

ESTUDO DE AVALIAÇÃO DE RISCOS SÍSMICO E DE TSUNAMI NO CONCELHO DE OEIRAS

Volume 1 - Relatório final

Março de 2021

Elaborado por:

SOCARTO
MAPPING SINCE 1977

IGOT Instituto de Geografia
e Ordenamento do Território
UNIVERSIDADE DE LISBOA

IT TÉCNICO
LISBOA

Ciente:

**OEIRAS
VALLEY**
PORTUGAL

MUNICÍPIO OEIRAS

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO.....	2
2.	RISCO SÍSMICO	3
2.1.	IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA SISMICIDADE REGIONAL	5
2.2.	AVALIAÇÃO DA PERIGOSIDADE SÍSMICA	8
2.2.1.	Metodologia adotada.....	8
2.2.2.	Aplicação ao Concelho de Oeiras.....	10
2.3.	ESTUDO DO EFEITO DE SÍTIO E LIQUEFAÇÃO	15
2.3.1.	Efeitos de sítio.....	15
2.3.2.	Suscetibilidade à liquefação.....	16
2.4.	INSTABILIDADE DE TALUDES	23
2.5.	ELEMENTOS EXPOSTOS OU EM RISCO.....	27
2.5.1.	População Residente e Presente	28
2.5.2.	Parque Edificado	33
2.5.3.	Infraestruturas	36
2.6.	AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE FÍSICA	50
2.6.1.	População.....	50
2.6.2.	Edificado.....	53
2.6.3.	Infraestruturas	72
3.	RISCO DE TSUNAMI	91
3.1.	INTRODUÇÃO	92
3.2.	AVALIAÇÃO DA PERIGOSIDADE DE TSUNAMI.....	93
3.2.1.	Dados Base.....	93
3.2.2.	Metodologia.....	96
3.2.3.	Resultados – Inundação por Tsunami.....	102
3.3.	ELEMENTOS EXPOSTOS OU EM RISCO.....	113
3.3.1.	População.....	113
3.3.2.	Edificado.....	115
3.3.3.	Infraestruturas e equipamentos	117
3.4.	AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE	119

3.4.1.	População.....	119
3.4.2.	Edificado.....	121
4.	PLANEAMENTO DE EMERGÊNCIA	132
4.1.	ESTRATÉGIA DE EVACUAÇÃO.....	132
4.2.	PROPOSTA DE MEDIDAS PREVENTIVAS/MITIGADORAS.....	134
4.2.1.	Medidas para a redução da exposição	134
4.2.2.	Propostas de medidas preventivas/mitigadoras	135
5.	BIBLIOGRAFIA	138
6.	ANEXOS.....	142

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Definição de risco sísmico adotada	3
Figura 2 - Modelação de perigosidade sísmica no OPENQUAKE.....	3
Figura 3 - Modelação do risco sísmico no OPENQUAKE.....	4
Figura 4 - a) Modelo digital do terreno da região de estudo, e falhas geológica mapeadas de na Carta Geológica 1:50.000; b) Detalhe da possível deformação na Ribeira das Lages, associada à presença de uma falha ativa.....	6
Figura 5 - Velocidades horizontais médias dos pontos de observação geodésica GNSS nos arredores de Oeiras, indiciando deformação da crosta (resultados preliminares). A seta a vermelho indica a média das velocidades dos pontos no interior da elipse a tracejado, em relação aos pontos no seu exterior. As linhas a branco mostram o modelo neotectónico proposto por Vilanova e Fonseca (2004). Processamento de dados GNSS: J. Fernandez (CSIC/UCM, Madrid) e M. Palano (INGV, Catania)	6
Figura 6 - Conjunto dos pontos dispersores obtidos a partir de imagens SAR, adquiridas pela ESA entre 2014-2020. Diferentes cores correspondem a diferentes velocidades de movimento da crosta na direção da linha de vista do satélite (resultados preliminares).	7
Figura 7 - Diferentes etapas no cálculo da Perigosidade sísmica probabilista.....	9
Figura 8 - Fontes-área utilizadas no cálculo PSHA: a) enquadramento; b) sobrepostas ao catálogo sísmico instrumental c) sobrepostas ao mapa de geologia superficial e d) sobrepostas ao mapa de falhas potencialmente ativas. Retirado de Vilanova et al. (2014).....	11
Figura 9 - Exemplos de curvas de perigosidade e espectros de resposta de perigosidade uniforme para um local no concelho de Oeiras: a) Curvas de perigosidade de PGA para 50 anos de período de exposição, e para diversos tipos de solo; b) Espectros de resposta uniformes para 10% de probabilidade de excedência em 50 anos e diferentes tipos de solo. Os parâmetros de movimento do solo encontram-se em unidades de aceleração da gravidade ($g=9.8ms^{-2}$).....	12

Figura 10 - Desagregação da perigosidade sísmica num ponto representativo do Concelho de Oeiras, considerando: a) aceleração de pico do solo (PGA) com período de retorno de 475 anos; b) a aceleração espectral com o período de 1.0s para o mesmo período de retorno.	13
Figura 11 - Mapa das condições locais para a zona de estudo de acordo com o modelo de Vilanova et al (2018). Classe S1, Vs30=795 ms ⁻¹ ; Classe S2, Vs30=500 ms ⁻¹ ; Classe S3: Vs30=250ms ⁻¹	15
Figura 12 – Suscetibilidade à liquefação	18
Figura 13 - Probabilidade de ocorrência de liquefação para as três classes de suscetibilidade presentes no Concelho de Oeiras (muito alta, alta e moderada), em função da aceleração de pico do solo, para quatro cenários descritos em termos de magnitude e profundidade do nível freático.....	19
Figura 14 - Agitação marítima junto no estuário do Tejo (simulação), segundo Rusu e Soares (2006). As setas indicam os vetores de onda e os tons de cinzento indicam a altura significativa. .	20
Figura 15 - Evolução da margem direita do Tejo entre 1878 e o presente.....	21
Figura 16 - Deslocamento lateral da linha férrea em Algés em 1939, ilustrando a construção sobre aterro. A via em utilização corresponde ao atual traçado da Avenida Marginal. Fonte: https://biclaranja.blogs.sapo.pt/2007/02/	22
Figura 17 - Ocorrências passadas de deslizamentos de taludes. Fonte: Câmara Municipal de Oeiras. Base: OpenStreetMap.	25
Figura 18 - Carta de probabilidade de ocorrência de deslizamentos de taludes com origem sísmica, em condições secas (à esquerda) e em condições saturadas (à direita).	26
Figura 19 - Exemplo do modelo de exposição	27
Figura 20 - Abordagem metodológica para a estimativa da população presente	29
Figura 21 – População presente para o concelho de Oeiras em 2011 em quadrícula de 25x25m...	31
Figura 22 – População residente para o concelho de Oeiras em 2011 em quadrícula de 25x25m..	32
Figura 23 - Distribuição dos edifícios por tipos e data de construção.	35
Figura 24 - Distribuição dos edifícios de Betão Armado pelo número de pisos.	35
Figura 25 - Mapa com as condutas enterradas da rede de abastecimento de água (transporte e distribuição).....	38
Figura 26 - Abordagem para determinação do tipo e número de vítimas.....	50
Figura 27 - Distribuição do número de mortos no período diário (esquerda) e noturno (direita)...	51
Figura 28 - Distribuição do número de feridos no período diário (esquerda) e noturno (direita). .	52
Figura 29 - Distribuição de danos por classe de edifício e nível de dano.....	54
Figura 30 - Distribuição de danos por classe de edifício e nível de dano - pormenor (Classes E, F e G).....	55
Figura 31 - Distribuição de danos por classe de edifício e nível de dano - pormenor (Classes A, B, C e D).....	55
Figura 32 - Distribuição por nível de dano.....	56
Figura 33 - Distribuição do nível de dano em função do estado de conservação.....	56

Figura 34 – Distribuição dos danos nos equipamentos educativos	59
Figura 35 – Distribuição dos danos nos equipamentos de apoio social com alojamento	59
Figura 36 - Distribuição de danos por classe de edifício e nível de dano.....	60
Figura 37 – Distribuição dos danos nos equipamentos educativos.	63
Figura 38 - – Distribuição dos danos nos equipamentos de apoio social com alojamento.	64
Figura 39 - Distribuição de danos por classe de edifício e nível de dano.....	64
Figura 40 - Distribuição dos danos nos equipamentos educativos.	67
Figura 41 - Distribuição dos danos nos equipamentos de apoio social com alojamento.	67
Figura 42 - Distribuição de danos por classe de edifício e nível de dano.....	68
Figura 43 – Distribuição dos danos nos equipamentos educativos.	71
Figura 44 – Distribuição dos danos nos equipamentos de apoio social com alojamento.	72
Figura 45 - Famílias de funções de vulnerabilidade de condutas enterradas.....	76
Figura 46 - Distribuição de danos por classe de ponte e nível de dano.	90
Figura 47 – Definições adotadas para o risco de tsunami.....	91
Figura 48 – Modelo de análise para a localização do risco de inundação por tsunami.....	91
Figura 49 - Roturas sísmicas do catálogo sintético utilizado neste estudo. A duração do catálogo é de 10000 anos, e as magnitudes estão entre 4.0 e 8.7. As propriedades estatísticas por zona fonte correspondem às que foram utilizadas na análise da perigosidade sísmica. As roturas a roxo ocorrem em crosta ativa, e as roturas a castanho ocorrem em crosta estável.	93
Figura 50 - Equipamento LiDAR utilizado na recolha de dados.....	94
Figura 51 - Extratos do levantamento laser.	95
Figura 52 - Extrato do Modelo Digital de Superfície	96
Figura 53 - Localização e magnitude das 19 ruturas consideradas neste estudo.	97
Figura 54 - Construção do modelo numérico. Os cálculos da inundação vão ser efetuados e apresentados na região 5.	101
<i>Figura 55 - Critério para a classificação da perigosidade de tsunami (Santos e Koshimura, 2015).</i>	102
Figura 56 - Área inundada por um tsunami origem em sismo de M=8,35 (rutura 379).	102
Figura 57 - Área inundada por um tsunami origem em sismo de M=8,75 (rotura 103), com maré alta, tendo em conta modelos de previsão do nível do mar a 50 anos.	104
Figura 58 - Área inundada por um tsunami origem em sismo de M=8,75 (rotura 103), com maré baixa, tendo em conta modelos de previsão do nível do mar a 50 anos.	105
Figura 59 - Instantâneos da altura da água de um tsunami com origem em sismo de M=8,55 (rotura 352), com maré alta, tendo em conta modelos de previsão do nível do mar a 50 anos: a) aos 30 minutos; b) aos 35 minutos e c) aos 40 minutos após o sismo.	107
Figura 60 - Série temporal da variação da altura da água na praia da Torre e Caxias.	108

Figura 61- Resultados da modelação numérica de tsunami para a rotura 352, considerando a elevação do nível médio do mar para 50 anos e maré cheia: altura máxima da envolvente e a isócrona do tempo de percurso da primeira onda (30 minutos).	109
Figura 62 - Classificação da perigosidade de tsunami (rotura 352, considerando a elevação do nível médio do mar para 50 anos e maré cheia). Esquerda: suscetibilidade da altura máxima da água; direita: suscetibilidade do tempo de percurso da 1ª onda; em baixo: perigosidade de tsunami. .	110
Figura 63 - Área inundada por um tsunami com origem na rotura 352, com maré baixa, tendo em conta modelos de previsão do nível do mar a 50 anos.	111
Figura 64 - Probabilidade de inundação por tsunami para um período de retorno de 526 anos, e num período de exposição de 50 anos.	112
Figura 65 - Altura máxima da envolvente por um tsunami origem em sismo de M=8,75 (rotura 103).	112
Figura 66 - Frequência média e máxima das praias em 2020	114
Figura 67 - Fluxograma de cálculo do IVR. Adaptado de Santos et al. (2014).	123
Figura 68 - Percentagem de edifícios por classe de vulnerabilidade - pisos	124
Figura 69 - Percentagem de edifícios por classe de vulnerabilidade – material	124
Figura 70 - Percentagem de edifícios por classe de vulnerabilidade – hidrodinâmica do piso térreo	125
Figura 71 - Percentagem de edifícios por classe de vulnerabilidade – robustez das fundações	125
Figura 72 - Percentagem de edifícios por classe de vulnerabilidade – forma hidrodinâmica do edifício	126
<i>Figura 73 - Percentagem de edifícios por classe de vulnerabilidade – objetos móveis</i>	<i>126</i>
<i>Figura 74 - Percentagem de edifícios por classe de vulnerabilidade – estado de conservação</i>	<i>127</i>
Figura 75 - Percentagem de edifícios por classe de vulnerabilidade – Ordem dos edifícios para a costa	127
Figura 76 - Percentagem de edifícios por classe de vulnerabilidade – barreiras naturais	128
Figura 77 - Percentagem de edifícios por classe de vulnerabilidade – barreiras artificiais	128
Figura 78 - Percentagem de edifícios por classe de vulnerabilidade – muros de proteção	129
Figura 79 - Percentagem de edifícios por classe de vulnerabilidade – muros de proteção muros de proteção	130
Figura 80 - Vulnerabilidade do edificado para o fator VA. a) Algés; b) Cruz-Quebrada; c) Caxias; d) Paço de Arcos; Praia de Santo Amaro; e) Praia da Torre.	131
Figura 81 – Extratos do mapa conjunto tsunami+sismo	133

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Probabilidade de presença de sedimentos susceptíveis de liquefação, em função do ambiente deposicional e da idade. Adaptado de FEMA (2003).	17
Tabela 2 - Percentagem provável da área da formação geológica afectada por liquefação, e probabilidade condicional de ocorrência de liquefação em função da aceleração de pico do solo, para cada classe de susceptibilidade. Resultados de probabilidade negativos são substituídos por zero, e valores superiores à unidade são substituídos por 1. Adaptado de FEMA (2003).	17
Tabela 3 - Probabilidade de ocorrência de liquefação para acelerações do solo de 0.1g, 0.2g, 0.3g e 0.4g, para um sismo de magnitude de momento $M=7.5$ e estando o nível freático à profundidade de 1m (representam-se apenas as três classes de susceptibilidade presentes no Concelho de Oeiras). A probabilidade satura acima de $\sim 0.3g$.	17
Tabela 4 - Classes de suscetibilidade ao deslizamento, em função do tipo de formação geológica e do declive. Segundo FEMA (2003).	24
Tabela 5 - Aceleração crítica correspondente a cada classe de suscetibilidade ao deslizamento. Segundo FEMA (2003).	24
Tabela 6 - Percentagem da área afetada em caso de ocorrência de deslizamento, para cada classe de suscetibilidade.	24
Tabela 7 – Dados base	28
Tabela 8 – Movimentos pendulares para o concelho de Oeiras	30
Tabela 9 – População residente e presente estimada por freguesia a partir da quadrícula de 25x25m	30
Tabela 10 –Dados utilizados na caracterização do parque edificado	33
Tabela 11 - Tipologias construtivas do parque edificado.	33
Tabela 12 - Sub-classes, em função do número de pisos do parque edificado.	34
Tabela 13 - Variáveis e valores existentes nos grupos de dados disponibilizados.	34
Tabela 14 - Correspondência entre os valores dos dados e as tipologias consideradas.	36
Tabela 15 – Dados base utilizados no modelo de exposição	37
Tabela 16 - Distribuição em comprimento de condutas, por material e diâmetro.	39
Tabela 17 - Distribuição em comprimento de condutas, por material e diâmetro.	40
Tabela 18 - Distribuição em comprimento de condutas, por material e diâmetro.	42
Tabela 19 – Níveis de lesões	50
Tabela 20 - Número de mortos e feridos por lugar	52
Tabela 21 - Correspondência entre Classes de Edifícios	53
Tabela 22 - Danos nos quartéis de bombeiros.	57
Tabela 23 - Danos nas instalações da P.S.P.	57
Tabela 24 - Danos nas instalações da proteção civil.	57
Tabela 25 - Danos em hospitais	58

Tabela 26 - Danos nos centros de saúde e extensões.....	58
Tabela 27 - Danos nos quartéis de bombeiros.	60
Tabela 28 - Danos nas instalações da P.S.P.	61
Tabela 29- Danos nas instalações da proteção civil.	61
Tabela 30 - Danos em hospitais.....	62
Tabela 31 -- Danos nos centros de saúde e extensões.....	63
Tabela 32 - - Danos nos quartéis de bombeiros.....	65
Tabela 33 - Danos nas instalações da P.S.P.	65
Tabela 34 - Danos nas instalações da proteção civil.	65
Tabela 35 - Danos em hospitais.....	66
Tabela 36 - Danos nos centros de saúde e extensões.....	66
Tabela 37 - Danos nos quartéis de bombeiros.	69
Tabela 38 - Danos nas instalações da P.S.P.	70
Tabela 39 - Danos nas instalações da proteção civil.	70
Tabela 40- Danos em hospitais.....	70
Tabela 41 - Danos nos centros de saúde e extensões.....	70
Tabela 42 - Fatores corretivos do material. Adaptado de Isoyama et al.	75
Tabela 43 - Fatores corretivos do diâmetro. Adaptado de Isoyama et al.....	75
Tabela 44 - Fatores corretivos topográfico-geotécnicos. Adaptado de Isoyama et al.....	75
Tabela 45 - Fatores corretivos da liquefação. Adaptado de Isoyama et al.	75
Tabela 46 - Proposta de fatores corretivos do material.....	77
Tabela 47 - Fator corretivo C_d (situação de referência a sombreado, intervalos de diâmetros ajustados).....	78
Tabela 48 - Família de funções de vulnerabilidade de condutas enterradas da rede de abastecimento de água.	79
Tabela 49 - Parâmetros das curvas de fragilidades para EE “pequenas” “não amarradas” (distribuição lognormal, variável IMT PGA).....	80
Tabela 50 - Parâmetros das curvas de fragilidades para os Reservatórios de Vila Fria e de Alfragide.	81
Tabela 51 - Parâmetros das curvas de fragilidades para os furos de captação.	81
Tabela 52 - Valores do fator corretivo C_p de acordo com a metodologia HAZUS.	83
Tabela 53 - Parâmetros das curvas de fragilidades para EEARs “pequenas” “não amarradas” (distribuição lognormal, variável IMT PGA).....	83
Tabela 54 - Valores do Fator Corretivo C_p para condutas da rede de gás.	85

Tabela 55 - Parâmetros das curvas de fragilidades para as linhas de distribuição, à superfície ou enterradas, da rede elétrica (distribuição lognormal, variável IMT PGA).....	86
Tabela 56 - Parâmetros das curvas de fragilidades para as las sub-estações PTs da rede elétrica (distribuição lognormal, variável IMT PGA).....	87
Tabela 57 - Parâmetros das 19 fontes consideradas neste estudo.....	99
Tabela 58 - Tempos de percurso das 19 fontes de tsunami consideradas neste estudo, salientando a cinzento a fonte com o menor tempo de chegada da primeira onda ao município de Oeiras. ...	106
Tabela 59 – Dados base	113
Tabela 60 - Capacidade de carga das praias de Oeiras.....	113
Tabela 61 –Dados utilizados na caraterização do parque edificado	115
Tabela 62 - Número de edifícios que estão na área inundada, de acordo com a tipologia.....	115
Tabela 63 - Número de edifícios que estão na área inundada, de acordo com a sua descrição.	116
Tabela 64 – Extensão das infraestruturas exposta ao risco de tsunami	117
Tabela 65 - Equipamentos/estabelecimentos expostos ou na proximidade da zona inundada	118
Tabela 66 - População residente exposta ao risco de tsunami por lugar. Fonte: INE.....	119
Tabela 67 - Número de mortos e feridos associados ao cenário de tsunami por praia	120
Tabela 68 – Dados base	121
Tabela 69 – Classificação dos atributos relativos à estrutura do edifício	121
Tabela 70 - Classificação dos atributos relativos ao grau de proteção do edifício	122
Tabela 71 - Classificação da altura da inundação	122
Tabela 72 – Proposta de medidas de preventivas/mitigadoras para o risco sísmico	136
Tabela 73 – Proposta de medidas de preventivas/mitigadoras para o risco de tsunami	136

INFORMAÇÃO DO DOCUMENTO E REVISÕES

Projeto	Estudo de Avaliação de Riscos Sísmico e de Tsunami no Concelho de Oeiras
Coordenação	Nelson Mileu
Equipa	Ana Paula Falcão; Ângela Santos; João Fonseca; Jorge Proença; Luís Guerreiro; Margarida Queirós; Susana Vilanova
Data de início da fase	25-03-2020
Data de fim da fase	09-03-2021

Versão	Data	Autores	Notas
1.0	09-03-2021	Ana Paula Falcão; Ângela Santos; João Fonseca; Jorge Proença; Luís Guerreiro; Margarida Queirós; Nelson Mileu; Susana Vilanova	Versão inicial
1.0	05-04-2021	Ana Paula Falcão; Ângela Santos; João Fonseca; Jorge Proença; Luís Guerreiro; Margarida Queirós; Nelson Mileu; Susana Vilanova	Versão alterada de acordo com as notas do email de 5.4.2021 da C.M.O.

APROVAÇÃO DO DOCUMENTO

Responsável	Data	Assinatura
Nelson Mileu	05-04-2021	

1. INTRODUÇÃO

O presente documento consiste no relatório final da prestação de serviços para elaboração do “Estudo de Avaliação de Riscos Sísmico e de Tsunami no Concelho de Oeiras”, elaborado pela Socarto, Instituto Superior Técnico e Instituto de Geografia e Ordenamento do Território no contexto do concurso público promovido pelo Município de Oeiras.

O objetivo deste relatório é a descrição dos dados, métodos e resultados obtidos na avaliação da perigosidade, exposição e vulnerabilidade associados ao risco sísmico e de inundação por tsunami, analisados no estudo de avaliação de riscos sísmico e de tsunami no concelho de Oeiras.

A execução do estudo encontra-se organizada em duas atividades: elaboração das peças escritas e elaboração das peças desenhadas para o risco sísmico e risco de tsunami. Estas atividades resultaram no presente documento correspondente ao Volume 1 – Relatório Final e no Volume 2 – Cartografia Temática, onde constam as peças desenhadas.

O Volume 1 – Relatório Final encontra-se organizado em três pontos: Risco Sísmico, Risco Tsunami e Planeamento de Emergência. Para cada um destes pontos, apresentam-se as definições adotadas, os dados, a metodologia e os resultados obtidos.

2. RISCO SÍSMICO

Para o presente relatório adotou-se a definição de risco sísmico de Crowley e Silva (2013), correspondente à probabilidade de danos ou perdas em pessoas ou estruturas devido à ação sísmica. Esta definição é sustentada por três componentes: perigosidade sísmica, exposição e vulnerabilidade física. A perigosidade sísmica corresponde à probabilidade de um determinado nível de aceleração do solo ser excedido devido à ocorrência de sismos, durante um intervalo de tempo especificado. A exposição consiste no conjunto de elementos expostos ao risco e a vulnerabilidade física à vulnerabilidade das estruturas e pessoas à perigosidade sísmica.

RISCO SÍSMICO - FÍSICO

Probabilidade de danos ou perdas em pessoas ou estruturas devido à ação sísmica

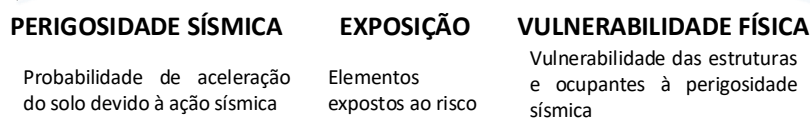


Figura 1 – Definição de risco sísmico adotada

A modelação da perigosidade e do risco sísmico foi suportada pelo software OPENQUAKE e consiste na etapa inicial para obtenção do mapa de zonamento sísmico de Oeiras. A Figura 2 sintetiza os elementos que integram o modelo de perigosidade desenvolvido.

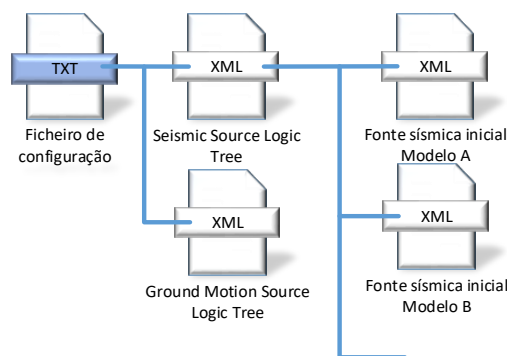


Figura 2 - Modelação de perigosidade sísmica no OPENQUAKE

Para o cálculo do risco e dos danos foram desenvolvidos dois modelos. Integram estes modelos os resultados do modelo de perigosidade sísmica, o modelo de exposição e o modelo de vulnerabilidade física para os vários elementos expostos em análise (Figura 3). No modelo de danos será estimada a distribuição dos danos, associados a um sismo, para o parque edificado.

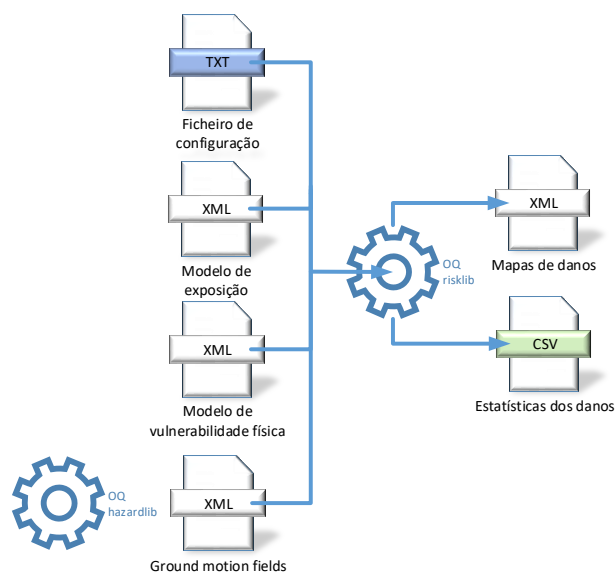


Figura 3 - Modelação do risco sísmico no OPENQUAKE.

2.1. IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA SISMICIDADE REGIONAL

A região de estudo localiza-se em crosta continental estável, no interior da placa Euroasiática. No entanto encontra-se na vizinhança da fronteira de placas Açores-Gibraltar que apresenta um comportamento complexo em termos tectónicos.

A sismicidade na região envolvente é moderada, sendo caracterizada por sismos pouco frequentes, mas que podem atingir magnitudes elevadas a muito elevadas, tanto no interior da placa ($M \sim 7+$) como na fronteira de placas ($M \sim 8+$). Nestas condições, o estudo das falhas ativas, ou seja, estruturas com capacidade de gerar sismos no enquadramento tectónico atual, é fundamental para constranger a atividade sísmica respeitante a magnitudes pouco representadas nos catálogos histórico e instrumental.

O estudo das falhas potencialmente ativas (com capacidade de gerar sismos no enquadramento tectónico atual) através de ferramentas da Tectónica Ativa (Geomorfologia, Paleosismologia e Geocronologia) encontra-se ainda em estado incipiente na generalidade do território, apesar da sua importância na caracterização a longo prazo da sismicidade. As exceções são a Falha de Manteigas-Vilariça- Bragança (Rockwell et al., 2009) e a Falha do Vale Inferior do Tejo (Besana-Ostman et al., 2012, Canora et al., 2015) para as quais existem estudos detalhados da ocorrência de sismos no período pré-histórico.

A Figura 4 mostra o modelo de elevação digital (DEM – Digital Elevation Model) da região de estudo e ao mapa de falhas geológicas de acordo com a carta geológica de Oeiras à escala 1:10.000. Algumas destas falhas poderão estar ativas, pelo que é crucial a sua inclusão no estudo de perigosidade. Uma destas estruturas mostra uma possível deformação do curso da Ribeira da Lage, na proximidade do Jardim Marquês de Pombal. Os dados de geodesia espacial na vizinhança do Concelho de Oeiras, adquiridos nas últimas décadas pela Direção Geral do Território (Rede ReNEP) e pelo Instituto Geográfico do Exército (Rede SERVIR) permitem observar deformação significativa, ainda que lenta, da crosta terrestre na zona envolvente do Concelho de Oeiras (Figura 5). Outra frente de investigação em curso no que se refere à deformação da crosta em Oeiras e região circundante é a análise de interferogramas de imagens de satélite usando a técnica PSInSAR (interferometria de RADAR de abertura sintética – dispersores persistentes), de que se mostra um exemplo na Figura 6.

Estudos detalhados de Paleosismologia no local seriam fundamentais para compreender a natureza das características identificadas. Como indica a Figura 4 b), seria particularmente justificado o estudo da deformação dos aluviões da Ribeira da Lage nos jardins do Palácio do Marquês de Pombal, estando pendente nos serviços da CMO um pedido para que esse estudo seja levado a cabo no âmbito dos trabalhos em curso.

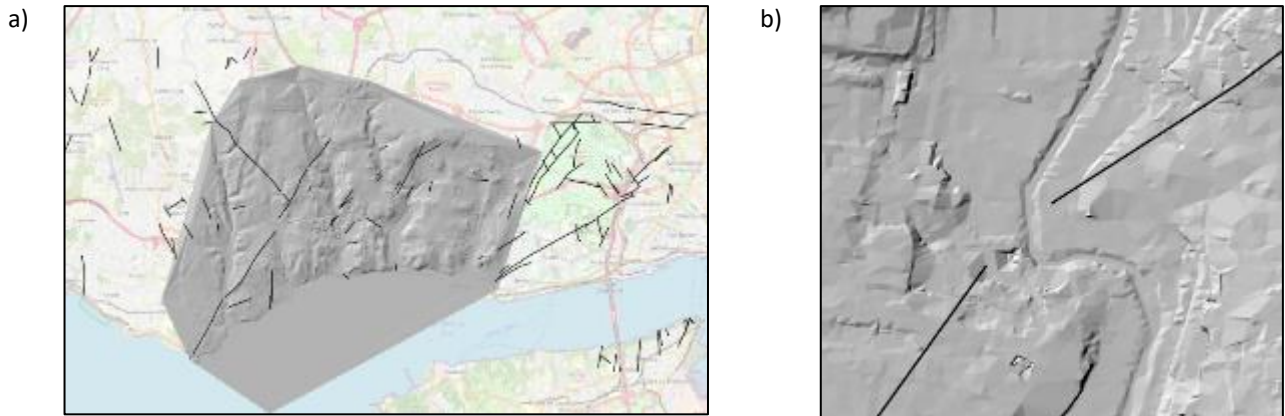


Figura 4 - a) Modelo digital do terreno da região de estudo, e falhas geológica mapeadas de na Carta Geológica 1:50.000; b) Detalhe da possível deformação na Ribeira das Lages, associada à presença de uma falha ativa.

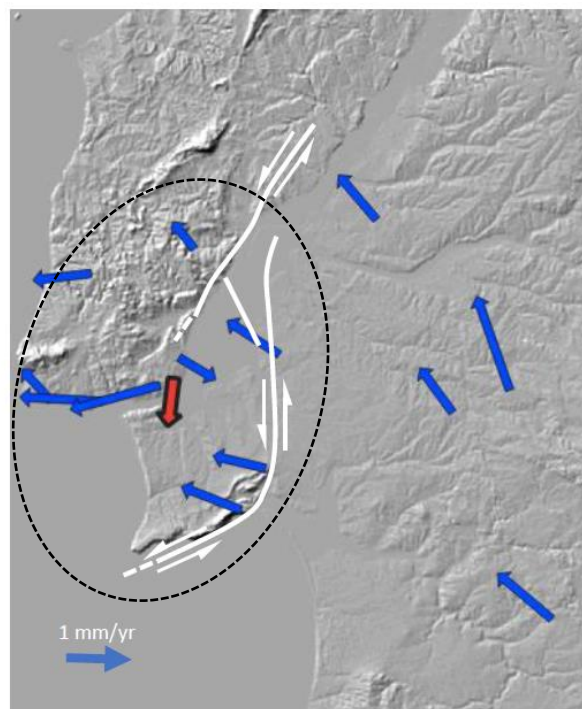


Figura 5 - Velocidades horizontais médias dos pontos de observação geodésica GNSS nos arredores de Oeiras, indiciando deformação da crosta (resultados preliminares). A seta a vermelho indica a média das velocidades dos pontos no interior da elipse a tracejado, em relação aos pontos no seu exterior. As linhas a branco mostram o modelo neotectónico proposto por Vilanova e Fonseca (2004). Processamento de dados GNSS: J. Fernandez (CSIC/UCM, Madrid) e M. Palano (INGV, Catania)

Na análise de deslocamentos foi aplicada a técnica avançada de interferometria radar dos dispersores persistentes (Roque et al., 2015). No total foram identificados 26585 pontos dispersores para todo o concelho, com uma expressão mais forte nos meios urbanos, a partir de imagens Sentinel-1, passagem ascendente, disponibilizadas pela Agência Espacial Europeia, compreendidas no intervalo [2014-2020]. O valor médio dos deslocamentos em linha de vista do sensor (LOS) é de 0,09 mm/ano \pm 0,67, com valores compreendidos no intervalo [-7,35 mm/ano – 6,40 mm/ano].

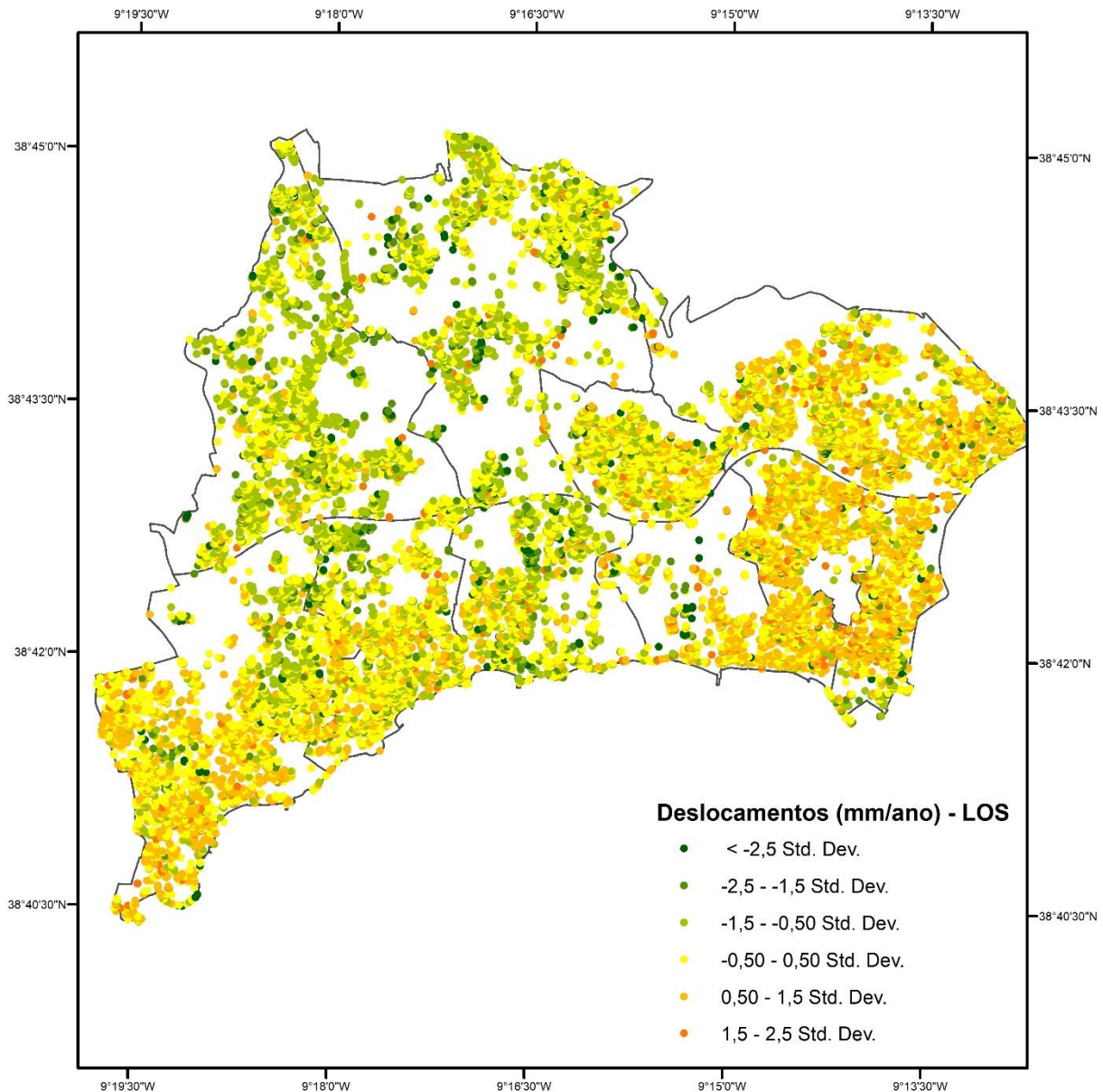


Figura 6 - Conjunto dos pontos dispersores obtidos a partir de imagens SAR, adquiridas pela ESA entre 2014-2020. Diferentes cores correspondem a diferentes velocidades de movimento da crosta na direção da linha de vista do satélite (resultados preliminares).

