0.26	73.8
258.0	3.9	I	28.2	6.0	0.27	90.4	258.0	3.9	I	28.2	6.2	0.27	103.6
277.9	13.9	I	25.8	6.0	0.27	49.8	277.9	13.9	I	25.8	6.2	0.27	59.5
119.1	33.9	J	145.7	7.5	0.25	45.0	119.1	33.9	J	145.7	7.7	0.25	59.4
119.1	33.9	J	145.7	7.4	0.24	58.2	119.1	33.9	J	145.7	7.7	0.24	68.8
258.0	3.9	I	28.2	6.2	0.26	53.3	258.0	3.9	I	28.2	6.5	0.27	52.1
297.7	3.9	I	44.3	6.4	0.25	31.0	109.2	23.9	J	155.2	7.7	0.24	34.4
218.4	3.9	D	12.5	5.8	0.31	110.3	218.4	3.9	D	12.5	5.9	0.36	97.3
119.1	33.9	J	102.0	7.4	0.24	62.0	119.1	33.9	J	102.0	7.6	0.24	83.8
198.5	-26.1	I	46.6	6.3	0.27	50.9	198.5	-26.1	I	46.6	6.5	0.28	15.5
119.1	33.9	J	102.0	7.3	0.25	71.1	119.1	33.9	J	102.0	7.5	0.25	92.6
198.5	-26.1	I	46.6	6.4	0.28	34.9	109.2	23.9	J	109.6	7.5	0.25	41.1
218.4	3.9	D	12.5	5.8	0.41	33.5	109.2	33.9	J	111.5	7.5	0.25	39.7
119.1	33.9	J	102.0	7.3	0.24	71.4	119.1	33.9	J	102.0	7.5	0.24	102.0
109.2	23.9	J	109.6	7.3	0.24	35.1	79.4	-36.1	J	145.4	7.6	0.24	45.0
79.4	-36.1	J	145.4	7.6	0.24	31.7	109.2	23.9	J	109.6	7.4	0.24	42.6
119.1	33.9	J	29.4	6.6	0.24	295.5	119.1	33.9	J	29.4	6.9	0.24	319.2
109.2	23.9	J	30.7	6.6	0.24	140.0	109.2	23.9	J	30.7	7.0	0.24	147.0
109.2	33.9	J	34.7	6.7	0.24	112.2	109.2	33.9	J	34.7	7.1	0.24	122.7
119.1	33.9	J	29.4	6.7	0.25	213.6	119.1	33.9	J	29.4	7.1	0.25	237.3
109.2	23.9	J	30.7	6.8	0.25	103.3	109.2	23.9	J	30.7	7.1	0.25	113.7
109.2	33.9	J	34.7	6.8	0.25	89.3	109.2	33.9	J	34.7	7.2	0.25	96.7
119.1	33.9	J	29.4	6.9	0.24	159.6	119.1	33.9	J	29.4	7.2	0.24	183.5
109.2	23.9	J	30.7	6.9	0.24	79.8	109.2	23.9	J	30.7	7.2	0.24	91.8
109.2	33.9	J	34.7	7.0	0.24	79.3	99.3	23.9	J	38.4	7.3	0.24	76.4

A análise das Figura 3.4, Figura 3.5 e Figura 3.6 e da Tabela 3.2 permite constatar que: se confirma o padrão modal da desagregação unidimensional. Assim, é possível caracterizar a desagregação da perigosidade sísmica de Vila do Bispo por um cenário dominante. O mesmo não se verificando para as freguesias de Faro e Vila Real de Santo António, para todas as acelerações espectrais e períodos de retorno analisados.

O valor esperado da magnitude, $E[M]$, e os valores das contribuições das células para a perigosidade crescem, em geral, com o aumento do período de retorno. Nos casos em que esses crescimentos não se verificam observa-se a alteração da zona que domina a perigosidade (Faro, PGA e $S_a(2.5\text{Hz})$, entre os 95 e os 475 anos; Faro, $S_a(1\text{Hz})$, entre os 475 e os 975 anos; Vila Real de Santo António, $S_a(1\text{Hz})$, entre os 95 e os 475 anos).

As principais diferenças, no que respeita às acelerações espectrais consideradas nesta análise, residem no facto de o aumento do período espectral estar associados à diminuição do valor da contribuição do cenário (Tabela 3.2, Figura 3.4, Figura 3.5 e Figura 3.6) e no alargamento geográfico da distribuição das células que contribuem para a perigosidade sísmica das freguesias analisadas. Por conseguinte, aumenta a influência, em termos de perigosidade, de fontes geradoras provenientes de zonas mais afastadas, geograficamente.

Os valores das contribuições, bem como os valores esperados das magnitudes das primeiras modas crescem com o aumento do período de retorno (como o demonstram a variação da altura e da cor das colunas) excepto para Faro, PGA na passagem dos período de retorno de 475 para 975 anos.

Em relação a Vila do Bispo, como já foi referido, para todos os casos considerados, a perigosidade sísmica é dominada por um cenário único com epicentro na célula de coordenadas cartográficas planas $(X;Y) = (119.1; 33.9)$.

Para a freguesia de Faro, a desagregação em a PGA ilustrada na Figura 3.4 aponta para três contribuições relevantes e distintas. A primeira devida a sismos muito próximos, com epicentro na zona D, com magnitudes entre 5.5 e 6.5, e as duas seguintes, devida a sismos mais afastados, com epicentro nas zonas I e J, com magnitudes entre 5.5 e 6.5, no caso da zona I, e 6.5 e 8.0, para a zona J. Em relação às acelerações espectrais, e no que toca ao período de retorno de 95 anos, o aumento do período espectral reflecte-se num maior número de contribuições relevantes, que, como seria de esperar, são bastante mais difusas geograficamente (denotando-se a influência das zonas D, I e J). Quando o período de retorno aumenta, as contribuições relevantes para a perigosidade da freguesia de Faro passam a estar concentradas na zona J.

No que diz respeito a Vila Real de Santo António (Figura 3.4), a desagregação em *PGA*, aponta para dois cenários distintos, o primeiro devido a sismos próximos, com epicentro na zona I, e o segundo, devido a sismos mais afastados, com epicentro nas zonas J.

3.2.3. Desagregação 4D

A desagregação da perigosidade sísmica, tal como foi referido anteriormente, é concretizada pela função de densidade de conjunta das variáveis aleatórias envolvidas na análise da perigosidade sísmica, condicional à excedência de um nível aceleração s_a no local, (expressão (3.11))⁶, o que corresponde a estimar, simultaneamente, as contribuições relativas de todas as variáveis aleatórias envolvidas no processo [Sousa, 2006].

Dado que as análises anteriores (unidimensional em M e geográfica) evidenciam um padrão multi-modal, para as freguesias de Faro e VRSA, para se compreender, com maior pormenor, os factores que controlam a perigosidade sísmica, a nível local, é recomendável conhecer a distribuição multidimensional que caracteriza a desagregação e analisar os seus picos principais [Bazzurro & Cornell, 1999]. Estes autores salientam ainda que a escolha de um único valor modal para sintetizar a desagregação, pode constituir uma limitação em ambientes sismotectónicos complexos, em que mais do que uma fonte, com importância comparável, contribui para a perigosidade. Nesses casos, a distribuição de probabilidade deverá ser multi-modal, sendo recomendável que se considerem as contribuições relativas das várias fontes [Sousa, 2006].

Nesta secção, pelas razões expostas e no seguimento das secções anteriores, consideram-se as três células que apresentam a maior massa de probabilidade 4D, ou seja consideram-se o cenário modal e dois cenários secundários com maior probabilidade. Na Tabela 3.2 apresentam-se os valores modais da magnitude, M , as coordenadas do epicentro, X e Y , e do desvio, ε , que caracterizam estes cenários, bem como as suas contribuições relativas, C (%), para a perigosidade sísmica das freguesias de Vila Real de Santo António, Faro e Vila do Bispo.

À semelhança das secções anteriores, consideram-se as probabilidades de excedência de 10% em 10 e 50 anos, PR=95 anos e PR=475, anos e de 5% em 50 anos, PR=975 anos, condicionadas pela excedência de um determinado nível de aceleração (referente a *PGA*, $S_a(2.5\text{Hz})$ e $S_a(1\text{Hz})$).

⁶ R representa a variável aleatória vectorial $\mathbf{R}=(X, Y)$

Tabela 3.3 - Valores modais de X, Y, M e ε da desagregação 4D.

PR=95 anos										
	X(km)	Y(km)	Z	R(km)	R _b (km)	M	ε	C(‰)		
Vila Real de Santo António	PGA	258.0	3.9	I	21.6	28.2	4.55	0.35	3.29	
		277.9	13.9	I	18.4	25.8	4.85	0.20	2.00	
		268.0	23.9	D	4.9	12.3	5.35	0.20	1.85	
	S _a (2.5Hz)	258.0	3.9	I	21.6	28.2	5.05	0.25	1.91	
		268.0	23.9	D	4.9	12.3	5.55	0.20	1.19	
		297.7	3.9	I	40.4	44.3	5.35	0.25	1.01	
	S _a (1Hz)	109.2	193.9	B	228.6	229.2	7.05	0.20	1.34	
		258.0	3.9	I	21.6	28.2	5.45	0.20	1.05	
		268.0	23.9	D	4.9	12.3	5.75	0.15	0.99	
	Faro	PGA	218.4	3.9	D	5.3	12.5	5.45	0.20	3.09
			198.5	-26.1	I	38.9	46.6	5.25	0.30	1.23
			228.3	-56.0	I	65.9	68.3	5.65	0.30	1.10
S _a (2.5Hz)		218.4	3.9	D	5.3	12.5	5.65	0.20	2.01	
		119.1	33.9	J	100.1	102.0	6.05	0.30	0.89	
		228.3	-56.0	I	65.9	68.3	5.95	0.20	0.89	
S _a (1Hz)		218.4	3.9	D	5.3	12.5	5.85	0.15	1.66	
		109.2	193.9	B	213.8	214.4	7.05	0.25	1.12	
		119.1	33.9	J	100.1	102.0	6.45	0.15	0.90	
Vila do Bispo		PGA	119.1	33.9	J	22.0	29.4	5.25	0.25	5.46
			109.2	23.9	J	23.7	30.7	5.15	0.30	2.47
			109.2	33.9	J	28.8	34.7	5.65	0.15	2.02
	S _a (2.5Hz)	119.1	33.9	J	22.0	29.4	5.45	0.25	3.57	
		109.2	23.9	J	23.7	30.7	5.35	0.30	1.60	
		109.2	33.9	J	28.8	34.7	5.55	0.25	1.50	
	S _a (1Hz)	119.1	33.9	J	22.0	29.4	5.85	0.15	2.69	
		109.2	193.9	B	179.6	180.4	7.05	0.20	1.38	
		109.2	23.9	J	23.7	30.7	5.95	0.10	1.28	

PR=475 anos							
X(km)	Y(km)	Z	R(km)	R _q (km)	M	ε	C(%)

PR=975 anos							
X(km)	Y(km)	Z	R(km)	R _q (km)	M	ε	C(%)

268.0	23.9	D	4.9	12.3	5.75	0.20	4.65	268.0	23.9	D	4.9	12.3	5.95	0.20	7.09
258.0	3.9	I	21.6	28.2	5.45	0.25	4.51	258.0	3.9	I	21.6	28.2	5.85	0.20	5.22
258.0	33.9	D	10.4	15.4	5.95	0.20	3.29	258.0	33.9	D	10.4	15.4	5.95	0.30	4.70
268.0	23.9	D	4.9	12.3	5.95	0.20	2.94	268.0	23.9	D	4.9	12.3	5.95	0.30	4.13
258.0	3.9	I	21.6	28.2	5.85	0.20	2.17	258.0	3.9	I	21.6	28.2	6.05	0.20	2.97
258.0	33.9	D	10.4	15.4	5.95	0.30	1.97	258.0	33.9	D	10.4	15.4	5.95	0.40	2.36
268.0	23.9	D	4.9	12.3	5.95	0.30	2.00	268.0	23.9	D	4.9	12.3	5.95	0.45	1.69
258.0	33.9	D	10.4	15.4	5.95	0.35	1.54	258.0	3.9	I	21.6	28.2	6.35	0.20	1.59
258.0	3.9	I	21.6	28.2	6.05	0.20	1.44	119.1	33.9	J	144.4	145.7	7.45	0.15	1.58