Neste estudo, foi utilizado o catálogo sísmico produzido no âmbito do projeto FP7-SHARE (Stucchi et al., 2013, Grunthal et al., 2013). O catálogo sísmico consiste numa parte histórica que engloba o período 1000-1899, e uma parte instrumental que caracteriza a sismicidade a partir do século XX. O catálogo foi homogeneizado, efetuada a análise de exaustividade ou plenitude, e efetuada a análise de decluster com o método de Burkhard and Grunthal (2009).

2.2. AVALIAÇÃO DA PERIGOSIDADE SÍSMICA

2.2.1. Metodologia adotada

A análise probabilista da perigosidade sísmica (PSHA, Cornell, 1968) visa definir o nível de movimentos sísmicos que é esperado ocorrer num local, com certa probabilidade, e durante um determinado intervalo de tempo. A PSHA é atualmente a abordagem standard no que diz respeito à implementação políticas de segurança pública relacionadas com a ocorrência de sismos, sendo usada na implementação de códigos de engenharia sísmica, no planeamento do território e no dimensionamento sísmico de estruturas críticas.

Enquanto que na abordagem determinista são calculados os movimentos sísmicos produzidos pela rutura de uma falha específica, localizada a certa distância do local analisado (cenários sísmicos), na PSHA são contabilizados todos os potenciais sismos passíveis de afetar o local de estudo. Desta forma, o cálculo baseia-se na definição de funções de distribuição probabilísticas que descrevem os sismos na fonte (no espaço, no tempo e no domínio das magnitudes), e caracterizam a propagação dos movimentos sísmicos intensos da fonte até ao local de estudo. A Figura 7 ilustra os diferentes passos da metodologia PSHA.

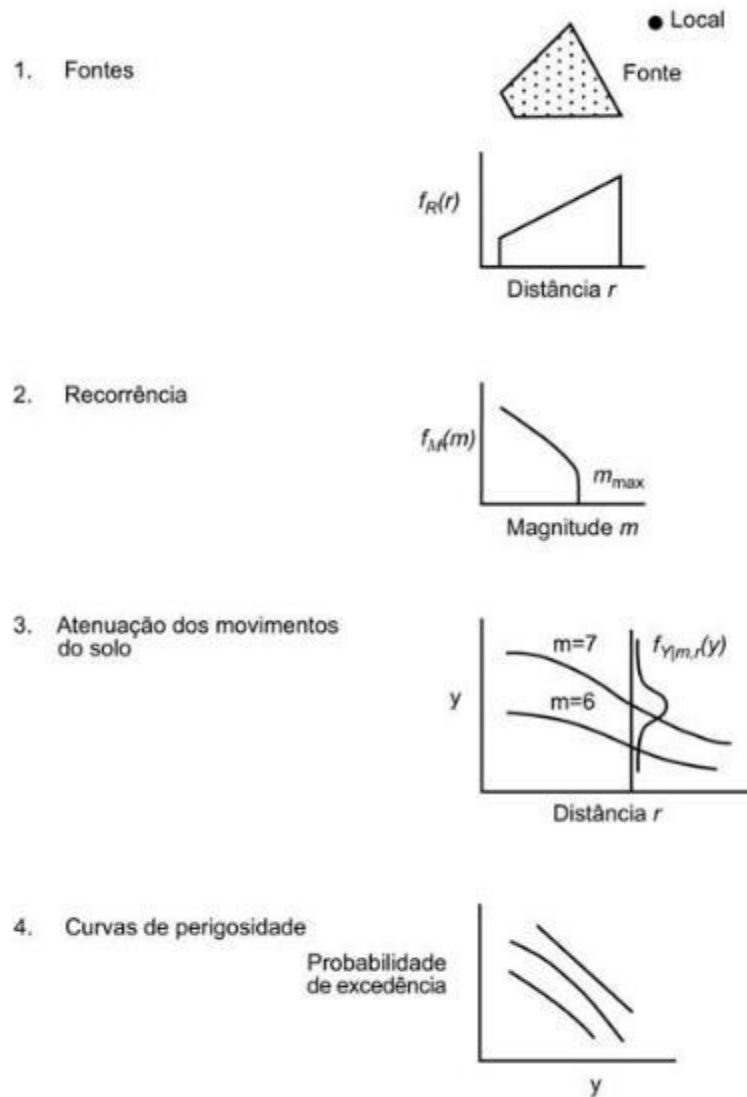


Figura 7 - Diferentes etapas no cálculo da Perigosidade sísmica probabilista.

Na abordagem clássica, as ocorrências sísmicas são tratadas como um processo de Poisson. Nestas condições a probabilidade de excedência de um determinado parâmetro de movimento do solo é dada por

$$P(Y > y) = 1 - \exp\left(-\frac{\Delta t}{T_r}\right)$$

onde P indica a probabilidade de os movimentos do solo Y no local de estudo excederem o valor y , Δt o período de exposição, e T_r o período de retorno.

O período de retorno é calculado através da seguinte expressão, onde λ_g é a taxa de ocorrência de sismos na zona fonte g , f a função de atenuação dos movimentos sísmicos, e $f_{M,R}$ as funções de distribuição dos sismos na distância e domínio de magnitudes, e Φ^* a distribuição normal padrão inversa.

$$Tr(y) = \left[\sum \lambda_g \int \Phi^* \left(\frac{y - f(m, r, \mathbf{p})}{\sigma} \right) f_{M,R}(m, r)_{(g)} dm dr \right]^{-1}$$

A análise da PSHA inclui ainda uma estimativa detalhada das incertezas aleatórias e epistémicas associadas ao cálculo, tal como preconizado por SSHAC (1991) e NUREG (2012). A desagregação dos resultados permite identificar o tipo de ocorrência, em termos de distância e magnitude, que apresenta a maior contribuição para a perigosidade sísmica num determinado local e para um determinado período de retorno, permitindo auxiliar a escolha de cenários sísmicos relevantes.

2.2.2. *Aplicação ao Concelho de Oeiras*

A perigosidade sísmica probabilística para o Concelho de Oeiras foi calculada com o software OpenQuake, desenvolvido pela Global Earthquake Model Foundation. Adotou-se definição, análise e parametrização das fontes sísmicas desenvolvida no âmbito do projeto Europeu FP7-SHARE (Vilanova et al. 2014, Stucchi et al., 2013, Woessner et al., 2015). A Figura 8 apresenta o modelo de zonas fontes-área utilizado no estudo.

Para a modelação dos movimentos sísmicos intensos utilizou-se uma análise em árvore lógica incluindo modelos de atenuação desenvolvidos para zonas continentais estáveis e para zonas ativas, dada a incerteza associada às características físicas das fontes sísmicas e à propagação das ondas sísmicas na litosfera. Foram adotados os seguintes modelos de atenuação: o modelo Atkinson and Boore (2006, 2011) desenvolvido para regiões continentais estáveis, os modelos de Boore et al. (2014) (alto fator de qualidade) e de Chiou and Youngs (2014) desenvolvidos para regiões continentais ativas, e o modelo de Kotha et al. (2016) desenvolvido para as regiões ativas da Europa e Médio Oriente. Os pesos foram atribuídos tendo em conta a comparação entre os movimentos sísmicos previstos pelos modelos e os registos instrumentais regionais disponíveis (Vilanova et al., 2009, 2012). Os modelos de Atkinson e Boore (2006, 2011) e de Boore et al. (2014) foram considerados os mais adequados para a região de estudo, tendo-lhes sido atribuído um peso de 0.35. Os modelos de Chiou and Youngs (2014) e de Kotha et al. (2016) foram incluídos na análise com um peso de 0.15.

Foi adotado como referência o período de retorno de 475 anos, que, admitindo um processo de ocorrência Poissoniano estacionário, corresponde a uma probabilidade de excedência de 10% em qualquer período de 50 anos. Para um conjunto de 1000 realizações da árvore lógica calculou-se a intensidade de movimento do solo correspondente a esse período de retorno, numa malha de pontos de 8m por 8m, cobrindo o Concelho. Em cada ponto da malha foi calculado o efeito de amplificação da camada superficial (efeito de sítio) conforme se descreve no parágrafo seguinte. Em cada ponto calculou-se a média dos resultados, bem como o valor correspondente ao percentil 15% e ao percentil 85%, de modo a captar a incerteza epistémica. Adicionalmente, foram consideradas as probabilidades de excedência de 18.6%, 5.9% e 3.8% em 50 anos, correspondentes, por essa ordem, a períodos de retorno de 243, 821 e 1303 anos.

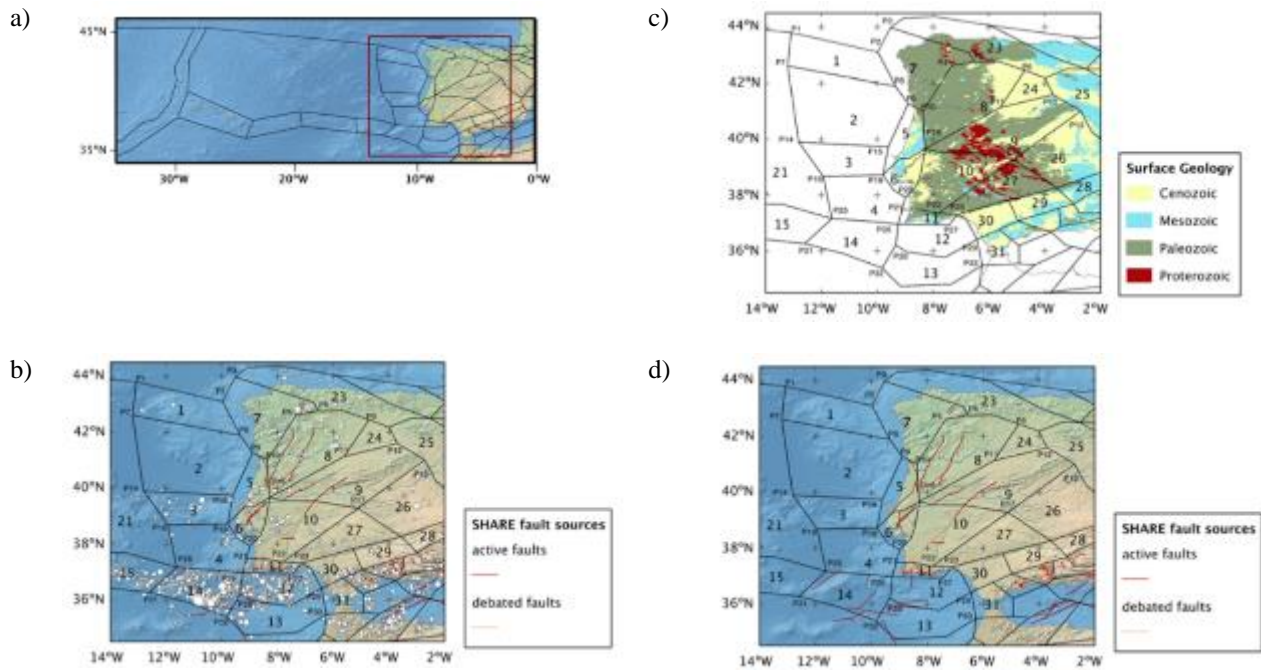


Figura 8 - Fontes-área utilizadas no cálculo PSHA: a) enquadramento; b) sobrepostas ao catálogo sísmico instrumental c) sobrepostas ao mapa de geologia superficial e d) sobrepostas ao mapa de falhas potencialmente ativas. Retirado de Vilanova et al. (2014).

Como medida da intensidade do movimento do solo foram considerados separadamente os seguintes indicadores: aceleração de pico do solo (PGA), e acelerações espectrais (com amortecimento de 5%) para os períodos de 0.10s, 0.25s, 0.30s, 0.60s, 0.80s, 2.0s e 4.0s.

A cartografia produzida atribui a cada ponto da malha o valor de intensidade do movimento do solo com uma dada probabilidade de excedência em 50 anos. Alternativamente, é possível representar para cada ponto a probabilidade de excedência em função do valor de intensidade do movimento do solo para um dado período de exposição (curva de perigosidade), ou a aceleração espectral em função do período, para uma dada probabilidade de excedência num dado período de exposição (espectro de resposta de perigosidade uniforme). A Figura 9 mostra exemplos de curvas de perigosidade e de espectros de resposta de perigosidade uniforme, calculados para pontos do Concelho de Oeiras, localizados em diferentes tipos de solo.

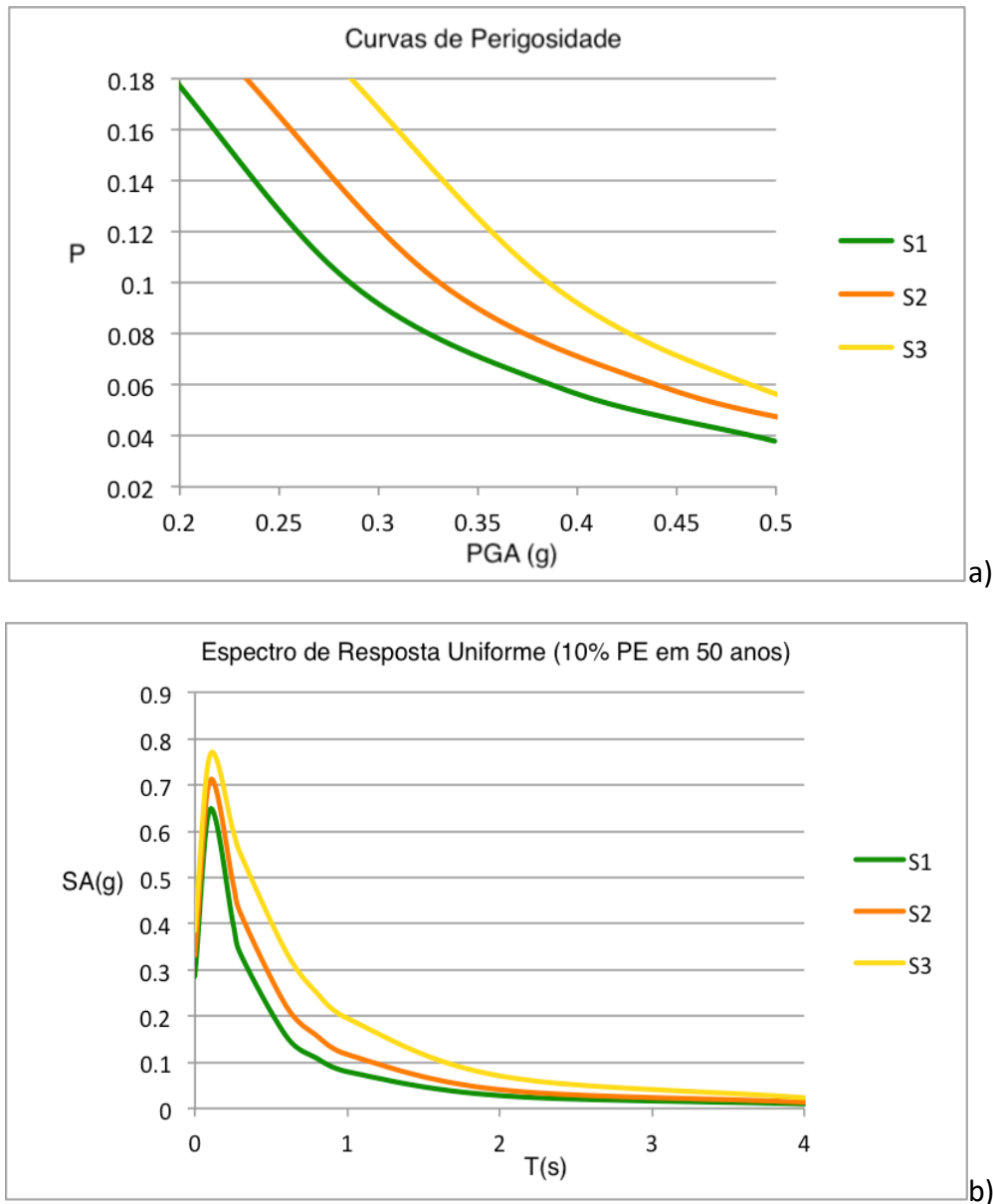


Figura 9 - Exemplos de curvas de perigosidade e espectros de resposta de perigosidade uniforme para um local no concelho de Oeiras: a) Curvas de perigosidade de PGA para 50 anos de período de exposição, e para diversos tipos de solo; b) Espectros de resposta uniformes para 10% de probabilidade de excedência em 50 anos e diferentes tipos de solo. Os parâmetros de movimento do solo encontram-se em unidades de aceleração da gravidade ($g=9.8\text{ms}^{-2}$).

A desagregação da perigosidade sísmica de um determinado local consiste na identificação e separação das principais contribuições para a perigosidade, em termos da localização da fonte e da magnitude. Como se referiu anteriormente, a desagregação permite a identificação dos principais cenários que devem ser considerados para efeito de preparação da resposta de emergência. A Figura 10a) apresenta o resultado da desagregação da perigosidade sísmica para um ponto representativo do Concelho de Oeiras, considerando a aceleração de pico do solo com o período de retorno de 475 anos. Este resultado permite concluir que, para essa medida do movimento do solo e para esse período de retorno, a perigosidade é dominada pelo cenário local com distância epicentral entre 0 e 10km, e magnitude de momento $M = 4.75$. O segundo cenário mais relevante consiste num sismo de magnitude 6.25 uma distância de 30 km. A Figura 10b) mostra o resultado

da desagregação quando se considera a aceleração espectral com 1.0s de período. Para lá do cenário próximo, que continua a dominar, começa a notar-se a contribuição de um cenário com $M = 6.25-6.75$ à distância de 50km.

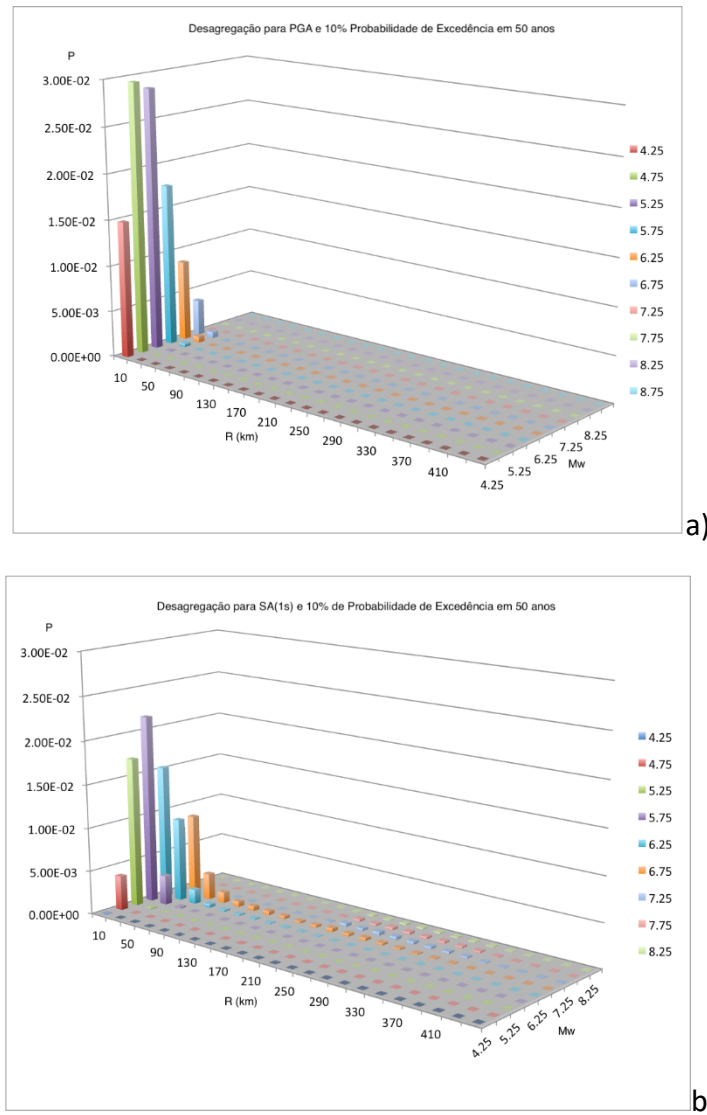


Figura 10 - Desagregação da perigosidade sísmica num ponto representativo do Concelho de Oeiras, considerando: a) aceleração de pico do solo (PGA) com período de retorno de 475 anos; b) a aceleração espectral com o período de 1.0s para o mesmo período de retorno.

Serão considerados os seguintes cenários sísmicos:

- sismo de magnitude 4.75 com epicentro no Concelho de Oeiras;
- sismo de magnitude 6.5 com epicentro a 50 km;
- sismo de magnitude 8.5 com epicentro a 240 km.

O terceiro cenário não resulta da análise de desagregação, que mostrou que o mesmo não contribui significativamente para a perigosidade com período de retorno de 475 anos. No entanto, trata-se de um cenário relevante por representar a importante zona sismogénica a Sudoeste do Cabo de

São Vicente (Banco de Gorringe / Planície Abissal da Ferradura), com a capacidade de gerar sismos de magnitude muito elevada como atestado pela sismicidade histórica.

2.3. ESTUDO DO EFEITO DE SÍTIO E LIQUEFAÇÃO

2.3.1. Efeitos de sítio

As condições geológicas e litologias do local de estudo têm uma importância determinante na amplificação dos movimentos sísmicos. Desta forma, um mapa de perigosidade produzido para condições uniformes de solo, não representa adequadamente a perigosidade sísmica. A incorporação de efeitos locais, numa abordagem regional, é assim fundamental para uma representação realista da perigosidade.

A medição e mapeamento da velocidade das ondas de corte é atualmente a abordagem padrão no que diz respeito à avaliação das condições locais em estudos de amplificação dos movimentos sísmicos em estudos regionais. Em particular, a média no tempo de VS nos 30 metros abaixo da superfície (VS30) é usada na classificação dos solos nos códigos de construção e nos de modelos previsão de movimentos sísmicos mais recentes.

Neste estudo, utilizou-se o modelo de condições locais desenvolvido por Vilanova et al. (2018), adaptado à escala da carta geológica do concelho de Oeiras (1:50.000). O modelo de Vilanova et al. (2018) corelaciona a geologia superficial com uma base de dados de 160 medições de perfis das velocidades das ondas de corte em Portugal. A Classe S1 inclui rochas vulcânicas, metamórficas e rochas sedimentares antigas (Mesozóico e anteriores), a Classe S2 engloba formações sedimentares do Paleogénico, e a classe S3 depósitos Holocénicos. A Figura 11 ilustra o mapa de condições locais utilizado para a região de estudo.

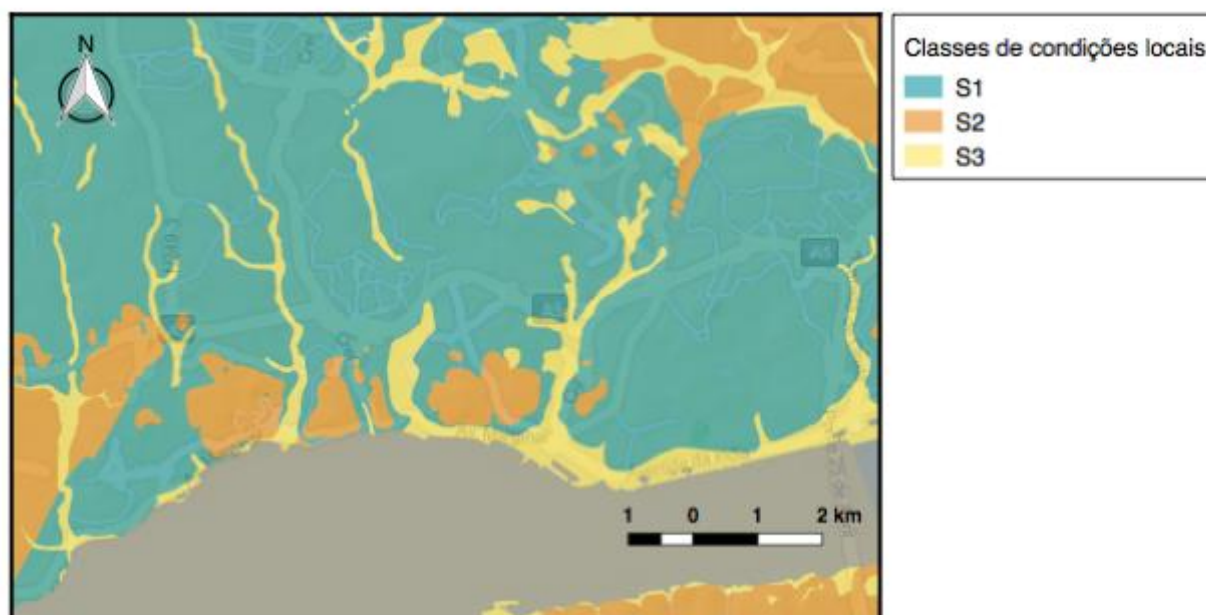


Figura 11 - Mapa das condições locais para a zona de estudo de acordo com o modelo de Vilanova et al (2018). Classe S1, $V_{s30}=795 \text{ ms}^{-1}$; Classe S2, $V_{s30}=500 \text{ ms}^{-1}$; Classe S3: $V_{s30}=250 \text{ ms}^{-1}$

2.3.2. Suscetibilidade à liquefação

2.3.2.1. Metodologia adotada

O fenómeno da liquefação cíclica consiste na perda súbita da rigidez de depósitos sedimentares saturados, quando sujeitos a vibração, e é portanto um potencial efeito secundário da passagem das ondas sísmicas. A ocorrência de liquefação requer condições particulares de granulometria, sendo mais suscetíveis os terrenos arenosos soltos e de granulometria pouco variada, portanto sem presença de materiais finos a preencher os vazios entre os grãos. A caracterização da suscetibilidade à liquefação exige a caracterização laboratorial dos sedimentos, para determinar a razão de resistência cíclica (*CRR*), que pode ser comparada com a razão de tensão cíclica (*CSR*) correspondente a uma ação sísmica de referência, para assim definir um fator de segurança $F_s = CSR/CRR$. Na ausência de ensaios laboratoriais, o parâmetro *CRR* pode ser estimado, através de relações empíricas, a partir dos resultados de ensaios geotécnicos comuns (SPT ou CPT). É condição para a ocorrência de liquefação do solo que o nível freático esteja próximo da superfície, para que os sedimentos estejam saturados.

Na região em estudo a ocorrência de solos arenosos é limitada aos vales das ribeiras e a uma estreita faixa junto ao Tejo. Não se dispõe de ensaios laboratoriais ou geotécnicos para esses solos. Apenas junto à foz do Rio Jamor, na sua margem direita, o potencial de liquefação foi avaliado, e ainda assim de forma qualitativa (Guerra et al., 2010).

Na ausência de dados geotécnicos específicos, será adotada a metodologia HAZUS-MR4 (Multi-hazard Loss Estimation, FEMA, 2003), onde a probabilidade de presença de sedimentos suscetíveis de liquefação é inferida a partir do facies deposicional e da idade dos depósitos, conforme se indica na Tabela 1. Como se pode verificar na tabela, a metodologia acrescenta às formações sedimentares naturais os aterros, pela sua natureza caracterizados por um grau de coesão muito baixo, nomeadamente se a compactação for reduzida.

Para cada classe de suscetibilidade a metodologia estipula empiricamente um valor de probabilidade condicional de ocorrência de liquefação em função da aceleração do solo, começando por associar a cada classe de suscetibilidade um valor da percentagem da formação sedimentar afetada pelo fenómeno, dada na Tabela 2. A probabilidade condicional de que ocorra liquefação, em função do valor da aceleração do solo, admitindo que essa aceleração é devida a um sismo de magnitude 7.5 e que o nível freático (d_w) se encontra a 1m de profundidade, é dada na coluna da direita da Tabela 2. Essa probabilidade condicional deve ser multiplicada pela percentagem da coluna à sua esquerda para que se obtenha a probabilidade de ocorrência de liquefação num dado local, para o cenário de referência ($M = 7.5, d_w = 1m$). A metodologia fornece termos corretivos empíricos para calcular a probabilidade condicional de ocorrência de liquefação quando a magnitude ou a profundidade do nível freático tomam outros valores:

$$k_M = 0.0027M^3 - 0.0267M^2 - 0.2055M + 2.9188 \quad (1)$$

$$k_W = 0.022d_w + 0.93 \quad (2)$$

sendo M a magnitude e d_w a profundidade do nível freático em metros. A probabilidade de ocorrência de liquefação num local cujo solo é sujeito à aceleração a devida a um sismo de magnitude M estando o nível freático à profundidade d_w pode ser calculada como

$$p = \frac{p_0}{k_M k_W} p_c(liq | PGA = a) \quad (3)$$

sendo p_0 a percentagem dada na Tabela 2 e $p_c(liq | PGA = a)$ a probabilidade condicional dada pelas expressões da mesma tabela. A Tabela 3 apresenta resultados para alguns valores de aceleração, para o cenário de referência.

Tabela 1 - Probabilidade de presença de sedimentos susceptíveis de liquefação, em função do ambiente deposicional e da idade. Adaptado de FEMA (2003).

Tipo de sedimento	<500 anos	500 a 11K ano	11K a 2M anos	>2M anos
depósito fluvial	muito alta	Alta	baixa	muito baixa
dep. praia de baixa energia	alta	moderada	baixa	muito baixa
dep. praia de alta energia	moderada	Baixa	muito baixa	muito baixa
aterro bem compactado	baixa	N/A	N/A	N/A
aterro pouco compactado	muito alta	N/A	N/A	N/A

Tabela 2 - Percentagem provável da área da formação geológica afectada por liquefação, e probabilidade condicional de ocorrência de liquefação em função da aceleração de pico do solo, para cada classe de susceptibilidade. Resultados de probabilidade negativos são substituídos por zero, e valores superiores à unidade são substituídos por 1. Adaptado de FEMA (2003).

Susceptibilidade	percentagem	$p(liq PGA=a)$
Muito alta	0.25	9.09a - 0.82
Alta	0.20	7.67a - 0.92
Moderada	0.10	6.67a - 1.0
Baixa	0.05	5.57a - 1.18
Muito baixa	0.02	4.16a - 1.08
Nula	0.00	0

Tabela 3 - Probabilidade de ocorrência de liquefação para acelerações do solo de 0.1g, 0.2g, 0.3g e 0.4g, para um sismo de magnitude de momento $M=7.5$ e estando o nível freático à profundidade de 1m (representam-se apenas as três classes de susceptibilidade presentes no Concelho de Oeiras). A probabilidade satura acima de ~0.3g.

Susceptibilidade	a (g)	p	a (g)	p	a (g)	p	a (g)	p
Moderada	0.1	0	0.2	0.03	0.3	0.10	0.4	0.10
Alta	0.1	0	0.3	0.12	0.3	0.20	0.4	0.20
Muito Alta	0.1	0.02	0.2	0.25	0.3	0.25	0.4	0.25

2.3.2.2. Aplicação ao concelho de Oeiras

Tendo em conta a geologia do concelho de Oeiras e a classificação indicada na Tabela 1, a discussão do potencial de liquefação cingir-se-á a três tipos de ambientes deposicionais: 1) depósitos continentais nos vales das ribeiras, de idade holocénica (susceptibilidade alta); 2) depósitos de praia de baixa energia, de idade holocénica (susceptibilidade moderada); 3) aterros pouco compactados

de idade moderna (susceptibilidade muito alta). Pode concluir-se que os locais classificados com valores de VS30 de 500 ms⁻¹ e 795ms⁻¹ para efeito da análise de efeitos de sítio não estão sujeitos a risco de liquefação. As praias a Oeste de Caxias serão consideradas de alta energia, e dado o escasso grau de edificação não serão consideradas como locais suscetíveis à liquefação. A análise do risco de liquefação incidirá por conseguinte nos locais representados na Figura 12, onde são classificados consoante a sua susceptibilidade à liquefação.



Figura 12 – Susceptibilidade à liquefação

A Figura 13 apresenta os resultados da aplicação da metodologia HAZUS às três classes de susceptibilidade presentes no Concelho de Oeiras (muito alta, alta e moderada), para acelerações do solo de 0.1g, 0.2g, 0.3g e 0.4g, considerando quatro cenários: magnitude 5 com nível freático a 1m de profundidade, magnitude 6.0 com nível freático a 1m de profundidade, magnitude 6.0 com nível freático a 3m de profundidade e magnitude 5.0 com nível freático a 1m de profundidade. Como já se referiu anteriormente a probabilidade condicional mantém-se constante para valores de aceleração do solo superiores a 0.3g. A linha vertical tracejada indica o valor típico calculado no presente estudo para a aceleração de pico com período de retorno de 475 anos nas formações holocénicas ou modernas do Concelho de Oeiras, claramente acima do valor a partir do qual a probabilidade condicional satura. O valor de probabilidade condicional correspondente a esse plateau pode por conseguinte ser tomado como valor de referência, em conjunto com o período de retorno de 475 anos. A título de exemplo, a probabilidade de ocorrência de liquefação num aterro pouco consolidado se ocorrer a aceleração do solo com período de retorno de 475 anos é: 0.25 se essa aceleração for devida a um sismo de magnitude 7.5 e o nível freático (d_w) estiver a 1m de profundidade; 0.19 se for $M = 6.0$ e $d_w = 1m$; 0.17 se for $M = 6.0$ e $d_w = 3m$; 0.16 se for $M=5.0$ e $d_w = 1m$.

Probabilidade condicional de ocorrência de liquefação em função da aceleração de pico do solo

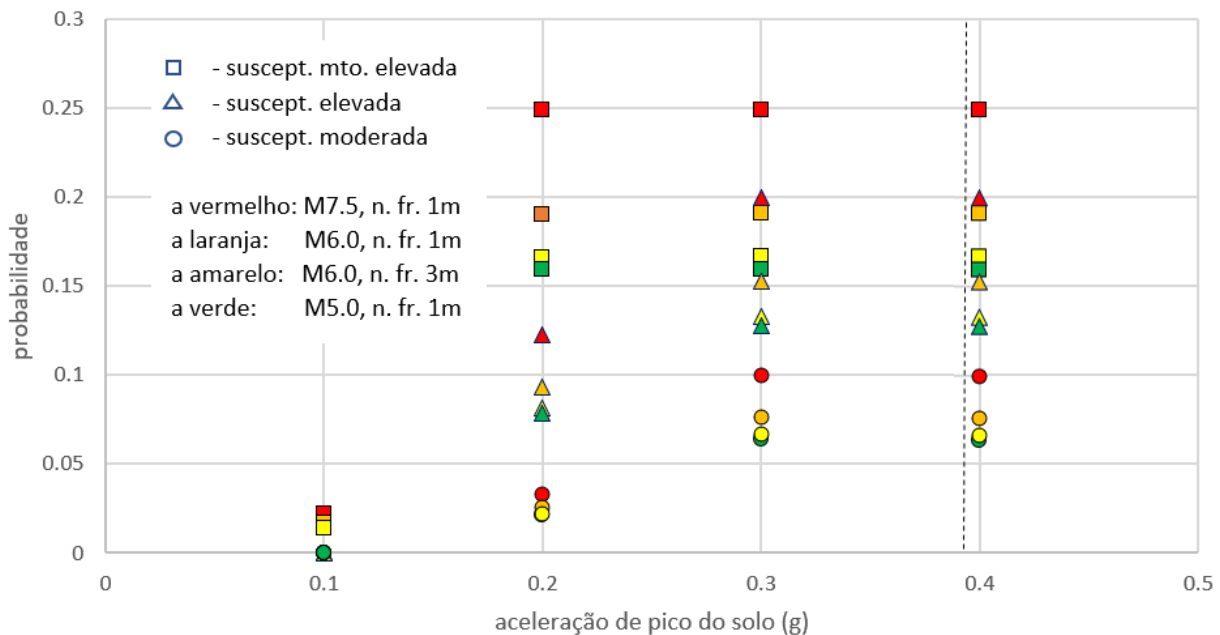


Figura 13 - Probabilidade de ocorrência de liquefação para as três classes de suscetibilidade presentes no Concelho de Oeiras (muito alta, alta e moderada), em função da aceleração de pico do solo, para quatro cenários descritos em termos de magnitude e profundidade do nível freático.

Não sendo viável representar à escala do Concelho de Oeiras o nível freático, a metodologia proposta permite calcular a probabilidade de ocorrência de liquefação num dado local do Concelho com profundidade de nível freático d_w , para o cenário de ocorrência de um sismo de magnitude M , do seguinte modo:

- a Figura 12 fornece a classe de suscetibilidade do local, e a Tabela 3 dá a probabilidade condicional de ocorrência de liquefação (para uma aceleração do solo superior a 0.3g, magnitude 7.5 e profundidade do nível freático 1m) correspondente a essa classe;
- a Tabela 2 fornece a percentagem p_0 correspondente à classe de suscetibilidade;
- as equações (1) e (2) permitem calcular os fatores corretivos da magnitude e do nível freático, k_M e k_w ;
- a equação (3) dá o valor da probabilidade de ocorrência de liquefação no local.

Como o valor de aceleração de pico do solo que foi tomado em consideração corresponde a um período de retorno de 475 anos, do mesmo modo a probabilidade de ocorrência de liquefação assim obtida resulta associada a esse período de retorno.

2.3.2.3. Identificação de equipamentos situados em locais com suscetibilidade à liquefação

Depósitos de praia de baixa energia, de idade holocénica (susceptibilidade moderada)

A energia da agitação marítima no sector distal do estuário do Tejo aumenta gradualmente de Algés até Oeiras (Rusu e Soares, 2006), como se exemplifica na Figura 14. Consideraremos como

depósitos holocénicos de praia de baixa energia os da Praia da Cruz Quebrada e os da Praia de Caxias. Não existem edifícios significativos nesta faixa, com a exceção do Forte da Giribita. No entanto, troços significativos da via férrea da Linha de Cascais assentam sobre sedimentos de praia, ficando expostos a danos causados por liquefação.

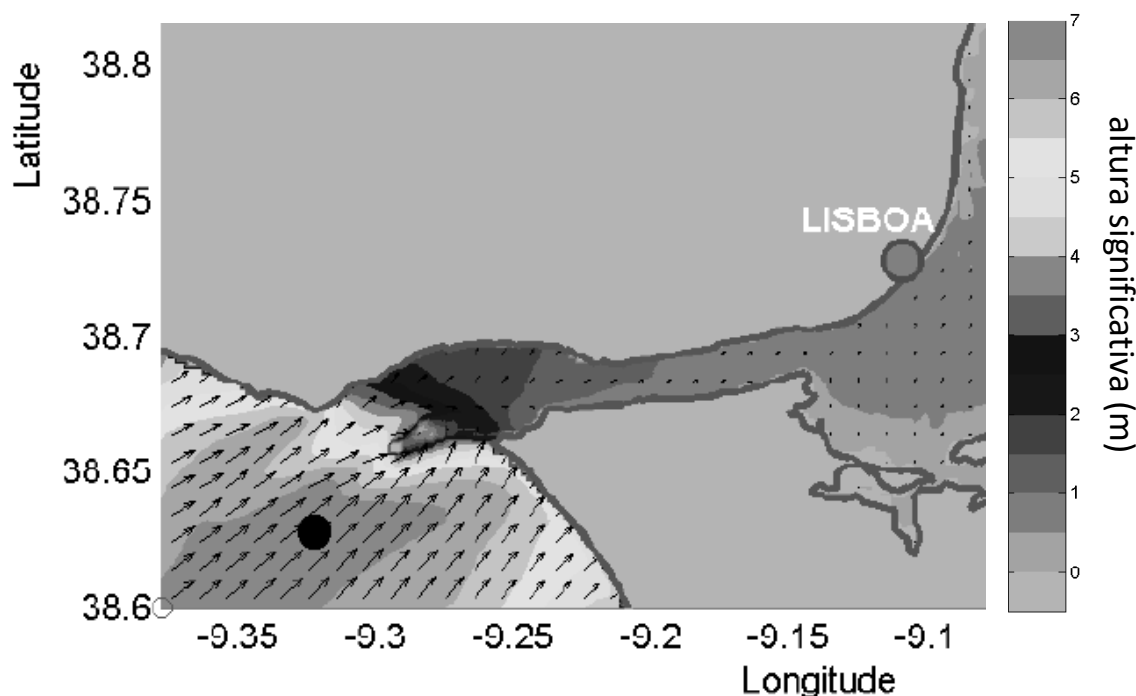


Figura 14 - Agitação marítima junto no estuário do Tejo (simulação), segundo Rusu e Soares (2006). As setas indicam os vetores de onda e os tons de cinzento indicam a altura significativa.

Depósitos continentais holocénicos em vales de ribeiras – suscetibilidade alta

Os vales das ribeiras que atravessam o Concelho de Oeiras de Norte para Sul estão preenchidos com aluviões de idade holocénica, que formam manchas de limitada expressão. Por regra esses locais não estão construídos, ou têm baixa densidade de edificações, sendo as principais exceções a Baixa de Algés, o Dafundo entre a Rua Sacadura Cabral e a linha férrea, e a faixa urbana que se estende ao longo da Avenida dos Bombeiros Voluntários de Algés. Outras exceções são:

- Estação Agronómica de Oeiras;
- Instituto Gulbenkian de Ciências (ala NE);
- Escola EB23 de São Julião da Barra (sector Norte do campus);
- diversos edifícios do Bairro da Medrosa;
- Quinta Real de Caxias;
- Convento da Cartuxa (sector Oeste);
- diversos prédios em Laveiras (sector Leste);
- diversos prédios no Bairro da Pedreira Italiana (sector Leste);
- Oeiras International School;

- diversos prédios em Casal dos Ossos (sector Oeste);
- Complexo Desportivo do Jamor;
- Faculdade de Motricidade Humana (instalações SW);
- Pavilhão Carlos Queiroz (Outurela);
- Clínica Joaquim Chaves (Miraflores);
- Escola Secundária de Miraflores;
- Bombeiros Voluntários de Algés.

A espessura dos depósitos holocénicos é de um modo geral desconhecida. Na foz do Rio Jamor, entre a Avenida Marginal e a via férrea, sondagens geotécnicas revelaram espessuras entre 3m e 25m (Guerra et al., 2010). Junto à Doca de Pedrouços, as sondagens para a construção da Torre VTS indicaram uma espessura de sedimentos holocénicos de 5m, sob um aterro com a espessura de 11m (Appleton et al., 2005).

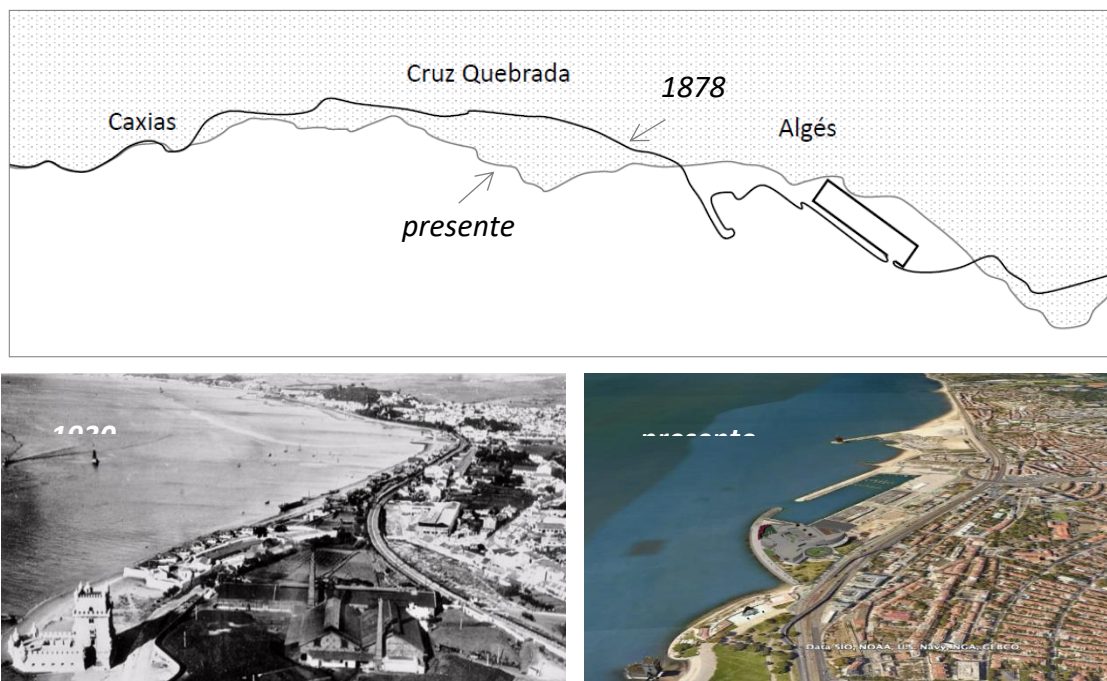


Figura 15 - Evolução da margem direita do Tejo entre 1878 e o presente.

Aterros pouco compactados de idade moderna (susceptibilidade muito alta)

A Figura 15 ilustra a evolução da margem direita do Tejo entre 1878 e o presente. Tendo-se mantido sem alterações significativas as praias a Oeste de Caxias, observa-se o oposto entre Algés e aquela localidade, com recuo significativo da linha de praia na Cruz Quebrada e conquista de terreno ao rio em Algés. Merecem particular atenção do ponto de vista da liquefação as construções sobre os terrenos conquistados ao rio, que consistem numa camada de aterro sobreposta a uma camada de areia. Na ausência de informações detalhadas admitiremos conservadoramente que os materiais de aterro estão pouco compactados.

As sondagens efetuadas por altura da construção da Torre de Controlo de Tráfego do Porto de Lisboa (Torre VTS), em Algés, revelaram a presença de uma camada de areia com o topo à

profundidade de 4.0 a 4.6m abaixo do zero hidrográfico, e com a espessura de 5m. Sobre essa camada foi contruído um molhe artificial com coroamento à cota de 5.7m, sobre o qual assenta atualmente o edifício da Torre que é suportado por um conjunto de 25 estacas com o comprimento médio de 18.5m. As referidas estacas terminam em camadas basálticas não alteradas do Complexo Vulcânico de Lisboa (Appleton et al., 2005).

As características das fundações da Torre VTS eliminam a vulnerabilidade do edifício à liquefação, mas o mesmo não pode ser concluído quanto aos restantes edifícios em torno da Doca de Pedrouços (indicam-se apenas os localizados no Concelho de Oeiras):

- Ministério do Mar;
- IPMA-Polo de Algés (sede e diversas Direções Gerais).

Finalmente, deve referir-se que o troço da via férrea fronteiro ao Jardim de Algés se encontra igualmente construído em aterro sobre areia, como se verifica na Figura 16, estando, por conseguinte, exposto a risco de deformação por liquefação do solo em caso de sismo.



Figura 16 - Deslocamento lateral da linha férrea em Algés em 1939, ilustrando a construção sobre aterro. A via em utilização corresponde ao atual traçado da Avenida Marginal. Fonte: <https://biclaranja.blogs.sapo.pt/2007/02/>

2.4. INSTABILIDADE DE TALUDES

2.4.1.1. Metodologia adotada

A estabilidade dos taludes, sejam naturais ou de origem antrópica, é geralmente traduzida por um fator de segurança que corresponde ao cociente entre a intensidade das forças que proporcionam equilíbrio ao talude e a intensidade das forças que o desestabilizam. Um coeficiente de segurança superior à unidade corresponderá a um talude estável, e *vice-versa*. No primeiro grupo estão as forças de coesão do material geológico e as forças de atrito interno, enquanto que no segundo grupo está a componente do peso tangencial à superfície livre. Durante a ocorrência de um sismo, devem ainda ser consideradas as forças inerciais associadas à aceleração do solo, que variam no tempo e em determinados instantes assumem orientações que contribuem para a desestabilização do talude, podendo trazer o coeficiente de segurança para valores inferiores à unidade.

A classificação da suscetibilidade aos deslizamentos em condições estáticas faz-se levando em conta a coesão dos materiais geológicos presentes no talude, o seu ângulo de atrito interno e o declive da superfície livre. Em geral, existe margem para que o talude seja sujeito a alguma força inercial sem que a estabilidade seja comprometida. O valor de aceleração do solo necessária para comprometer a estabilidade do talude designa-se por **aceleração crítica**.

A análise da perigosidade sísmica associada à instabilidade de taludes faz-se através do confronto entre a aceleração crítica correspondente a um determinado local e o valor de aceleração de pico do solo (PGA) calculada para esse local através da análise da perigosidade sísmica. Através do valor de PGA considerado, a perigosidade sísmica de instabilidade de taludes fica associada a um determinado período de retorno. Nesta análise será considerado o período de retorno regulamentar de 475 anos adotado no EUROCÓDIGO 8.

O cálculo da aceleração crítica para os diversos locais do Concelho de Oeiras seguirá a metodologia HAZUS-MR4 (Multi-hazard Loss Estimation, FEMA, 2003), que consiste nos seguintes passos:

- classificação de cada local quanto à suscetibilidade aos deslizamentos, tendo em conta a coesão e o ângulo de atrito dos materiais geológicos e o declive da superfície livre, em 10 classes (I a X), estando cada classe associada a um valor de aceleração crítica;
- comparação da aceleração crítica correspondente a cada local com o valor de PGA previamente calculado para esse local.

Esta análise conduz a um resultado binário (PGA acima ou abaixo do valor de aceleração crítica), o qual não deve ser entendido no sentido determinista. Com efeito, a metodologia HAZUS-MR4 associa empiricamente a cada classe de suscetibilidade uma probabilidade de ocorrência de deslizamento num local pertencente a essa classe, quando é ultrapassada a aceleração crítica.

Os valores de declive e tipos de formação geológica correspondentes às diferentes classes de suscetibilidade são indicados na tabela Tabela 4. Os valores de aceleração crítica para as diferentes classes de suscetibilidade são indicados na Tabela 5. A Tabela 6 mostra as probabilidades de ocorrência correspondentes às diferentes classes de suscetibilidade. A classificação considera separadamente as situações com o nível freático abaixo da cota do potencial deslizamento (condições secas), ou acima dessa cota (condições saturadas). Consideram-se como rochas de elevada coesão as que apresentam valores de coesão e ângulo de atrito interno $c'=14.4Kpa$ ou superior e ângulo de atrito interno $\phi'=35^\circ$ ou valores superiores. A classe B tem valores típicos interno $c'=0$ e $\phi'=35^\circ$, e para a classe C adotam-se os valores típicos $c'=0$ e $\phi'=20^\circ$.

Tabela 4 - Classes de suscetibilidade ao deslizamento, em função do tipo de formação geológica e do declive. Segundo FEMA (2003).

Condições secas		declive (em graus)						
		0-10	10-15	15-20	20-30	30-40	>40	
A	rochas com elevada coesão	Nula	Nula	I	II	IV	VI	
B	rochas com baixa coesão	Nula	III	IV	V	VI	VII	
C	argilas, solos ou aterros	V	VI	VII	IX	IX	IX	
Condições saturadas		declive (em graus)						
		0-10	10-15	15-20	20-30	30-40	>40	
A	rochas com elevada coesão	Nula	III	VI	VII	XIII	VIII	
B	rochas com baixa coesão	V	VIII	IX	IX	IX	X	
C	argilas, solos ou aterros	VII	IX	X	X	X	X	

Tabela 5 - Aceleração crítica correspondente a cada classe de suscetibilidade ao deslizamento. Segundo FEMA (2003).

	Classe de suscetibilidade											
	Nula	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
Acel. crítica (g)	0.00	0.60	0.50	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05	

Tabela 6 - Percentagem da área afetada em caso de ocorrência de deslizamento, para cada classe de suscetibilidade.

	Classe de suscetibilidade											
	Nula	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
percentagem	0.00	0.01	0.02	0.03	0.05	0.08	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	

2.4.1.2. Aplicação ao Concelho de Oeiras

Resulta da metodologia descrita no ponto anterior que a análise do risco sísmico associado à instabilidade de taludes num determinado local tem por base os valores de coesão e ângulo de atrito interno das formações geológicas presentes no local, e carece, por conseguinte, de um estudo geotécnico específico. À escala municipal apenas é viável uma análise genérica tendo em conta as características geológicas dominantes, a qual permite estimar a dimensão da exposição a este risco mas não deve substituir estudos à escala local, informados pela medição das características geotécnicas específicas.

O levantamento de deslizamentos de terreno no Concelho de Oeiras (Figura 17), levado a cabo em conformidade com o regime jurídico da Reserva Ecológica Nacional, revela que a área do Concelho é pouco suscetível a este risco. Com efeito, Ramos et al. (2010) atribuem suscetibilidade baixa ao Concelho de Oeiras, considerando que menos de 10% da sua área estão expostos ao fenómeno. A título de comparação, o mesmo estudo atribui ao Concelho de Loures suscetibilidade moderada (de 10% a 25% de área exposta), e ao Concelho de Mafra suscetibilidade elevada (de 25% a 50% de área exposta).

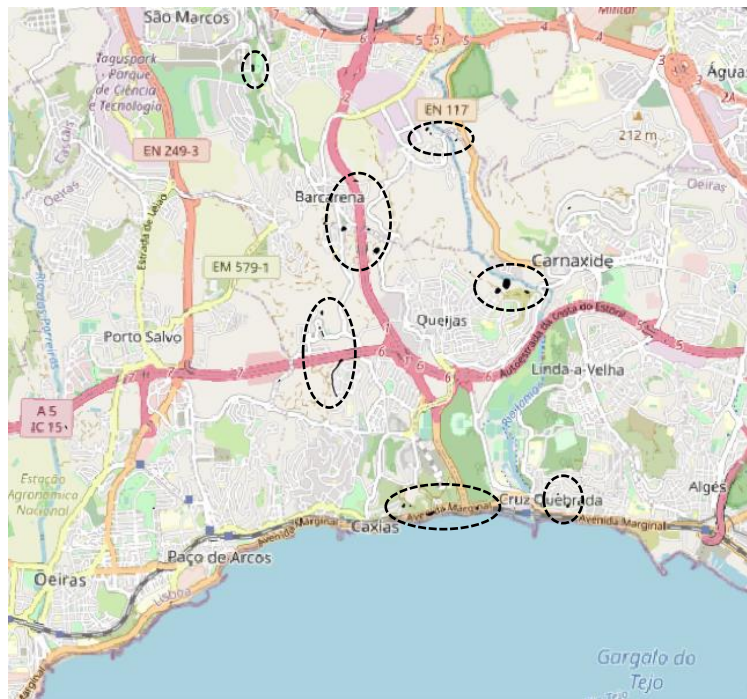


Figura 17 - Ocorrências passadas de deslizamentos de taludes. Fonte: Câmara Municipal de Oeiras. Base: OpenStreetMap.

A geologia do Concelho de Oeiras é dominada por formações de idade Mesozóica e Cenozóica, com destaque para os “calcários com rudistas” e os “calcários e margas do Belasiano” (Cretácico), o Complexo Vulcânico de Lisboa (Neocretácico), as “argilas dos Prazeres”, as “areólas da Estefânia” e os “calcários de Entre-Campos” (Miocénico). Acrescem as formações aluvionares que preenchem os vales das ribeiras, com destaque para o Vale do Jamor onde podem atingir localmente 25m de espessura. Pontualmente haverá a considerar a presença de aterros artificiais.

As diversas sondagens geotécnicas disponíveis para a área do Concelho de Oeiras revelam que com frequência as formações sedimentares miocénicas apresentam uma camada superficial muito alterada e decomposta, com coesão muito reduzida, atingindo uma espessura típica de aproximadamente 5m. As formações do Complexo Vulcânico de Lisboa, por sua vez, apresentam de modo geral intercalações de argilas basálticas que constituem níveis de elevada plasticidade, comprometendo assim a estabilidade dos maciços. As formações aluvionares apresentam, pela sua natureza, um mínimo de coesão, o mesmo podendo aplicar-se aos aterros.

A comparação da Figura 16 com a carta geológica revela que a incidência de deslizamentos de taludes no passado afectou principalmente formações do Complexo Vulcânico de Lisboa em vertentes sobranceiras aos vales fluviais (e.g., Rio Jamor em Carnaxide, ou Ribeira de Barcarena na localidade de mesmo nome), seguindo-se as argilas dos Prazeres junto à margem direita do Tejo (e.g. junto ao Passeio Marítimo Caxias-Cruz Quebrada). Assim, é adequado fazer a seguinte classificação das formações geológicas:

Classe A: rochas sedimentares de idade cretácica.

Classe B: rochas sedimentares de idade miocénica; Complexo Vulcânico de Lisboa.

Classe C: formações aluvionares e aterros.

2.4.1.3. Resultados

A classificação descrita no ponto anterior foi cruzada com o declive dos terrenos segundo o critério indicado na Tabela 1, obtendo-se dessa forma as classes de suscetibilidade ao deslizamento de taludes, para as duas situações consideradas quanto à profundidade do nível freático. Finalmente, a aceleração crítica correspondente a cada classe de suscetibilidade foi comparada com a aceleração de pico do solo com período de retorno de 475 anos para cada ponto numa malha regular de 8m por 8m, obtendo-se por essa via as cartas de probabilidade de ocorrência de deslizamentos de taludes com origem sísmica representadas na Figura 17, na elaboração das quais foi levada em linha de conta a Tabela 3.

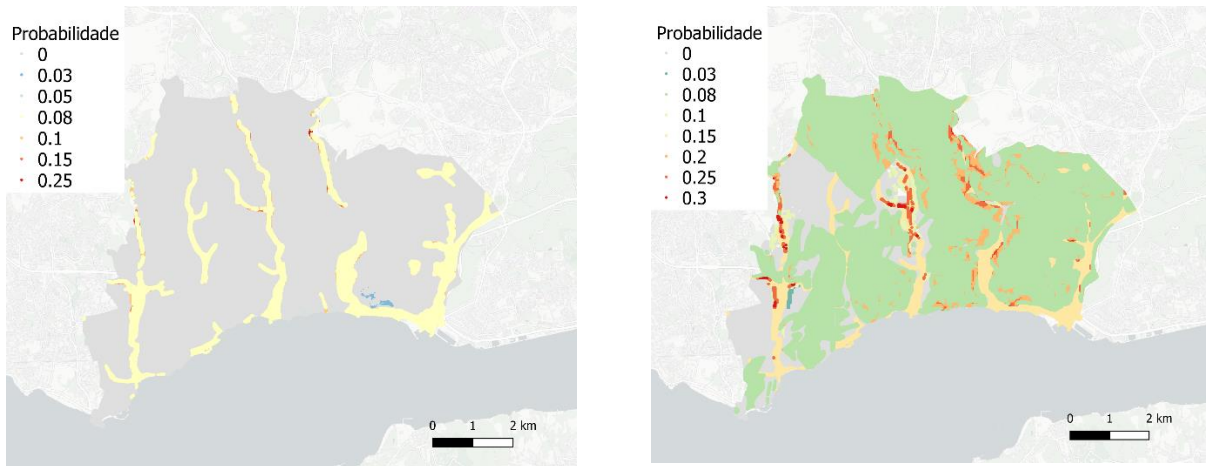


Figura 18 - Carta de probabilidade de ocorrência de deslizamentos de taludes com origem sísmica, em condições secas (à esquerda) e em condições saturadas (à direita).