218.4	3.9	D	5.3	12.5	5.85	0.20	7.86	218.4	3.9	D	5.3	12.5	5.95	0.25	11.79
218.4	13.9	D	5.8	12.7	5.85	0.20	1.97	218.4	13.9	D	5.8	12.7	5.95	0.25	2.95
198.5	-26.1	I	38.9	46.6	6.15	0.20	1.54	119.1	33.9	J	100.1	102.0	7.15	0.25	2.02
218.4	3.9	D	5.3	12.5	5.95	0.30	4.00	218.4	3.9	D	5.3	12.5	5.95	0.40	4.80
119.1	33.9	J	100.1	102.0	7.05	0.15	1.54	119.1	33.9	J	100.1	102.0	7.05	0.25	2.13
228.3	-56.0	I	65.9	68.3	6.55	0.20	1.25	228.3	-56.0	I	65.9	68.3	6.85	0.20	1.38
218.4	3.9	D	5.3	12.5	5.95	0.35	3.15	218.4	3.9	D	5.3	12.5	5.95	0.50	2.37
119.1	33.9	J	100.1	102.0	7.05	0.15	1.57	119.1	33.9	J	100.1	102.0	7.25	0.15	2.30
119.1	113.9	M	143.1	144.8	7.15	0.25	1.04	119.1	113.9	M	143.1	144.8	7.15	0.35	1.17

119.1	33.9	J	22.0	29.4	6.05	0.25	6.66	119.1	33.9	J	22.0	29.4	6.65	0.15	7.05
109.2	23.9	J	23.7	30.7	5.95	0.30	3.01	109.2	23.9	J	23.7	30.7	6.45	0.25	3.35
109.2	33.9	J	28.8	34.7	6.45	0.15	2.46	109.2	33.9	J	28.8	34.7	6.55	0.25	2.81
119.1	33.9	J	22.0	29.4	6.45	0.15	4.65	119.1	33.9	J	22.0	29.4	6.55	0.25	5.25
109.2	23.9	J	23.7	30.7	6.35	0.20	2.32	109.2	23.9	J	23.7	30.7	6.85	0.15	2.34
109.2	33.9	J	28.8	34.7	6.55	0.15	1.95	109.2	33.9	J	28.8	34.7	6.55	0.30	1.98
119.1	33.9	J	22.0	29.4	6.65	0.15	3.43	119.1	33.9	J	22.0	29.4	6.95	0.15	4.00
109.2	23.9	J	23.7	30.7	6.65	0.15	1.72	109.2	23.9	J	23.7	30.7	6.95	0.15	2.00
109.2	33.9	J	28.8	34.7	6.65	0.15	1.72	99.3	23.9	J	33.2	38.4	7.05	0.15	1.68

Existem diferenças significativas entre a análise da desagregação 4D e a desagregação geográfica (Figura 3.4), analisada na secção 3.2.2. Tal acontece porque a desagregação geográfica representa, para cada célula, a soma de todas as contribuições das restantes variáveis aleatórias ao passo que, na desagregação 4D é apresentada apenas a maior contribuição por célula de todas as variáveis aleatórias em simultâneo.

De uma maneira geral, com o aumento do período de retorno os cenários dominantes tendem a apresentar magnitudes maiores e a ocorrer mais perto do local em análise – é excepção o caso de Vila Real de Santo António, para PR=975 anos, em relação a $S_a(2.5\text{Hz})$.

De facto, o aumento do período de retorno reflecte-se no crescimento de M , excepto para os casos de Faro, para $S_a(1\text{Hz})$ e $S_a(2.5\text{Hz})$ e de Vila Real de Santo António, no que respeita à passagem de 475 para 975 anos, em que foram atingidos os limites superiores de truncatura das zonas de sismogénese a que pertencem as células.

Importa ainda referir, a respeito da distribuição geográfica das células que dominam a perigosidade sísmica, que o aumento do período espectral reverte no aumento da dispersão desta distribuição. Em relação a $S_a(1\text{Hz})$, para as três freguesias em análise, aparecem contribuições significativas das zonas B e M, associadas aos sismos de Benavente, em 1909, e de Setúbal, em 1858 (ver secção 2.2). Assim, sobressaem células afastadas, associadas a sismos com magnitudes elevadas, sobretudo para a desagregação da perigosidade sísmica avaliada em termos de $S_a(1\text{Hz})$ e células próximas associadas a sismos com magnitudes comparativamente mais baixas, sobretudo para a desagregação em PGA .

Relativamente ao desvio ε não se observa nenhum padrão específico de variação na análise efectuada, assumindo valores entre 0.15 e 0.50.

3.2.4. Comparação com outros estudos

Compararam-se os cenários sísmicos obtidos com os resultados apresentados por Montilla [2000], Montilla *et al.*, [2002], Sousa [2006] e Sousa & Campos-Costa [2009].

Montilla [2000] e Montilla *et al.*, [2002] analisaram a desagregação da perigosidade sísmica para 15 cidades da Península Ibérica, incluindo a cidade de Faro, no domínio da aceleração de pico (PGA). No estudo de 2002, os autores concluem que a perigosidade na cidade de Faro, para um período de retorno de 475 anos, é controlada por um evento dominante situado a menos de 50 km, salientando, igualmente, a

importância da perigosidade gerada a distâncias entre 150 a 250 km, a Oeste e Sudoeste do Cabo de São Vicente. Montilla [2000] chama a atenção para dois aspectos: o primeiro consiste na existência de duas contribuições “muito claras em distâncias”, referidas acima; e o segundo, ao contrário do que se verifica no presente trabalho, na inexistência de contribuições para a perigosidade devida a “sismos muito próximos” – que o autor atribui à falta de sismicidade para este leque de distâncias. Em relação à contribuição de fontes afastadas para a perigosidade, o autor refere também a contribuição do foco sísmico de Setúbal (sismo de 1858).

No que diz respeito aos trabalhos publicados por Sousa [2006], cuja metodologia se adoptou neste estudo, e Sousa & Campos-Costa [2009], os autores analisam a desagregação da perigosidade sísmica, tomando como parâmetro da intensidade do movimento do solo a intensidade macrossísmica, para todos os concelhos de Portugal Continental, em relação aos períodos de retorno de 95, 475 e 975 anos. Segundo estes autores, e em relação ao concelho de Faro, os valores esperados e modais da desagregação unidimensional em M aumentam com o aumento do período de retorno. A desagregação geográfica da perigosidade sísmica aponta para o domínio de uma única zona de sismogénese, em relação a todos os períodos de retorno considerados, localizada, na desagregação 4D, a cerca de 70km a WSW do Cabo de São Vicente. Sousa [2006] refere ainda que as contribuições relativas das células próximas do concelho de Faro são negligenciáveis (e existem apenas para PR = 95 anos), o que reflecte o padrão unimodal da distribuição, permitindo escolher cenários dominantes únicos para todos os períodos de retorno, localizada a cerca de 70km, a WSW do Cabo de São Vicente.

Nos trabalhos mencionados (nos quais se inclui o presente estudo) verifica-se a forte dependência da distribuição geográfica da sismicidade e das leis de atenuação adoptadas, o que justifica as discrepâncias observadas, dado terem sido utilizados catálogos e leis de atenuação diferentes.

3.3. Conclusões

Nesta secção sublinham-se os principais traços da análise da desagregação da perigosidade sísmica efectuada ao longo deste capítulo.

A desagregação unidimensional em M , nomeadamente a comparação dos valores esperados e modais, permite avaliar se é possível caracterizar a perigosidade sísmica por

um cenário dominante, unimodal, ou se, pelo contrário, é preciso avaliar a contribuição de várias zonas para a perigosidade.

A desagregação geográfica bidimensional, revelou-se extremamente útil por mostrar claramente o domínio geográfico que deve ser considerado e as distâncias e magnitudes a ter em conta na análise mais detalhada da desagregação (a desagregação 4D) o que, tal como é apontado por Sousa [2006], permite restringir o domínio desta última análise.

A análise dos resultados da desagregação 4D, permite identificar as fontes sísmicas que dominam a perigosidade da área em estudo e escolher os critérios para o estabelecimento de cenários sísmicos – que serão abordados no capítulo 4.

Permite igualmente constatar a forte dependência da distribuição geográfica da sismicidade, referida por vários autores (*e.g.* Barani *et al.*, 2009; Bazzurro & Cornell, 1999; Montilla *et al.*, 2002 e Sousa, 2006] que justifica, por exemplo a contribuição da célula com epicentro na zona B (ver Figura 2.6), para $S_a(1\text{Hz})$, e das leis de atenuação adoptadas, bem como, de todos os dados e parâmetros em jogo (resumidos na secção 2.6).

Assim, esta análise permite compreender melhor os resultados da análise probabilística da perigosidade sísmica, nomeadamente no que diz respeito às variações no domínio dos períodos de retorno e das frequências espectrais consideradas, e aos dados e parâmetros que a afectam.

4. Cenários sísmicos para a região do Algarve

4.1. Estabelecimento de cenários sísmicos para a região do Algarve

Neste capítulo identificam-se os cenários de ocorrência que dominam a perigosidade sísmica para as freguesias da região do Algarve, com base na análise probabilística da desagregação da perigosidade sísmica, efectuada na secção 3.2.

Esta metodologia, introduzida por Bernreuter [1992] [Montilla, 2000], tem vindo principalmente a ser explorada para a identificação do designado sismo de controlo (Bernreuter, 1992), ou sismo de dimensionamento (McGuire, 1995), ou evento modal (Chapman, 1995) ou evento dominante [Bazzurro & Cornell, 1999] ou cenário sísmico (Pinto *et al.*, 2004) (lista de designações adaptada de Montilla *et al.*, [2002], Sousa [2006]).

Importa, ainda a este respeito, salientar que, segundo Bazzurro & Cornell (1999), o evento mais provável - entre todos os possíveis que verificam a condição de excedência de um determinado valor de s_a , ou seja, a moda da distribuição de probabilidade conjunta em $M-R-\varepsilon$, não coincide, necessariamente, com os valores modais das distribuições marginais de uma só variável.

Assim, para determinar os cenários sísmicos para a região do Algarve, segue-se a abordagem proposta por Sousa [2006] para a selecção de cenários de ocorrência, que passa pela identificação, com base na desagregação da perigosidade sísmica, de *cenários modais*. Ou seja, adopta-se a moda da distribuição de probabilidade conjunta das variáveis $M-(X, Y)-\varepsilon$, condicionada pela excedência de um nível s_a do movimento do solo, analisada na secção 2.5.

Sousa [2006] salienta ainda que este procedimento, que conduz à identificação dos cenários de perigosidade sísmica, confere-lhes a particularidade de, quando substituídos na lei de atenuação respectiva, reproduzirem, por excesso, dentro de uma aproximação razoável, o nível de perigosidade sísmica no local em análise, daí que estes cenários de ocorrência específicos sejam designados de eventos dominantes, ou seja, são os eventos que controlam a perigosidade num dado local.

Objectivamente, e em traços gerais, identificam-se, para cada freguesia, os níveis de perigosidade sísmica associados aos níveis de probabilidade de

excedência especificados (secção 3.1), efectua-se a análise da desagregação 4D da perigosidade sísmica, que permite obter o conjunto de valores modais das variáveis aleatórias M , X , Y e ε .

Este conjunto de valores, que possui a maior probabilidade de ocorrência, é identificado como o cenário de perigosidade sísmica para cada freguesia.

Este procedimento é efectuado para as 84 freguesias do Algarve, para os períodos de retorno de 95, 475 e 975 anos, condicionados pela excedência de diversos níveis de perigosidade, s_a , em relação a PGA , $S_a(1\text{Hz})$ e $S_a(2.5\text{Hz})$. Obtêm-se, deste modo, 84 cenários de perigosidade sísmica, um para cada freguesia.

Na Figura 4.1 ilustram-se os cenários de perigosidade sísmica para todas as freguesias da região do Algarve. Para o efeito representam-se, nos nove mapas que constituem a figura, a localização e a magnitude dos cenários através de círculos de cores distintas. As localizações e cores dos círculos representam os epicentros dos cenários, enquanto a sua dimensão representa a magnitude dos mesmos. As freguesias são pintadas com a mesma cor que identifica o epicentro dos cenários.

Esta representação, adaptada de Sousa *et al.*, [2008], permite caracterizar de forma sintética os cenários de perigosidade sísmica para todas as freguesias da região do Algarve.

Tem ainda a virtude de permitir visualizar não só as variações de cariz local, mas também a forma como evoluem, tendo em conta os períodos de retorno considerados, para a aceleração de pico (PGA) e para as acelerações espectrais referentes às frequências do movimento de 1 e 2.5Hz.