2.5. ELEMENTOS EXPOSTOS OU EM RISCO

No contexto da modelação do risco sísmico para o concelho de Oeiras foi definido um modelo de exposição (Figura 19). Entende-se como modelo de exposição um conjunto de elementos expostos agrupados de acordo com sua localização geográfica, taxonomia e valor. Foram definidos modelos de exposição para a população residente e presente, parque edificado, rede rodoviária e ferroviária, rede de telecomunicações, rede elétrica, rede de gás, rede de abastecimento de água e saneamento de águas residuais e atividade económica.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<nrm1 xmlns="http://openquake.org/xmlns/nrm1/0.4">
  <exposureModel id="ex1" category="buildings" taxonomySource="GEM taxonomy">
    <description>Modelo de exposição do concelho de Oeiras.</description>
    <conversions>
      <costTypes>
        <costType name="structural" type="per_asset" unit="EUR"/>
        <costType name="nonstructural" type="per_asset" unit="EUR"/>
        <costType name="contents" type="per_asset" unit="EUR"/>
        <costType name="business_interruption" type="per_asset" unit="EUR/month"/>
      </costTypes>
    </conversions>
    <assets>
      <asset id="1" number="1" taxonomy="C">
        <location lon="-9" lat="40" />
        <occupancies>
          <occupancy occupants="6" period="day"/>
          <occupancy occupants="11" period="night"/>
        </occupancies>
      </asset>
    </assets>
  </exposureModel>
</nrm1>
```

Figura 19 - Exemplo do modelo de exposição

Nos pontos seguintes descrevem-se os dados base, a metodologia e os resultados para os vários conjuntos de elementos expostos analisados até ao momento.

2.5.1. População Residente e Presente

2.5.1.1. DADOS BASE

Para o modelo de exposição da população foi definido o parâmetro “occupants”. Este parâmetro define o número de pessoas que podem existir dentro de um edifício ou de uma subsecção estatística. O número de ocupantes foi armazenado em consonância com dois intervalos de tempo: dia e noite. A população presente (dia) corresponde genericamente ao número de pessoas que se encontram numa unidade alojamento (neste caso generalizado para o edifício), mesmo que aí não residam, ou que, mesmo não estando presentes lá chegam até às 12 horas desse dia (INE, 2003). A população residente (noite) corresponde à população censitária residente.

Os dados para o cálculo da população residente e presente têm origem nas fichas de edifício e nas subsecções estatísticas da Base Geográfica de Referência de Informação dos Censos de 2011. A base cartográfica do edificado foi fornecida pela Câmara Municipal de Oeiras, correspondendo a um tema de polígonos à escala 1:2000. Para a estimativa do pessoal ao serviço dos estabelecimentos foi utilizado um tema de pontos com localização dos estabelecimentos e respetiva classificação da atividade económica, uma listagem de empresas e um quadro com o pessoal ao serviço dos estabelecimentos por localização geográfica e atividade económica.

Tabela 7 – Dados base

Dados	Temas	Formato	Ano	Origem
Construcoes_sum86014.shp	Construções	ESRI Shapefile		CMO
BGE_Oeirasv5_Sum28247	Edifícios - Base Geográfica de Referência de Informação	ESRI Shapefile	2011	CMO
BGRI2001	Subsecções - Base Geográfica de Referência de Informação	ESRI Shapefile	2001	CMO
DensidadePopulacao_freguesia	Freguesias - Base Geográfica de Referência de Informação	ESRI Shapefile	2011	CMO
BGRI2011	Subsecções - Base Geográfica de Referência de Informação		2011	
ae_2	Localização pontual - Atividades Económicas	ESRI Shapefile	2018	CMO
Listagem_Empresas2018_InformaDB	Listagem de empresas	Excel	2018	CMO
Pessoal ao serviço dos estabelecimentos por Localização geográfica (NUTS - 2013) e Atividade económica (CAE Rev. 3)	Nº	CSV	2018	INE

2.5.1.2. METODOLOGIA

A abordagem metodológica para a estimativa da população presente no concelho de Oeiras,   escala do edifício, seguiu uma adaptação das metodologias propostas por Sleeter&Wood (2006) e Freire (2007). Com base nos dados censitários de 2011, a estimativa da população diurna considerou a população com deslocações de saída e a população com deslocações de entrada ao edifício. A estimativa da população diurna foi realizada com recurso a 3 iterações (Figura 20). A primeira iteração representa todas as pessoas que não estão empregadas ou estão na escola e que se presume que permaneçam na residência. Como estes dados não existem à escala do edifício, foram obtidos através dos dados estatísticos disponíveis   subsecção estatística, alocando-se a cada edifício o valor médio obtido por alojamento. Na segunda iteração, são utilizados dados administrativos relativa ao número de empregados\estudantes que são associados a cada registo da base de dados de comércio e serviços. Para os registos de comércio e serviços onde não foi possível efetuar a associação, estabeleceu-se um valor médio, obtido a partir do pessoal ao serviço dos estabelecimentos por classificação da atividade econ mica. A terceira iteração estima a população diurna através da diferença entre a população móvel com deslocações de saída e a população móvel com deslocações de entrada.

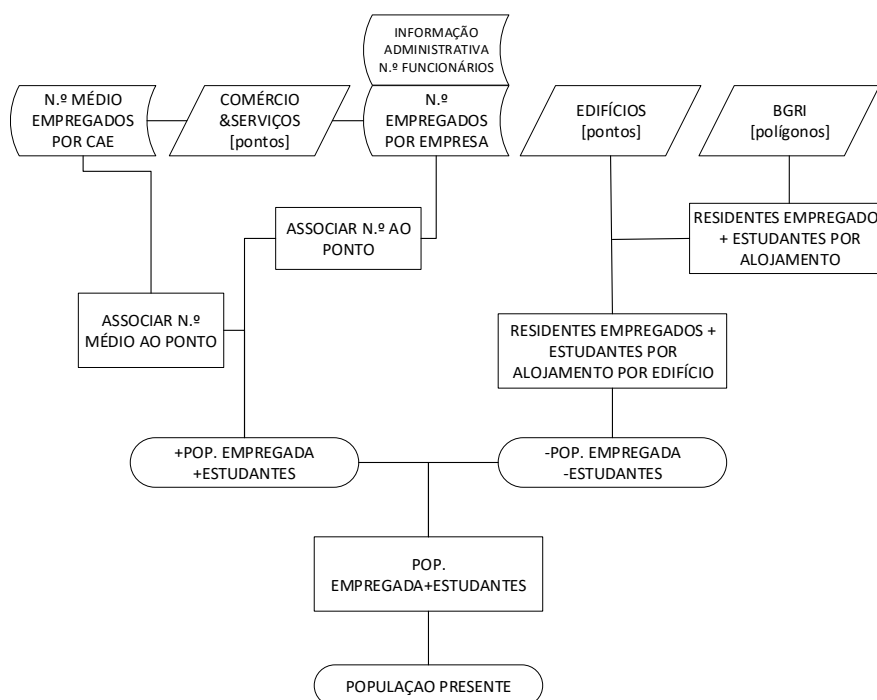


Figura 20 - Abordagem metodológica para a estimativa da população presente

Para a população noturna considerou-se a população residente obtida nos Censos de 2011 ao edifício. Para o modelo de exposição foram definidos dois conjuntos de dados matriciais obtidos por agregação do tema de pontos dos edifícios para uma quadrícula de 10x10 m e 25x25m.

2.5.1.3. RESULTADOS

O concelho de Oeiras registou nas últimas décadas uma taxa de crescimento da população localmente empregada bastante superior à verificada na população residente empregada (Tabela 8). Apresenta ainda um aumento significativo do índice de polarização de emprego e da atração de empregos e uma diminuição da taxa de repulsão de empregados.

Tabela 8 – Movimentos pendulares para o concelho de Oeiras

Movimentos pendulares	Empregados			Estudantes		
	1991	2001	2011	1991	2001	2011
“Entradas” no concelho	18178	35278	76325	1299	4947	6432
“Saídas” do concelho	43727	43708	41713	6986	6280	10199

Fonte: INE

Os resultados referentes à estimativa da população presente no concelho de Oeiras para a quadrícula de 25x25m, refletem a elevada atração de empregados traduzido num incremento populacional de 14,5% face à população residente (Tabela 9). O valor total estimado para a população presente é de 197.085 pessoas, encontrando-se este valor coerente com o balanço entre as “Entradas” e “Saídas” no concelho.

Tabela 9 – População residente e presente estimada por freguesia a partir da quadrícula de 25x25m

Freguesias	População Residente ¹	População Presente ²
Barcarena	13861	14688
Porto Salvo	15156	24789
União das freguesias de Algés, Linda-a-Velha e Cruz Quebrada-Dafundo	48665	55739
União das freguesias de Carnaxide e Queijas	36288	37291
União das freguesias de Oeiras e São Julião da Barra, Paço de Arcos e Caxias	58160	64578
TOTAL	172130	197085

No que se refere à distribuição espacial da população presente (Figura 21), verifica-se que em todas as freguesias a estimativa da população presente é superior à população residente (Figura 22). A

¹ A população residente foi obtida a partir dos dados registados no questionário de EDIFÍCIO do V recenseamento geral da habitação. Foi utilizada esta fonte para efeitos de modelação dos danos à escala do edifício. O total não coincide com os resultados definitivos. Em 2019, a população prevista pelo I.N.E. é de 177408 habitantes.

² A população presente resultou do balanço entre a população que trabalha ou estuda (saída) e o pessoal ao serviço dos estabelecimentos (entrada) por atividade económica (CAE Rev. 3), do I.N.E., à escala do edifício. A distribuição das entradas teve em consideração o levantamento e classificação da atividade económica da Câmara Municipal de Oeiras. Foi utilizada esta fonte para efeitos de modelação dos danos à escala do edifício. Os valores calculados resultam dos pressupostos descritos na metodologia.

maior diferença entre a população residente e população presente, verifica-se nas freguesias de Porto Salvo e na União das freguesias de Algés, Linda-a-Velha e Cruz Quebrada-Dafundo, refletindo a elevada polarização do emprego nos centros de escritórios e parques empresariais aí existentes (Taguspark, Lagoas Park, Parque Suécia, Arquiparque...). Com menor expressão na diferença entre a população residente e população presente, apresentam-se as freguesias de Barcarena e a União das freguesias de Carnaxide e Queijas.

A distribuição espacial população residente no concelho de Oeiras para a quadrícula de 25x25m, reflete a distribuição do edificado pelas suas diferentes tipologias. Verificam-se as maiores concentrações populacionais nos núcleos habitacionais de elevada densidade populacional existentes nos lugares de Oeiras, Linda-a-Velha, Paço de Arcos, Carnaxide, Algés, Outurela-Portela ou Miraflores (Figura 22).

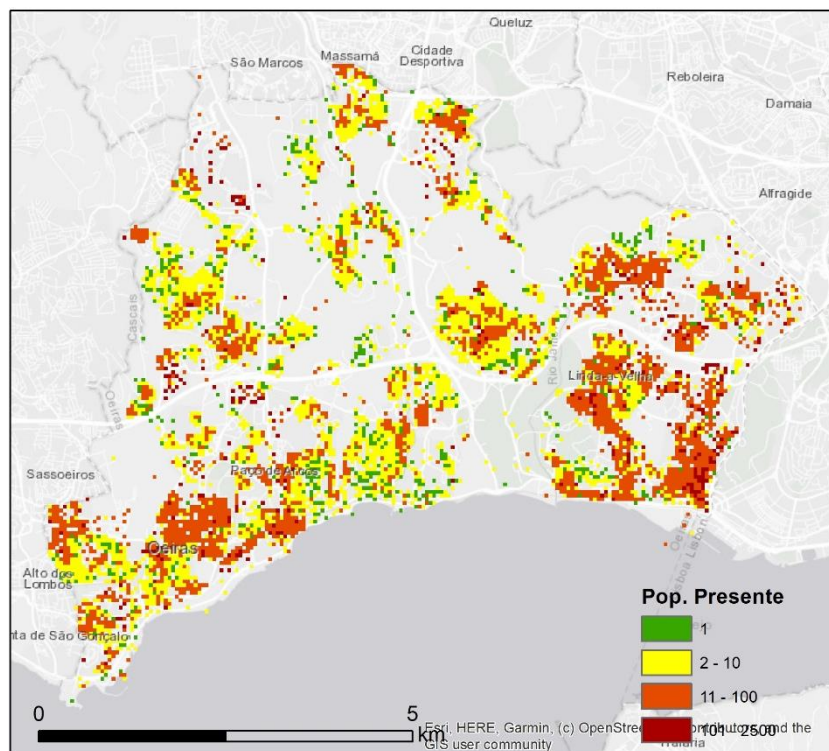


Figura 21 – População presente para o concelho de Oeiras em 2011 em quadrícula de 25x25m

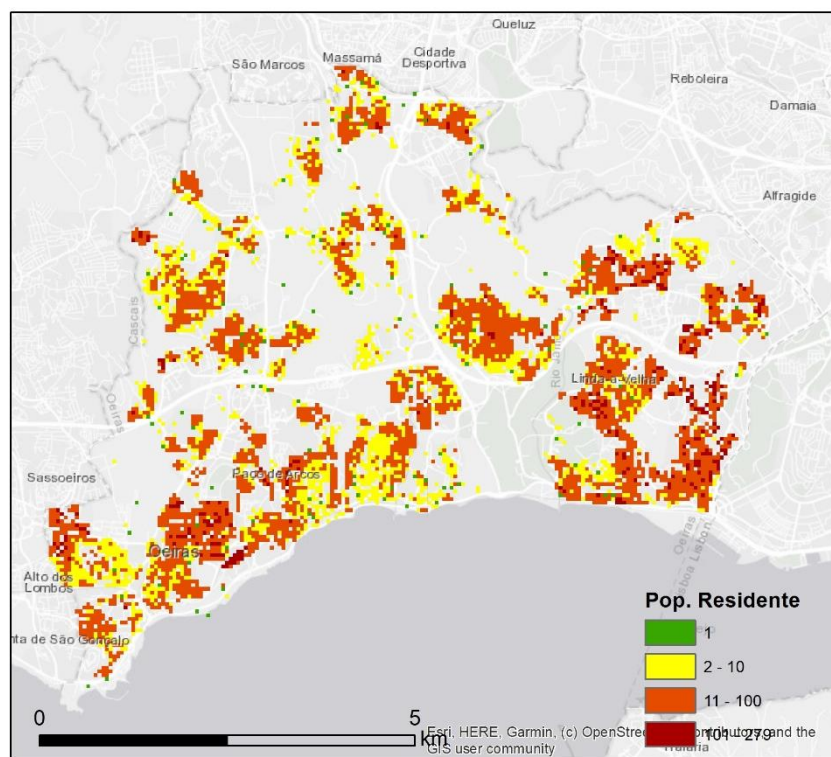


Figura 22 – População residente para o concelho de Oeiras em 2011 em quadrícula de 25x25m

2.5.2. Parque Edificado

2.5.2.1. DADOS BASE

A caracterização do parque edificado do concelho de Oeiras teve como base os dados constantes no questionário de edifício do V recenseamento geral da habitação, realizado em 2011. A Tabela 10 resume os dados utilizados na caracterização do parque edificado.

Tabela 10 – Dados utilizados na caracterização do parque edificado

Dados	Temas	Formato	Ano	Origem
Construcoes_sum86014.shp	Construções	ESRI Shapefile		CMO
BGE_Oeirasv5_Sum28247	Edifícios - Base Geográfica de Referência de Informação	ESRI Shapefile	2011	CMO

2.5.2.2. RESULTADOS

O parque edificado encontra-se descrito pelos grupos de dados BGE_Oeirasv5_Sum28247 e Construcoes_sum86014. Procedeu-se à subdivisão desses grupos de dados de acordo com a taxonomia adotada por LNEC (LNEC, 2005), resultante da taxonomia adotada em HAZUS (FEMA, 2003, conjugando as tipologias construtivas (Tabela 11) e o número de pisos, em consonância com os atributos dos grupos de dados anteriores (Tabela 13).

Tabela 11 - Tipologias construtivas do parque edificado.

Classe	Designação	Descrição
A	ATAIv	Adobe+Taipa+Alvenaria de Pedra
B	Alvenaria<1960	Alvenaria <= 1960
C	Alvenaria 61-85	Alvenaria 1961-1985
D	Alvenaria>1986	Alvenaria >1986
E	RC<1960	Betão Armado <= 1960
F	RC 1961-85	Betão Armado 1961-1985
G	RC>1986	Betão Armado >1986

Tabela 12 - Sub-classes, em função do número de pisos do parque edificado.

Classe	Número de Pisos
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5 a 7
6	7 a 15
7	>15

Tabela 13 - Variáveis e valores existentes nos grupos de dados disponibilizados.

estrutura	epoc_const	n_pisos
Estruturas de Betão Armado	<1919	número inteiro >1
Paredes de alvenaria com placa	1919 – 1945	
Paredes de alvenaria sem placa	1946 – 1960	
Paredes de adobe, taipa, alvenaria de pedra	1961 – 1970	
Outros	1971 – 1980	
	1981 – 1990	
	1991 – 2000	
	2001 – 2005	
	2006 – 2011	

Na Figura 23 pode se observar a distribuição do edificado por tipo de construção e por data de construção. Como esperado o tipo mais comum é a estrutura de betão armado. Na Figura 24, e a título ilustrativo, apresenta-se a distribuição dos edifícios em betão armado pelo número de pisos. A grande maioria corresponde a edifícios com menos do que 5 pisos.

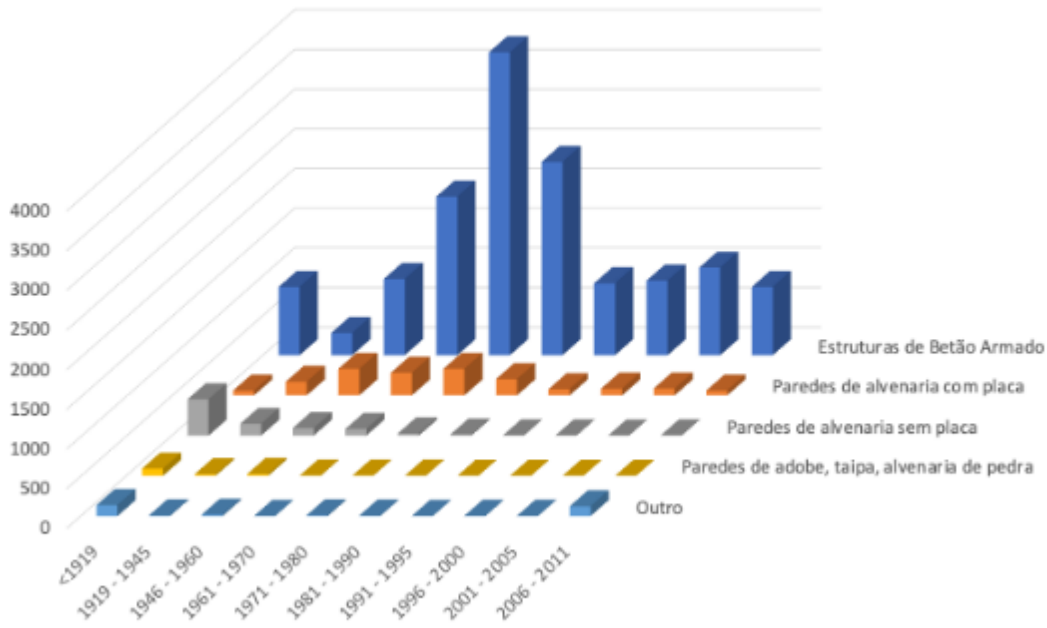


Figura 23 - Distribuição dos edifícios por tipos e data de construção.

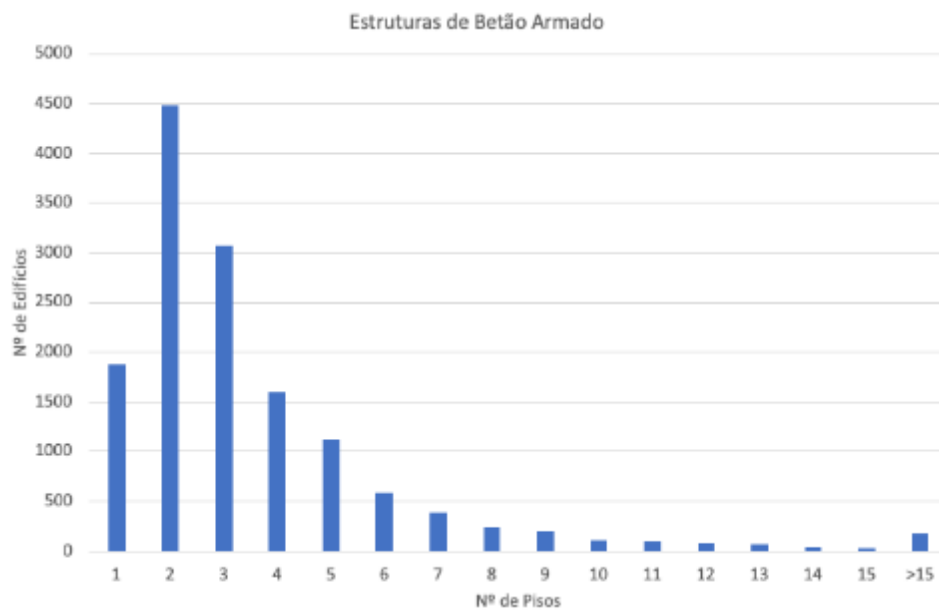


Figura 24 - Distribuição dos edifícios de Betão Armado pelo número de pisos.

A correspondência entre os atributos dos grupos de dados e as tipologias consideradas para efeitos das funções de vulnerabilidade e fragilidade encontra-se apresentada na Tabela 14.

Tabela 14 - Correspondência entre os valores dos dados e as tipologias consideradas.

		<1919	1919 - 1945	1946 - 1960	1961 - 1970	1971 - 1980	1981 - 1990	1991 - 1995	1996 - 2000	2001 - 2005	2006 - 2011	
Tipologia de Estrutura	Estruturas de Betão Armado	1	RC<1960	RC<1960	RC 1961-85	RC 1961-85	RC 1961-85	RC>1986	RC>1986	RC>1986	RC>1986	
		2	RC<1960	RC<1960	RC 1961-85	RC 1961-85	RC 1961-85	RC>1986	RC>1986	RC>1986	RC>1986	
		3	RC<1960	RC<1960	RC 1961-85	RC 1961-85	RC 1961-85	RC>1986	RC>1986	RC>1986	RC>1986	
		4	RC<1960	RC<1960	RC 1961-85	RC 1961-85	RC 1961-85	RC>1986	RC>1986	RC>1986	RC>1986	
		5 a 7	RC<1960	RC<1960	RC 1961-85	RC 1961-85	RC 1961-85	RC>1986	RC>1986	RC>1986	RC>1986	RC>1986
		7 a 15	RC<1960	RC<1960	RC 1961-85	RC 1961-85	RC 1961-85	RC>1986	RC>1986	RC>1986	RC>1986	RC>1986
		>15	RC<1960	RC<1960	RC 1961-85	RC 1961-85	RC 1961-85	RC>1986	RC>1986	RC>1986	RC>1986	RC>1986
Paredes de alvenaria com placa	1	Alvenaria<1960	Alvenaria<1960	Alvenaria<1960	Alvenaria 61-85	Alvenaria 61-85	Alvenaria 61-85	Alvenaria >1986	Alvenaria >1986	Alvenaria >1986	Alvenaria >1986	
	2	Alvenaria<1960	Alvenaria<1960	Alvenaria<1960	Alvenaria 61-85	Alvenaria 61-85	Alvenaria 61-85	Alvenaria >1986	Alvenaria >1986	Alvenaria >1986	Alvenaria >1986	
	3	Alvenaria<1960	Alvenaria<1960	Alvenaria<1960	Alvenaria 61-85	Alvenaria 61-85	Alvenaria 61-85	Alvenaria >1986	Alvenaria >1986	Alvenaria >1986	Alvenaria >1986	
	4	Alvenaria<1960	Alvenaria<1960	Alvenaria<1960	Alvenaria 61-85	Alvenaria 61-85	Alvenaria 61-85	Alvenaria >1986	Alvenaria >1986	Alvenaria >1986	Alvenaria >1986	
	5 a 7	Alvenaria<1960	Alvenaria<1960	Alvenaria<1960	Alvenaria 61-85	Alvenaria 61-85	Alvenaria 61-85	Alvenaria >1986	Alvenaria >1986	Alvenaria >1986	Alvenaria >1986	
	7 a 15	Alvenaria<1960	Alvenaria<1960	Alvenaria<1960	Alvenaria 61-85	Alvenaria 61-85	Alvenaria 61-85	Alvenaria >1986	Alvenaria >1986	Alvenaria >1986	Alvenaria >1986	
	>15	Alvenaria<1960	Alvenaria<1960	Alvenaria<1960	Alvenaria 61-85	Alvenaria 61-85	Alvenaria 61-85	Alvenaria >1986	Alvenaria >1986	Alvenaria >1986	Alvenaria >1986	
Paredes de alvenaria sem placa	1	ATAV	Alvenaria<1960	Alvenaria<1960	Alvenaria 61-85	Alvenaria 61-85	Alvenaria 61-85	Alvenaria >1986	Alvenaria >1986	Alvenaria >1986	Alvenaria >1986	
	2	ATAV	Alvenaria<1960	Alvenaria<1960	Alvenaria 61-85	Alvenaria 61-85	Alvenaria 61-85	Alvenaria >1986	Alvenaria >1986	Alvenaria >1986	Alvenaria >1986	
	3	ATAV	Alvenaria<1960	Alvenaria<1960	Alvenaria 61-85	Alvenaria 61-85	Alvenaria 61-85	Alvenaria >1986	Alvenaria >1986	Alvenaria >1986	Alvenaria >1986	
	4	ATAV	Alvenaria<1960	Alvenaria<1960	Alvenaria 61-85	Alvenaria 61-85	Alvenaria 61-85	Alvenaria >1986	Alvenaria >1986	Alvenaria >1986	Alvenaria >1986	
	5 a 7	ATAV	Alvenaria<1960	Alvenaria<1960	Alvenaria 61-85	Alvenaria 61-85	Alvenaria 61-85	Alvenaria >1986	Alvenaria >1986	Alvenaria >1986	Alvenaria >1986	
	7 a 15	ATAV	Alvenaria<1960	Alvenaria<1960	Alvenaria 61-85	Alvenaria 61-85	Alvenaria 61-85	Alvenaria >1986	Alvenaria >1986	Alvenaria >1986	Alvenaria >1986	
	>15	ATAV	Alvenaria<1960	Alvenaria<1960	Alvenaria 61-85	Alvenaria 61-85	Alvenaria 61-85	Alvenaria >1986	Alvenaria >1986	Alvenaria >1986	Alvenaria >1986	
Paredes de adobe, taipa, alvenaria de pedra	1	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	
	2	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	
	3	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	
	4	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	
	5 a 7	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	
	7 a 15	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	
	>15	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	ATAV	

Apesar de os dados censitários estarem dirigidos para os edifícios habitacionais, foram integrados nos elementos expostos os edifícios com outras utilizações. Esta integração foi elaborada a partir dos dados cartográficos à escala 1:2000, tendo-se obtido a data de construção a partir da data da licença de construção, e o número de pisos e o estado de conservação a partir do inventário de edifícios fornecido pela C.M.O..

2.5.3. Infraestruturas

Integram o modelo de exposição das infraestruturas, a rede de eletricidade, rede de gás, rede de distribuição de água, rede de saneamento, rede de telecomunicações e redes rodoviária\ferroviária (pontes e viadutos).

2.5.3.1. DADOS BASE

Os dados base para definição do modelo de exposição das infraestruturas, dizem respeito à rede de eletricidade, rede de gás, rede de distribuição de água, rede de saneamento, rede de telecomunicações e redes rodoviária\ferroviária (pontes e viadutos). Na Tabela 15, encontram-se listados os dados base utilizados no modelo de exposição das infraestruturas.

Tabela 15 – Dados base utilizados no modelo de exposição

Dados	Categoria	Formato	Ano	Origem
RedeIP_Especial_EDP.shp	Eletricidade	ESRI Shapefile		CMO
RedeTroco_BT_IP_EDP.shp	Eletricidade	ESRI Shapefile		CMO
RedeTroco_IP_EDP.shp	Eletricidade	ESRI Shapefile		CMO
Ramal_GALP.shp	Gás	ESRI Shapefile		CMO
Tubagem_GALP.shp	Gás	ESRI Shapefile		CMO
Troco_Coletor_Municipal.shp	Saneamento	ESRI Shapefile		CMO
Troco_Conduta.shp	Saneamento	ESRI Shapefile		CMO
conduta_first_rule.shp	Telecomunicações	ESRI Shapefile		CMO
conduta_nos.shp	Telecomunicações	ESRI Shapefile		CMO
conduta_oni.shp	Telecomunicações	ESRI Shapefile		CMO
Ramais_Sensíveis_IPID.shp	Água	ESRI Shapefile		CMO
VASUBSISTEMA.shp	Água	ESRI Shapefile		CMO
Condutas_Adutoras_SIMAS.shp	Água	ESRI Shapefile		CMO
Condutas_Ramal_SIMAS.shp	Água	ESRI Shapefile		CMO
Condutas_SIMSA.shp	Água	ESRI Shapefile		CMO
RedeRodoFerroviaria.shp	Rodoviária\Ferroviária	ESRI Shapefile		CMO
ObrasArte_join.shp	Rodoviária\Ferroviária	XLS		CMO

2.5.3.2. RESULTADOS

ABASTECIMENTO DE ÁGUA

A rede de abastecimento de água encontra-se descrita por elementos geograficamente discretos, agrupados no conjunto de dados aqui designado por **recintos**, e por elementos geograficamente contínuos, as condutas enterradas (**elementos contínuos**). Procedeu-se de seguida a uma descrição abreviada destes dois grandes grupos de dados.

Considerando os elementos contínuos, verifica-se que os respetivos dados se encontram divididos em 3 grandes grupos: Condutas_Adutoras_SIMAS, Condutas_Ramal_SIMAS e Condutas_SIMAS, representados no seu conjunto no mapa que consta da Figura 25.



Figura 25 - Mapa com as condutas enterradas da rede de abastecimento de água (transporte e distribuição).

Apresenta-se de seguida a análise dos atributos mais relevantes das condutas enterradas do sistema de abastecimento de água.

O grupo de dados **Condutas_Adutoras_SIMAS** apresenta para cada conduta, os seguintes atributos mais relevantes tendo em conta os objetivos do presente estudo:

- Identificador ANO_DE_INS (ano de instalação?)
- Identificador ESTADO_DE_ (estado de uso, Cadastro, Projeto e Fora de Serviço)
- Identificador SISTEMA (EPAL e SMAS Oeiras e Amadora)
- Identificador AREA_DA_SE (área da seção, m²)
- Identificador COMPRIMENT (comprimento, m)
- Identificador SECCAO1__M (diâmetro exterior, mm)
- Identificador DIAMETRO_I (diâmetro interior, mm)
- Identificador MATERIAL (Aço, Betão armado, Ferro fundido, Ferro fundido dúctil, Fibrocimento, Polietileno de alta densidade)
- Identificador AB_MATERIA (abreviatura do material: AC, BA, FC, FD, FF, PEA)

A importância de cada combinação diâmetro-material pode ser aferida pelo comprimento total de troços dessa natureza, podendo obter-se os resultados que constam da Tabela 16.

Tabela 16 - Distribuição em comprimento de condutas, por material e diâmetro.

Material	Diâmetro (mm)	Comprimento total (m)
Aço		1621.8
	1000	1621.8
Betão armado		20236.85
	500	4664.55
	600	5166.9
	1000	10405.4
Ferro fundido		530.02
	300	396.31
	400	133.71
Ferro fundido dúctil		20812.06
	200	18.98
	250	2190.28
	300	45.92
	350	1071.31
	400	5854.88
	450	1459.53
	500	430.21
	600	4999.26
	1200	4741.69
Fibrocimento		5294.8
	100	15.13
	150	3.5
	175	158.8
	200	9.03
	250	594.63
	300	264.92
	400	2690.48
	450	1556.64
	600	1.67
Polietileno de alta densidade		3973.93
	160	788.46
	200	214.13
	250	293.5
	315	369.43
	355	1111.43
	400	903.52
	450	57.78
	500	12.4
	560	223.28
TODOS		52469.46

De igual forma o grupo de dados Condutas_Ramal_SIMAS apresenta para cada conduta, os seguintes atributos mais relevantes:

- Identificador DATA_DE_AC (várias datas)
- Identificador ENTIDADE_A (Não conhecido)
- Identificador ESTADO_DE_ (Cadastro)
- Identificador COMPRIMENT (comprimento, em m)
- Identificador DIAMETRO__ (Diâmetro exterior, mm)

- Identificador MATERIAL (Ferro galvanizado, Não Conhecido, Polietileno de alta densidade, Policloreto de vinilo)
- Identificador AB_MATERIA (abreviatura material: NC, FG, NC, PEA, PVC)
- Identificador PROFUNDIDA (profundidade, de 0 a 1m)
- Identificador TIPO_RAMAL (Boca de Rega, Equipamento, Não conhecido, Obra, Plurifamiliar, Unifamiliar)

Apresenta-se na Tabela 17 a contribuição em termos do comprimento total de cada combinação diâmetro-material.

Tabela 17 - Distribuição em comprimento de condutas, por material e diâmetro.

Material	Diâmetro (mm)	Comprimento total (m)
Ferro galvanizado		0
	76	0
Não conhecido		113.68
	0	56.58
	40	57.1
Policloreto de vinilo		111.8
	32	24.3
	50	36.76
	63	50.74
	75	0
Polietileno de alta densidade		1754.63
	0	42.38
	20	33.8
	25	48.34
	32	1237.85
	40	77.11
	50	183.05
	63	107.68
	110	24.42
Todos		1980.11

Finalmente, o grupo de dados Condutas_SIMAS, muito mais numeroso do que os anteriores em virtude de se tratar essencialmente da rede de distribuição, apresenta para cada conduta, os seguintes atributos mais relevantes:

- Identificador ANO_DE_INS (ano de instalação, 1950 a D2018)
- Identificador ANO_LIMITE (ano limite, 1950 a 2018)
- Identificador ANO_LIMIT1 (ano limite, 1950 a 2020)
- Identificador DATA_INSTA (data de instalação 1970 a 2017)
- Identificador ESTADO_DE_ (cadastro ou fora de serviço)
- Identificador SISTEMA (EPAL ou SMAS Oeiras e Amadora)
- Identificador FREGUESIA (freguesias, de Oeiras)
- Identificador COTA_DO_TE (cota do terreno, 0m a 156m)

- Identificador ENTIDADE_P (Administração Central, Câmara Municipal, SMAS, etc.)
- Identificador COMPRIMENT (comprimento, m)
- Identificador DIAMETRO__ (Diâmetro exterior, mm, 0 a 600)
- Identificador DIAMETRO_I (Diâmetro interior, mm, 0 a 600)
- Identificador ESTADO_OPE (Aberta, Fechada, NC)
- Identificador MATERIAL (material: Ferro fundido, Ferro fundido dúctil, Ferro galvanizado, Fibrocimento, Hostalene (variante de PEAD), Polietileno de alta densidade, Polietileno de baixa densidade, Policloreto de vinilo)
- Identificador AB_MATERIA (FC, FD, FG, FF, HOST, PEA, PEB, PVC)

Apresenta-se na Tabela 18 a contribuição em termos do comprimento total de cada combinação diâmetro-material.

Tabela 18 - Distribuição em comprimento de condutas, por material e diâmetro.

Material	Diâmetro (mm)	Comprimento total (m)	Cont.	Material	Diâmetro (mm)	Comprimento total (m)
Ferro fundido		592.6	Hostalene			172.2
	60	5		50	172.2	
	80	151.6		Policloreto de vinilo		227738.9
	100	201.7			25	183.7
	125	166.3			32	226
	150	40.8			40	294
	200	14.7			50	1479.8
600	12.5	51	348.6			
Ferro fundido dúctil		27128.4	60	236.1		
	50	25	63	9136.7		
	60	46	64	4.8		
	80	274.6	75	15004.4		
	90	247.3	80	269.7		
	100	2629.8	90	30385.7		
	110	15.5	100	168		
	125	2327.8	108	4.6		
	150	1868.4	110	122513.2		
	200	4975.8	125	10991.9		
	250	1267.5	140	1074.6		
	300	2833.7	150	8.3		
	315	11.3	160	25766.4		
	350	1105.4	200	9400		
	400	6204.2	250	61.2		
	450	354.4	400	181.2		
500	2919.4			345278.7		
600	22.3	Poliétileno de alta densidade	0	64.5		
Ferro galvanizado			8023.5	25	262.6	
	19		254.9	32	3584.4	
	25		1246.6	40	1513	
	32		438.4	50	8497.3	
	38		2677.7	63	26082.9	
	44		1.6	75	1626.4	
	50		69.7	80	1.2	
	51		2912.3	90	6328.7	
	60		51.7	100	85.5	
	63		1.7	110	212359.2	
	64		113.4	125	7229.7	
	76		44	150	62	
	102		211.5	160	33568.8	
	Fibrocimento		55848.5	200	26791.4	
50		2080.2	250	5153		
60		11888.5	280	78.8		
63		3.5	300	3.9		
75		59.4	315	8493.7		
80		11198.1	355	524.8		
100		7536.2	400	2008.7		
110		10.3	450	440.5		
125		2752.5	500	517.7		
150		3814.1			657.4	
160		5.7	Poliétileno de baixa densidade	32	234.4	
175		0.8		50	326	
200		3974.1		90	26.1	
250		1283.1		160	7.9	
300		3313.8		200	13.8	
350		2940.2		250	3.9	
400		2913.4		315	30.3	
450	1421	450	15			
500	616			665440.2		
600	37.6	TODOS				

Relativamente aos componentes localizados, aqui agrupados no conjunto de dados identificado por **recintos**, verifica-se que o mesmo pode ser decomposto nos seguinte sub-grupos:

- Estações Elevatórias (EEs)– neste caso constituído por 3 ocorrências, a saber as EEs de Montijo e da Central dos Cedros, presumivelmente exploradas pelos SIMAS (Serviços

Intermunicipalizados de Água e Saneamento de Oeiras e Amadora), e a EE de Barcarena, presumivelmente explorada pela EPAL.

- Reservatórios – constituído por um total de 21 ocorrências, das quais 19 (Alto de Santa Catarina, Antas, Barcarena, Barcarena Antigo, Carnaxide, Carnaxide Antigo, Caxias, Figueirinha, Fonte de Maio, Leceia, Leceia (2ª ocorrência), Linda-a-Pastora, Linda-a-Velha, Porto Salvo, Queijas, Tagus Park, Tercena, Terrugem e Torneiro) serão exploradas pelos SIMAS e 2 (Alfragide e Vila Fria) exploradas pela EPAL.
- Furos de Captação – constituído por apenas 1 ocorrência, o Furo de Barcarena

Como se verá mais à frente, adotou-se no presente estudo a caracterização da vulnerabilidade sísmica conforme estipulado no HAZUS, o que releva da classificação dos elementos anteriores de forma muito genérica, geralmente atendendo à sua capacidade (expressa em termos do volume de água processado no espaço de um dia), à sua tipologia estrutural e material (no caso dos reservatórios distinguem os reservatórios enterrados, parcialmente enterrados, apoiados e elevados e o betão armado, aço ou madeira) e ao facto dos componentes críticos (mecânicos e elétricos) se encontrarem amarrados. Esta forma geral de caracterização da vulnerabilidade adequa-se à relativa escassez de informação caracterizadora dos referidos equipamentos localizados (recintos).

SANEAMENTO

À semelhança do verificado na rede de abastecimento de águas, a rede de saneamento pode ser decomposta nos componentes contínuos (geograficamente distribuídos), como sejam por exemplo condutas e coletores, e nos componentes discretos (geograficamente localizados), neste caso correspondentes às Estações Elevatórias de Águas Residuais (EEARs) e Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETARs).

A rede de saneamento compreende os seguintes grupos de dados geograficamente distribuídos (condutas, ou equivalentes):

- Troco_Conduta
- Troco_Coletor
- Troco_Coletor_Municipal

Procede-se de seguida a uma breve caracterização de cada um desses grupos de dados.

Troco Conduta

Constituído por 43 elementos (troços).

Informação de caracterização e identificação (datas, localização, etc.)

Comprimento, variável entre 0,03m e 2233,21m, comprimento total de 9127,72m

Diâmetro: variável entre 0 (desconhecido) e 630mm

Materiais: Betão Armado (BA), Ferro Fundido (FF), Ferro Fundido Dúctil (FD), Policloreto de Vinilo (PVC), Polietileno de Alta Densidade (PEA).

Tipo de junta: Argamassas de Cimento, Autoblocante, Electrosoldada e Soldadura Topo-a-Topo

Analisando a distribuição por atributos deste grupo de dados verifica-se que predomina largamente o material de Ferro Fundido Dúctil (FD, 6742,21m), seguido do Polietileno de Alta Densidade (PEA, 1779,5m). No referente a diâmetros verifica-se algum predomínio dos diâmetros de 450mm (2080,19m) e de 600mm (3327,56m).

Troco Coletor

Constituído por 1062 elementos (troços).

Informação de caracterização e identificação (datas, localização, cotas, etc.)

AREA_DA_SE (área da secção), variável entre 0m² (desconhecido) e 2,54m²

Comprimento, variável entre 0 m (desconhecido) e 1658,6m, comprimento total de 52.185,08m

Secção 1 variável entre 0m e 2200 (presume-se que unidades em mm)

Dimensão com casos que é descrita por um valor apenas (diâmetro, mm), de 200mm a 1800mm, e com outros casos, em muito menor quantidade (apenas 26 troços) em que é descrita por dois valores (dimensão de secção retangular) por vezes com a 2ª dimensão a zero (canal). Analisando com mais detalhe verifica-se o atributo AREA_DA_SE corresponde à área da secção em m².

Material, Betão Armado (BA), Betão Simples (BS), Ferro Fundido Dúctil (FD), Grés Cerâmico (GR), Policloreto de Vinilo (PVC), Poliéster Reforçado a Fibra de Vidro (PRV), Polietileno de Alta Densidade (PEA), Polipropileno Corrugado (Corrugado, PPC), Não conhecido (NC).

Tipo de junta: Diversas.

Analisando a distribuição de atributos, verifica-se que os materiais predominantes são o Betão Armado (BA, 15.666,14m), Betão Simples (BS, 4331,4m) e o Policloreto de Vinilo (PVC, 6697,01m). Quanto às secções predominantes, verifica-se 1800x0x0 (9704,22m) 1000 (8305,88m) e 400 (4283,47m).

Troco Coletor Municipal

Constituído por 38735 elementos (troços).

Informação de caracterização e identificação (datas, localização, cotas, etc.)

AREA_DA_SE (área da secção), variável entre 0m² (desconhecido) e 3,6m²

Comprimento, variável entre 0 m (desconhecido) e 696,57m), perfazendo uma extensão total de 914.899,02m.

Secção 1 variável entre 0m e 2500 (unidades de mm)

Dimensão com casos que é descrita por um valor apenas (diâmetro, mm), de 0mm a 2500mm, e com outros casos, em muito menor quantidade (apenas 26 troços) em que é descrita por dois valores (dimensão de secção retangular) por vezes com a 2ª dimensão a zero (canal). Analisando com mais detalhe verifica-se o atributo AREA_DA_SE corresponde à área da secção em m².

Material, Betão Armado (BA), Betão Simples (BS), Ferro Fundido Dúctil (FD), Grés Cerâmico (GR), Policloreto de Vinilo (PVC), Poliéster Reforçado a Fibra de Vidro (PRV), Polietileno de Alta Densidade (PEA), Polipropileno Corrugado (Corrugado, PPC), Não conhecido (NC).

Tipo de junta: Diversas.

Analisando a distribuição de atributos, verifica-se que os materiais predominantes são o Betão Armado (BA, 15.666,14m), Betão Simples (BS, 4331,4m) e o Policloreto de Vinilo (PVC, 6697,01m). Quanto às secções predominantes, verifica-se 1800x0x0 (9704,22m) 1000 (8305,88m) e 400 (4283,47m).

Quanto aos grupos de dados geograficamente localizados, foram disponibilizados os seguintes: Saneamento_SIMAS e Saneamento_ATA.

O grupo de dados Saneamento_SIMAS compreende um total de 13 ocorrências, das quais estão explicitamente identificadas 9 como tendo a função “Elevação” (EEARs), sendo omissa a função nas restantes 4 ocorrências, pelo que se presumiu tratarem-se também de EEARs. Essas ocorrências encontram-se identificadas em termos geográficos (e municipal, indicando a freguesia, localidade e arruamento), procedendo-se ainda à identificação do Sistema (Algés, Barcarena, Jamor, Laje e SANEST) e subsistema (redundante).

O grupo de dados Saneamento_ATA é constituído por 4 ocorrências, todas Estações Elevatórias de Águas Residuais (EEARs), nomeadamente do Jamor, Barcarena, Paço de Arcos e Laje, julga-se que todas exploradas pelas Águas do Tejo Atlântico.

GÁS

Como referido, foram disponibilizados dois grupos de dados referentes à rede de gás, designadamente os grupos Ramal_GALP e Tubagem_GALP. Tomaram-se como referência as propostas da metodologia HAZUS para a avaliação da vulnerabilidade sísmica referentes a essas infraestruturas, identificadas por “Natural Gas System”, à luz da qual foram analisados alguns dos atributos dos componentes desta rede.

Segundo a metodologia HAZUS, a rede de infraestruturas de gás pode ser decomposta nas condutas enterradas (“buried pipelines”, que se considera aqui corresponderem às “tubagens”), condutas à superfície ou elevadas (“elevated pipelines”) e estações de compressão (“compressor stations”). Admite-se no HAZUS que as condutas enterradas são constituídas por condutas de aço soldadas, procedendo-se aí à distinção entre condutas com soldadura por arco elétrico ou com soldadura a gás (“arc-welded” ou “gas welded”). Proceder-se de igual forma nas condutas elevadas, que se julga não existirem no presente caso. Nas estações de compressão, não identificadas nos presentes grupos de dados, pelo que não serão feitas outras referências, procede-se a uma distinção de acordo com o facto das suas componentes se encontrarem ancoradas ou não.

No referente às condutas/tubagens, enterradas, o HAZUS indica que nos Estados Unidos na tecnologia atual de condutas predominam as condutas de aço macio com juntas soldadas por arco elétrico submerso, que terão sucedido à tecnologia de juntas soldadas por arco elétrico (não submerso).

Procedendo agora à análise do grupo de dados “Tubagens GALP”, composto por 25.504 troços, verifica-se que esse pode considerar-se subdividido (de acordo com o campo “TipoRede”) em dois grandes grupos “Gasoduto de 2ª Escalão”, constituído por apenas 33 troços, com pressão a 20 bar, condutas em Aço, diâmetros maiores (300 mm e 400 mm), sem indicação de comprimento, e “Rede de Distribuição Secundária” com pressões diferentes (22 mbar e 1,5 e 4 bar), materiais (Aço, Ferro Dúctil e PE, Polietileno) e diâmetros geralmente mais reduzidos do que o grupo anterior). Em muitos troços o comprimento é omissa (embora possa ser inferido da caracterização georreferenciada) e

o comprimento total dos troços (com comprimento não omissos) é de 8.019,29 m. Considerando nos casos omissos o comprimento a ser determinado com base na informação de georeferenciação, verifica-se que o comprimento total da rede é de 439.862,1 m, com um comprimento médio de troço de 17,247m. Considerando os comprimentos dos troços determinados da forma indicada, verifica-se que o material PE (Polietileno) é largamente dominante (94,8%), seguido do aço (4,67%) e com uma participação residual do Ferro Dúctil. Verifica-se assim que há algumas discrepâncias relativamente às características consideradas no HAZUS, designadamente no que se refere aos tipos de materiais. Julga-se ainda que a metodologia HAZUS é passível de ser ajustada, utilizando como referência a hierarquia de ductilidade/fragilidade adotada em outras redes, nomeadamente na rede de abastecimento de água.

ELETRICIDADE

Os grupos de dados disponibilizados no âmbito do *Estudo de Avaliação de Riscos Sísmico e de Tsunami no concelho de Oeiras* compreendem um grupo de dados correspondente às infraestruturas da rede de eletricidade (aqui também designada por rede elétrica), que se procura de seguida caracterizar.

Normalmente e a partir das fontes de produção de energia, pode considerar-se que a rede elétrica é subdividida nos elementos geograficamente (ou espacialmente) distribuídos, linhas elétricas, que podem ser em muito alta, alta, média ou baixa tensão e em elementos geograficamente discretos (subestações e/ou Postos de Transformação, PT). As linhas elétricas podem ser aéreas, superficiais (apoiadas) ou subterrâneas. Cada um desses três tipos de linhas pode ainda subdividir-se em classificações mais detalhadas (e.g., as linhas subterrâneas podem ser entubadas, em galeria ou simplesmente enterradas).

Os resultados da observação do efeito de sismos ocorridos no passado apontam para que os elementos mais vulneráveis aos sismos são os equipamentos das subestações, em particular os transformadores, podendo correlacionar-se os danos com o valor de pico da aceleração no solo (PGA). Esses resultados apontam ainda para que as linhas aéreas sejam pouco vulneráveis à ação dos sismos. Já as linhas apoiadas ou enterradas em (i) solos brandos, suscetíveis de liquefazer ou de sofrer deformações permanentes significativas, (ii) encostas com risco de deslizamento, ou (iii) zonas de transição entre estratos de rigidezes muito diferente, com potencial para deslizamentos nas interfaces, apresentam uma maior vulnerabilidade sísmica. Os danos em elementos geograficamente distribuídos podem ser correlacionados com os deslocamentos permanentes (devidos à liquefação, ao deslizamento de encostas ou a outros incidentes, não considerados explicitamente no presente estudo), correlacionados com o valor de pico do deslocamento no solo (PGD), ou com os efeitos inerciais, neste caso correlacionados com o valor de pico da aceleração no solo (PGA).

No caso em apreço verifica-se que o grupo de dados disponibilizado inicialmente era constituído por três sub-grupos de acordo com a seguinte identificação:

- RedeIP_Especial_EDP
- RedeTroco_BT_IP_EDP
- RedeTroco_IP_EDP

O sub-grupo RedeIP_Especial_EDP é constituído por 661 elementos, com apenas 4 atributos: wkt_geom, gid, Tipo e Potênciawkt_geom. Desses o único que se encontra preenchido e é relevante

é o Tipo, que considera as seguintes situações (entre parênteses o número de ocorrências): Olho de boi (370), Pimenteiro (76) e Projector (215). Conclui-se assim que se tratam de dispositivos geograficamente discretos de iluminação pública e/ou de distribuição, cuja vulnerabilidade sísmica se admite ser reduzida (e de impossível avaliação em face da informação disponibilizada).

O sub-grupo RedeTroco_BT_IP_EDP é constituído por 4.401 elementos, com apenas 4 atributos: wkt_geom, gid, Tipo e Compriment. Desses o único que se encontra preenchido e é relevante é o Tipo, que considera as seguintes situações (entre parênteses o número de ocorrências): Aéreo (1.050), Subterrâneo (3.344), Subterrâneo em galeria (2) e Subterrâneo entubado (4). Conclui-se assim que se tratam de elementos de linhas elétricas. O comprimento total deste sub-grupo é de 407.539,24m, repartidos pelas várias tipologias da seguinte forma: Aéreo (72.512,75m); Subterrâneo (334.330,22m); Subterrâneo em Galeria (655,42m); Subterrâneo Entubado (40,85m), verificando-se assim uma grande predominância do Tipo Subterrâneo.

O sub-grupo de dados RedeTroco_IP_EDP é constituído por 16.102 elementos, com apenas 4 atributos: wkt_geom, gid, Tipo e Compriment. Desses o único que se encontra preenchido e é relevante é o Tipo, que considera as seguintes situações (entre parênteses o número de ocorrências): Aéreo apoiado (119), Aéreo pousado (735), Aéreo tendido (21), Subterrâneo (15.184, largamente predominante), Subterrâneo em galeria (9) e Subterrâneo entubado (34). Conclui-se assim que se tratam de elementos de linhas elétricas. O comprimento total deste sub-grupo de dados é de 578.547,96m, subdividido no que se refere ao atributo Tipo em Aéreo Apoiado (5.627,59m), Aéreo Pousado (5.629,43m), Aéreo Tendido (480,22m), Subterrâneo (560.076,79m), Subterrâneo em Galeria (4.507,49m), Subterrâneo Entubado (2.226,43m). Verifica-se assim que o Tipo Subterrâneo é largamente predominante.

Após a entrega inicial de elementos, foi disponibilizado um quarto grupo de dados, identificado por “Instalacoes_IP”, que continha um conjunto de equipamentos localizados. Concretamente, esse grupo de dados compreendia 543 Postos de Transformação (PTs), com uma caracterização muito ligeira, ou seja, a localização e um atributo “id_element” com um código “ptXXXX” (sendo XXXX um número) ou “pt inexistente”, “instalação privada”, “pt sem acesso”, “pt sem código e sem IP”, entre outros de menor relevância.

Tendo em conta o atrás exposto optou-se por considerar os elementos geograficamente distribuídos (linhas), superficiais ou enterrados, relevantes, assim como os PTs. Concretamente e reportando-nos aos sub-grupos de dados disponibilizados:

- RedeIP_Especial_EDP – não considerar nenhum elemento;
- RedeTroco_BT_IP_EDP – considerar os elementos cujo atributo Tipo é: Subterrâneo, Subterrâneo em galeria ou Subterrâneo entubado;
- RedeTroco_IP_EDP – considerar os elementos cujo atributo Tipo é: Aéreo apoiado, Aéreo pousado, Subterrâneo, Subterrâneo em galeria e Subterrâneo entubado.
- Instalacoes_IP – considerar todos os Postos de Transformação, PTs, em número de 543.

TELECOMUNICAÇÕES

Os elementos referentes às infraestruturas disponibilizados no âmbito do *Estudo de Avaliação de Riscos Sísmico e de Tsunami no concelho de Oeiras* compreendem um grupo de dados correspondente às infraestruturas da rede de telecomunicações, genericamente identificado por “Telecomunicacoes”.

Em estudos anteriores, em linha com as considerações do HAZUS a esse propósito, pode considerar-se para o efeito da perspetiva dos danos em redes de telecomunicações, que estas podem ser decompostas nos seguintes componentes:

- Escritórios (edifícios) centrais e de (radio ou tele) difusão;
- Linhas de transmissão, incluindo todos os subcomponentes como sejam equipamento de ligação entre escritórios centrais e utilizadores finais;
- Cablagens (ligações de baixa capacidade).

Concretamente, o HAZUS não contempla metodologias de avaliação de vulnerabilidade de cablagens (assim como antenas de transmissão, postes e condutas de cabos), alegadamente pela sua reduzida vulnerabilidade.

Por outro lado, consultando o grupo de dados “Telecomunicacoes”, verifica-se que o mesmo compreende três sub-grupos de dados designados por “conduta_oni”, “conduta_nos” e “conduta_first_rule”. Analisando cada um desses sub-grupos de dados pode concluir-se (pronunciando-se apenas sobre os troços relevantes e preenchidos):

conduta_oni (constituída por 1161 troços)

refere no campo “tracado” a classificação “SUB”, que se depreende indicar que se tratam de troços enterrados (subterrâneos);

o comprimento dos troços é variável, entre 1,009 m e 2x1012, 6x1012 e 9x1012, valores claramente fora de escala. Excluindo os troços (em número de 3 no seu total) com comprimentos fora de escala, obtém-se um comprimento total dos troços de 25.977,57 m;

os campos “tipoutiliz” e “tipoobjeto” encontram-se preenchidos com “CAB” e “CON”, depreendendo-se tratarem-se de condutas de cabos

Face ao exposto anteriormente considera-se razoável admitir que o sub-grupo de dados “conduta_oni” é exclusivamente constituído por condutas enterradas de cabos.

conduta_nos (constituída por 777 troços)

refere no campo “tracado” a classificação “SUB”, que se depreende indicar que se tratam de troços enterrados (subterrâneos);

o comprimento dos troços é variável, entre 0,5 m e 624,829 m e o comprimento total dos troços é de 33.878,26 m;

os campos “tipoutiliz” e “tipoobjeto” encontram-se preenchidos com “CAB” e “CON”, depreendendo-se tratarem-se de condutas de cabos.

Face ao exposto anteriormente considera-se também razoável admitir que o sub-grupo de dados “conduta_nos” é exclusivamente constituído por condutas enterradas de cabos.

conduta_first_rule (constituída por 9367 troços)

refere no campo “tracado” a classificação “SUB”, que se depreende indicar que se tratam de troços enterrados (subterrâneos);

o comprimento dos troços é variável, entre 1,263 m e 255 m e o comprimento total dos troços é de 318.383,93 m;

o campo “tipoutiliz” encontra-se preenchidos com “CAB”, depreendendo-se tratarem-se de condutas de cabos.

Face ao exposto anteriormente considera-se também razoável admitir que o subgrupo de dados “conduta_first_rule” é exclusivamente constituído por condutas enterradas de cabos.

RODOVIA E FERROVIA

Na elabora o do modelo de exposi o das pontes e viadutos foram consideradas 121 estruturas, tendo por base o ficheiro ObrasArte_join.shp. Para estas estruturas foi atribuída uma taxonomia em fun o da classe da ponte (ver anexo), observando-se no concelho as seguintes classes: A1, A2, A3, B1, B2, C1, C2, D1, D2, E2, E3, EF, F2, G1, H1, I1, I2, IF, J1, L1, LF, M1, MF, N1, OF.

2.6. AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE FÍSICA

A vulnerabilidade física é definida como a distribuição probabilística de perda, dada uma intensidade nível de medida (Crowley & Silva, 2013). A avaliação da vulnerabilidade física será realizada para a componente da população, edificado e infraestruturas. Nos pontos seguintes apresentam-se os resultados alcançados para estas componentes.

2.6.1. População

Para determinar o número e gravidade das vítimas de um sismo, adaptou-se a metodologia HAZUS (FEMA, 2003) que se baseia no pressuposto de que existe uma forte correlação entre os danos do edifício (estruturais e não estruturais) e as vítimas. A Figura 26 é uma representação em árvore dos eventos que darão origem a vítimas que estejam dentro dos edifícios. O número e gravidade das vítimas de um sismo estará dependente da hora do sismo, localização, função, tipologia e vulnerabilidade do edifício.

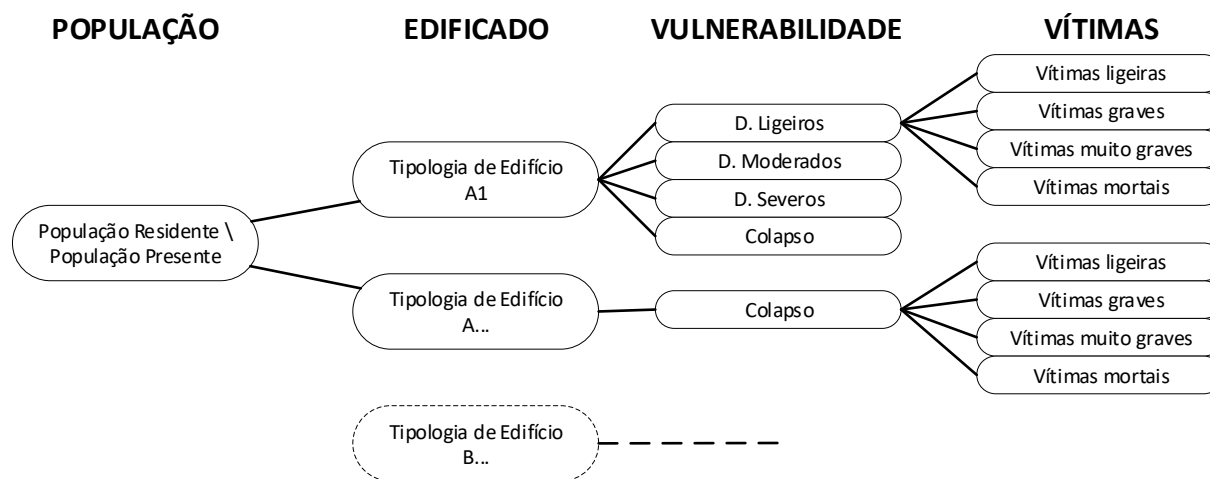


Figura 26 - Abordagem para determinação do tipo e número de vítimas.

O número esperado de vítimas mortais num edifício será um produto do número de ocupantes do edifício no momento do sismo e a probabilidade desse ocupante ser uma vítima mortal. Para o presente estudo as probabilidades foram adaptadas da metodologia HAZUS (FEMA, 2003) para as classes de tipológicas do edificado definidas para este estudo.

A Tabela 19 define os níveis de lesões adotadas nesta metodologia.

Tabela 19 – Níveis de lesões

Nível	Descrição
S1	Feridos ligeiros
S2	Feridos graves
S3	Feridos muito graves
S4	Vítimas mortais

Para o cálculo do número de feridos e mortos, foram adotadas as taxas de vítimas da metodologia HAZUS (FEMA, 2003), encontrando-se a sua adaptação ao presente estudo em anexo. Para a população exposta foram considerados os cenários das 24.00h (noite) e das 12.00h (dia).

O número de mortos, no concelho de Oeiras, para o período de retorno de 475 anos, são 6 no cenário 'dia' e 16 no cenário 'noite'. Relativamente ao número de feridos (ligeiros e graves), no concelho de Oeiras, para o período de retorno de 475 anos, são 464 no cenário 'dia' e 146 no cenário 'noite'. Quando se comparam estes resultados com Estudo de Caracterização, Vulnerabilidade e estabelecimento de danos para o planeamento de emergência sobre o risco sísmico na AML CL, do antigo Serviço Nacional de Proteção Civil, verifica-se que o número de vítimas mortais é neste estudo inferior (51 vítima mortais no estudo do SNPC), enquanto o número de feridos graves é significativamente maior (nenhum ferido grave no estudo do SNPC).

Em termos de distribuição dos mortos e feridos destacam-se os lugares de Algés, Cruz-Quebrada, Paço de Arcos e Oeiras (Figura 27 e Figura 28). Apesar da exposição populacional variar significativamente entre a noite e o dia, a distribuição dos mortos e feridos, para o período dia, não aponta para os locais de elevada exposição (ex. parques empresariais e escolas) devido aos danos nesse edificado serem reduzidos (Tabela 20). Por outro lado, pode-se observar que o número de mortos e feridos, para o período noite, é maior que no período 'dia', coincidindo com os locais onde o edificado é mais antigo e/ou está em pior estado de conservação.

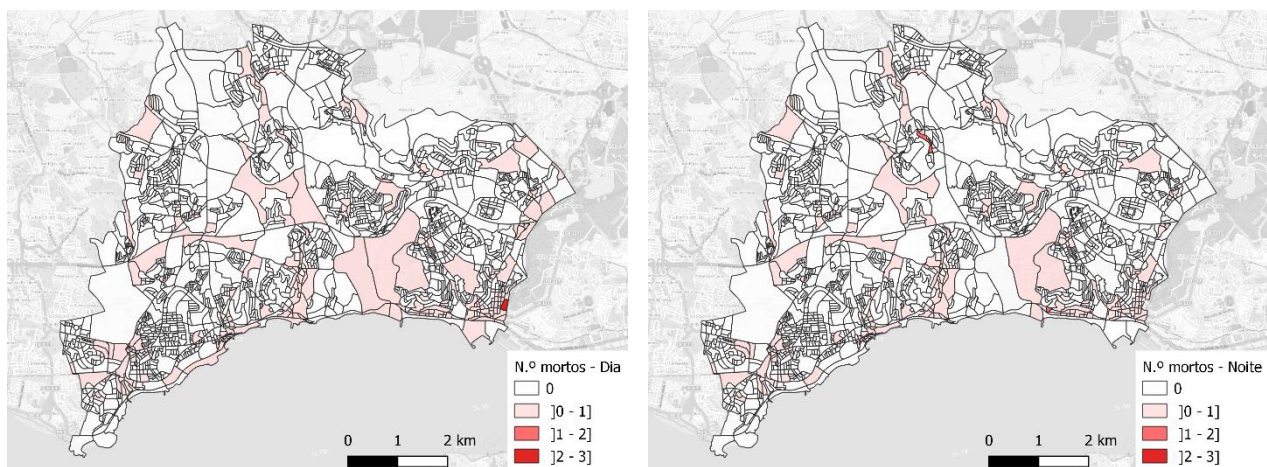


Figura 27 - Distribuição do número de mortos no período diário (esquerda) e noturno (direita).

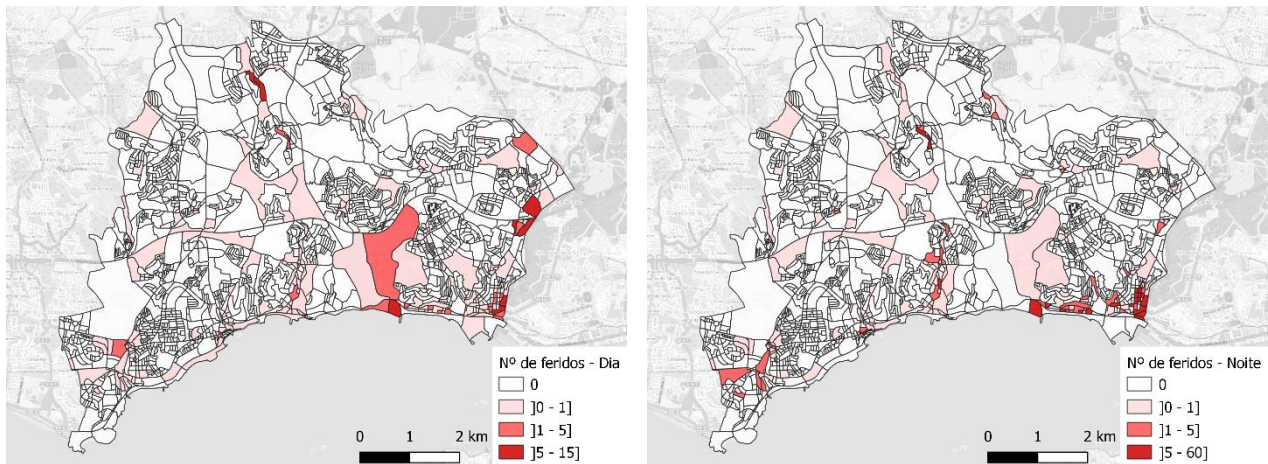


Figura 28 - Distribuição do número de feridos no período diário (esquerda) e noturno (direita).

Tabela 20 - Número de mortos e feridos por lugar

Lugares	Feridos (Noite)	Feridos (Dia)	Mortos (Dia)	Mortos (Noite)
Algés	255	44	4	9
Barcarena	9	2	0	1
Carnaxide	3	1	0	0
Casal da Choca	0	0	0	0
Caxias	12	4	0	0
Cruz Quebrada-Dafundo	114	24	1	2
Fabrica da Pólvora	1	18	0	0
Gandarela	0	0	0	0
Laje	1	0	0	0
Laveiras	7	1	0	0
Leceia	0	0	0	0
Leião	0	0	0	0
Linda-a-Pastora	0	0	0	0
Linda-a-Velha	3	1	0	0
Miraflores	6	21	0	1
Murganhal	2	0	0	0
Oeiras	15	7	0	0