A análise dos mapas da Figura 4.1 permite concluir que os cenários modais, de cada uma das 84 freguesias do Algarve, são completamente representados por 7 células, sendo que os cenários com epicentro nas coordenadas cartográficas planas $(X;Y) = (109; 193.9)$ e $(119.1; 113.9)$ km, que se situam na zona M e B (Figura 2.1), respectivamente só se verificam para as acelerações espectrais relativas a 1 e 2.5Hz.

O aumento do período de retorno reflecte-se, em geral, no aumento do valor de M . Quando este aumento não se verifica constata-se que foram atingidos os

limites superiores de truncatura da distribuição de magnitude das zonas correspondentes.

Em termos de cenários modais – correspondentes às primeiras modas da Tabela 3.3 – nas freguesias de Faro, Vila do Bispo e Vila Real de Santo António a perigosidade sísmica é dominada pela sismicidade local; este facto não se verifica para as restantes freguesias.

Nestes mapas sobressai ainda a importância da zona M (sismo de Setúbal, 1858) e, sobretudo, da zona B em que se inclui o sismo de Benavente de 1909 e a sismicidade histórica com localização epicentral na zona de Lisboa. Este resultado não foi evidenciado no trabalho apresentado nas secções anteriores (desagregação unidimensional e geográfica), que se cingiu à análise dos resultados para as freguesias de Vila do Bispo, Faro e Vila Real de Santo António. O cenário modal com epicentro na zona B, que domina a perigosidade em $S_a(1\text{Hz})$ de um número elevado de freguesias (a azul escuro), decorre do facto de, nas baixas frequências, os sismos afastados com magnitudes elevadas apresentarem uma contribuição relevante para a perigosidade [Barani *et al.*, 2009]. No extremo oposto – quando se analisa a perigosidade em termos de PGA – verifica-se o domínio de cenários próximos com magnitudes comparativamente mais baixas, pelo que os cenários modais se localizam apenas nas imediações do território algarvio.

O aumento do período de retorno traduz-se no alargamento do domínio do cenário localizado em $(X;Y) = (119.1; 33.93)$ km de forma tanto mais marcada quanto menor é a frequência espectral do nível de perigosidade que condiciona a análise de desagregação.

As freguesias do Sotavento Algarvio apresentam cenários modais com diversos epicentros distribuídos numa região alargada, enquanto que os cenários modais das restantes freguesias se cingem a uma única localização epicentral $(X;Y) = (119.1; 33.93)$ km identificada a vermelho na Figura 4.1.

Para terminar, importa referir que, no Sotavento Algarvio, o aumento do período de retorno traduz-se por cenários mais severos e localizados mais perto do local em análise.

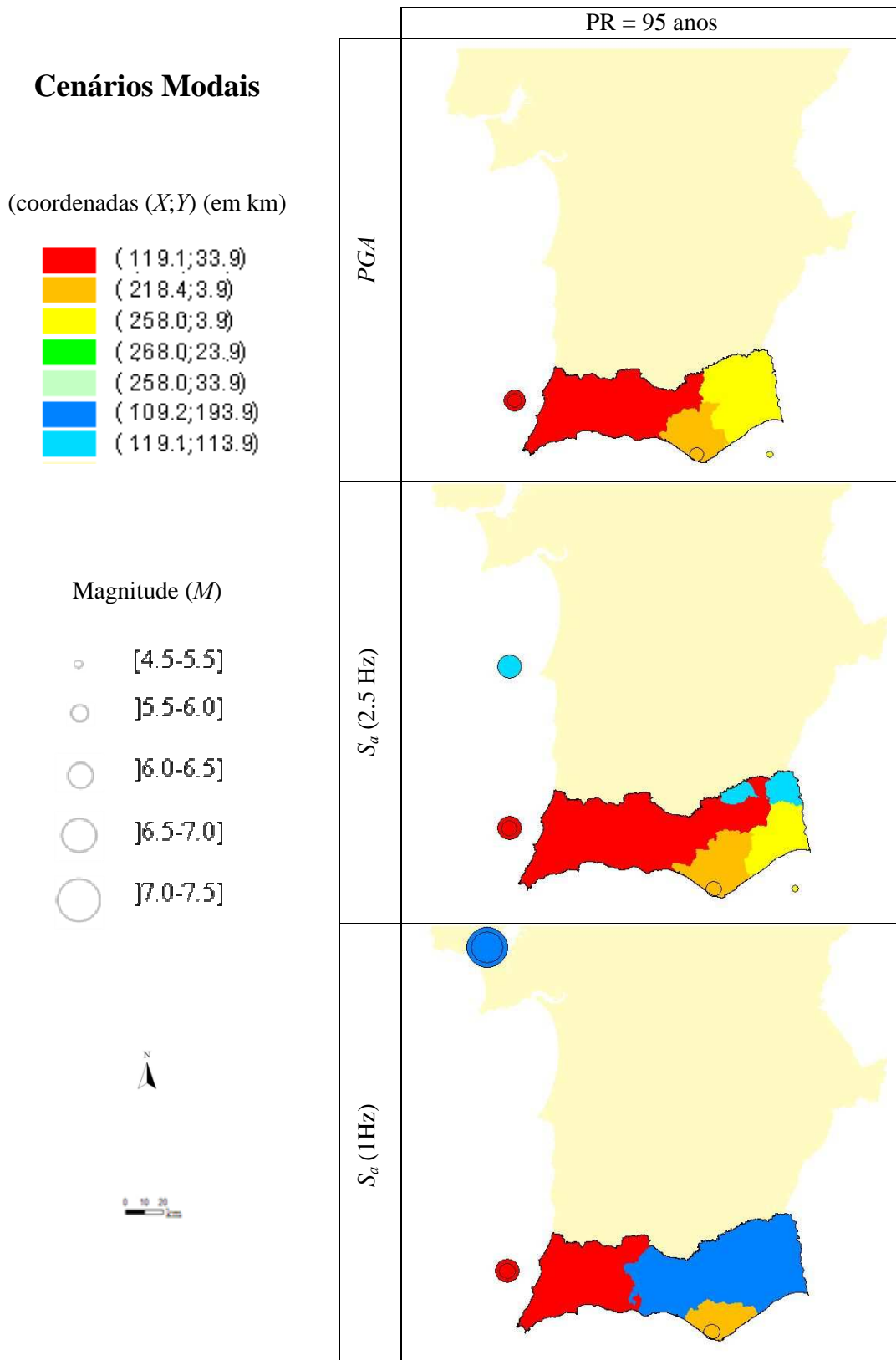
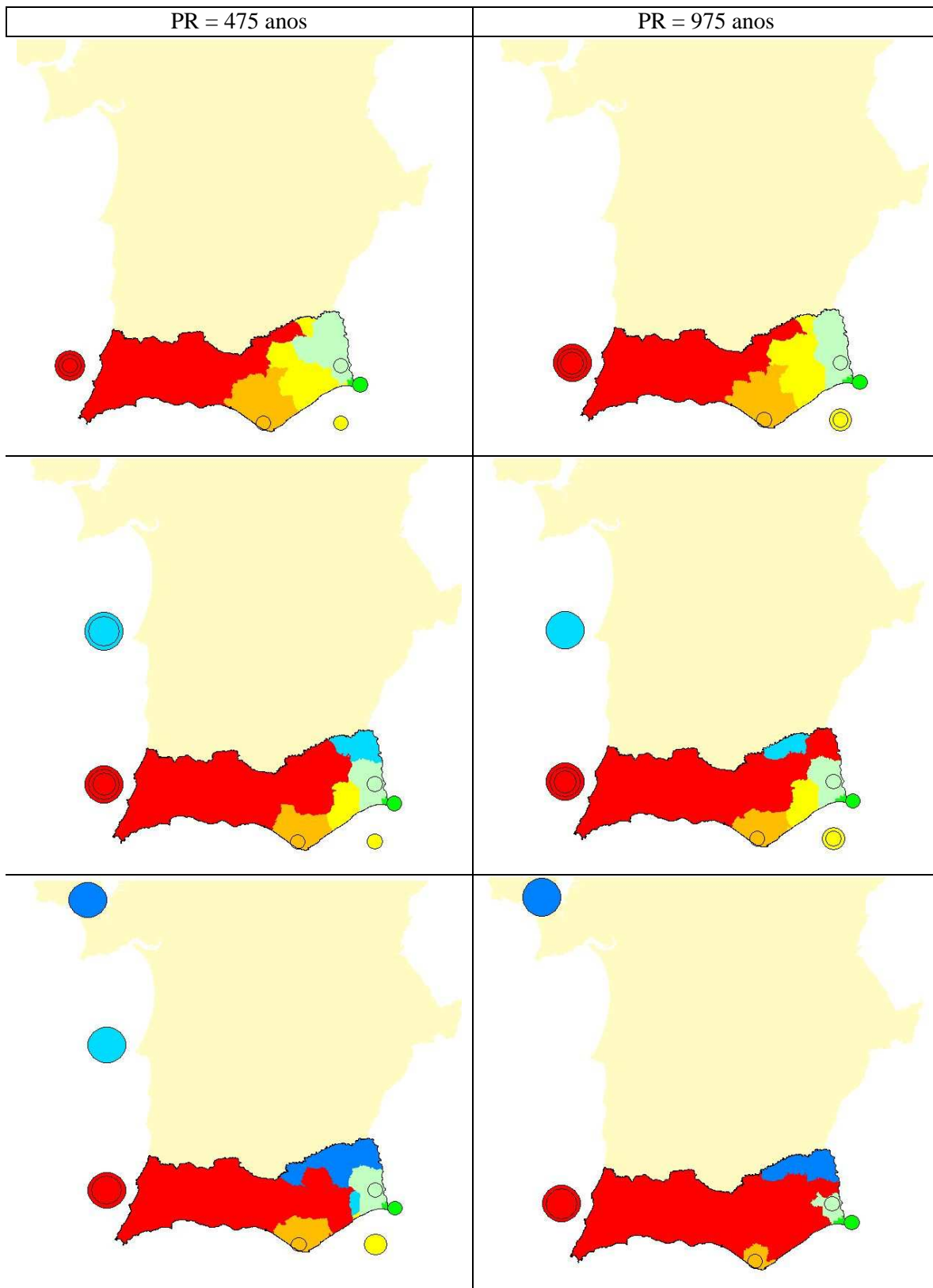


Figura 4.1 – Mapas dos cenários de perigosidade sísmica para todas as freguesias do Algarve.



Em anexo listam-se os cenários de perigosidade sísmica para cada uma das 84 freguesias da região do Algarve, descritos pelos valores modais da análise de desagregação 4D, para os períodos de retorno de 95, 475 e 975 anos, condicionados pela excedência de diversos níveis de perigosidade, s_a , em relação a PGA , $S_a(1\text{Hz})$ e $S_a(2.5\text{Hz})$. Listam-se também os valores das contribuições relativas para esses níveis de perigosidade.

4.2. Comparação com outros estudos

Compararam-se os cenários sísmicos obtidos com os resultados apresentados por Montilla [2000], Montilla *et al.*, [2002], Sousa [2006], Sousa *et al.*, [2008] e Sousa & Campos-Costa [2009].

Em relação a Montilla [2000] e Montilla *et al.*, [2002], e à análise a desagregação da perigosidade sísmica para a cidade de Faro relativamente ao período de retorno de 475, os autores referem não ser possível estabelecer um cenário dominante, apontando para a existência de uma contribuição principal (cenário modal), a menos de 50 km da cidade de Faro, mas dando ainda especial relevo à contribuição da zona a WSW do Cabo de São Vicente. Montilla [2000] refere ainda a contribuição do “Sismo de Setúbal” de 1858.

No que diz respeito a Sousa [2006], cuja metodologia se segue neste estudo, e Sousa & Campos-Costa [2009], os autores escolhem cenários modais para caracterizar a perigosidade sísmica dos concelhos de Portugal Continental. Os autores verificam, tal como acontece neste estudo, que a magnitude dos cenários cresce com o aumento do período de retorno. No entanto, e em particular para todos os concelhos da região do Algarve, a perigosidade sísmica é dominada por um cenário único, localizado a 70 km, a WSW do Cabo de São Vicente, para os três períodos de retorno considerados.

Tal como foi referido anteriormente, nestes trabalhos, verifica-se a forte dependência da distribuição geográfica da sismicidade e das leis de atenuação adoptadas, o que justifica as discrepâncias observadas, dado terem sido utilizados catálogos e leis de atenuação diferentes.