Outurela-Portela	1	10	0	0
Paco de Arcos	26	9	1	2
Porto Salvo	3	1	0	0
Queijas	0	0	0	0
Queluz de Baixo	0	0	0	0
Quinta da Moura	0	0	0	0
Talaíde	1	0	0	0
Tercena	0	0	0	0
Valejas	3	1	0	1
Vila Fria	0	0	0	0
Total	464	146	6	16

2.6.2. Edificado

Para cada uma das classes tipológicas o relatório do LNEC (LNEC, 2005) fornece os valores das medianas dos deslocamentos espectrais para definição das curvas de fragilidade. Estas curvas de fragilidade têm como parâmetro de entrada o valor do deslocamento espectral.

Como o OPENQUAKE não prevê o valor do deslocamento espectral como variável e entrada foi necessário obter curvas de fragilidade tendo o PGA como variável de entrada. O HAZUS (FEMA, 2003) apresenta curvas de fragilidade definidas em função do PGA, pelo que foi estabelecida uma correspondência entre as classes HAZUS e as classes definidas pelo LNEC (LNEC, 2005). A correspondência estabelecida é apresentada na Tabela 21. Para ter em consideração o estado de conservação dos edifícios, para cada classe foi adotado um par de curvas de fragilidade. Para as curvas de fragilidade associadas a bom estado de conservação foram considerados diretamente os parâmetros definidos pelo HAZUS (FEMA, 2003). Para os edifícios com estado de conservação deficiente, os valores das medianas foram reduzidos para 80% dos valores de referência. As curvas de referência (bom estado de conservação) estão identificadas com o sinal "+", enquanto as curvas reduzidas estão identificadas com o sinal "-". No Quadro A1 (em Anexo) estão listados os valores necessários para a definição das curvas de fragilidade consideradas no estudo.

Tabela 21 - Correspondência entre Classes de Edifícios

Classe (Estudo)	Classe (HAZUS)
A1 A2 A3	URML – Pre Code
A4 A5	URMM – Pre Code
B1 B2 B3	C3L – Pre Code
B4 B5	C3M – Pre Code
C1 C2 C3	RM1L – Low Code
C4 C5	RM1M – Low Code
D1 D2 D3	RM1L – Low Code
D4 D5	RM1M – Low Code
E1 E2 E3	C3L – Low Code
E4 E5	C3M – Low Code
F1 F2 F3	C1L – Moderate Code
F4 F5	C2M – Moderate Code
F6 F7	C2H – Moderate Code
G1 G2 G3	C1L – High Code
G4 G5	C2M – High Code
G6 G7	C2H – High Code

Aplicando esta metodologia foram analisados 4 cenários sísmicos, cujos resultados se apresentam de seguida. Para cada edifício foram obtidas as probabilidades de excedência associada a cada um dos estados de dano considerados. Para permitir uma melhor leitura dos resultados, cada edifício foi classificado com um estado de dano, tendo sido considerado o estado de dano cuja probabilidade de excedência é inferior a 50%.

2.6.2.1. Cenário sísmico para período de retorno de 475 anos

Na Figura 29 são apresentados os resultados obtidos distribuídos por todas as classes de edifício consideradas no estudo. Para facilitar a leitura dos resultados, na Figura 30 apenas se apresentam os resultados para as classes E, F e G, sendo na Figura 31 apresentados os resultados para as restantes classes.

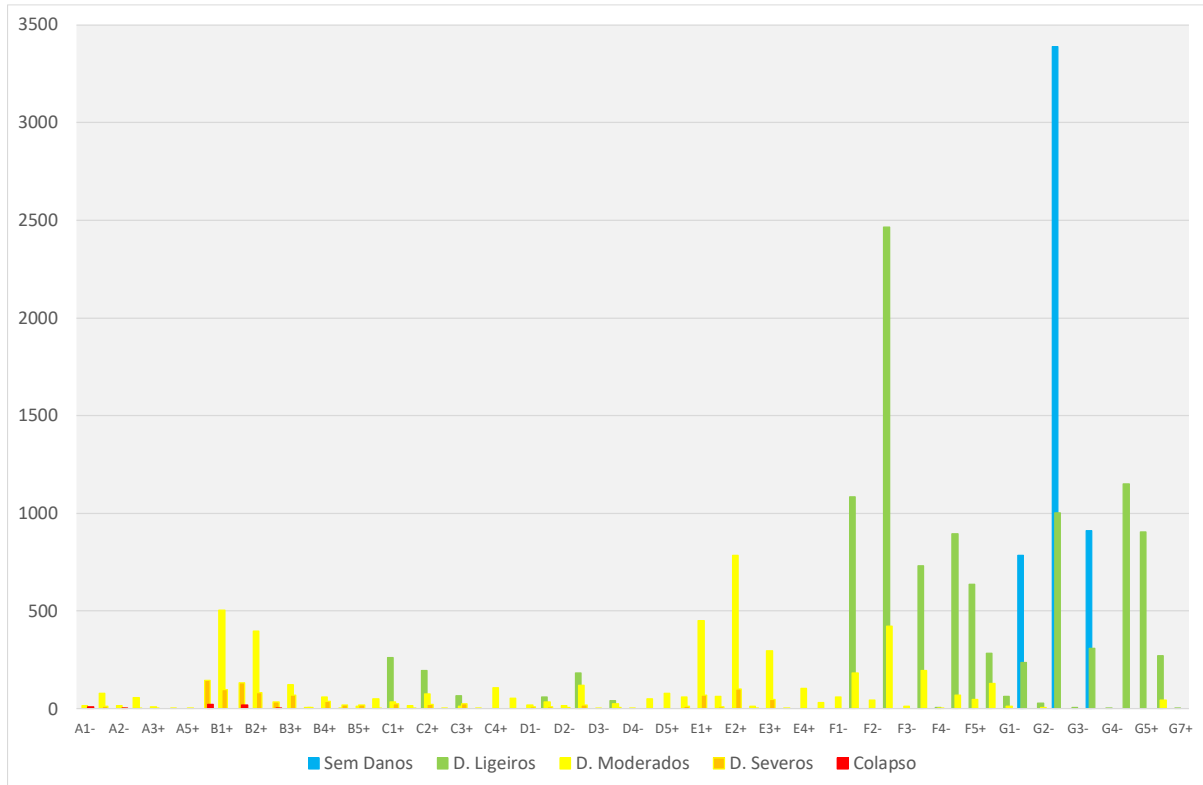


Figura 29 - Distribuição de danos por classe de edifício e nível de dano.

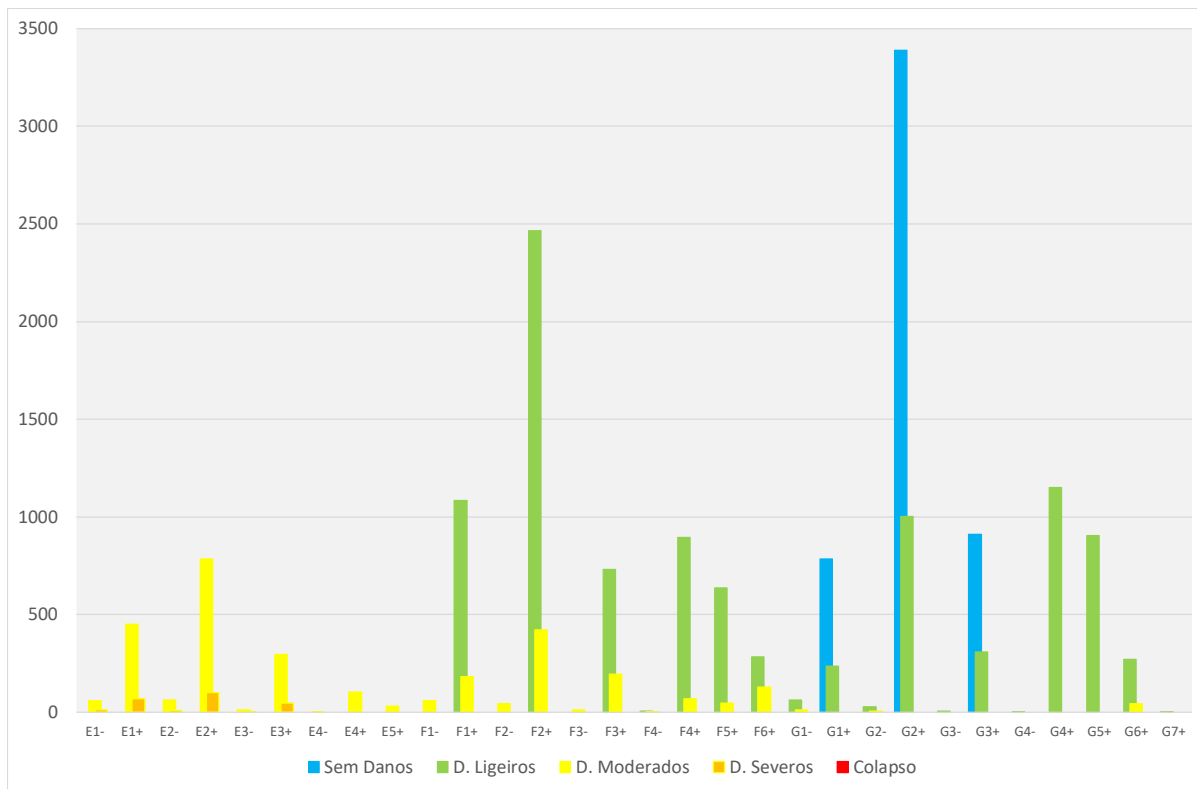


Figura 30 - Distribuição de danos por classe de edifício e nível de dano - pormenor (Classes E, F e G).

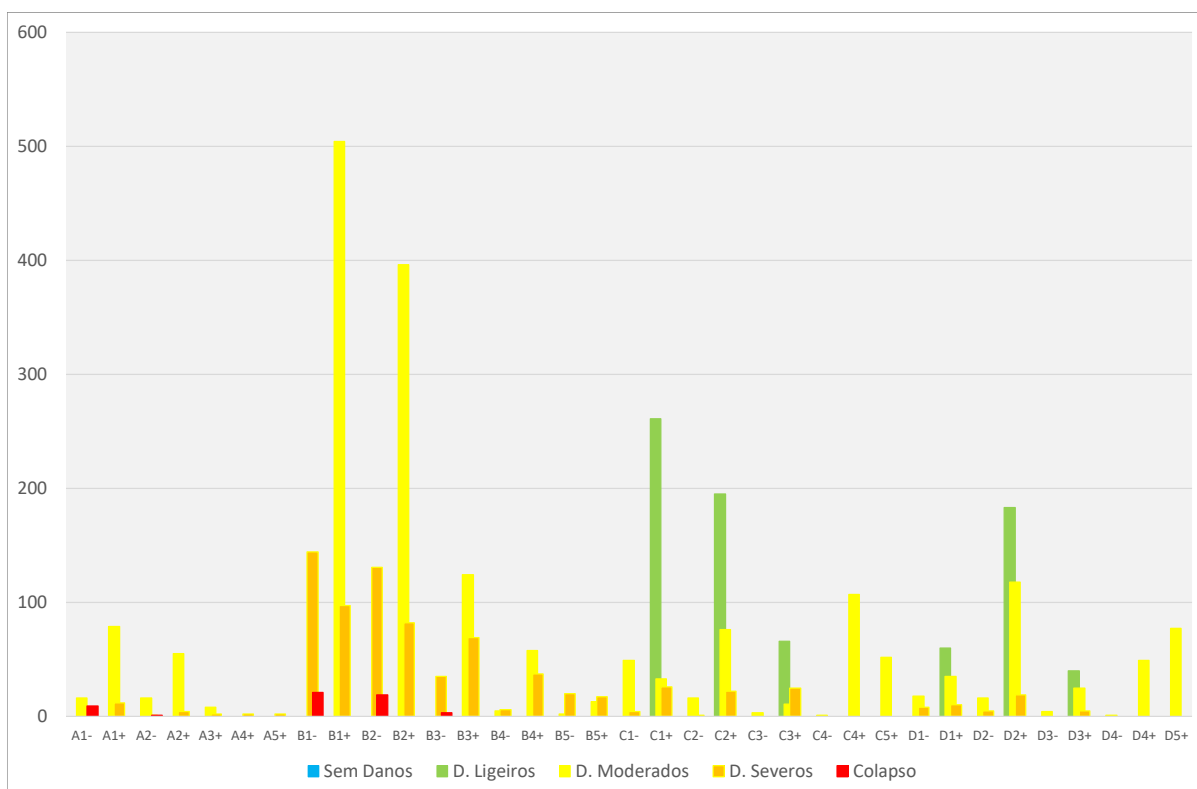


Figura 31 - Distribuição de danos por classe de edifício e nível de dano - pormenor (Classes A, B, C e D).

Como se pode observar os maiores danos concentram-se nas classes de edifícios A e B, tal como seria de esperar. Nas classes de edifícios mais recentes, construídos já com a regulamentação sísmica de 1983 (RSA), os danos são reduzidos, apresentando um grande número de edifícios classificado “Sem danos”.

De acordo com a figura seguinte, mais de 70% dos edifícios não apresentam danos ou estão classificados com “Danos Ligeiros”.

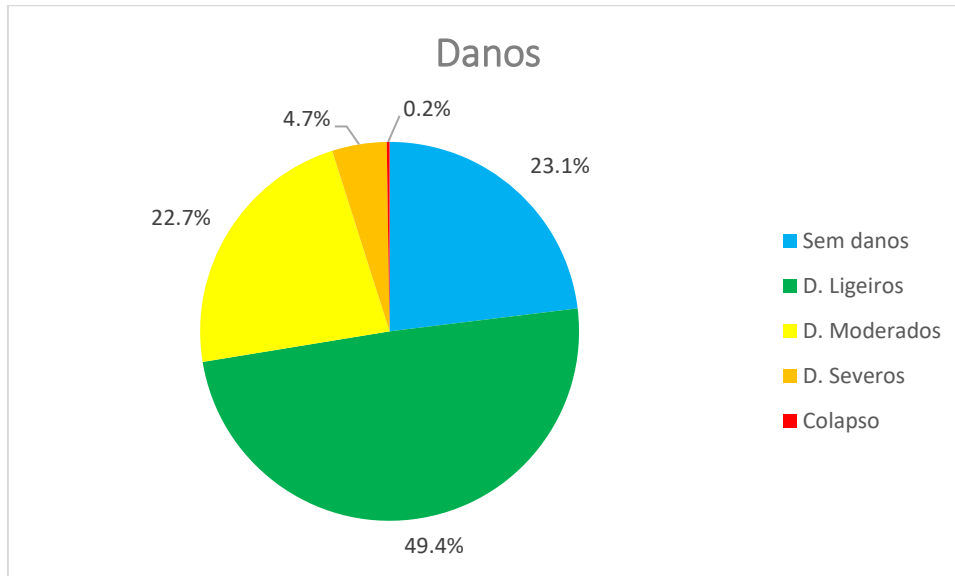


Figura 32 - Distribuição por nível de dano.

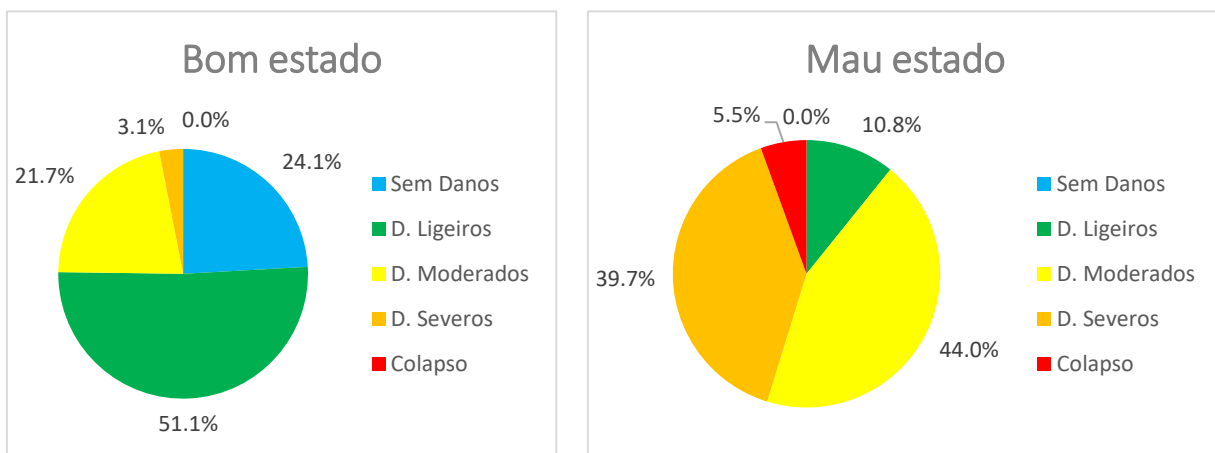


Figura 33 - Distribuição do nível de dano em função do estado de conservação.

Um fator que tem grande importância no desempenho dos edifícios é o seu estado de conservação. De acordo com os resultados não ocorrem colapsos em edifícios com bom estado de conservação. Ao fazer esta análise é preciso ter em conta que somente 4.3% dos edifícios estudados foram classificados com estado em mau estado de conservação.

Para os equipamentos considerados críticos, designadamente os quartéis de bombeiros, esquadras da polícia de segurança pública, proteção civil nacional e municipal, hospitais, centros de saúde,

escolas e universidades e equipamentos de apoio social os resultados deste cenário caracterizam-se por não haver colapsos e em apenas três equipamentos de ensino se verificam danos severos.

Os danos nos quartéis de bombeiros são moderados, ligeiros ou no caso do quartel de Paço de Arcos, Carnaxide e Linda-a-Pastora não se observam danos (Tabela 22).

Tabela 22 - Danos nos quartéis de bombeiros.

Equipamento	Dano
Bombeiros Voluntários de Paço de Arcos	Sem Dano
Bombeiros Voluntários de Carnaxide	Sem Dano
Bombeiros Voluntários de Linda-a-Pastora	Sem Dano
Bombeiros Voluntários de Algés	Dano Ligeiro
Bombeiros Voluntários Progresso Barcareense	Dano Moderado
Bombeiros Voluntários de Oeiras	Dano Moderado
Bombeiros Voluntários do Dafundo	Dano Moderado

Também nas esquadras de polícia não existem danos, ou são ligeiros a moderados (Tabela 23).

Tabela 23 - Danos nas instalações da P.S.P.

Equipamento	Dano
PSP - 84.ª Esquadra - Caxias	Sem Dano
PSP - 85.ª Esquadra - Queijas	Sem Dano
PSP - Esquadra de Investigação Criminal - EIC	Dano Ligeiro
PSP - 83.ª Esquadra - Carnaxide	Dano Ligeiro
PSP - Esquadra de Fiscalização e Intervenção Policial - EIFP	Dano Ligeiro
PSP - 82.ª Esquadra - Porto Salvo	Dano Ligeiro
PSP - 80.ª Esquadra - Oeiras	Dano Moderado
PSP - 81.ª Esquadra - Miraflores	Dano Moderado
PSP - Divisão de Segurança e Transportes Públicos - 3.ª Esquadra - Oeiras	Dano Moderado
PSP - Esquadra de Trânsito - ET	Dano Moderado

Relativamente aos edifícios da proteção civil nacional e municipal verifica-se que não existem danos ou são ligeiros (Tabela 24).

Tabela 24 - Danos nas instalações da proteção civil.

Equipamento	Dano
Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil - Carnaxide	Sem Dano
Proteção Civil Municipal/Polícia Municipal	Dano Ligeiro

Os danos nos hospitais e centros de saúde do concelho não existem ou são ligeiros, verificando-se apenas em três equipamentos danos moderados (Tabela 25 e Tabela 26).

Tabela 25 - Danos em hospitais

Equipamento	Dano
Hospital Santa Cruz	Sem Dano
Hospital da Luz Clínica de Oeiras	Dano Ligeiro

Tabela 26 - Danos nos centros de saúde e extensões.

Equipamento	Dano
Centro de Saúde de Barcarena	Sem Dano
UCSP - Unidade de Saúde Pública Paço de Arcos	Sem Dano
Unidade de Cuidados de Saúde Personalizados de Paço de Arcos	Sem Dano
Unidade de Saúde Familiar Delta	Sem Dano
Unidade de Centro de Saúde de Carnaxide	Dano Ligeiro
Unidade de Cuidados de Saúde Personalizados de Linda-a-Velha	Dano Ligeiro
Unidade de Cuidados na Comunidade Cuidar Mais	Dano Ligeiro
Unidade de Saúde Familiar do Dafundo	Dano Ligeiro
Unidade de Saúde Familiar Jardim dos Plátanos	Dano Ligeiro
Unidade de Cuidados de Saúde Personalizados de Barcarena	Dano Moderado
Unidade de Saúde de Algés	Dano Moderado
Unidade de Saúde Familiar de Oeiras	Dano Moderado

No domínio das escolas e universidades em cerca de 94% dos equipamentos não se verificam danos ou são ligeiros a moderados. Neste grupo de equipamentos, a Escola Profissional Val do Rio, o Jardim de Infância Roberto Ivens e a Universidade Atlântica apresentam danos severos (Figura 34).

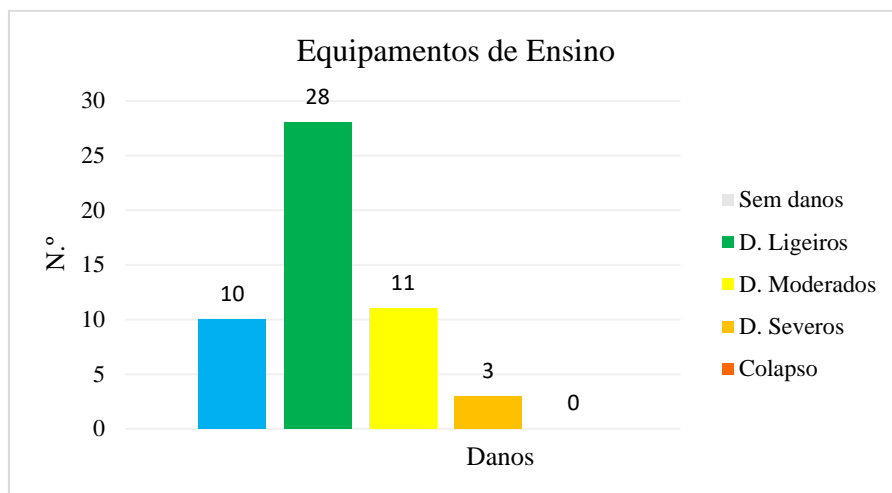


Figura 34 – Distribuição dos danos nos equipamentos educativos

Relativamente aos danos em equipamentos de apoio social (com alojamento) verifica-se que 71% dos equipamentos não têm danos ou são ligeiros. Na classe de danos severos, destacam-se o Centro de acolhimento “Mãos Dadas para a Vida II” e a Cozinha do Centro Educativo Padre António de Oliveira (Figura 35).

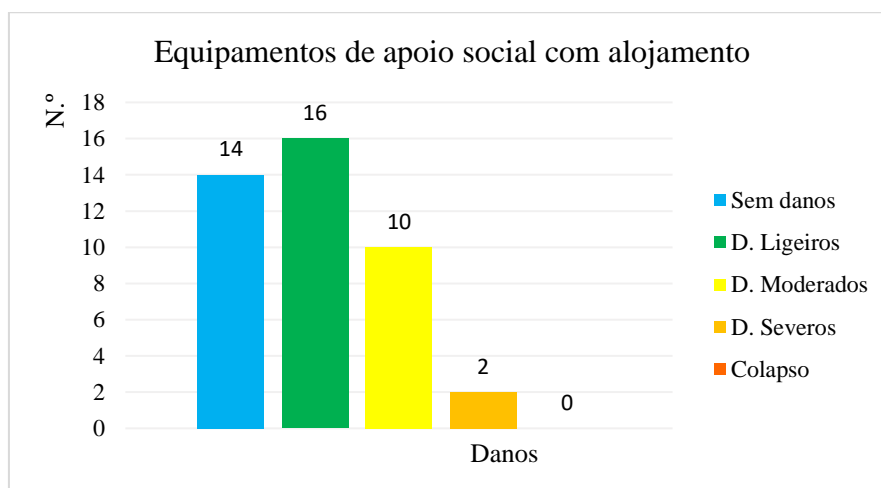


Figura 35 – Distribuição dos danos nos equipamentos de apoio social com alojamento

2.6.2.2. Cenário sísmico M4.7 - Local

Na Figura 36 são apresentados os resultados obtidos para este cenário sísmico, para todas as classes de edificado consideradas no estudo.

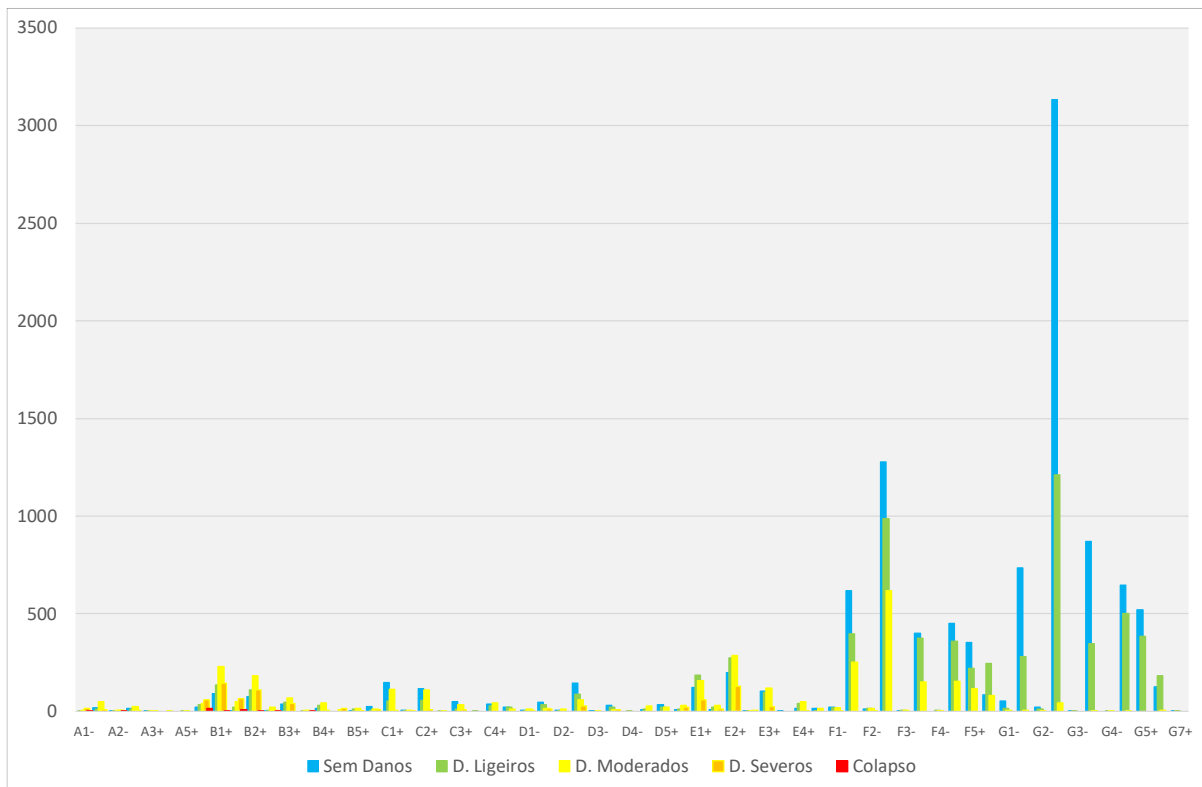


Figura 36 - Distribuição de danos por classe de edifício e nível de dano.

Observa-se uma redução dos danos face ao cenário de referência. Esta redução é mais notória no edificado mais recente, onde o número de edifícios sem danos aumenta face aos edifícios com danos ligeiros. Nos edifícios antigos também se verifica uma redução dos danos embora se continuem a verificar alguns colapsos.

Para os equipamentos considerados críticos, designadamente os quartéis de bombeiros, esquadras da polícia de segurança pública, proteção civil nacional e municipal, hospitais, centros de saúde, escolas e universidades e equipamentos de apoio social os resultados deste cenário caracterizam-se por não haver colapsos e em apenas um equipamento de ensino se verificam danos severos.

Os danos nos quartéis de bombeiros são moderados, ligeiros. No caso do quartel dos bombeiros de Barcarena, Algés e Carnaxide não se observam danos (Tabela 27).

Tabela 27 - Danos nos quartéis de bombeiros.

Equipamento	Dano
Bombeiros Voluntários Progresso Barcarense	Sem Dano
Bombeiros Voluntários de Algés	Sem Dano
Bombeiros Voluntários de Carnaxide	Sem Dano
Bombeiros Voluntários de Paço de Arcos	Dano Ligeiro
Bombeiros Voluntários de Linda-a-Pastora	Dano Ligeiro
Bombeiros Voluntários de Oeiras	Dano Moderado
Bombeiros Voluntários do Dafundo	Dano Moderado

Também nas esquadras de polícia não existem danos, ou são ligeiros a moderados (Tabela 28).

Tabela 28 - Danos nas instalações da P.S.P.

Equipamento	Tipo de Dano
PSP - 81.ª Esquadra - Miraflores	Sem Dano
PSP - 83.ª Esquadra - Carnaxide	Sem Dano
PSP - 84.ª Esquadra - Caxias	Sem Dano
PSP - Divisão de Segurança e Transportes Públicos - 3.ª Esquadra - Oeiras	Sem Dano
PSP - Esquadra de Investigação Criminal - EIC	Dano Ligeiro
PSP - 85.ª Esquadra - Queijas	Dano Ligeiro
PSP - Esquadra de Fiscalização e Intervenção Policial - EIFP	Dano Ligeiro
PSP - 82.ª Esquadra - Porto Salvo	Dano Ligeiro
PSP - 80.ª Esquadra - Oeiras	Dano Moderado
PSP - Esquadra de Trânsito - ET	Dano Moderado

Relativamente aos edifícios da proteção civil nacional e municipal verifica-se que não existem danos ou são ligeiros (Tabela 29).

Tabela 29- Danos nas instalações da proteção civil.

Equipamento	Dano
Proteção Civil Municipal/Polícia Municipal	Sem Dano
Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil - Carnaxide	Dano Ligeiro

Os danos nos hospitais e centros de saúde do concelho não existem ou são ligeiros, verificando-se apenas em dois equipamentos danos moderados (Tabela 30 e

Tabela 31).

Tabela 30 - Danos em hospitais.

Equipamento	Dano
Hospital Santa Cruz	Sem Dano
Hospital da Luz Clínica de Oeiras	Sem Dano
Hospital da Santa Casa da Misericórdia de Oeiras	Dano Ligeiro

Tabela 31 -- Danos nos centros de saúde e extensões.

Equipamento	Tipo de Dano
Centro de Saúde de Barcarena	Sem Dano
UCSP - Unidade de Saúde Pública Paço de Arcos	Sem Dano
Unidade de Centro de Saúde de Carnaxide	Sem Dano
Unidade de Cuidados de Saúde Personalizados de Barcarena	Sem Dano
Unidade de Cuidados de Saúde Personalizados de Linda-a-Velha	Sem Dano
Unidade de Cuidados de Saúde Personalizados de Paço de Arcos	Sem Dano
Unidade de Saúde Familiar Delta	Sem Dano
Unidade de Saúde Familiar Jardim dos Plátanos	Sem Dano
Unidade de Cuidados na Comunidade Cuidar Mais	Dano Ligeiro
Unidade de Saúde Familiar do Dafundo	Dano Ligeiro
Unidade de Saúde de Algés	Dano Moderado
Unidade de Saúde Familiar de Oeiras	Dano Moderado

No domínio das escolas e universidades não existem danos, ou são ligeiros a moderados (Figura 37).

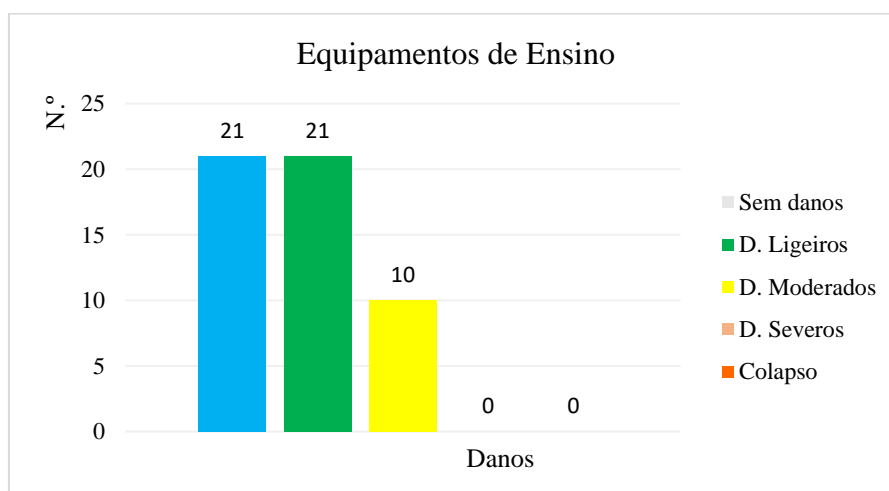


Figura 37 – Distribuição dos danos nos equipamentos educativos.

Relativamente aos danos em equipamentos de apoio social (com alojamento) verifica-se que 98% dos equipamentos não têm danos ou são ligeiros. Na classe de danos severos, destaca-se o Centro de Acolhimento de Emergência - Casa da Fonte (Figura 38).

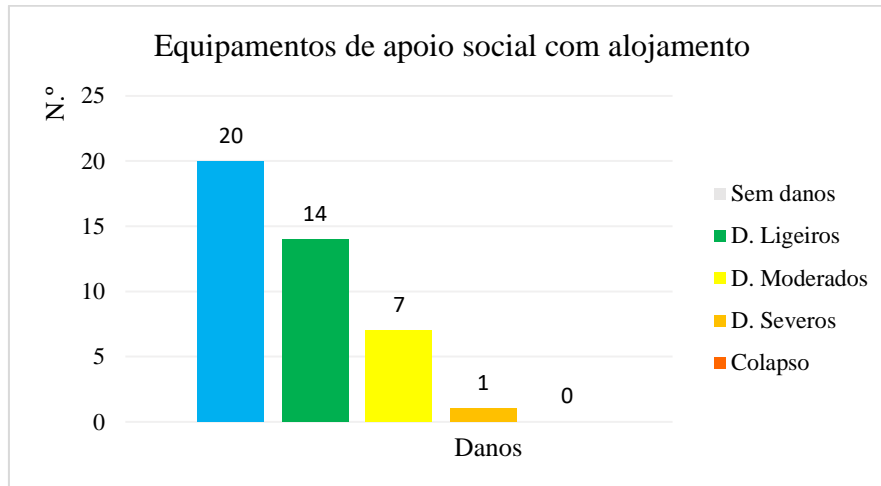


Figura 38 -- Distribuição dos danos nos equipamentos de apoio social com alojamento.

2.6.2.3. Cenário sísmico M6.5 – 50 km

Na Figura 39 são apresentados os resultados obtidos para este cenário sísmico, para todas as classes de edificado consideradas no estudo.

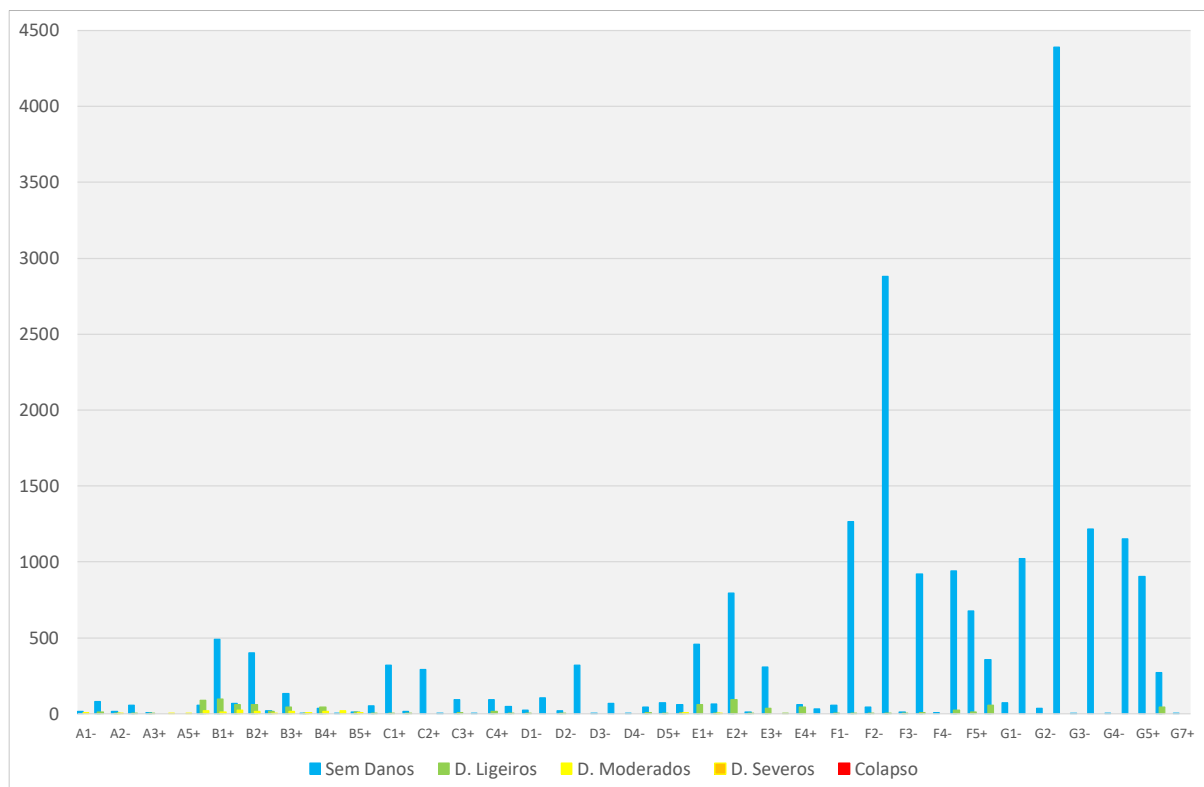


Figura 39 - Distribuição de danos por classe de edifício e nível de dano.

Este cenário não produz danos. Somente se verificam alguns casos, poucos, de danos ligeiros.

Para os equipamentos considerados críticos, designadamente os quartéis de bombeiros, esquadras da polícia de segurança pública, proteção civil nacional e municipal, hospitais, centros de saúde,

escolas e universidades e equipamentos de apoio social, os resultados deste cenário caracterizam-se pela ausência de danos moderados, severos e colapsos.

Não se observam danos nos quartéis de bombeiros (Tabela 32), nas esquadras (Tabela 33), na proteção civil nacional e municipal (Tabela 34), nos hospitais (Tabela 35) e nos centros de saúde (Tabela 36).

Tabela 32 - - Danos nos quartéis de bombeiros.

Equipamento	Dano
Bombeiros Voluntários de Oeiras	Sem Dano
Bombeiros Voluntários do Dafundo	Sem Dano
Bombeiros Voluntários de Paço de Arcos	Sem Dano
Bombeiros Voluntários de Algés	Sem Dano
Bombeiros Voluntários de Linda-a-Pastora	Sem Dano
Bombeiros Voluntários de Carnaxide	Sem Dano
Bombeiros Voluntários Progresso Barcareense	Sem Dano

Tabela 33 - Danos nas instalações da P.S.P.

Equipamento	Tipo de Dano
PSP - 81.ª Esquadra - Miraflores	Sem Dano
PSP - 83.ª Esquadra - Carnaxide	Sem Dano
PSP - 84.ª Esquadra - Caxias	Sem Dano
PSP - Divisão de Segurança e Transportes Públicos - 3.ª Esquadra - Oeiras	Sem Dano
PSP - Esquadra de Investigação Criminal - EIC	Sem Dano
PSP - 85.ª Esquadra - Queijas	Sem Dano
PSP - Esquadra de Fiscalização e Intervenção Policial - EIFP	Sem Dano
PSP - 82.ª Esquadra - Porto Salvo	Sem Dano
PSP - 80.ª Esquadra - Oeiras	Sem Dano
PSP - Esquadra de Trânsito - ET	Sem Dano

Tabela 34 - Danos nas instalações da proteção civil.

Equipamento	Dano
Proteção Civil Municipal/Polícia Municipal	Sem Dano
Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil - Carnaxide	Sem Dano

Tabela 35 - Danos em hospitais.

Equipamento	Dano
Hospital Santa Cruz	Sem Dano
Hospital da Luz Clínica de Oeiras	Sem Dano
Hospital da Santa Casa da Misericórdia de Oeiras	Sem Dano

Tabela 36 - Danos nos centros de saúde e extensões.

Equipamento	Tipo de Dano
Centro de Saúde de Barcarena	Sem Dano
UCSP - Unidade de Saúde Pública Paço de Arcos	Sem Dano
Unidade de Centro de Saúde de Carnaxide	Sem Dano
Unidade de Cuidados de Saúde Personalizados de Barcarena	Sem Dano
Unidade de Cuidados de Saúde Personalizados de Linda-a-Velha	Sem Dano
Unidade de Cuidados de Saúde Personalizados de Paço de Arcos	Sem Dano
Unidade de Saúde Familiar Delta	Sem Dano
Unidade de Saúde Familiar Jardim dos Plátanos	Sem Dano
Unidade de Cuidados na Comunidade Cuidar Mais	Sem Dano
Unidade de Saúde Familiar do Dafundo	Sem Dano
Unidade de Saúde de Algés	Sem Dano
Unidade de Saúde Familiar de Oeiras	Sem Dano

No domínio das escolas e universidades não existem danos ou estes são ligeiros (Figura 40). Na classe de danos ligeiros, destacam-se o Jardim de Infância Roberto Ivens e a Universidade Atlântica.

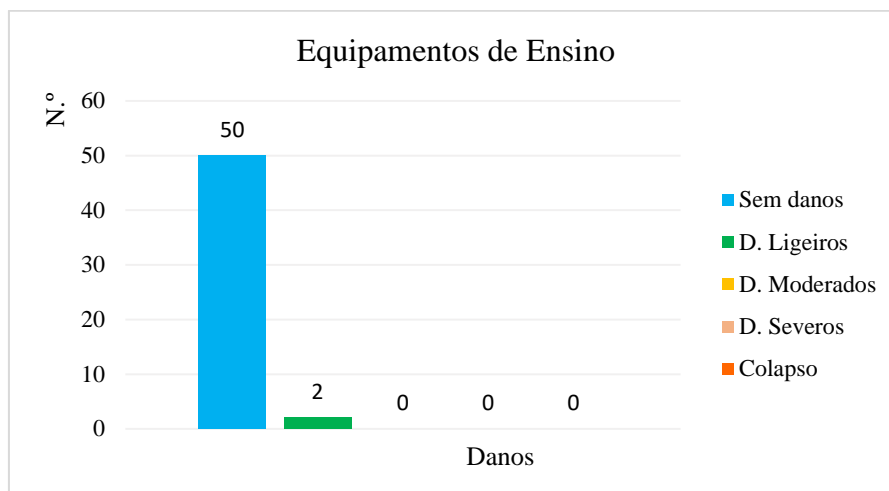


Figura 40 - Distribuição dos danos nos equipamentos educativos.

Relativamente aos danos em equipamentos de apoio social (com alojamento) verifica-se que 95% dos equipamentos não têm danos. Na classe de danos ligeiros, destacam-se o Centro de Acolhimento de Paço de Arcos - Mãos Dadas para a Vida II e a Cozinha do Centro Educativo Padre António de Oliveira (Figura 41).

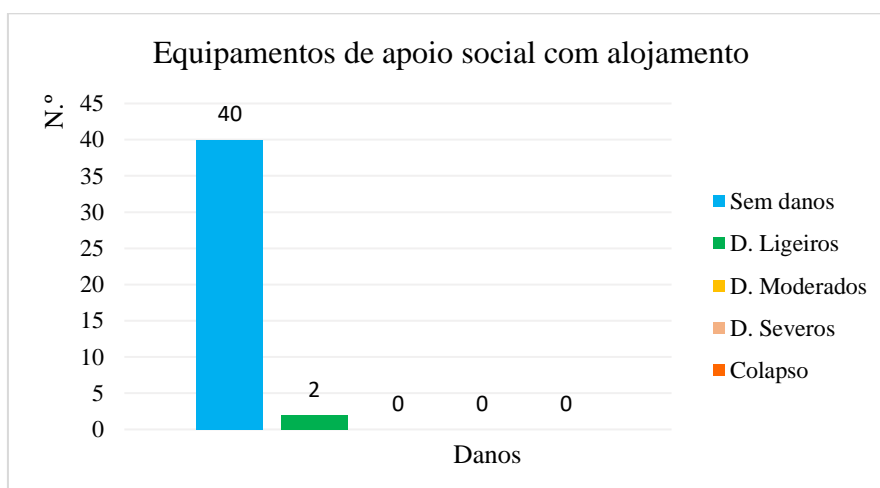


Figura 41 - Distribuição dos danos nos equipamentos de apoio social com alojamento.

2.6.2.4. Cenário sísmico M8.5 – 240 km

Na Figura 42 são apresentados os resultados obtidos para este cenário sísmico, para todas as classes de edificado consideradas no estudo.

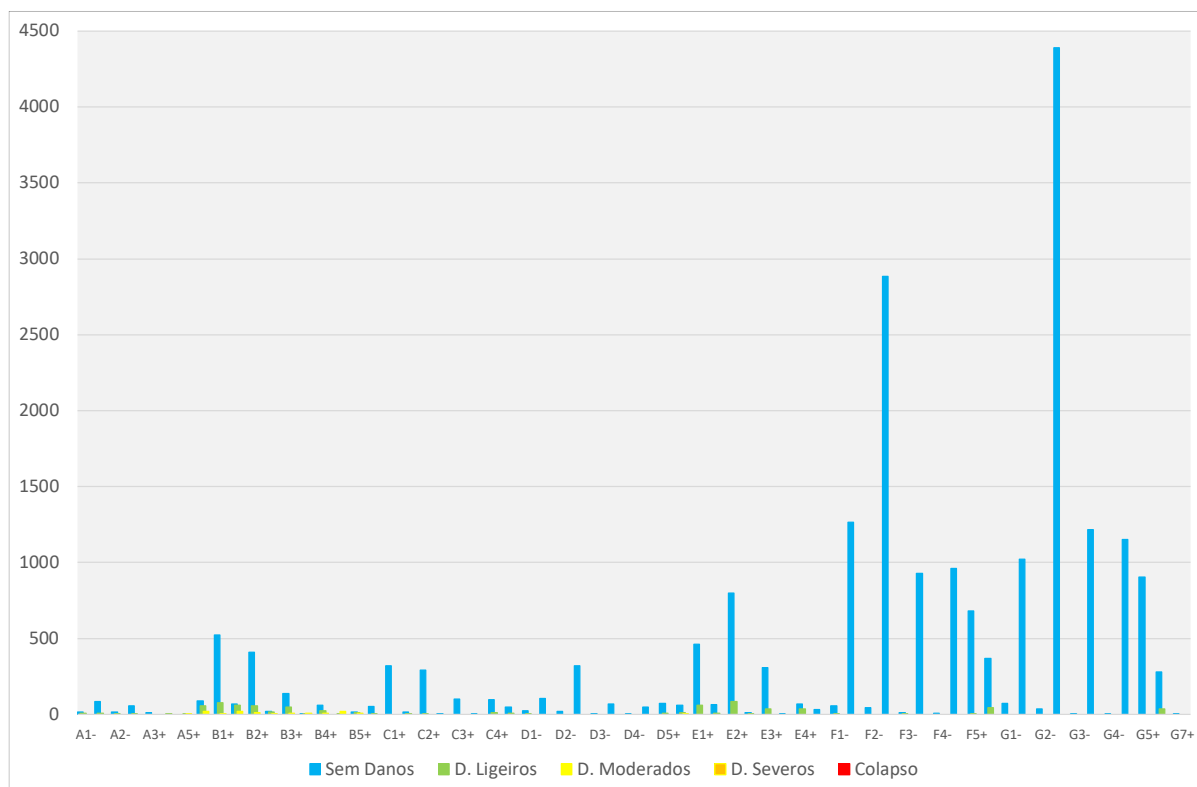


Figura 42 - Distribuição de danos por classe de edifício e nível de dano.

Tal como no cenário anterior, este também não produz danos.

Para os equipamentos considerados críticos, designadamente os quartéis de bombeiros, esquadras da polícia de segurança pública, proteção civil nacional e municipal, hospitais, centros de saúde, escolas e universidades e equipamentos de apoio social os resultados deste cenário caracterizam-se pela ausência de danos moderados, severos e colapsos.

Não se observam danos nos quartéis de bombeiros (Tabela 37), nas esquadras (

Tabela 38), na proteção civil nacional e municipal (Tabela 39), nos hospitais (Tabela 40) e nos centros de saúde (Tabela 41).

Tabela 37 - Danos nos quartéis de bombeiros.

Equipamento	Dano
Bombeiros Voluntários de Oeiras	Sem Dano
Bombeiros Voluntários do Dafundo	Sem Dano
Bombeiros Voluntários de Paço de Arcos	Sem Dano
Bombeiros Voluntários de Algés	Sem Dano
Bombeiros Voluntários de Linda-a-Pastora	Sem Dano
Bombeiros Voluntários de Carnaxide	Sem Dano
Bombeiros Voluntários Progresso Barcareense	Sem Dano

Tabela 38 - Danos nas instalações da P.S.P.

Equipamento	Dano
PSP - 81.ª Esquadra - Miraflores	Sem Dano
PSP - 83.ª Esquadra - Carnaxide	Sem Dano
PSP - 84.ª Esquadra - Caxias	Sem Dano
PSP - Divisão de Segurança e Transportes Públicos - 3.ª Esquadra - Oeiras	Sem Dano
PSP - Esquadra de Investigação Criminal - EIC	Sem Dano
PSP - 85.ª Esquadra - Queijas	Sem Dano
PSP - Esquadra de Fiscalização e Intervenção Policial - EIFP	Sem Dano
PSP - 82.ª Esquadra - Porto Salvo	Sem Dano
PSP - 80.ª Esquadra - Oeiras	Sem Dano
PSP - Esquadra de Trânsito - ET	Sem Dano

Tabela 39 - Danos nas instalações da proteção civil.

Equipamento	Dano
Proteção Civil Municipal/Polícia Municipal	Sem Dano
Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil - Carnaxide	Sem Dano

Tabela 40- Danos em hospitais.

Equipamento	Dano
Hospital Santa Cruz	Sem Dano
Hospital da Luz Clínica de Oeiras	Sem Dano
Hospital da Santa Casa da Misericórdia de Oeiras	Sem Dano

Tabela 41 - Danos nos centros de saúde e extensões.

Equipamento	Tipo de Dano
Centro de Saúde de Barcarena	Sem Dano
UCSP - Unidade de Saúde Pública Paço de Arcos	Sem Dano
Unidade de Centro de Saúde de Carnaxide	Sem Dano
Unidade de Cuidados de Saúde Personalizados de Barcarena	Sem Dano
Unidade de Cuidados de Saúde Personalizados de Linda-a-Velha	Sem Dano

Unidade de Cuidados de Saúde Personalizados de Paço de Arcos	Sem Dano
Unidade de Saúde Familiar Delta	Sem Dano
Unidade de Saúde Familiar Jardim dos Plátanos	Sem Dano
Unidade de Cuidados na Comunidade Cuidar Mais	Sem Dano
Unidade de Saúde Familiar do Dafundo	Sem Dano
Unidade de Saúde de Algés	Sem Dano
Unidade de Saúde Familiar de Oeiras	Sem Dano

No domínio das escolas e universidades não existem danos ou estes são ligeiros (Figura 43). Na classe de danos ligeiros, destacam-se o Jardim de Infância Roberto Ivens e a Universidade Atlântica.

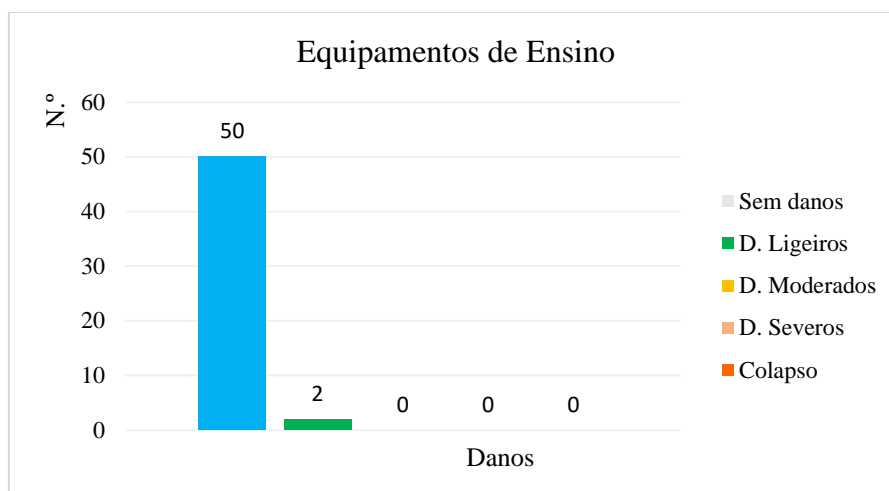


Figura 43 – Distribuição dos danos nos equipamentos educativos.

Relativamente aos danos em equipamentos de apoio social (com alojamento) verifica-se que 95% dos equipamentos não têm danos. Na classe de danos ligeiros, destacam-se o Centro de Acolhimento de Paço de Arcos - Mãos Dadas para a Vida II e a Cozinha do Centro Educativo Padre António de Oliveira (Figura 44).

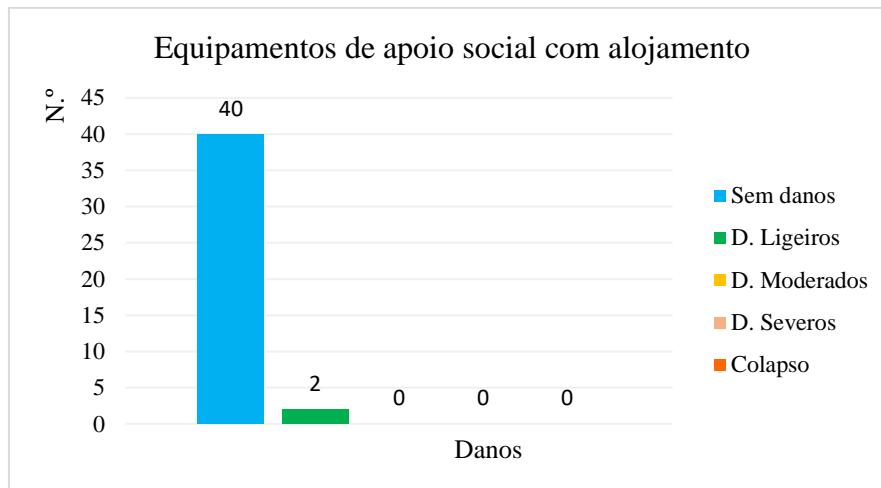


Figura 44 – Distribuição dos danos nos equipamentos de apoio social com alojamento.

2.6.3. Infraestruturas

De uma forma geral as diversas redes de infraestruturas são constituídas por componentes discretos (geograficamente circunscritos) e por componentes contínuos (geograficamente distribuídos de forma contínua). Exemplificando com a rede de abastecimento de água, podem considerar-se no primeiro grupo as Estações Elevatórias, os reservatórios e os furos de captação e no segundo grupo as condutas enterradas. Verifica-se ainda que existe uma prevalência significativa de componentes contínuos, condutas enterradas (redes de abastecimento de água e de saneamento) ou equiparáveis (rede de gás e componentes distribuídos enterrados das redes elétrica e de telecomunicações). Tendo em conta a elevada prevalência desse tipo de componentes, aborda-se de seguida com um maior detalhe os modelos de vulnerabilidade sísmica de condutas enterradas, cujos resultados poderão ser extrapolados, com adaptações, para um número significativo de componentes contínuos das infraestruturas consideradas.

2.6.3.1. Modelos de vulnerabilidade sísmica de condutas enterradas

Os modelos de vulnerabilidade sísmica de condutas enterradas subdividem-se, grosso modo, em duas grandes categorias de acordo a sua fundamentação: (1) modelos analíticos; e (2) modelos empíricos.

De entre os muitos modelos analíticos pode referir-se um modelo desenvolvido por alguns dos autores do presente estudo (Proença, 2000), cuja variável que procura descrever os danos físicos induzidos pela propagação das ondas sísmica numa conduta enterrada é a extensão longitudinal máxima ε_{max} numa qualquer secção da conduta, variável essa determinada por:

$$\varepsilon_{max} = \sqrt{\frac{v^2}{C^2} + R^2 \frac{a^2}{C^4}}$$

em que v e a identificam os valores de pico das componentes horizontais da velocidade e da aceleração no solo, PGV e PGA, R representa o raio da conduta e C representa o valor comum da velocidade de propagação do movimento segundo o eixo da conduta. Uma análise abreviada da equação anterior aponta para os efeitos prejudiciais do aumento do diâmetro da conduta assim

como da diminuição da velocidade de propagação do movimento segundo o eixo da conduta (solos mais brandos). A equação anterior foi deduzida admitindo um conjunto de pressupostos que se poderão afastar das situações reais em que podem ser relevantes um alargado conjunto de efeitos, como sejam a heterogeneidade do meio de fundação, a direccionalidade da propagação das ondas sísmicas face à direção da conduta no troço em questão, o comportamento fisicamente não linear (tanto do meio de fundação como da conduta propriamente dita), o efeito das juntas entre condutas, etc.

Face à multiplicidade de fatores que intervêm e condicionam os danos físicos observados em sistemas de condutas, desde há muito que se têm proposto modelos empíricos calibrados com os resultados da ocorrência de sismos. Estes modelos encontram-se expressos através de equações que relacionam um indicador de danos físicos – vulgarmente o *nº de roturas por unidade de comprimento da conduta* (tipicamente em km) – com um indicador α da severidade ação no local no qual se encontra instalada o troço de conduta em questão. À semelhança do verificado nos modelos analíticos, a severidade da ação encontra-se geralmente expressa em termos da aceleração de pico (PGA) ou da velocidade de pico (PGV) no solo. Os modelos deste tipo conduzem a funções de vulnerabilidade expressas no seguinte formato:

$$R(\alpha) = R_0(\alpha) \prod_{n=1}^N C_n$$

em que $R_0(\alpha)$ descreve a função de vulnerabilidade padrão, enquanto que os parâmetros C_n são fatores corretivos para ter em conta que a conduta analisada difere da referida situação padrão. Os fatores geralmente reconhecidos como determinantes são o material da conduta, o seu diâmetro, o tipo de juntas, o tipo de terreno, a existência de potencial para a ocorrência de movimentos permanentes no solo (liquefação, assentamentos laterais, instabilidade de taludes, etc.), entre outros. Os modelos empíricos existentes publicados na literatura internacional diferem entre si relativamente ao número de fatores corretivos considerados e, essencialmente, na base de dados utilizada para a sua calibração. Destaca-se nesse contexto extenso volume de informação coligido relativamente aos efeitos do sismo de Kobe (Kobe, Japão, 17 de janeiro de 1995) na rede de abastecimento de água que lhe serviu de base, o modelo proposto por Isoyama (por exemplo em Isoyama et al., 2000) encontra-se entre os mais pormenorizados. Neste modelo, a função de vulnerabilidade de condutas encontra-se expressa através de:

$$R(\alpha) = C_p C_d C_g C_l R_0(\alpha)$$

em que os fatores corretivos C_p , C_d , C_g e C_l consideram, respetivamente, o efeito do material da conduta, o efeito do seu diâmetro, o efeito das condições topográfico-geotécnicas e o efeito da liquefação. As funções de vulnerabilidade apresentadas por Isoyama consideram que a situação padrão corresponde a uma conduta de ferro fundido (CIP), com um diâmetro entre 100 mm e 150 mm, fundada numa planície aluvionar, sem liquefação. Neste modelo, a variável independente α poderá ser a aceleração de pico (PGA, em cm/s^2) ou a velocidade de pico (PGV, em cm/s). A determinação dos fatores corretivos deverá ser feita com base na seguinte divisão proposta por Isoyama:

- Material da conduta – DIP (ferro fundido dúctil); CIP (ferro fundido); VP (PVC), SP (aço, com juntas soldadas), SGP (aço, com juntas roscadas), ACP (fibrocimento);
- Diâmetro da conduta – consideraram-se quatro classes: 75 mm; entre 100 mm e 150 mm; entre 200 mm e 400 mm; e 500 mm ou superior;

- Condições topográfico-geotécnicas – Isoyama propõe 5 divisões: (1) zona acidentada remexida; (2) zona plana; (3) vale estreito; (4) planície aluvionar; e (5) planície aluvionar com materiais rijos.

A divisão topográfico-geotécnica proposta por Isoyama reflete a distribuição, diferencial por zonas distintas, verificada na região analisada. Trata-se, no entanto, de uma classificação casuística que poderá apresentar dificuldades à sua extrapolação para outras regiões. A divisão planície aluvionar (4) admite ainda duas subdivisões: (4.1) sem liquefação e (4.2) com liquefação parcial. As situações em que se observou o fenómeno de liquefação em larga escala foram estudadas separadamente.

A calibração dos fatores corretivos foi originalmente realizada considerando a informação detalhada existente na sequência do sismo de 1995 relativamente a dois municípios (Ashiya e Nishinomiya situados próximos de Kobe). A análise dos resultados desse estudo permite extrair as seguintes conclusões qualitativas:

- O aumento do diâmetro da conduta conduz a uma redução dos danos físicos;
- Os materiais de condutas com melhor desempenho (menor nº de roturas/km) são, pela ordem indicada: SP, outros, DIP, CIP, VP;
- Os terrenos com melhor comportamento são por ordem decrescente: (5), (2), (1), (4.1), (3) e (4.2).

A calibração das funções de vulnerabilidade padrão foi realizada considerando os danos físicos observados nas imediações das estações acelerométricas existentes na zona de Kobe. Estas estações indicavam os valores de pico do movimento (PGA e PGV) que serviram para a calibração de funções de vulnerabilidade padrão do tipo

$$R_0(\alpha) = c (\alpha - \alpha_0)^b$$

em que α_0 indica o nível de movimento sísmico (velocidade ou aceleração) a partir do qual se observavam danos enquanto que c e b constituíam variáveis para a regressão.

As equações obtidas para as condições de referência foram as seguintes (aceleração de pico a em cm/s^2 e velocidade de pico v em cm/s):

$$R_0(a) = 2.88 \times 10^{-6} (a - 100)^{1.97}$$

$$R_0(v) = 3.11 \times 10^{-3} (v - 15)^{1.30}$$

No presente estudo reteve-se a última equação (em função da velocidade de pico) porque esta apresenta maior concordância com os resultados que serviram de base à sua calibração.

Isoyama apresentou ainda os fatores corretivos a adotar em função do material, do diâmetro da conduta e das condições topográfico-geotécnicas. A lista de fatores corretivos proposta não coincide integralmente com as condições observadas na área sob estudo. Nestas condições procederam-se a adaptações que conduziram aos resultados apresentados na Tabela 42, Tabela 43, Tabela 44 e Tabela 45.

Tabela 42 - Fatores corretivos do material. Adaptado de Isoyama et al.

Material	Fator corretivo C_p
Ferro Fundido (CIP)	1
Ferro Fundido Dúctil (DIP)	0.3
Betão Armado	1
PVC (VP)	0.5
Aço (SP)	0.3
Poliéster Reforçado a Fibra de Vidro	1
Polietileno de Alta Densidade (PEAD)	1
Fibrocimento (ACP)	1.2

Refira-se que os valores propostos no quadro anterior se baseiam, para além das fontes citadas, em considerações de vulnerabilidade relativa sempre que as fontes consideradas eram omissas relativamente à situação particular em estudo. Tratam-se, designadamente, dos casos dos materiais Poliéster Reforçado a Fibra de Vidro, assim como do Polietileno de Alta Densidade.

Tabela 43 - Fatores corretivos do diâmetro. Adaptado de Isoyama et al.

Diâmetro (mm)	Fator corretivo C_d
φ75	1.6
φ100-150	1
φ200-450	0.8
φ500-	0.5

Tabela 44 - Fatores corretivos topográfico-geotécnicos. Adaptado de Isoyama et al.

Material	Fator corretivo C_g
Zona acidentada remexida (1)	1.1
Zona plana (2)	1.5
Vale estreito (3)	3.2
Planície aluvionar c/ materiais rijos (5)	0.4

Tabela 45 - Fatores corretivos da liquefação. Adaptado de Isoyama et al.

Liquefação	Factor correctivo C_l
Sem liquefação (4.1)	1
Liquefação parcial (4.2)	2
Liquefação total (4.3)	2.4

Pode aqui introduzir-se uma variante do modelo de Isoyama, que se identifica por *modelo de Isoyama modificado*, que não considera os fatores corretivos topográfico-geotécnicos nem os efeitos da liquefação, modelo esse descrito pela seguinte equação:

$$R(v) = C_p C_d R_0(v)$$

O modelo, também empírico, de vulnerabilidade sísmica de condutas enterradas proposto pelo HAZUS (FEMA, 2003) apresenta semelhanças com o modelo de Isoyama, nas suas diferentes

variantes, propondo para condutas de material frágil (exemplificando com fibrocimento, betão armado ou ferro fundido) a seguinte equação:

$$R_0(v) = 1 \times 10^{-4} v^{2.25}$$

A equação anterior deve ser multiplicada por um fator de 0,30 quando se tratem de condutas de um material dúctil, exemplificando com aço, ferro fundido dúctil ou PVC.

Procede-se na Figura 45 à análise comparativa da gama de resultados dos modelos empíricos de vulnerabilidade sísmica de condutas enterradas atrás apresentados, o modelo de Isoyama modificado e o modelo HAZUS. Comparam-se as funções de vulnerabilidade do HAZUS frágil (e.g., Fibrocimento, FC, Betão Armado, BA, e Ferro Fundido, FF) e dúctil (e.g., Aço, AC e Ferro Fundido Dúctil, FD, Aço, FC e PVC) com a curva de referência e as curvas extremas (“best”, $C_p C_d = 0.15$, e “worst”, $C_p C_d = 1.92$, acrescentando à lista de materiais o aço galvanizado para o qual se admite $C_p = 2$) do modelo de Isoyama modificado.

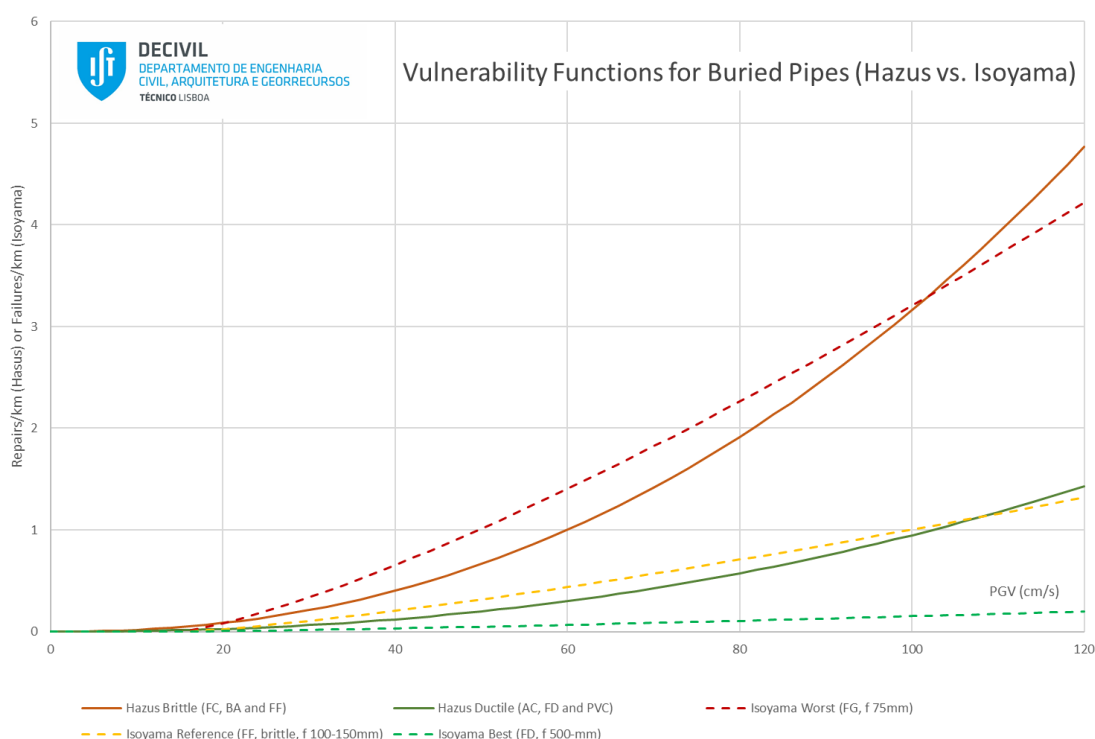


Figura 45 - Famílias de funções de vulnerabilidade de condutas enterradas.

A análise da Figura 45 aponta para uma boa concordância genérica entre as duas abordagens para a determinação de funções de vulnerabilidade de condutas enterradas, sendo de referir a maior diversidade de situações que decorre da aplicação do modelo de Isoyama modificado, que permite ter em conta não só o efeito do material, mas também (e nisso destaca-se claramente do modelo HAZUS) das gamas de diâmetros.

2.6.3.2. Rede de Abastecimento de Água

Como foi atrás referido, o sistema de abastecimento de água no concelho de Oeiras encontra-se descrito em termos das suas componentes geograficamente distribuídas (condutas enterradas, de

adução/transporte e distribuição) e das suas componentes geograficamente discretas, neste caso correspondente às Estações Elevatórias, Reservatórios e Furos de captação. Proceder-se de seguida à apresentação dos correspondentes modelos de vulnerabilidade sísmica.

Condutas Enterradas

Face ao exposto anteriormente propõe-se a adoção da função de vulnerabilidade do que aqui é designado por modelo de Isoyama modificado, descrita pela seguinte equação (em R representa o nº de roturas por unidade de comprimento da conduta, em km) e as restantes variáveis e parâmetros têm os significados indicados anteriormente:

$$R(v) = C_p C_d R_0(v)$$

A função de vulnerabilidade padrão $R_0(v)$ corresponde a uma conduta de ferro fundido (CIP), com um diâmetro entre 100 mm e 150 mm, fundada num terreno com características geotécnicas e orográficas indiferenciadas. A função anterior não contempla objetivamente o risco de liquefação nem situações orográficas que sejam particularmente gravosas.

Concretizando, a função de vulnerabilidade padrão $R_0(v)$ é descrita por:

$$R_0(v) = 3.11 \times 10^{-3} (v - 15)^{1.30}$$

Em rigor essa equação deve ser corrigida para velocidades inferiores a 15 cm/s, podendo ser reescrita da seguinte forma:

$$R_0(v) = 3.11 \times 10^{-3} (\max(v - 15; 0))^{1.30}$$

Quanto aos parâmetros (fatores corretivos) C_p e C_d , propõem-se os valores constantes na Tabela 46 e Tabela 47, tendo em atenção os resultados caracterização da dos elementos expostos em termos da condutas enterradas do sistema de abastecimento de água, conforme apresentado anteriormente.

Tabela 46 - Proposta de fatores corretivos do material.

Material	Fator corretivo C_p
Aço (AC , SP)	0.3
Betão Armado (BA)	1
Ferro Fundido (FF , CIP)	1
Ferro Fundido Dúctil (FD , DIP)	0.3
Ferro Galvanizado (FG , GI)	2*
Fibrocimento (FC , ACP)	1.2
Hostalene (HOST , Eq. PEAD)	1
Polietileno de Alta Densidade (PEA , PEAD)	1
Polietileno de Baixa Densidade (PEB , PEBD)	1*
Policloreto de Vinilo (PVC , VP)	0.5

No quadro anterior assinalou-se a negrito as siglas pelas quais os diferentes materiais são identificados em alguns dos grupos de dados disponibilizados. Deve referir-se que nos casos do Ferro Galvanizado (FG) e do Polietileno de Baixa Densidade (PEB), materiais não constantes das publicações de Isoyama, procedeu-se a uma extrapolação tendo por base a observação de danos na sequência de sismos de Christchurch (Nova Zelândia), de 2010 a 2011, conforme descritos por

Cubrinovski (Cubrinovski et al., 2014), sendo os correspondentes fatores corretivos identificados com o sobrescrito *.

O fator corretivo do diâmetro passou aqui a ser definido por um conjunto de intervalos que no seu conjunto cobrem toda a gama de diâmetros encontrada, conforme indicado na Tabela 47.

Tabela 47 - Fator corretivo C_d (situação de referência a sombreado, intervalos de diâmetros ajustados).

Diâmetro (mm)	Fator corretivo C_d
$\phi 0-87.5$	1.6
$\phi 87.5-175$	1
$\phi 175-475$	0.8
$\phi 475-$	0.5

Nas tabelas anteriores assinalaram-se a sombreado as situações padrão, em termos do material da conduta e da gama de diâmetros.

Uma forma de contemplar o conjunto completo de funções de vulnerabilidade consiste em considerar uma família de 40 funções, correspondentes às diferentes combinações possíveis (em alguns casos inexistentes) entre as 10 classes de materiais e os 4 intervalos de diâmetros de condutas, conforme descrito na Tabela 48.

Tabela 48 - Família de funções de vulnerabilidade de condutas enterradas da rede de abastecimento de água.

Combinação	Material	Abr Material	Diâm Min (mm)	Diâm Max (mm)	C_p	C_d	$C_p \times C_d$
1	Aço	AC	0	87.5	0.3	1.6	0.48
2	Aço	AC	87.5	175	0.3	1	0.3
3	Aço	AC	175	475	0.3	0.8	0.24
4	Aço	AC	475	1200	0.3	0.5	0.15
5	Betão Armado	BA	0	87.5	1	1.6	1.6
6	Betão Armado	BA	87.5	175	1	1	1
7	Betão Armado	BA	175	475	1	0.8	0.8
8	Betão Armado	BA	475	1200	1	0.5	0.5
9	Ferro Fundido	FF	0	87.5	1	1.6	1.6
10	Ferro Fundido	FF	87.5	175	1	1	1
11	Ferro Fundido	FF	175	475	1	0.8	0.8
12	Ferro Fundido	FF	475	1200	1	0.5	0.5
13	Ferro Fundido Dúctil	FD	0	87.5	0.3	1.6	0.48
14	Ferro Fundido Dúctil	FD	87.5	175	0.3	1	0.3
15	Ferro Fundido Dúctil	FD	175	475	0.3	0.8	0.24
16	Ferro Fundido Dúctil	FD	475	1200	0.3	0.5	0.15
17	Ferro Galvanizado	FG	0	87.5	2	1.6	3.2
18	Ferro Galvanizado	FG	87.5	175	2	1	2
19	Ferro Galvanizado	FG	175	475	2	0.8	1.6
20	Ferro Galvanizado	FG	475	1200	2	0.5	1
21	Fibrocimento	FC	0	87.5	1.2	1.6	1.92
22	Fibrocimento	FC	87.5	175	1.2	1	1.2
23	Fibrocimento	FC	175	475	1.2	0.8	0.96
24	Fibrocimento	FC	475	1200	1.2	0.5	0.6
25	Hostalene	HOST	0	87.5	1	1.6	1.6
26	Hostalene	HOST	87.5	175	1	1	1
27	Hostalene	HOST	175	475	1	0.8	0.8
28	Hostalene	HOST	475	1200	1	0.5	0.5
29	Poliétileno de Alta Densidade	PEA	0	87.5	1	1.6	1.6
30	Poliétileno de Alta Densidade	PEA	87.5	175	1	1	1
31	Poliétileno de Alta Densidade	PEA	175	475	1	0.8	0.8
32	Poliétileno de Alta Densidade	PEA	475	1200	1	0.5	0.5
33	Poliétileno de Baixa Densidade	PEB	0	87.5	1	1.6	1.6
34	Poliétileno de Baixa Densidade	PEB	87.5	175	1	1	1
35	Poliétileno de Baixa Densidade	PEB	175	475	1	0.8	0.8
36	Poliétileno de Baixa Densidade	PEB	475	1200	1	0.5	0.5
37	Policloreto de Vinilo	PVC	0	87.5	0.5	1.6	0.8
38	Policloreto de Vinilo	PVC	87.5	175	0.5	1	0.5
39	Policloreto de Vinilo	PVC	175	475	0.5	0.8	0.4
40	Policloreto de Vinilo	PVC	475	1200	0.5	0.5	0.25

Verifica-se assim que coeficiente multiplicativo composto (que traduz o efeito cumulativo do tipo de material e do diâmetro) $C_p \times C_d$ varia entre um valor mínimo de 0,15 (correspondente a Ferro Fundido Dúctil e diâmetro superior a 475mm) e um valor máximo de 3,2 (correspondente a Ferro Galvanizado e diâmetro inferior a 87,5mm).

Estações Elevatórias (EE)

No presente estudo foram adotadas as funções de vulnerabilidade definidas no HAZUS (FEMA, 2003), que serão posteriormente individualizadas para tem em conta a especificidade das EE consideradas. Pode acrescentar-se que as funções de vulnerabilidade propostas no HAZUS para as EE dependem essencialmente dos seguintes fatores: (i) capacidade de bombagem da EE; e (ii) grau de amarração das subcomponentes da instalação. O HAZUS define os seguintes 4 possíveis níveis de danos: ds2 (slight/minor, ligeiro); ds3(moderate, moderado); ds4 (extensive, extensos) e ds5

(complete, total). A esses níveis de danos acresce o nível ds1 (none, ausência de danos). Esses níveis de danos têm o seguinte significado em Estações Elevatórias:

- ds2. Perda de operacionalidade da instalação por um período curto (da ordem de 3 dias) em consequência do corte da energia elétrica, ou ocorrência de danos ligeiros nos edifícios que albergam os equipamentos de bombagem;
- ds3. Perda de operacionalidade da instalação por um período médio (da ordem de 1 semana) em consequência do corte da energia elétrica e ocorrência de danos consideráveis no equipamento elétrico e mecânico, ou ocorrência de danos moderados nos edifícios que albergam os equipamentos de bombagem;
- ds4. Danos estruturais elevados nos edifícios ou ocorrência de danos irreparáveis no equipamento de bombagem;
- ds5. Colapso dos edifícios que albergam o equipamento de bombagem.

Como referido, as EE são diferenciadas, no referente à sua capacidade de bombagem, em pequenas (menos de 10 mgd = 37850 m³/d) ou médias/grandes (superior ao valor anterior). A diferenciação em termos do grau de amarração dos subcomponentes é realizada distinguindo as EE amarradas das EE não amarradas. Genericamente a diferença manifesta-se na presença (ou ausência) de dispositivos específicos de travamento ou amarração dos componentes e sistemas instalados. Na omissão de conhecimento mais detalhado, poderá considerar-se que as Estações Elevatórias são pequenas e que os seus componentes são não amarrados, de que resultam as curvas de fragilidade correspondentes aos 4 níveis de danos descritas na Tabela 49 (tipologia PPP2 do HAZUS).

Tabela 49 - Parâmetros das curvas de fragilidades para EE “pequenas” “não amarradas” (distribuição lognormal, variável IMT PGA).

Estações Elevatórias, Pequenas, Não Ancorados (PPP2)				
Nível de Danos (ds)	Mediana (g)	beta (β)	Média (g)	SD (g)
ds2 (slight/ligeiros)	0.13	0.6	0.156	0.102
ds3 (moderate/moderados)	0.28	0.5	0.317	0.169
ds4 (severe/severos)	0.66	0.65	0.815	0.591
ds5 (collapse/colapso)	1.5	0.8	2.066	1.956

Uma vez que a descrição das curvas de fragilidade no OPENQUAKE é realizada mediante a indicação da média (mean) e desvio padrão (SD) e não através da mediana (median) e beta, no quadro anterior indicam-se simultaneamente os valores das medianas e betas (dados pelo HAZUS) e os valores das médias e desvios-padrões (determinados autonomamente). Esse procedimento será adotado em alguns dos restantes quadros com a caracterização das funções de fragilidade adaptadas do HAZUS.

Reservatórios

A avaliação da vulnerabilidade dos reservatórios de água foi conduzida considerando as propostas do HAZUS, que distingue os reservatórios de acordo com o material (Betão, Aço ou Madeira), com o facto de estes serem enterrados, apoiados ou elevados (variantes só existindo para alguns dos materiais) e da amarração dos seus componentes. Com a exceção dos reservatórios enterrados

quando sujeitos a liquefação ou a deslizamento de encostas, situação pouco provável, a variável representativa da ação que melhor se correlaciona com os danos é a aceleração de pico no solo (PGA). Os estados de danos considerados, ds2 a ds5, têm neste caso as seguintes expressões:

- ds2. Danos estruturais ligeiros, sem perda de conteúdo ou de funcionalidade;
- ds3. Danos consideráveis, mas com reduzida perda de conteúdo;
- ds4. Danos severos e inoperacionalidade;
- ds5. Colapso do reservatório e perda total do conteúdo.

No caso dos reservatórios de que foi fornecida alguma informação – reservatórios de Vila Fria e de Alfragide, da EPAL, e outros 19 explorados pelo SIMAS – os mesmos foram enquadrados na tipologia PST2 do HAZUS, correspondente a reservatórios de Betão Armado, apoiados e não ancorados, cujas características das funções de fragilidade correspondentes aos 4 estados de danos constam da Tabela 50.

Tabela 50 - Parâmetros das curvas de fragilidades para os Reservatórios de Vila Fria e de Alfragide.

Reservatórios Betão Armado, Apoiados, Não Ancorados (PST2)				
Nível de Danos (ds)	Mediana (g)	beta (β)	Média (g)	SD (g)
ds2 (slight/ligeiros)	0.18	0.6	0.215	0.142
ds3 (moderate/moderados)	0.42	0.7	0.537	0.427
ds4 (severe/severos)	0.7	0.55	0.814	0.484
ds5 (collapse/colapso)	1.04	0.6	1.245	0.820

Furos de Captação

Finalmente, no que se refere à rede de abastecimento de água, verifica-se a existência de um furo de captação, designada por “Furo de Barcarena”. No desconhecimento de outras características ter-se-iam os parâmetros das distribuições de probabilidades dos estados/níveis de danos correspondentes à PWE1 do HAZUS, apresentados na Tabela 51, correspondente à situação mais geral.

Tabela 51 - Parâmetros das curvas de fragilidades para os furos de captação.

Captações (Furos) (PWE1)				
Nível de Danos (ds)	Mediana (g)	beta (β)	Média (g)	SD (g)
ds2 (slight/ligeiros)	0.15	0.75	0.199	0.173
ds3 (moderate/moderados)	0.36	0.65	0.445	0.322
ds4 (severe/severos)	0.72	0.65	0.889	0.645
ds5 (collapse/colapso)	1.5	0.8	2.066	1.956

Os estados de danos considerados, ds2 a ds5, podem neste caso definir-se da seguinte forma:

- ds2. Problemas no furo ou na bomba por um período curto (inferior a 3 dias) em resultado de falha de energia e/ou danos ligeiros em edifícios auxiliares;
- ds3. Perda de operacionalidade por um período de cerca de uma semana, por perda de energia, danos consideráveis a equipamentos mecânicos ou elétricos ou danos moderados em edifícios auxiliares;

- ds4. Danos consideráveis em edifícios auxiliares ou na bomba ou deformação pronunciada do furo propriamente dito;
- ds5. Colapso dos edifícios auxiliares.

Procede-se de seguida à análise e avaliação de danos da rede de abastecimento de água para o cenário correspondente a um período de retorno de 475 anos (probabilidade de excedência de 10% a 50 anos). A análise irá ser conduzida de forma integrada, considerando simultaneamente os elementos contínuos (neste caso as condutas enterradas dos grupos de dados Condutas_Adutoras_SIMAS, Condutas_Ramal_SIMAS e Condutas_SIMAS) e os elementos discretos, ou sejam as Estações Elevatórias, os Reservatórios e os Furos de Captação. Relativamente aos elementos contínuos, o indicador de dano é a variável R (número de roturas por unidade de comprimento da conduta, em km). Para contextualizar essa variável de dano, atente-se aos estudos de Kawakami (1998) que considera nula a perda de operacionalidade do componente (ou rede) quando a taxa média de falhas é inferior a 0,1 rot./km, valor a partir do qual se observa uma perda gradual (linear) de operacionalidade, que é total para valores do indicador de danos físicos iguais (ou superiores) a 1 rot./km. Face ao exposto, considerou-se a seguinte descrição qualitativa do estado de danos das condutas:

- $R < 0,1$ - danos desprezáveis;
- $0,1 \leq R < 0,55$ - danos significativos;
- $0,55 \leq R < 1$ - danos importantes;
- $R \geq 1$ - danos totais (perda de operacionalidade).

Neste caso, para o cenário descrito (período de retorno de 475 anos) a totalidade das condutas apresenta danos desprezáveis, ou seja $R < 0,1$, conforme se poderia ter inferido do facto de que o valor de pico mais elevado de velocidade para esse cenário no conjunto dos pontos interessados é de 21,3 cm/s. Pode ainda observar-se que para o cenário correspondente ao período de retorno de 1303 anos (probabilidade de excedência de 3,8% a 50 anos) o valor de pico mais elevado de velocidade é de 33,94 cm/s, verificando-se que para o mesmo cenário o número de troços de conduta que apresenta danos significativos varia entre 5% e 15%, dependente do grupo de dados. Os restantes troços de conduta mantêm-se na classe de danos desprezáveis.

Considerando agora os elementos discretos, verifica-se que para o mesmo cenário (período de retorno de 475 anos) todos os elementos – Estações Elevatórias, Reservatórios e Furos de Captação – apresentam como estado/nível de danos prevalente o estado de danos “Ligeiros”, ds1.

2.6.3.3. Rede de Saneamento

Os elementos geograficamente distribuídos da rede de saneamento encontram-se agrupados em 3 grupos de dados, a saber Troco_Conduta, Troco_Coletor e Troco_Coletor_Municipal. Para esses elementos considerou-se como referência a metodologia de avaliação de vulnerabilidade sísmica indicada no HAZUS, que nesse contexto identifica e distingue os seguintes dois tipos de elementos distribuídos: *collection sewers* (com escoamento em superfície livre, geralmente de menor dimensão entre 100mm e 1000mm), em grés cerâmico, em betão ou, para menores dimensões, em plástico) e *interceptors* (também em superfície livre, de materiais semelhantes aos *collection sewers* mas de maior dimensão). A metodologia HAZUS prevê nesses casos os seguintes estados de dano:

fugas (leaks) e fraturas (breaks), que aqui são genericamente consideradas como roturas, encontrando-se descritas pela variável de dano R (o nº de roturas por unidade de comprimento da conduta, em km), equiparável à variável com introduzida a propósito das condutas da rede de abastecimento de água. Neste caso o HAZUS propõe a seguinte equação de danos:

$$R(v) = C_p \times 0,0001 v^{2,25}$$

Em que C_p representa um fator corretivo para ter em conta o material. Esse fator corretivo é considerado unitário para condutas/coletores constituídos por um material frágil (indicam-se explicitamente o Betão Armado e o Grés), sendo considerado com o valor de 0,3 para condutas constituídas por materiais dúcteis (exemplifica-se com o plástico). Considerando a diversidade de materiais existentes nos dois grupos de dados anteriormente referidos, consideraram-se os valores de C_p indicados na Tabela 52.