Em relação a Sousa *et al.*, [2008], cujos dados de base e parâmetros dos modelos são os utilizados neste trabalho, verifica-se como seria de esperar, uma coincidência dos padrões da distribuição geográfica obtidos, no presente estudo, para PGA . As

discrepâncias existentes são insignificantes e resultam da diferença na dimensão do espaço das variáveis aleatórias envolvidas na análise.

4.3. Conclusões

Os cenários aqui apresentados, que correspondem aos valores modais da desagregação 4D, têm a virtude de caracterizar, de forma sintética, as fontes que dominam a perigosidade da região do Algarve. Assim, é possível visualizar globalmente as variações de cariz local, e a forma como estas são afectadas pelos períodos de retorno e pelas acelerações espectrais consideradas.

De entre os traços mais importantes que ressaltam da análise dos cenários modais salienta-se que estes não têm necessariamente correspondência com estruturas tectónicas activas, pois as fontes sísmicas foram modeladas por zonas de grande expressão geográfica. Assim, muitas vezes, os cenários obtidos correspondem a uma célula com sismicidade relativa importante (ver Figura 2.6) e que, dentro de uma dada zona, se encontra mais perto da freguesia em análise.

5. Conclusões

Neste capítulo apresenta-se uma retrospectiva do trabalho desenvolvido, apresentam-se as suas principais conclusões e perspectivam-se possíveis trabalhos futuros.

Assim, no capítulo 2 efectuou-se uma análise da exaustividade do catálogo sísmico tendo-se concluído que o mesmo não descreve, de forma completa a sismicidade da região, nomeadamente os sismos pertencentes à gama de magnitudes mais baixas e ao período histórico. Por isso, procedeu-se a um estudo da exaustividade do catálogo sísmico, que permitiu identificar os períodos de tempo para os quais este é completo, em função de um limiar inferior de magnitude, aqui designados de períodos de exaustividade.

Atendendo aos diferentes intervalos de exaustividade previamente identificados, optou por se estimar os parâmetros das leis de frequência-magnitude, para um modelo de 15 zonas de sismogénese (IM, 2008), através do método da máxima verosimilhança proposto por Weichert [1980], verificando-se que os testes estatísticos à qualidade global dos modelos e dos parâmetros se revelaram significativos. Constatou-se que a zona com maior valor absoluto de b é a zona N, de elevada sismicidade, situada a Oeste do Banco de Gorringe. Por outro lado, a zona com o valor absoluto de b mais reduzido é a P, localizada na proximidade do limite sudoeste da região em análise. Esta zona apresenta uma sismicidade muito reduzida, mas engloba um sismo de magnitude elevada ocorrido já no período instrumental.

No capítulo 3 apresentou-se a análise probabilística da perigosidade sísmica e a sua desagregação em espaços de várias dimensões, nomeadamente a desagregação unidimensional em M , bidimensional em X , Y e a desagregação 4D em $M-(X, Y)-\varepsilon$.

Finalmente, no capítulo 4 estabelecem-se os cenários sísmicos para a região do Algarve com base na análise de desagregação previamente efectuada.

Em termos gerais, conclui-se que a análise de desagregação da perigosidade sísmica contribui para compreender os factores que controlam a perigosidade sísmica do Algarve, tanto a nível das zonas de sismogénese que dominam esses resultados, como a nível da influência dos dados de base e dos modelos adoptados.

Os cenários sísmicos das 84 freguesias são representados por um número reduzido de localizações geográficas, para os 3 períodos de retorno considerados. Para a maioria destas freguesias há apenas uma localização para o respectivo cenário sísmico, a Oeste da costa Ocidental Algarvia, com epicentro na zona de sismogénese onde teve origem o sismo de 1755. Acrescenta-se que, globalmente, com o aumento do período de retorno os cenários tendem a apresentar magnitudes mais elevadas, ocorrendo, também, um maior número de cenários próximos do local em análise e de magnitude relativamente baixa, no que se refere às freguesias do Sotavento Algarvio.

A análise efectuada neste estudo a nível de *PGA*, e das acelerações espectrais $S_a(1\text{Hz})$ e $S_a(2.5\text{Hz})$ confirma a importância da introdução de leis de atenuação espectrais que permitem captar a contribuição das várias células para os níveis de perigosidade correspondentes a diferentes frequências do movimento.

Como conclusão final do trabalho desenvolvido refira-se que os seus objectivos foram cumpridos tendo-se conseguido estabelecer os cenários sísmicos que mais contribuem para a perigosidade sísmica da região do Algarve.

No que diz respeito a desenvolvimentos futuros propõe-se que se estude a perigosidade sísmica da região do Algarve com recurso a algumas fontes falha, complementando as zonas de sismogénese de grande extensão geográfica (zonas área) já definidas. Com efeito, os desenvolvimentos científicos alcançados para esta região permitem um conhecimento mais aprofundado da sua sismotectónica. Desta forma, a integração das características das falhas na análise de perigosidade e posterior desagregação poderia apontar eventualmente para cenários fisicamente mais razoáveis.

6. Referências Bibliográficas

- Araya, R.; Der Kiureghian, A., 1988.
Seismic Hazard Analysis Improved Models, Uncertainties and Sensitivities. Report No. UCB/EERC 90/11, University of California, Berkeley.
- Barani, S.; Spallarosa, D.; Bazzurro, P.; 2009.
Disaggregation of Probabilistic Ground-Motion Hazard in Italy. Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 99, No 5, pp. 2638-2661.
- Bazzurro, P., 1998.
Probabilistic seismic demand analysis. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Stanford.
- Bazzurro, P.; Cornell, C. A., 1999.
Disaggregation of Seismic Hazard. Bull. Seism. Soc. Am., 89, 501-520.
- Benjamin, J.R.; Cornell C., 1970.
Probability, Statistics, and Decision for Civil Engineers. McGraw-Hill, New York.
- Bernereuter, D.L., 1992.
Determining the controlling earthquake from probabilistic hazards for the proposed appendix B. Lawrence Livermore National Laboratory. Rep. UCRL-JC_111964, Livermore..
- Campos-Costa, A.; Oliveira, C.S.; Sousa, M.L., 1992.
Seismic Hazard-Consistent Studies for Portugal. *Proc. 10th World Conference on Earthquake Engineering*, pp. 477-482, Madrid. Ed. Balkema, Rotterdam.
- Campos Costa, A., Sousa, M.L. & Oliveira, C.S., 1999.
Seismic risk: methods and application to Portugal. *11ECEE*. Paris. Ed. Balkema, Rotterdam.
- Campos Costa, A., Sousa, M.L., Carvalho, A., Bilé Serra, J. & Carvalho, E.C., 2002.
Regional seismic risk scenarios based on hazard deaggregation. *12ECEE*. Londres, Elsevier Science Ltd. Artigo nº 470.
- Campos Costa, A., Sousa, M.L. & Carvalho, A., 2008.
Seismic Zonation for Portuguese National Annex of Eurocode 8. 14th World Conference on Earthquake Engineering, Pequim, China.
- Carvalho, A., 2007.
Modelação estocástica da acção sísmica em Portugal Continental. Dissertação de doutoramento; IST; Lisboa.

- Carvalho, A.; Campos Costa, A, 2008.
Leis de atenuação para Portugal Continental. Relatório 10/2008 – NESDE; LNEC, Lisboa
- Carvalho, A.; Sousa, M. L, 2008. .
Estudo do risco sísmico e Tsunamis do Algarve. Relatório de progresso: Simulador de cenários sísmicos. Relatório 189/2008 – NESDE; LNEC, Lisboa
- Chapman, M.C., 1995.
A Probabilistic Approach to ground Motion Selection for Engineering Design. BSSA, Vol. 85, nº 3, pp. 937-942.
- Cornell, C.A., 1968.
Engineering seismic risk analysis. *BSSA*, **8**: 1503-1606.
- Cramer, C.H. & Petersen, M.D., 1996.
Predominant seismic source distance and magnitude maps for Los Angeles, Orange and Ventura countries, California. *BSSA*, **86**: 1645-1649.
- Frankel, A., 1995.
Mapping Seismic Hazard in the Central and Eastern United States. *Seismic. Res. Letts.*, **66**, 8-21.
- Frankel, A., Mueller, C., Barnhard, T., Leyendecker, E., Wesson, R.L., Harmsen, S.C., Klein, F.W., Perkins, D.M., Dickman, N., Hanson, S.L. & Hopper, M.G., 2000.
USGS national seismic hazard maps. *Earthquake Spectra*, Vol. 16, 1: 1-19.
- Gutenberg, B.; Richter, C. F., 1944.
Frequency of Earthquakes in California, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **34**, nº 4, pp. 185–188.
- Gutenberg, B.; Richter, C.F., 1949.
Frequency and energy of earthquakes. Seismicity of the earth and associated phenomena; pp 16-20; Princepton University Press.
- Harmsen, S., Perkins, D. & Frankel, A., 1999.
Deaggregation of probabilistic ground motions in the Central and Eastern United States. *BSSA*, **89**: 1-13.
- Harmsen, S. & Frankel, A., 2001.
Geographic deaggregation of seismic hazard in the United States. *BSSA*, **1**: 13-26
- Hillier, F.S. & Lieberman, J.G., 1990.
Introduction to operation research. 5ª Edição. McGraw-Hill, New York.

IM, 2008.

Projecto ERSTA - Estudo do Risco Sísmico e de Tsunamis do Algarve. Relatório de Execução Material, Instituto de Meteorologia.

Martins, I.; Mendes Victor, L. A., 1990

Contribuição para o estudo da sismicidade de Portugal Continental. Publ. IGIDL; Vol. 18; Instituto Geofísico do Infante D. Luís, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal.

Matias, L., Veludo, I., & Teves-Costa, P., 2008.

Probabilistic Seismic Hazard Analysis in Angra do Heroísmo: Problems on Defining Seismic Sources. International Seminar on Seismic Risk and Rehabilitation of Stone Masonry Housing, Horta.

McGuire, R.K., 1995.

Probabilistic seismic hazard analysis and design earthquakes: closing the loop. *BSSA*, **85**: 1275-1284.

McGuire, R.K., 2004.

Seismic hazard and risk analysis. *EERI Monograph*, Earthquake Engineering Research Institute.

McGuire, R.K. & Shedlock, K.M., 1981.

Statistical uncertainties in seismic hazard evaluation in the United States. *BSSA*, **71**: 1287-1308.

Montilla, J.A., 2000.

Agregación y desagregación de aceleraciones esperadas en la Península Ibérica utilizando sismicidad de fondo. Tese de Doutoramento. Universidade de Granada.

Montilla, J. A. Peláez; Casado, C. López, 2002.

Seismic hazard estimate at the Iberian Peninsula. *Pure Appl. Geophys.*; Vol. 159, pp. 2699-2713

Oliveira, C.S., 1977.

Sismologia, sismicidade e risco sísmico. Aplicações em Portugal. Relatório, Proc. 36/11/4394. LNEC, Lisboa.

Reasenber, P. (1985).

Second order moment of central California seismicity, 1969-1982". *Journal of Geophys. Res.* 90: 5479-5495

Ribeiro, A., 2005.

O Sismo de 1755 e a Geodinâmica da Ibéria e Atlantico. 1755 – O Grande Terramoto de Lisboa Volume 1 Descrições; Flad e Público

- Ribeiro, A.; Mendes-Victor, L.; Cabral, J.; Matias, L.; Terrinha, P., 2006.
The 1755 Lisbon earthquake and the beginning of closure of the Atlantic. European Review; Vol. 14, N. 2, pp. 193-205.
- Rodrigues, I., Sousa, M.L., Carvalho, A., Carrilho, F., 2009.
Parâmetros das leis de Frequência-Magnitude para as Novas Zonas de Sismogénese Delineadas para a Região do Algarve. APMG 2009, 6º Simpósio de Meteorologia e Geofísica / 10º Encontro Luso-Espanhol de Meteorologia, Costa da Caparica, Portugal (aceite para publicação).
- RSA, 1983.
Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes. Decreto-Lei nº 235/83 de 31 de Maio e Decreto-Lei nº 357/85 de 2 de Setembro. Imprensa Nacional - Casa da Moeda, 1986. Lisboa.
- Sousa, M.L., 1996.
Modelos Probabilistas para a Avaliação da Casualidade Sísmica em Portugal Continental. Tese de Mestrado em Investigação Operacional e Engenharia de Sistemas. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa.
- Sousa, M.L., 2006.
Risco Sísmico em Portugal Continental. Tese de Doutoramento em Engenharia do Território. IST, UTL. Lisboa.
- Sousa, M. L. & Campos Costa, A., 2009.
Ground motion scenarios consistent with probabilistic seismic hazard disaggregation analysis. Application to Mainland Portugal. (DOI: 10.1007/s10518-008-9088-z) Bulletin of Earthquake Engineering (BEE). (aceite para publicação).
- Sousa, M. L.; Oliveira C. S., 1997.
Hazard mapping based on macroseismic data considering the influence of geological conditions. Natural Hazards; Vol. 14, pp. 207-225.
- SSHAC, 1997.
Recommendations for probabilistic seismic hazard analysis: guidance on uncertainty and use of experts. Lawrence Livermore Nat. Lab., Report NUREG/CR-6372 – Report UCRL-ID-122160, Vol. I. Senior Seismic Hazard Analysis Committee (SSHAC). Livermore.
- Terrinha, P.; Cabral, J.; Matias, L., 2005.
A tectónica recente e a fonte do grande sismo de 1 de Novembro de 1755. In: Terramotos e Tsunamis, P. Teves-Costa (Coord.). Livro Aberto, Editores Livreiros Lda., Lisboa, pp. 7-26.

Teves-Costa, P., 2005.

Perigosidade e Risco Sísmico. In: Terramotos e Tsunamis, P. Teves-Costa (Coord.). Livro Aberto, Editores Livreiros Lda., Lisboa, pp. 7-26.

Teves-Costa, P., 2006.

Caracterização da sismicidade actual. In: Risco sísmico no centro histórico de Lagos, Livro, Centro Europeu de Riscos Urbanos.

Teves-Costa, P. & Viegas, G., 2004.

Estudo da perigosidade sísmica no Vale Inferior do Tejo. 4ª Assembleia Luso-Espanhola de Geodesia e Geofísica. Figueira da Foz.

Vilanova, S., 2004.

Sismicidade e Perigosidade Sísmica do Vale Inferior do Tejo. Dissertação de doutoramento; Universidade Técnica de Lisboa.

Vilanova, S. P.; Fonseca, J. B. D., 2007.

Probabilistic seismic-hazard assessment for Portugal. Bull. Seism. Soc. Am.; Vol. 97; N. 5, pp. 1702-1717.

Weichert, D., 1980.

Estimation of the Earthquake Recurrence Parameters for Unequal Observation Periods for Different Magnitudes, Bull. Seism. Soc. Am., 70, pp. 1337-1346.

Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Janeiro de 2010

VISTOS

O Director do
Departamento de Estruturas (DE)



João Almeida Fernandes
Investigador Coordenador

AUTORIA



Isabel Rodrigues
Geofísica

A Chefe do Núcleo de Engenharia Sísmica e
Dinâmica de Estruturas (NESDE)



Ema Coelho
Investigadora Principal



Maria Luísa Sousa
Investigadora Auxiliar
(DE/NESDE)

Agradecimentos

O presente trabalho contou com o apoio de diversos elementos do Núcleo de Engenharia Sísmica e Dinâmica de Estruturas (NESDE) do Departamento de Estruturas do LNEC. Assim, as autoras agradecem a todos os que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento do presente trabalho, em particular à Doutora Alexandra Carvalho ao Doutor Campos Costa e à Dra. Anabela Martins.

Agradece-se ainda a contribuição científica da Professora Doutora Paula Teves Costa da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

Ao Instituto de Meteorologia agradece-se a disponibilização do catálogo sísmico revisto e à Autoridade Nacional de Protecção Civil agradece-se ter fomentado o projecto Estudo do Risco Sísmico e de Tsunamis do Algarve.

ANEXO

Cenários de perigosidade sísmica

PGA

Freguesia	PR=95 anos				PR=475 anos				PR=975 anos			
	(X;Y) (km)	M	ε	C(‰)	(X;Y) (km)	M	ε	C(‰)	(X;Y) (km)	M	ε	C(‰)
Albufeira	(119.1;33.9)	5.95	0.20	1.94	(119.1;33.9)	6.75	0.15	2.92	(119.1;33.9)	6.65	0.30	3.69
Guia	(119.1;33.9)	5.65	0.30	1.99	(119.1;33.9)	6.45	0.25	3.34	(119.1;33.9)	6.85	0.20	4.31
Paderne	(119.1;33.9)	6.05	0.15	1.94	(119.1;33.9)	6.35	0.30	3.01	(119.1;33.9)	6.75	0.25	4.11
Ferreiras	(119.1;33.9)	5.95	0.20	1.94	(119.1;33.9)	6.75	0.15	2.95	(119.1;33.9)	6.65	0.30	3.72
Olhos de Água	(119.1;33.9)	6.05	0.20	1.62	(119.1;33.9)	6.45	0.30	2.51	(119.1;33.9)	6.85	0.25	3.43
Alcoutim	(258.0;3.9)	5.05	0.25	2.08	(258.0;33.9)	5.95	0.20	3.32	(258.0;33.9)	5.95	0.30	4.68
Giões	(258.0;3.9)	5.25	0.20	1.72	(258.0;3.9)	5.65	0.30	2.26	(258.0;3.9)	6.05	0.25	2.73
Martim Longo	(258.0;3.9)	4.95	0.35	1.42	(119.1;33.9)	6.65	0.25	2.29	(119.1;33.9)	7.15	0.15	2.99
Pereiro	(258.0;3.9)	4.95	0.30	1.95	(258.0;33.9)	5.95	0.25	2.77	(258.0;33.9)	5.95	0.35	3.57
Vaqueiros	(258.0;3.9)	5.05	0.25	2.09	(258.0;33.9)	5.95	0.25	2.79	(258.0;3.9)	5.95	0.25	3.35
Aljezur	(119.1;33.9)	5.25	0.20	6.81	(119.1;33.9)	6.05	0.20	8.31	(119.1;33.9)	6.15	0.30	8.55
Bordeira	(119.1;33.9)	5.25	0.20	6.80	(119.1;33.9)	5.95	0.25	7.94	(119.1;33.9)	6.55	0.15	8.47
Odeceixa	(119.1;33.9)	5.45	0.15	5.70	(119.1;33.9)	6.25	0.15	7.02	(119.1;33.9)	6.45	0.20	8.38
Rogil	(119.1;33.9)	5.15	0.25	6.44	(119.1;33.9)	5.95	0.25	7.84	(119.1;33.9)	6.55	0.15	8.38
Azinhal	(258.0;3.9)	5.05	0.20	2.61	(258.0;33.9)	5.65	0.20	5.58	(258.0;33.9)	5.85	0.20	8.26
Castro Marim	(258.0;3.9)	4.95	0.20	3.21	(258.0;33.9)	5.75	0.20	4.68	(258.0;33.9)	5.95	0.20	7.02
Odeleite	(258.0;3.9)	4.85	0.30	2.41	(258.0;33.9)	5.75	0.20	4.72	(258.0;33.9)	5.95	0.20	7.00
Altura	(258.0;3.9)	4.65	0.30	3.69	(258.0;3.9)	5.55	0.20	4.58	(258.0;33.9)	5.95	0.25	5.89
Conceição	(218.4;3.9)	5.45	0.20	3.09	(218.4;3.9)	5.85	0.20	7.85	(218.4;3.9)	5.95	0.25	11.71
Estói	(218.4;3.9)	5.55	0.20	2.61	(218.4;3.9)	5.95	0.25	5.55	(218.4;3.9)	5.95	0.35	7.28
Santa Bárbara de Nexe	(218.4;3.9)	5.55	0.20	2.59	(218.4;3.9)	5.95	0.25	5.56	(218.4;3.9)	5.95	0.35	7.23
Faro (São Pedro)	(218.4;3.9)	5.45	0.20	3.09	(218.4;3.9)	5.85	0.20	7.86	(218.4;3.9)	5.95	0.25	11.79
Faro (Sé)	(218.4;3.9)	5.55	0.10	3.31	(218.4;3.9)	5.85	0.20	7.80	(218.4;3.9)	5.95	0.25	11.62
Montenegro	(218.4;3.9)	5.55	0.10	3.31	(218.4;3.9)	5.85	0.20	7.81	(218.4;3.9)	5.95	0.25	11.75
Estômbar	(119.1;33.9)	5.45	0.30	2.83	(119.1;33.9)	6.15	0.30	4.28	(119.1;33.9)	6.45	0.30	5.27
Ferragudo	(119.1;33.9)	5.55	0.25	3.15	(119.1;33.9)	6.15	0.30	4.26	(119.1;33.9)	6.45	0.30	5.21
Lagoa	(119.1;33.9)	5.65	0.25	2.63	(119.1;33.9)	6.45	0.20	4.15	(119.1;33.9)	6.75	0.20	5.13
Porches	(119.1;33.9)	5.55	0.30	2.37	(119.1;33.9)	6.35	0.25	3.96	(119.1;33.9)	6.65	0.25	4.89
Carvoeiro	(119.1;33.9)	5.75	0.20	2.77	(119.1;33.9)	6.45	0.20	4.18	(119.1;33.9)	6.75	0.20	5.13
Parchal	(119.1;33.9)	5.55	0.25	3.16	(119.1;33.9)	6.25	0.25	4.71	(119.1;33.9)	6.55	0.25	5.78
Barão de São João	(119.1;33.9)	5.25	0.25	5.44	(119.1;33.9)	6.15	0.20	7.01	(119.1;33.9)	6.25	0.30	7.27
Bensafrim	(119.1;33.9)	5.25	0.25	5.37	(119.1;33.9)	6.15	0.20	6.98	(119.1;33.9)	6.25	0.30	7.28
Luz	(119.1;33.9)	5.35	0.25	4.51	(119.1;33.9)	6.25	0.20	5.92	(119.1;33.9)	6.45	0.25	6.68
Odiáxere	(119.1;33.9)	5.35	0.25	4.52	(119.1;33.9)	6.35	0.15	5.93	(119.1;33.9)	6.55	0.20	7.13
Lagos (Santa Maria)	(119.1;33.9)	5.65	0.15	3.99	(119.1;33.9)	6.15	0.25	5.60	(119.1;33.9)	6.35	0.30	6.06
Lagos (São Sebastião)	(119.1;33.9)	5.25	0.30	4.07	(119.1;33.9)	6.25	0.20	5.88	(119.1;33.9)	6.45	0.25	6.73
Almancil	(218.4;3.9)	5.55	0.20	2.59	(218.4;3.9)	5.95	0.20	6.70	(218.4;3.9)	5.95	0.30	9.43
Alte	(119.1;33.9)	5.65	0.30	1.99	(119.1;33.9)	6.55	0.20	3.51	(119.1;33.9)	6.95	0.15	4.34
Ameixial	(119.1;33.9)	6.15	0.15	1.63	(119.1;33.9)	6.55	0.25	2.76	(119.1;33.9)	6.95	0.20	3.61
Boliqueime	(119.1;33.9)	6.15	0.15	1.62	(119.1;33.9)	6.55	0.25	2.78	(119.1;33.9)	7.05	0.15	3.62
Quarteira	(218.4;3.9)	5.75	0.20	1.83	(218.4;3.9)	5.95	0.35	3.42	(218.4;3.9)	5.95	0.45	3.80
Querença	(218.4;3.9)	5.85	0.15	1.78	(218.4;3.9)	5.95	0.35	3.42	(218.4;3.9)	5.95	0.45	3.78

Freguesia	PR=95 anos				PR=475 anos				PR=975 anos			
	(X;Y)(km)	M	ε	C(‰)	(X;Y)(km)	M	ε	C(‰)	(X;Y)(km)	M	ε	C(‰)
Salir	(119.1;33.9)	6.05	0.20	1.62	(119.1;33.9)	6.45	0.30	2.51	(119.1;33.9)	6.85	0.25	3.46
Loulé (São Clemente)	(218.4;3.9)	5.65	0.20	2.18	(218.4;3.9)	5.95	0.30	4.43	(218.4;3.9)	5.95	0.40	5.39
Loulé (São Sebastião)	(218.4;3.9)	5.75	0.20	1.83	(218.4;3.9)	5.95	0.35	3.43	(218.4;3.9)	5.95	0.45	3.80
Benafim	(119.1;33.9)	5.85	0.25	1.85	(119.1;33.9)	6.75	0.15	2.94	(119.1;33.9)	6.65	0.30	3.76
Tôr	(218.4;3.9)	5.85	0.20	1.54	(218.4;3.9)	5.95	0.40	2.53	(119.1;33.9)	6.75	0.30	3.15
Alferce	(119.1;33.9)	5.45	0.25	3.77	(119.1;33.9)	6.05	0.30	5.10	(119.1;33.9)	6.35	0.30	6.23
Marmeleite	(119.1;33.9)	5.35	0.20	5.66	(119.1;33.9)	6.25	0.15	7.02	(119.1;33.9)	6.35	0.25	8.04
Monchique	(119.1;33.9)	5.35	0.25	4.51	(119.1;33.9)	6.35	0.15	5.93	(119.1;33.9)	6.55	0.20	7.20
Fuseta	(258.0;3.9)	4.95	0.25	2.58	(218.4;3.9)	5.95	0.35	3.40	(258.0;3.9)	5.85	0.25	4.11
Moncarapacho	(218.4;3.9)	5.65	0.20	2.19	(218.4;3.9)	5.95	0.30	4.39	(218.4;3.9)	5.95	0.40	5.30
Olhão	(218.4;3.9)	5.55	0.20	2.59	(218.4;3.9)	5.95	0.20	6.58	(218.4;3.9)	5.95	0.30	9.26
Pechão	(218.4;3.9)	5.45	0.20	3.08	(218.4;3.9)	5.95	0.15	7.61	(218.4;3.9)	5.95	0.25	11.74
Quelfes	(218.4;3.9)	5.55	0.20	2.59	(218.4;3.9)	5.95	0.25	5.53	(218.4;3.9)	5.95	0.35	7.19
Alvor	(119.1;33.9)	5.45	0.25	3.78	(119.1;33.9)	6.05	0.30	5.10	(119.1;33.9)	6.75	0.15	6.07
Mexilhoeira Grande	(119.1;33.9)	5.35	0.25	4.50	(119.1;33.9)	6.35	0.15	5.96	(119.1;33.9)	6.55	0.20	7.14
Portimão	(119.1;33.9)	5.35	0.30	3.40	(119.1;33.9)	6.45	0.15	5.01	(119.1;33.9)	6.75	0.15	6.07
São Brás de Alportel	(218.4;3.9)	5.75	0.20	1.84	(218.4;3.9)	5.95	0.35	3.40	(218.4;3.9)	5.95	0.45	3.75
Alcantarilha	(119.1;33.9)	5.55	0.30	2.38	(119.1;33.9)	6.35	0.25	3.96	(119.1;33.9)	6.65	0.25	4.95
Algoz	(119.1;33.9)	5.85	0.20	2.32	(119.1;33.9)	6.65	0.15	3.51	(119.1;33.9)	6.55	0.30	4.44
Armação de Pêra	(119.1;33.9)	5.95	0.15	2.32	(119.1;33.9)	6.65	0.15	3.49	(119.1;33.9)	6.55	0.30	4.43
Pêra	(119.1;33.9)	5.85	0.20	2.32	(119.1;33.9)	6.65	0.15	3.51	(119.1;33.9)	6.55	0.30	4.42
S. B. de Messines	(119.1;33.9)	5.75	0.20	2.77	(119.1;33.9)	6.45	0.20	4.19	(119.1;33.9)	6.85	0.15	5.17
São Marcos da Serra	(119.1;33.9)	5.55	0.25	3.15	(119.1;33.9)	6.25	0.25	4.71	(119.1;33.9)	6.55	0.25	5.82
Silves	(119.1;33.9)	5.65	0.20	3.31	(119.1;33.9)	6.35	0.20	4.97	(119.1;33.9)	6.65	0.20	6.14
Tunes	(119.1;33.9)	5.75	0.25	2.19	(119.1;33.9)	6.55	0.20	3.51	(119.1;33.9)	6.95	0.15	4.32
Cachopo	(258.0;3.9)	5.25	0.20	1.71	(258.0;3.9)	5.65	0.30	2.28	(258.0;3.9)	6.15	0.20	2.75
Conceição	(258.0;3.9)	4.95	0.20	3.23	(258.0;3.9)	5.25	0.35	3.79	(258.0;3.9)	5.75	0.25	5.14
Luz	(258.0;3.9)	4.65	0.35	2.66	(258.0;3.9)	5.65	0.20	3.74	(258.0;3.9)	5.55	0.35	4.23
S. C. da Fonte do Bispo	(258.0;3.9)	5.15	0.20	2.11	(258.0;3.9)	5.65	0.25	3.00	(258.0;3.9)	6.05	0.20	3.40
Tavira (Santa Maria)	(258.0;3.9)	4.75	0.30	2.98	(258.0;3.9)	5.65	0.20	3.75	(258.0;3.9)	5.55	0.35	4.25
Tavira (Santiago)	(258.0;3.9)	4.95	0.20	3.25	(258.0;3.9)	5.35	0.30	4.31	(258.0;3.9)	5.85	0.20	5.13
Santo Estêvão	(258.0;3.9)	5.05	0.20	2.62	(258.0;3.9)	5.55	0.25	3.71	(258.0;3.9)	5.95	0.20	4.20
Santa Luzia	(258.0;3.9)	4.55	0.35	3.29	(258.0;3.9)	5.45	0.25	4.55	(258.0;3.9)	5.45	0.35	5.20
Cabanas de Tavira	(258.0;3.9)	4.75	0.25	3.92	(258.0;3.9)	5.15	0.35	4.69	(258.0;3.9)	5.55	0.30	5.93
Barão de São Miguel	(119.1;33.9)	5.15	0.30	4.90	(119.1;33.9)	6.05	0.25	6.63	(119.1;33.9)	6.65	0.15	7.01
Budens	(119.1;33.9)	5.15	0.30	4.90	(119.1;33.9)	5.95	0.30	6.05	(119.1;33.9)	6.65	0.15	7.03
Raposeira	(119.1;33.9)	5.15	0.30	4.94	(119.1;33.9)	5.95	0.30	6.06	(119.1;33.9)	6.55	0.20	7.08
Sagres	(119.1;33.9)	5.25	0.30	4.12	(119.1;33.9)	6.05	0.30	5.06	(119.1;33.9)	6.65	0.20	5.88
Vila do Bispo	(119.1;33.9)	5.25	0.25	5.46	(119.1;33.9)	6.05	0.25	6.66	(119.1;33.9)	6.65	0.15	7.05
Vila Nova de Cacela	(258.0;3.9)	4.55	0.35	3.27	(258.0;3.9)	5.45	0.25	4.50	(258.0;3.9)	5.95	0.25	5.88
V. R. Santo António	(258.0;3.9)	4.55	0.35	3.29	(268.0;23.9)	5.75	0.20	4.65	(268.0;23.9)	5.95	0.20	7.09
Monte Gordo	(258.0;3.9)	4.65	0.30	3.69	(258.0;3.9)	5.55	0.20	4.57	(268.0;23.9)	5.95	0.25	5.92

$S_a(2.5\text{ Hz})$

Freguesia	PR=95 anos				PR=475 anos				PR=975 anos			
	(X;Y) (km)	M	ε	C(‰)	(X;Y) (km)	M	ε	C(‰)	(X;Y) (km)	M	ε	C(‰)
Albufeira	(119.1;33.9)	6.15	0.15	1.51	(119.1;33.9)	6.55	0.25	2.51	(119.1;33.9)	7.05	0.15	3.25
Guia	(119.1;33.9)	5.85	0.25	1.71	(119.1;33.9)	6.75	0.15	2.67	(119.1;33.9)	7.05	0.15	3.26
Paderne	(119.1;33.9)	5.75	0.30	1.53	(119.1;33.9)	6.65	0.20	2.66	(119.1;33.9)	7.05	0.15	3.27
Ferreiras	(119.1;33.9)	6.15	0.15	1.51	(119.1;33.9)	6.65	0.20	2.65	(119.1;33.9)	7.05	0.15	3.26
Olhos de Água	(119.1;33.9)	5.95	0.25	1.42	(119.1;33.9)	6.85	0.15	2.21	(119.1;33.9)	6.75	0.30	2.74
Alcoutim	(119.1;113.9)	6.35	0.20	1.10	(119.1;113.9)	6.75	0.30	1.58	(119.1;33.9)	7.15	0.20	2.22
Giões	(119.1;33.9)	6.05	0.25	1.20	(119.1;113.9)	7.05	0.15	1.84	(119.1;113.9)	7.05	0.25	2.56
Martim Longo	(119.1;113.9)	6.25	0.20	1.31	(119.1;33.9)	6.65	0.25	2.08	(119.1;113.9)	7.15	0.20	2.68
Pereiro	(119.1;113.9)	6.45	0.15	1.10	(119.1;113.9)	6.85	0.25	1.75	(119.1;33.9)	7.25	0.15	2.24
Vaqueiros	(119.1;33.9)	6.35	0.15	1.06	(119.1;33.9)	6.85	0.20	1.82	(119.1;33.9)	7.25	0.15	2.25
Aljezur	(119.1;33.9)	5.25	0.30	3.82	(119.1;33.9)	6.35	0.15	5.52	(119.1;33.9)	6.45	0.25	6.24
Bordeira	(119.1;33.9)	5.25	0.30	3.81	(119.1;33.9)	6.25	0.20	5.54	(119.1;33.9)	6.35	0.30	5.65
Odeceixe	(119.1;33.9)	5.65	0.15	3.79	(119.1;33.9)	6.05	0.30	4.65	(119.1;33.9)	6.75	0.15	5.51
Rogil	(119.1;33.9)	5.65	0.15	3.78	(119.1;33.9)	6.25	0.20	5.49	(119.1;33.9)	6.35	0.30	5.58
Azinhal	(258.0;3.9)	5.15	0.25	1.55	(258.0;33.9)	5.95	0.15	3.39	(258.0;33.9)	5.95	0.30	4.16
Castro Marim	(258.0;3.9)	5.25	0.20	1.57	(258.0;33.9)	5.95	0.20	2.96	(258.0;33.9)	5.95	0.30	4.13
Odeleite	(258.0;3.9)	5.35	0.20	1.27	(258.0;33.9)	5.95	0.20	2.97	(258.0;33.9)	5.95	0.30	4.13
Altura	(258.0;3.9)	5.05	0.25	1.91	(258.0;33.9)	5.95	0.25	2.47	(258.0;33.9)	5.95	0.35	3.18
Conceição	(218.4;3.9)	5.65	0.20	2.01	(218.4;3.9)	5.95	0.30	3.98	(218.4;3.9)	5.95	0.40	4.78
Estói	(218.4;3.9)	5.75	0.20	1.69	(218.4;3.9)	5.95	0.35	3.07	(218.4;3.9)	5.95	0.45	3.40
Santa Bárbara de Nexe	(218.4;3.9)	5.75	0.20	1.69	(218.4;3.9)	5.95	0.35	3.11	(218.4;3.9)	5.95	0.45	3.41
Faro (São Pedro)	(218.4;3.9)	5.65	0.20	2.01	(218.4;3.9)	5.95	0.30	4.00	(218.4;3.9)	5.95	0.40	4.80
Faro (Sé)	(218.4;3.9)	5.75	0.10	2.13	(218.4;3.9)	5.95	0.25	4.94	(218.4;3.9)	5.95	0.35	6.38
Montenegro	(218.4;3.9)	5.65	0.20	2.00	(218.4;3.9)	5.95	0.25	4.95	(218.4;3.9)	5.95	0.40	4.79
Estômbar	(119.1;33.9)	5.95	0.15	2.17	(119.1;33.9)	6.65	0.15	3.23	(119.1;33.9)	6.95	0.15	3.93
Ferragudo	(119.1;33.9)	5.95	0.15	2.17	(119.1;33.9)	6.65	0.15	3.22	(119.1;33.9)	6.95	0.15	3.92
Lagoa	(119.1;33.9)	5.75	0.25	2.05	(119.1;33.9)	6.55	0.20	3.21	(119.1;33.9)	6.95	0.15	3.93
Porches	(119.1;33.9)	5.65	0.30	1.83	(119.1;33.9)	6.45	0.25	3.03	(119.1;33.9)	6.85	0.20	3.91
Carvoeiro	(119.1;33.9)	5.85	0.20	2.16	(119.1;33.9)	6.65	0.15	3.21	(119.1;33.9)	6.95	0.15	3.95
Parchal	(119.1;33.9)	5.55	0.30	2.19	(119.1;33.9)	6.25	0.30	3.26	(119.1;33.9)	6.55	0.30	3.97
Barão de São João	(119.1;33.9)	5.45	0.25	3.53	(119.1;33.9)	6.45	0.15	4.63	(119.1;33.9)	6.65	0.20	5.55
Bensafrim	(119.1;33.9)	5.35	0.30	3.16	(119.1;33.9)	6.45	0.15	4.65	(119.1;33.9)	6.65	0.20	5.55
Luz	(119.1;33.9)	5.65	0.20	3.13	(119.1;33.9)	6.15	0.30	3.92	(119.1;33.9)	6.85	0.15	4.66
Odiáxere	(119.1;33.9)	5.65	0.20	3.12	(119.1;33.9)	6.15	0.30	3.92	(119.1;33.9)	6.85	0.15	4.68
Lagos (Santa Maria)	(119.1;33.9)	5.85	0.15	2.62	(119.1;33.9)	6.55	0.15	3.86	(119.1;33.9)	6.85	0.15	4.66
Lagos (São Sebastião)	(119.1;33.9)	5.55	0.25	2.94	(119.1;33.9)	6.55	0.15	3.86	(119.1;33.9)	6.85	0.15	4.66
Almancil	(218.4;3.9)	5.85	0.10	1.80	(218.4;3.9)	5.95	0.35	3.10	(218.4;3.9)	5.95	0.45	3.41
Alte	(119.1;33.9)	5.95	0.20	1.80	(119.1;33.9)	6.75	0.15	2.67	(119.1;33.9)	7.05	0.15	3.29
Ameixial	(119.1;33.9)	6.05	0.20	1.51	(119.1;33.9)	6.85	0.15	2.20	(119.1;33.9)	6.85	0.25	3.06
Boliqueime	(119.1;33.9)	6.05	0.20	1.51	(119.1;33.9)	6.85	0.15	2.23	(119.1;33.9)	6.85	0.25	3.09
Quarteira	(218.4;3.9)	5.95	0.15	1.38	(119.1;33.9)	6.65	0.25	2.07	(119.1;33.9)	7.15	0.15	2.72
Querença	(119.1;33.9)	6.25	0.15	1.26	(119.1;33.9)	6.65	0.25	2.08	(119.1;33.9)	7.15	0.15	2.70

Freguesia	PR=95 anos				PR=475 anos				PR=975 anos			
	(X;Y)(km)	M	ε	C(‰)	(X;Y)(km)	M	ε	C(‰)	(X;Y)(km)	M	ε	C(‰)
Salir	(119.1;33.9)	5.95	0.25	1.43	(119.1;33.9)	6.85	0.15	2.21	(119.1;33.9)	6.75	0.30	2.75
Loulé (São Clemente)	(218.4;3.9)	5.85	0.20	1.42	(218.4;3.9)	5.95	0.40	2.30	(119.1;33.9)	7.05	0.20	2.70
Loulé (São Sebastião)	(119.1;33.9)	6.25	0.15	1.26	(119.1;33.9)	6.75	0.20	2.20	(119.1;33.9)	7.15	0.15	2.72
Benafim	(119.1;33.9)	6.15	0.15	1.52	(119.1;33.9)	6.55	0.25	2.51	(119.1;33.9)	7.05	0.15	3.27
Tôr	(119.1;33.9)	5.85	0.30	1.28	(119.1;33.9)	6.85	0.15	2.22	(119.1;33.9)	7.15	0.15	2.71
Alferce	(119.1;33.9)	5.85	0.15	2.60	(119.1;33.9)	6.55	0.15	3.86	(119.1;33.9)	6.85	0.15	4.69
Marmeleira	(119.1;33.9)	5.45	0.25	3.55	(119.1;33.9)	6.45	0.15	4.62	(119.1;33.9)	6.75	0.15	5.54
Monchique	(119.1;33.9)	5.65	0.20	3.12	(119.1;33.9)	6.25	0.25	4.36	(119.1;33.9)	6.45	0.30	4.73
Fuseta	(218.4;3.9)	5.85	0.20	1.42	(218.4;3.9)	5.95	0.40	2.25	(258.0;3.9)	6.25	0.20	1.94
Moncarapacho	(218.4;3.9)	5.95	0.10	1.52	(218.4;3.9)	5.95	0.40	2.26	(218.4;3.9)	5.95	0.50	2.30
Olhão	(218.4;3.9)	5.85	0.10	1.80	(218.4;3.9)	5.95	0.30	3.95	(218.4;3.9)	5.95	0.45	3.37
Pechão	(218.4;3.9)	5.65	0.20	2.00	(218.4;3.9)	5.95	0.30	3.97	(218.4;3.9)	5.95	0.40	4.73
Quelfes	(218.4;3.9)	5.75	0.20	1.68	(218.4;3.9)	5.95	0.35	3.07	(218.4;3.9)	5.95	0.45	3.37
Alvor	(119.1;33.9)	5.85	0.15	2.61	(119.1;33.9)	6.55	0.15	3.88	(119.1;33.9)	6.85	0.15	4.70
Mexilhoeira Grande	(119.1;33.9)	5.65	0.20	3.12	(119.1;33.9)	6.25	0.25	4.35	(119.1;33.9)	6.45	0.30	4.72
Portimão	(119.1;33.9)	5.85	0.15	2.60	(119.1;33.9)	6.55	0.15	3.87	(119.1;33.9)	6.75	0.20	4.70
São Brás de Alportel	(218.4;3.9)	5.95	0.20	1.19	(119.1;33.9)	6.95	0.15	1.83	(119.1;33.9)	7.25	0.15	2.26
Alcantarilha	(119.1;33.9)	5.65	0.30	1.83	(119.1;33.9)	6.45	0.25	3.02	(119.1;33.9)	6.85	0.20	3.93
Algoz	(119.1;33.9)	6.05	0.15	1.82	(119.1;33.9)	6.75	0.15	2.67	(119.1;33.9)	6.75	0.25	3.68
Armação de Pêra	(119.1;33.9)	6.05	0.15	1.82	(119.1;33.9)	6.35	0.30	2.71	(119.1;33.9)	6.75	0.25	3.70
Pêra	(119.1;33.9)	6.05	0.15	1.81	(119.1;33.9)	6.75	0.15	2.68	(119.1;33.9)	6.75	0.25	3.68
S. B. de Messines	(119.1;33.9)	5.75	0.25	2.05	(119.1;33.9)	6.65	0.15	3.20	(119.1;33.9)	6.95	0.15	3.90
São Marcos da Serra	(119.1;33.9)	5.95	0.15	2.18	(119.1;33.9)	6.25	0.30	3.25	(119.1;33.9)	6.55	0.30	3.97
Silves	(119.1;33.9)	5.55	0.30	2.19	(119.1;33.9)	6.35	0.25	3.62	(119.1;33.9)	6.65	0.25	4.40
Tunes	(119.1;33.9)	5.95	0.20	1.81	(119.1;33.9)	6.75	0.15	2.66	(119.1;33.9)	7.05	0.15	3.28
Cachopo	(119.1;33.9)	6.05	0.25	1.20	(119.1;33.9)	6.95	0.15	1.83	(119.1;33.9)	6.95	0.25	2.53
Conceição	(258.0;3.9)	5.25	0.20	1.57	(258.0;3.9)	5.85	0.20	2.17	(258.0;3.9)	6.15	0.20	2.41
Luz	(258.0;3.9)	5.15	0.25	1.54	(258.0;3.9)	5.95	0.20	1.77	(258.0;3.9)	6.15	0.20	2.40
S. C. da Fonte do Bispo	(218.4;3.9)	5.95	0.20	1.20	(119.1;33.9)	7.05	0.15	1.52	(119.1;33.9)	7.05	0.25	2.12
Tavira (Santa Maria)	(258.0;3.9)	5.15	0.25	1.55	(258.0;3.9)	5.95	0.20	1.77	(258.0;3.9)	6.15	0.20	2.41
Tavira (Santiago)	(258.0;3.9)	5.25	0.20	1.58	(258.0;3.9)	5.85	0.20	2.19	(258.0;3.9)	6.15	0.20	2.39
Santo Estêvão	(258.0;3.9)	5.35	0.20	1.28	(258.0;3.9)	5.95	0.20	1.78	(258.0;3.9)	5.95	0.30	2.19
Santa Luzia	(258.0;3.9)	5.25	0.20	1.57	(258.0;3.9)	5.85	0.20	2.18	(258.0;3.9)	5.85	0.30	2.70
Cabanas de Tavira	(258.0;3.9)	5.05	0.25	1.92	(258.0;3.9)	5.85	0.20	2.19	(258.0;3.9)	6.05	0.20	2.97
Barão de São Miguel	(119.1;33.9)	5.35	0.30	3.17	(119.1;33.9)	6.45	0.15	4.64	(119.1;33.9)	6.55	0.25	5.24
Budens	(119.1;33.9)	5.75	0.15	3.15	(119.1;33.9)	6.35	0.20	4.62	(119.1;33.9)	6.45	0.30	4.71
Raposeira	(119.1;33.9)	5.35	0.30	3.19	(119.1;33.9)	6.35	0.20	4.63	(119.1;33.9)	6.45	0.30	4.71
Sagres	(119.1;33.9)	5.55	0.25	2.98	(119.1;33.9)	6.55	0.15	3.90	(119.1;33.9)	6.65	0.25	4.39
Vila do Bispo	(119.1;33.9)	5.45	0.25	3.57	(119.1;33.9)	6.45	0.15	4.65	(119.1;33.9)	6.55	0.25	5.25
Vila Nova de Cacela	(258.0;3.9)	5.25	0.20	1.57	(258.0;3.9)	5.95	0.25	2.47	(258.0;3.9)	5.95	0.35	3.19
V. R. Santo António	(258.0;3.9)	5.05	0.25	1.91	(268.0;23.9)	5.95	0.20	2.94	(268.0;23.9)	5.95	0.30	4.13
Monte Gordo	(258.0;3.9)	5.15	0.20	1.94	(258.0;33.9)	5.95	0.25	2.47	(268.0;23.9)	5.95	0.35	3.20

$S_a (1 \text{ Hz})$

Freguesia	PR=95 anos				PR=475 anos				PR=975 anos			
	(X;Y)(km)	M	ε	C(‰)	(X;Y)(km)	M	ε	C(‰)	(X;Y)(km)	M	ε	C(‰)
Albufeira	(109.2;193.9)	7.05	0.20	1.35	(119.1;33.9)	6.85	0.15	2.26	(119.1;33.9)	7.15	0.15	2.80
Guia	(109.2;193.9)	7.05	0.20	1.36	(119.1;33.9)	6.85	0.15	2.28	(119.1;33.9)	7.15	0.15	2.79
Paderna	(109.2;193.9)	7.05	0.15	1.56	(119.1;33.9)	6.85	0.15	2.28	(119.1;33.9)	7.15	0.15	2.84
Ferreiras	(109.2;193.9)	7.05	0.20	1.36	(119.1;33.9)	6.85	0.15	2.29	(119.1;33.9)	7.15	0.15	2.80
Olhos de Agua	(109.2;193.9)	7.05	0.20	1.35	(119.1;33.9)	6.95	0.15	1.88	(119.1;33.9)	7.15	0.15	2.77
Alcoutim	(109.2;193.9)	6.95	0.15	1.82	(109.2;193.9)	7.05	0.40	2.58	(109.2;193.9)	7.05	0.50	2.59
Giões	(109.2;193.9)	6.95	0.15	1.81	(109.2;193.9)	7.05	0.40	2.55	(109.2;193.9)	7.05	0.50	2.66
Martim Longo	(109.2;193.9)	6.95	0.15	1.83	(109.2;193.9)	7.05	0.40	2.58	(109.2;193.9)	7.05	0.50	2.65
Pereiro	(109.2;193.9)	6.95	0.15	1.81	(109.2;193.9)	7.05	0.40	2.58	(109.2;193.9)	7.05	0.50	2.60
Vaqueiros	(109.2;193.9)	7.05	0.10	1.70	(109.2;193.9)	7.05	0.40	2.57	(119.1;33.9)	7.25	0.15	2.30
Aljezur	(119.1;33.9)	5.85	0.15	2.66	(119.1;33.9)	6.55	0.15	4.00	(119.1;33.9)	6.85	0.15	4.79
Bordeira	(119.1;33.9)	5.85	0.15	2.72	(119.1;33.9)	6.55	0.15	4.02	(119.1;33.9)	6.85	0.15	4.70
Odeceixe	(119.1;33.9)	5.85	0.15	2.64	(119.1;33.9)	6.55	0.15	3.94	(119.1;33.9)	6.85	0.15	4.71
Rogil	(119.1;33.9)	5.85	0.15	2.69	(119.1;33.9)	6.55	0.15	4.04	(119.1;33.9)	6.85	0.15	4.79
Azinhal	(109.2;193.9)	7.05	0.15	1.54	(258.0;33.9)	5.95	0.30	2.04	(258.0;33.9)	5.95	0.40	2.41
Castro Marim	(109.2;193.9)	7.05	0.20	1.33	(258.0;33.9)	5.95	0.30	2.06	(258.0;33.9)	5.95	0.40	2.35
Odaleite	(109.2;193.9)	6.95	0.20	1.58	(258.0;33.9)	5.95	0.30	2.02	(119.1;33.9)	7.35	0.15	1.92
Altura	(109.2;193.9)	7.05	0.20	1.33	(258.0;33.9)	5.95	0.35	1.57	(119.1;33.9)	7.35	0.15	1.87
Conceição	(218.4;3.9)	5.85	0.15	1.65	(218.4;3.9)	5.95	0.40	2.32	(218.4;3.9)	5.95	0.50	2.37
Estói	(218.4;3.9)	5.95	0.10	1.54	(218.4;3.9)	5.95	0.45	1.65	(119.1;33.9)	7.25	0.15	2.28
Santa Bárbara de Nexe	(218.4;3.9)	5.85	0.20	1.46	(218.4;3.9)	5.95	0.45	1.68	(119.1;33.9)	7.25	0.15	2.30
Faro (São Pedro)	(218.4;3.9)	5.85	0.15	1.66	(218.4;3.9)	5.95	0.35	3.15	(218.4;3.9)	5.95	0.50	2.37
Faro (Sé)	(218.4;3.9)	5.75	0.20	1.72	(218.4;3.9)	5.95	0.35	3.07	(218.4;3.9)	5.95	0.50	2.35
Montenegro	(218.4;3.9)	5.75	0.20	1.72	(218.4;3.9)	5.95	0.35	3.15	(218.4;3.9)	5.95	0.50	2.36
Estômbar	(119.1;33.9)	6.05	0.15	1.84	(119.1;33.9)	6.75	0.15	2.77	(119.1;33.9)	7.05	0.15	3.39
Ferragudo	(119.1;33.9)	6.05	0.15	1.85	(119.1;33.9)	6.75	0.15	2.82	(119.1;33.9)	7.05	0.15	3.43
Lagoa	(119.1;33.9)	6.15	0.15	1.55	(119.1;33.9)	6.75	0.15	2.74	(119.1;33.9)	7.05	0.15	3.35
Porches	(119.1;33.9)	6.15	0.15	1.54	(119.1;33.9)	6.85	0.15	2.32	(119.1;33.9)	7.05	0.15	3.31
Carvoeiro	(119.1;33.9)	6.15	0.15	1.55	(119.1;33.9)	6.75	0.15	2.73	(119.1;33.9)	7.05	0.15	3.36
Parchal	(119.1;33.9)	6.05	0.15	1.86	(119.1;33.9)	6.75	0.15	2.81	(119.1;33.9)	7.05	0.15	3.40
Barão de São João	(119.1;33.9)	5.85	0.15	2.68	(119.1;33.9)	6.65	0.15	3.38	(119.1;33.9)	6.95	0.15	4.05
Bensafrim	(119.1;33.9)	5.95	0.15	2.28	(119.1;33.9)	6.65	0.15	3.45	(119.1;33.9)	6.95	0.15	4.03
Luz	(119.1;33.9)	5.95	0.15	2.24	(119.1;33.9)	6.65	0.15	3.36	(119.1;33.9)	6.95	0.15	3.97
Odiáxere	(119.1;33.9)	5.95	0.15	2.20	(119.1;33.9)	6.65	0.15	3.31	(119.1;33.9)	6.95	0.15	3.94
Lagos (Santa Maria)	(119.1;33.9)	5.95	0.15	2.22	(119.1;33.9)	6.65	0.15	3.30	(119.1;33.9)	6.95	0.15	4.01
Lagos (São Sebastião)	(119.1;33.9)	5.95	0.15	2.21	(119.1;33.9)	6.65	0.15	3.31	(119.1;33.9)	6.95	0.15	3.94
Almancil	(218.4;3.9)	5.95	0.10	1.54	(218.4;3.9)	5.95	0.45	1.68	(119.1;33.9)	7.25	0.15	2.29
Alte	(109.2;193.9)	7.05	0.10	1.72	(119.1;33.9)	6.85	0.15	2.30	(119.1;33.9)	7.15	0.15	2.83
Ameixial	(109.2;193.9)	6.95	0.15	1.83	(109.2;193.9)	7.05	0.40	2.60	(119.1;33.9)	7.15	0.15	2.81
Boliqueime	(109.2;193.9)	7.05	0.15	1.55	(119.1;33.9)	6.85	0.15	2.26	(119.1;33.9)	7.15	0.15	2.80
Quarteira	(109.2;193.9)	7.05	0.20	1.34	(119.1;33.9)	6.95	0.15	1.89	(119.1;33.9)	7.25	0.15	2.34
Querença	(109.2;193.9)	7.05	0.15	1.54	(119.1;33.9)	6.95	0.15	1.87	(119.1;33.9)	7.25	0.15	2.33

Freguesia	PR=95 anos				PR=475 anos				PR=975 anos			
	(X;Y) (km)	M	ε	C(‰)	(X;Y) (km)	M	ε	C(‰)	(X;Y) (km)	M	ε	C(‰)
Salir		5.95	0.25	1.43	(119.1;33.9)	6.85	0.15	2.21	(119.1;33.9)	6.75	0.30	2.75
Loulé (São Clemente)	(218.4;3.9)	5.85	0.20	1.42	(218.4;3.9)	5.95	0.40	2.30	(119.1;33.9)	7.05	0.20	2.70
Loulé (São Sebastião)	(119.1;33.9)	6.25	0.15	1.26	(119.1;33.9)	6.75	0.20	2.20	(119.1;33.9)	7.15	0.15	2.72
Benafim	(119.1;33.9)	6.15	0.15	1.52	(119.1;33.9)	6.55	0.25	2.51	(119.1;33.9)	7.05	0.15	3.27
Tôr	(119.1;33.9)	5.85	0.30	1.28	(119.1;33.9)	6.85	0.15	2.22	(119.1;33.9)	7.15	0.15	2.71
Alferce	(119.1;33.9)	5.85	0.15	2.60	(119.1;33.9)	6.55	0.15	3.86	(119.1;33.9)	6.85	0.15	4.69
Marmeleite	(119.1;33.9)	5.45	0.25	3.55	(119.1;33.9)	6.45	0.15	4.62	(119.1;33.9)	6.75	0.15	5.54
Monchique	(119.1;33.9)	5.65	0.20	3.12	(119.1;33.9)	6.25	0.25	4.36	(119.1;33.9)	6.45	0.30	4.73
Fuseta	(218.4;3.9)	5.85	0.20	1.42	(218.4;3.9)	5.95	0.40	2.25	(258.0;3.9)	6.25	0.20	1.94
Moncarapacho	(218.4;3.9)	5.95	0.10	1.52	(218.4;3.9)	5.95	0.40	2.26	(218.4;3.9)	5.95	0.50	2.30
Olhão	(218.4;3.9)	5.85	0.10	1.80	(218.4;3.9)	5.95	0.30	3.95	(218.4;3.9)	5.95	0.45	3.37
Pechão	(218.4;3.9)	5.65	0.20	2.00	(218.4;3.9)	5.95	0.30	3.97	(218.4;3.9)	5.95	0.40	4.73
Quelfes	(218.4;3.9)	5.75	0.20	1.68	(218.4;3.9)	5.95	0.35	3.07	(218.4;3.9)	5.95	0.45	3.37
Alvor	(119.1;33.9)	5.85	0.15	2.61	(119.1;33.9)	6.55	0.15	3.88	(119.1;33.9)	6.85	0.15	4.70
Mexilhoeira Grande	(119.1;33.9)	5.65	0.20	3.12	(119.1;33.9)	6.25	0.25	4.35	(119.1;33.9)	6.45	0.30	4.72
Portimão	(119.1;33.9)	5.85	0.15	2.60	(119.1;33.9)	6.55	0.15	3.87	(119.1;33.9)	6.75	0.20	4.70
São Brás de Alportel	(218.4;3.9)	5.95	0.20	1.19	(119.1;33.9)	6.95	0.15	1.83	(119.1;33.9)	7.25	0.15	2.26
Alcantarilha	(119.1;33.9)	5.65	0.30	1.83	(119.1;33.9)	6.45	0.25	3.02	(119.1;33.9)	6.85	0.20	3.93
Algoz	(119.1;33.9)	6.05	0.15	1.82	(119.1;33.9)	6.75	0.15	2.67	(119.1;33.9)	6.75	0.25	3.68
Armação de Pêra	(119.1;33.9)	6.05	0.15	1.82	(119.1;33.9)	6.35	0.30	2.71	(119.1;33.9)	6.75	0.25	3.70
Pêra	(119.1;33.9)	6.05	0.15	1.81	(119.1;33.9)	6.75	0.15	2.68	(119.1;33.9)	6.75	0.25	3.68
S. B. de Messines	(119.1;33.9)	5.75	0.25	2.05	(119.1;33.9)	6.65	0.15	3.20	(119.1;33.9)	6.95	0.15	3.90
São Marcos da Serra	(119.1;33.9)	5.95	0.15	2.18	(119.1;33.9)	6.25	0.30	3.25	(119.1;33.9)	6.55	0.30	3.97
Silves	(119.1;33.9)	5.55	0.30	2.19	(119.1;33.9)	6.35	0.25	3.62	(119.1;33.9)	6.65	0.25	4.40
Tunes	(119.1;33.9)	5.95	0.20	1.81	(119.1;33.9)	6.75	0.15	2.66	(119.1;33.9)	7.05	0.15	3.28
Cachopo	(119.1;33.9)	6.05	0.25	1.20	(119.1;33.9)	6.95	0.15	1.83	(119.1;33.9)	6.95	0.25	2.53
Conceição	(258.0;3.9)	5.25	0.20	1.57	(258.0;3.9)	5.85	0.20	2.17	(258.0;3.9)	6.15	0.20	2.41
Luz	(258.0;3.9)	5.15	0.25	1.54	(258.0;3.9)	5.95	0.20	1.77	(258.0;3.9)	6.15	0.20	2.40
S. C. da Fonte do Bispo	(218.4;3.9)	5.95	0.20	1.20	(119.1;33.9)	7.05	0.15	1.52	(119.1;33.9)	7.05	0.25	2.12
Tavira (Santa Maria)	(258.0;3.9)	5.15	0.25	1.55	(258.0;3.9)	5.95	0.20	1.77	(258.0;3.9)	6.15	0.20	2.41
Tavira (Santiago)	(258.0;3.9)	5.25	0.20	1.58	(258.0;3.9)	5.85	0.20	2.19	(258.0;3.9)	6.15	0.20	2.39
Santo Estêvão	(258.0;3.9)	5.35	0.20	1.28	(258.0;3.9)	5.95	0.20	1.78	(258.0;3.9)	5.95	0.30	2.19
Santa Luzia	(258.0;3.9)	5.25	0.20	1.57	(258.0;3.9)	5.85	0.20	2.18	(258.0;3.9)	5.85	0.30	2.70
Cabanas de Tavira	(258.0;3.9)	5.05	0.25	1.92	(258.0;3.9)	5.85	0.20	2.19	(258.0;3.9)	6.05	0.20	2.97
Barão de São Miguel	(119.1;33.9)	5.35	0.30	3.17	(119.1;33.9)	6.45	0.15	4.64	(119.1;33.9)	6.55	0.25	5.24
Budens	(119.1;33.9)	5.75	0.15	3.15	(119.1;33.9)	6.35	0.20	4.62	(119.1;33.9)	6.45	0.30	4.71
Raposeira	(119.1;33.9)	5.35	0.30	3.19	(119.1;33.9)	6.35	0.20	4.63	(119.1;33.9)	6.45	0.30	4.71
Sagres	(119.1;33.9)	5.55	0.25	2.98	(119.1;33.9)	6.55	0.15	3.90	(119.1;33.9)	6.65	0.25	4.39
Vila do Bispo	(119.1;33.9)	5.45	0.25	3.57	(119.1;33.9)	6.45	0.15	4.65	(119.1;33.9)	6.55	0.25	5.25
Vila Nova de Cacela	(258.0;3.9)	5.25	0.20	1.57	(258.0;33.9)	5.95	0.25	2.47	(258.0;33.9)	5.95	0.35	3.19
V. R. Santo António	(258.0;3.9)	5.05	0.25	1.91	(268.0;23.9)	5.95	0.20	2.94	(268.0;23.9)	5.95	0.30	4.13
Monte Gordo	(258.0;3.9)	5.15	0.20	1.94	(258.0;33.9)	5.95	0.25	2.47	(268.0;23.9)	5.95	0.35	3.20