Tabela 52 - Valores do fator corretivo C_p de acordo com a metodologia HAZUS.

Material	Abreviatura	Tipo	C_p
Betão Armado (BA)	BA	Frágil	1
Betão Simples (BS)	BS	Frágil	1
Ferro Fundido	FF	Frágil	1
Ferro Fundido Dúctil	FD	Dúctil	0.3
Grés Cerâmico (GR)	GR	Frágil	1
Não conhecido	BC	Frágil	1
Policloreto de Vinilo	PVC	Dúctil	0.3
Poliéster Reforçado a Fibra de Vidro	PRV	Dúctil	0.3
Polietileno de Alta Densidade	PEA	Frágil	1
Polipropileno Corrogado (Corrugado)	PPC	Dúctil	0.3

Considerando agora os elementos geograficamente localizados, que no presente caso correspondem apenas às Estações Elevatórias de Águas Residuais, EEARs, em número de 17, dos quais 13 do grupo de dados Saneamento_SIMAS e 4 do grupo de dados Saneamento_ATA. No HAZUS esses elementos, identificados por Lift Station (LS), são considerados de forma análoga aos das Estações Elevatórias (EEs) da rede de abastecimento de água, cujos estados de danos foram atrás descritos. Relativamente às variáveis que definem as curvas de fragilidade correspondentes a esses estados de dados, pode aqui admitir-se que as EEARs são de pequena dimensão e que os seus componentes não se encontram ancorados, correspondendo assim à Tabela 53:

Tabela 53 - Parâmetros das curvas de fragilidades para EEARs "pequenas" "não amarradas" (distribuição lognormal, variável IMT PGA).

EEARs "Pequenas" (<10 mgd=37.854 m³/d) PPP2

Nível de Danos (ds)	Mediana (g)	beta (β)	Média (g)	SD (g)
ds2	0.13	0.6	0.156	0.102
ds3	0.28	0.5	0.317	0.169
ds4	0.66	0.65	0.815	0.591
ds5	1.5	0.8	2.066	1.956

Procedendo à análise e avaliação de danos da rede de saneamento para o cenário correspondente a um período de retorno de 475 anos (probabilidade de excedência de 10% a 50 anos) de forma integrada, conjugando os resultados dos elementos geograficamente distribuídos e localizados.

Relativamente aos elementos geograficamente distribuídos e admitindo que a variável que descreve o dano, R (número de roturas por unidade de comprimento da conduta, em km), não é suficientemente explícita considerou-se uma classificação qualitativa análoga à adotada na rede de abastecimento de água, que conduz aos estados de danos desprezáveis ($R < 0,1$), significativos ($0,1 \leq R < 0,55$), importantes ($0,55 \leq R < 1$) e totais ($R \geq 1$). Neste caso, para o cenário descrito (período de retorno de 475 anos) a totalidade dos elementos geograficamente distribuídos, condutas e coletores apresenta danos desprezáveis, ou seja $R < 0,1$, embora muito marginalmente em alguns casos. Já no cenário correspondente ao período de retorno de 1303 anos (probabilidade de excedência de 3,8% a 50 anos) se verificam várias ocorrências de valores de R correspondentes a danos significativos.

Nos elementos geograficamente localizados, verifica-se que em alguns casos prevalece a ocorrência de danos ligeiros (ds2) enquanto que noutros casos, provavelmente em consequência do efeito de sítio, verifica-se a prevalência do estado/nível de danos moderados (ds3). Concretamente as EEARS com prevalência de danos moderados são: Fermentos Holandeses, Dafundo E2, Dafundo Aquário, Laje, Passeio Marítimo (Sto Amaro Oeiras), Barcarena, Jamor, Algés E1 e outro (não conhecido)

2.6.3.4. Rede de Gás

Verificou-se que o grupo de dados identificado por Tubagem_GALP dispõe de atributos que permitem o ajuste da metodologia HAZUS de avaliação da vulnerabilidade sísmica. Essa metodologia considera que as condutas/tubagens são sensíveis aos valores de pico da velocidade (PGV, “Peak Ground Velocity”) e do deslocamento (PDG, “Peak Ground Displacement”) no solo, ou seja, apresentam fraca correlação com os valores de pico de aceleração (PGA). Ainda nesses elementos procede-se a uma distinção dos danos entre fugas (“leaks”) e roturas (“breaks”). Quando os danos resultam de movimentos do terreno, PGD, predominam as roturas (em 80%), enquanto que quando os danos resultam da propagação das ondas sísmicas, caracterizadas pelo PGV, os danos tendem a ser fugas (em 80%) e encontrar-se associados à encurvadura local das paredes das tubagens. Nesses dois casos o modo de dano não predominante – fugas no caso de PGD e roturas no caso de PGV – corresponderá aos restantes 20% das ocorrências de danos.

Relativamente aos modelos de vulnerabilidade de condutas da rede de gás, o HAZUS remete para modelos análogos aos das condutas de rede de combustíveis (“oil pipelines”), por sua vez análogos aos das condutas enterradas da rede de abastecimento de água, salvaguardadas as diferenças em termos dos materiais. O modelo de danos depende de PGV ou de PGD, sendo nesse último caso ponderada a probabilidade de ocorrência de liquefação, aspeto não considerado no presente estudo. Assim sendo, considera-se aqui que a variável que descreve os danos é R (o nº de roturas por unidade de comprimento da conduta, em km), relacionando-se com PGV (neste caso descrito pela variável v , em cm/s), sendo descrita por:

$$R(v) = C_p \times 0,0001 v^{2,25}$$

Em que o parâmetro C_p depende do facto de se considerar que a conduta é frágil ($C_p = 1$, conduta com junta soldada a gás) ou dúctil ($C_p = 0,3$, conduta com junta soldada por arco).

Conjugando as informações anteriores propõem-se a função de vulnerabilidade anterior, com o valor do parâmetro C_p correlacionado com o material da conduta de acordo com os valores constantes da Tabela 54, obtida considerando as fontes bibliográficas adotadas nas redes de abastecimento de água, complementadas por Psyras & Sextos (2017):

Tabela 54 - Valores do Fator Corretivo C_p para condutas da rede de gás.

Material	Fator corretivo C_p
Aço, com juntas soldadas por arco elétrico	0.3
Aço, com juntas soldadas por gás	1
Ferro Dúctil	0.3
PE (Polietileno)	0.3

Na ausência de informações sobre o tipo de soldadura das condutas de aço, optou-se, conservativamente, por considerar-se que essas juntas são soldadas a gás (mais frágil).

Procede-se de seguida à análise e avaliação de danos da rede de gás para o cenário correspondente a um período de retorno de 475 anos (probabilidade de excedência de 10% a 50 anos), considerando os elementos geograficamente distribuídos. Admitindo que a variável que descreve o dano, R (número de roturas por unidade de comprimento da conduta, em km), não é suficientemente explícita considerou-se uma classificação qualitativa análoga à adotada nas redes de abastecimento de água e de saneamento, neste caso mais exigente tendo em conta os riscos acrescidos associados a fugas. Considerando que: (i) o modelo de Kawakami citado no estudo da rede de abastecimento de água admite que a perda gradual de funcionalidade se inicia para $R = 0,1$; (ii) ainda na rede de águas, o modelo de Isoyama só considera danos quando o PGV excede 15 cm/s; (iii) que nos modelos HAZUS (adotados na rede de gás), o valor de R para PGV=15 cm/s varia entre 0,013 e 0,044; (iv) que os riscos associados aos danos de condutas da rede de gás são de fugas (perdas e subsequente risco de incêndio) e, numa fase mais avançada, os danos físicos nas condutas que impossibilitam a sua reparação; optou-se pela subdivisão do intervalo de R entre 0 e 0,1 em 3 sub-intervalos: inferior a 0,02; entre 0,02 e 0,055; entre 0,055 e 0,1. Propõe-se assim a seguinte classificação qualitativa dos danos:

- $R < 0,02$ - Inexistência de danos ou de fugas;
- $0,02 \leq R < 0,055$ - Danos físicos desprezáveis, algumas fugas, ainda sem efeitos;
- $0,055 \leq R < 0,1$ - Danos físicos reduzidos, com fugas com risco médio;
- $0,1 \leq R < 0,55$ - Danos físicos médios, fugas totais;
- $0,55 \leq R < 1$ - Danos físicos totais, fugas totais.

Neste caso, para o cenário descrito (período de retorno de 475 anos), verifica-se como pior resultado a ocorrência do estado de danos “Danos físicos reduzidos, com fugas com risco médio”, $0,055 \leq R < 0,10$, para um conjunto de troços de condutas de aço de 400mm de diâmetro, nas zonas do vale do Jamor e de Miraflores, perfazendo um comprimento total de 2.249 m. O nível inferior de danos, “Danos físicos desprezáveis, algumas fugas, ainda sem efeitos”, $0,02 \leq R < 0,055$, é verificado num total de condutas diversificadas em termos do material perfazendo um comprimento de 29.686,5 m. Finalmente o nível mínimo de danos, “Inexistência de danos ou de fugas”, $R < 0,02$, é predominante perfazendo um comprimento total de 407.927m.

Embora aqui não se proceda à análise exaustiva desse cenário, pode adiantar-se que para o cenário do período de retorno de 1303 anos (probabilidade de excedência de 3,8% a 50 anos), há um

conjunto de condutas de aço cujos danos são qualificados como “Danos físicos médios, fugas totais”, $0,1 \leq R < 0,55$, perfazendo 3.329,79m.

2.6.3.5. Rede Elétrica

Como referido oportunamente, ponderando os resultados da observação do risco sísmico de componentes da rede elétrica com a significância dos sub-grupos de dados disponibilizados, consideraram-se os seguintes sub-grupos de dados (os dois primeiros referem-se a elementos geograficamente distribuídos e o terceiro a elementos localizados) da rede elétrica:

- RedeTroco_BT_IP_EDP –elementos cujo atributo Tipo é: Subterrâneo, Subterrâneo em galeria ou Subterrâneo entubado (considerou-se ainda o atributo Aéreo a que foi atribuída uma vulnerabilidade nula);
- RedeTroco_IP_EDP –elementos cujo atributo Tipo é: Aéreo Apoiado, Aéreo Pousado, Subterrâneo, Subterrâneo em Galeria e Subterrâneo Entubado (as tipologias áreas foram consideradas mas com vulnerabilidade nula);
- Instalacoes_IP –Postos de Transformação, PTs, em número de 543.

A aferição da vulnerabilidade dos elementos anteriores foi realizada considerando como referência a metodologia HAZUS, embora de forma diferente para os sub-grupos de dados espacialmente distribuídos e para o sub-grupo de dados espacialmente localizado.

Quanto aos elementos geograficamente distribuídos que constituem linhas de transmissão e de distribuição. Dentro destas historicamente as linhas aéreas apresentam menor risco, não sendo geralmente consideradas em metodologias de avaliação da vulnerabilidade da rede (e.g. HAZUS). Assim sendo, o estudo focalizou-se nas linhas de distribuição, à superfície ou enterradas, que foram aqui incluídas na categoria “distribution circuits” do HAZUS. Nessa metodologia admite-se que os estados de dano: de ligeiro (ds2, slight/minor), moderado (ds3, moderate), extensos (ds4, extensive) e total (ds5, complete), correspondem, respetivamente (e por essa ordem), à falha de 4%, 12%, 50% e 80% dos circuitos. Procedeu-se ainda a uma distinção entre as linhas dimensionadas com cuidados específicos em termos do seu desempenho sísmico e aquelas sem esses cuidados (identificadas por Standard). No caso em apreço admite-se que será prevalente esse último caso, pelo que se apresentam na Tabela 55 os parâmetros das funções de fragilidade correspondentes aos quatro estados de danos referidos anteriormente. Nessas curvas de fragilidade a variável que descreve a severidade local da ação sísmica é o valor de pico da aceleração no solo (PGA, em g).

Tabela 55 - Parâmetros das curvas de fragilidades para as linhas de distribuição, à superfície ou enterradas, da rede elétrica (distribuição lognormal, variável IMT PGA).

"Distribution Circuits", "Standard Components (EDC2)

Nível de Danos (ds)	Mediana (g)	beta (β)	Média (g)	SD (g)
ds2, ligeiros (slight/minor)	0.24	0.25	0.248	0.063
ds3, moderados (moderate)	0.33	0.2	0.337	0.068
ds4, extensos (extensive)	0.58	0.15	0.587	0.088
ds5,total (complete)	0.89	0.15	0.900	0.136

Uma vez que a descrição das curvas de fragilidade no OPENQUAKE é realizada mediante a indicação da média (mean) e desvio padrão (SD) e não através da mediana (median) e beta, no quadro anterior indicam-se simultaneamente os valores das medianas e betas (dados pelo HAZUS) e os valores das médias e desvios-padrões (determinados autonomamente).

Relativamente aos elementos espacialmente localizados, neste caso os PTs (Postos de Transformação), na ausência de dados mais detalhados, considerou-se a tipologia do HAZUS correspondente a “subestações” (substations), “média voltagem”, “não travadas” (unanchored) cujas curvas de fragilidade são descritas pelos parâmetros seguintes da Tabela 56.

Tabela 56 - Parâmetros das curvas de fragilidades para as sub-estações PTs da rede elétrica (distribuição lognormal, variável IMT PGA).

"Electrical Substations", "Medium Voltage", "Unanchored" (ESS4)

Nível de Danos (ds)	Mediana (g)	beta (β)	Média (g)	SD (g)
ds2, ligeiros (slight/minor)	0.1	0.6	0.120	0.079
ds3, moderados (moderate)	0.2	0.5	0.227	0.121
ds4, extensos (extensive)	0.3	0.4	0.325	0.135
ds5, total (complete)	0.5	0.4	0.542	0.226

Procede-se de seguida à análise e avaliação de danos da rede de elétrica para o cenário correspondente a um período de retorno de 475 anos (probabilidade de excedência de 10% a 50 anos) de forma integrada, discriminando os resultados por sub-grupo de dados.

No sub-grupo de dados RedeTroco_BT_IP_EDP, verifica-se que na tipologia predominante (Tipo “Subterrâneo”), prevalece o estado de danos Ligeiros (cerca de 70% do comprimento) sobre o estado de danos moderado (restantes 30%). As tipologias remanescentes de linhas de transmissão não aéreas, “Subterrâneo em Galeria” e “Subterrâneo Entubado”, de muito menor expressão, apresentam por essa ordem danos ligeiros e moderados.

No sub-grupo de dados RedeTroco_IP_EDP, observa-se um panorama análogo ao anterior, ou seja, verifica-se que na tipologia predominante (Tipo “Subterrâneo”), prevalece o estado de danos Ligeiros (cerca de 72% do comprimento) sobre o estado de danos moderado (restantes 28%). As tipologias remanescentes de linhas de transmissão não aéreas, “Subterrâneo em Galeria” e “Subterrâneo Entubado”, de muito menor expressão, apresentam por essa ordem danos ligeiros (100%) e ligeiros (83%)/moderados (17%).

Analisando de seguida os elementos geograficamente localizados, neste caso correspondentes aos PTs (Postos de Transformação) verifica-se que dos 543 PTs, 1 apresenta danos desprezáveis, 301 apresentam danos ligeiros (ds2), 177 apresentam danos moderados (ds3) e 64 danos apresentam extensos (ds4). Trata-se de um panorama significativamente pior do que o verificado nas restantes infraestruturas, o que poderá ficar a dever-se por um lado à reconhecida vulnerabilidade sísmica dos Postos de Transformação e ao facto de na ausência de informação mais detalhada se terem assumido um conjunto de hipóteses conservativas, como sejam aquelas referidas à média tensão e, sobretudo, referente à ausência de travamento.

2.6.3.6. Rede de Telecomunicações

Quando se procedeu à análise e caracterização dos 3 sub-grupos de dados disponibilizados referentes às infraestruturas de telecomunicações (**conduta_oni**, **conduta_nos** e **conduta_first_rule**), concluiu-se que estes podem ser considerados equivalentes a condutas enterradas de cabos, assimiláveis a condutas de cabos subterrâneas. Pode assim considerar-se, numa analogia muito forçada (mas que é a única que ocorre como razoável, na ausência e indicações específicas pela metodologia HAZUS), assimilar as referidas condutas de cabos aos ramais da rede de saneamento (provavelmente tratar-se-ão de condutas), pelo que se propõe um modelo de vulnerabilidade em que o parâmetro que descreve os danos é R (o nº de roturas por unidade de comprimento da conduta, em km), relacionando-se com PGV (neste caso descrito pela variável v , em cm/s), sendo expressa por:

$$R(v) = C_p \times 0,0001 v^{2,25}$$

Neste caso e na indisponibilidade do conhecimento do material das referidas condutas de cabos, sugere-se que em função da menor propensão para da rotura da referida conduta resultarem danos funcionais para a referida rede, que se considere, simplificada, que se tratam de condutas dúcteis, ou seja com o parâmetro C_p com um valor de 0,3, ou seja:

$$R(v) = 0,3 \times 0,0001 v^{2,25}$$

Procede-se de seguida à análise dos danos assim determinados para o cenário de sismo com um período de retorno de 475 anos (probabilidade de excedência de 10% em 50 anos). À semelhança do realizado nos elementos distribuídos da rede de saneamento, optou-se por proceder a uma classificação qualitativa dos danos em cada troço em correspondência com o valor da variável R , classificando os danos como desprezáveis ($R < 0,1$), significativos ($0,1 \leq R < 0,55$), importantes ($0,55 \leq R < 1$) e totais ($R \geq 1$). Neste caso verifica-se que em todos os troços de todos os sub-grupos de dados a variável R é inferior a 0,1, pelo que na sua totalidade e para o cenário considerado se podem considerar desprezáveis os danos. No cenário em questão (TR=475anos) os valores mais elevados da variável R são de 0,029 em todos os sub-grupos de dados. Embora não se proceda aqui a uma análise detalhada do cenário do sismo com um período de retorno de 1303 anos (probabilidade de excedência de 3,8%) pode acrescentar-se que mesmo nesse cenário os danos expectáveis podem ser qualificados de desprezáveis.

2.6.3.7. Redes Rodoviária e Ferroviária

O objetivo do estudo consiste em, para um dado um cenário sísmico, calcular a probabilidade de cada elemento da rede atingir ou ultrapassar um determinado estado de dano. Consideram-se os seguintes 5 níveis (ou estados) de dano, à semelhança do verificado com outros elementos:

- Sem Danos (“None”) - ds1
- Danos Ligeiros (“Slight”) - ds2
- Danos Moderados (“Moderate”) - ds3
- Danos Elevados (“Extensive”) - ds4
- Colapso (“Complete”) - ds5

Para o presente feito consideram-se como elementos vulneráveis as obras de arte inseridas nas referidas redes.

Cálculo das probabilidades associadas aos danos nas obras de arte

Os danos nos elementos da rede podem ter três tipos de origem:

- devido à ação dinâmica imposta pelo movimento do solo (DIN);
- devido à ocorrência de liquefação (LIQ);
- devido à ocorrência de deslizamento das encostas (DESL).

Neste estudo foram calculadas as probabilidades de ocorrerem danos devido à ação dinâmica imposta pelo movimento do solo:

$P [D_s \geq d_{s_i}]$ – probabilidade de ocorrerem danos da classe d_{s_i} devido ao efeito dinâmico da ação.

Cálculo das probabilidades de danos associadas ao efeito dinâmico - $P [D_s \geq d_{s_i}]$

Variáveis de entrada:

- Sismo - valor do espectro de resposta característico da ação no local correspondente ao período de 1.0 segundo, $S_a(1.0)$ (espectro de resposta elástico para um coeficiente de amortecimento de 5%).
- Obra de arte - Classe da ponte (CL) (ver Quadros T1R e T1F, em Anexo);
Ângulo de viés (AV);
Factor de correcção (FC).

Metodologia:

A partir da classe da ponte (CL), obter da Quadro T2R ou T2F (em Anexo) os valores da mediana (X_i) e do desvio padrão de variável $\ln x$, β_i , associados a cada estado de dano.

De seguida corrigir os valores das medianas X_i , de acordo com a seguinte expressão:

$$X_i^c = X_i * KFC$$

com,

$$KFC = FC * \sqrt{\sin(90 - AV)}$$

Para melhor identificação, as designações das curvas de fragilidade apresentadas nos Quadros T2R e T2F foram adaptadas de modo a incluir a informação acerca do fator de correção considerado. Por exemplo, a curva de fragilidade “B1+_0.8” corresponde à curva de referência “B1+”, afetada de um coeficiente de correção igual a 0.8.

Calculados os novos valores das medianas associadas a cada estado de dano e considerando os valores de β_i atrás referidos, calculam-se as probabilidades de dano associadas a cada estado:

$$P [D_s \geq d_{s_i}] = \Phi \left(\frac{\ln[S_a(1.0)] - \ln[X_i^c]}{\beta_i} \right) \quad i = 2, 3, 4 \text{ e } 5$$

Φ – Função de distribuição normal (cumulativa)

No final da análise a cada obra de arte foi atribuído um estado de dano. Este estado de dano corresponde ao estado cuja probabilidade de ser excedido é inferior a 50%.

Na Figura 46 são apresentados os resultados obtidos para o cenário sísmico para um período de retorno de 475 anos.

Como se pode observar, para este cenário sísmico praticamente não ocorrem danos devidos à ação dinâmica do movimento do solo.

Particular atenção deve ser dada às obras de arte em zonas com potencial de deslizamento de taludes ou com possibilidade de ocorrência de liquefação. As obras de arte nestas situações devem ser alvo de estudo mais pormenorizado tendo em conta as características geológicas do local e as suas fundações.

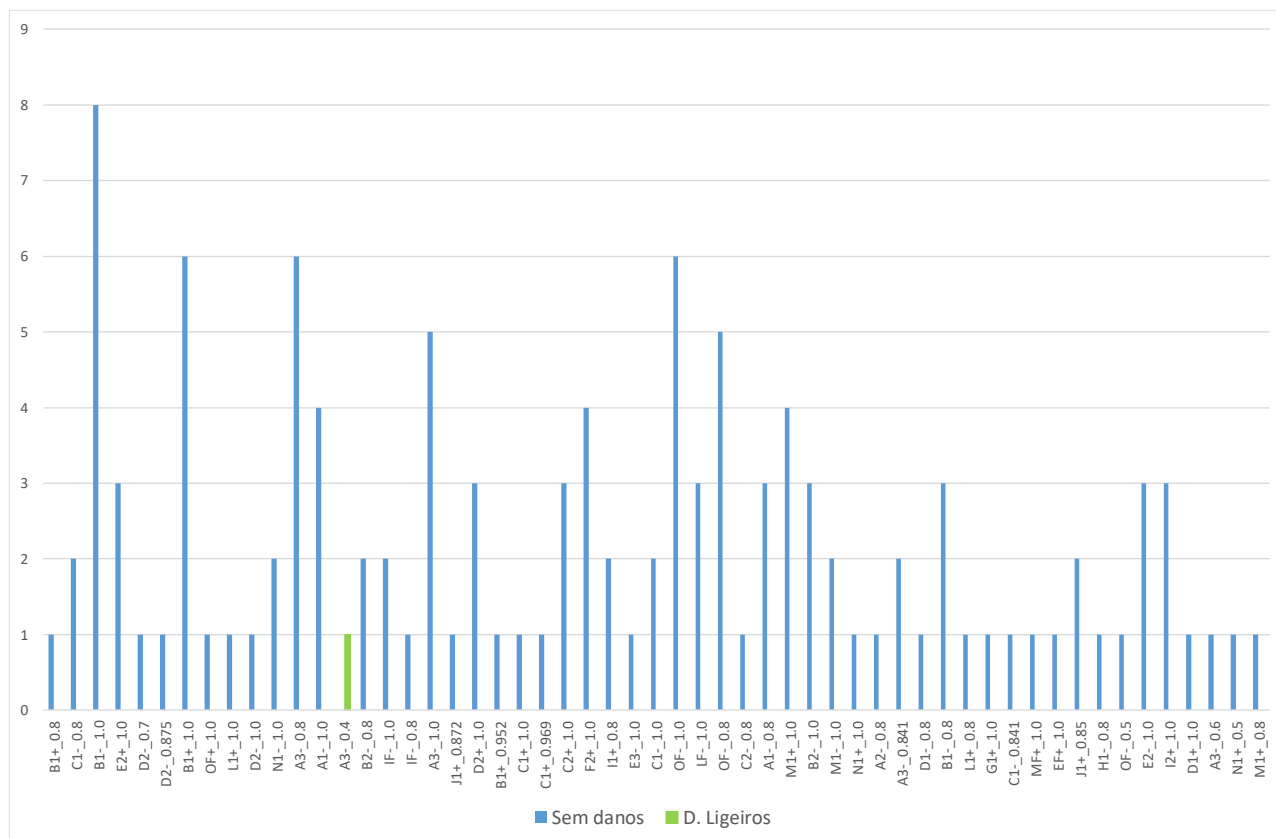


Figura 46 - Distribuição de danos por classe de ponte e nível de dano.

3. RISCO DE TSUNAMI

Para o presente relatório adotou-se a definição de risco de inundação por tsunami, correspondente à probabilidade de danos ou perdas em pessoas ou estruturas causadas por ondas de período longo resultantes de sismos (Figura 47). Esta definição é sustentada por três componentes: perigosidade de inundação por tsunami, exposição e vulnerabilidade física. A perigosidade de inundação por tsunami corresponde à probabilidade de uma área ser inundada para um determinado período de chegada pela onda do tsunami. A exposição consiste no conjunto de elementos expostos ao risco e a vulnerabilidade física à vulnerabilidade das estruturas e pessoas à perigosidade de inundação por tsunami.

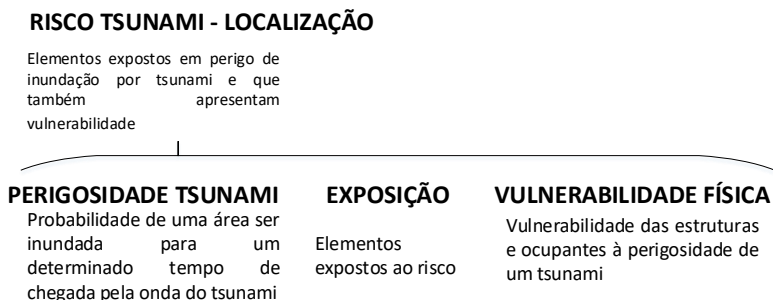


Figura 47 – Definições adotadas para o risco de tsunami

A modelação da perigosidade de tsunami foi suportada pelo software TUNAMI e consiste na etapa inicial para obtenção dos mapas de inundação por tsunami de Oeiras. A Figura 48 sintetiza os elementos que integram o modelo de análise preconizado para a localização do risco de inundação por tsunami.

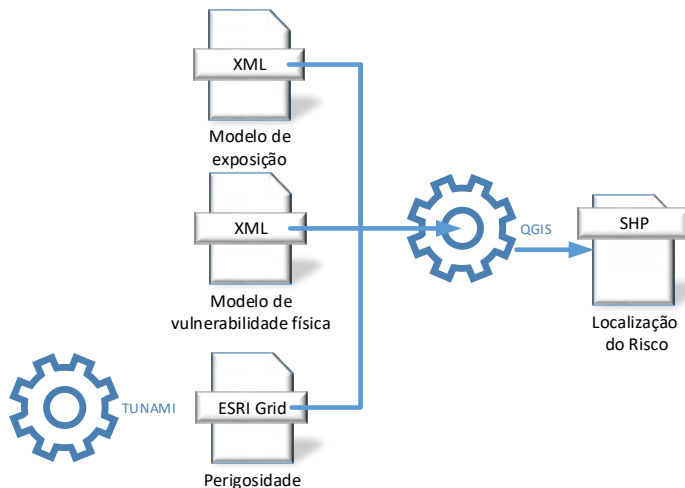


Figura 48 – Modelo de análise para a localização do risco de inundação por tsunami

Com recurso à sobreposição dos resultados do modelo de perigosidade de inundação por tsunami, do modelo de exposição e do modelo de vulnerabilidade física, foi elaborada uma carta com a localização do risco, correspondendo esta aos elementos expostos em perigo de inundação por tsunami e que também apresentam vulnerabilidade a esse perigo.

3.1. INTRODUÇÃO

A análise probabilística da perigosidade de tsunamis deve responder à seguinte pergunta: para um dado valor I de intensidade do fenómeno (medida, por exemplo, pela altura de inundação), qual a probabilidade de que esse valor seja excedido num dado período de exposição (por exemplo, os pr oximos 50 anos)? Pelo teorema da probabilidade total – e admitindo por agora que apenas um sismo pode causar um tsunami – a resposta pode ser calculada através de

$$P(i > I) = \sum_n \sum_k P(M_n, \mathbf{r}_k) P(i > I | (M_n, \mathbf{r}_k))$$

sendo $P(M_n, \mathbf{r}_k)$ a probabilidade de que ocorra um sismo de magnitude M_n na posição \mathbf{r}_k (entenda-se, numa célula em torno do vector posição \mathbf{r}_k) e $P(i > I | (M_n, \mathbf{r}_k))$ a probabilidade condicional de que a intensidade i ultrapasse o valor I se ocorrer um sismo de magnitude M_n na posição \mathbf{r}_k . O cálculo de $P(M_n, \mathbf{r}_k)$   parte integrante da análise probabilística da perigosidade sísmica, enquanto que o cálculo de $P(i > I | (M_n, \mathbf{r}_k))$ pode ser feito através da modela o sistemática do tsunami para a totalidade dos cenários de ocorrência (M_n, \mathbf{r}_k) relevantes (por exemplo, com $M_n > 7$).

O cálculo de $P(M_n, \mathbf{r}_k)$ é feito com base na modela o da recorrência sísmica, por análise de um catálogo de ocorrências passadas (Sec o 2.1). Como o período de retorno dos sismos tsunamig nicos tende a ser elevado, a gama de magnitudes de interesse está geralmente sub-representada nos catálogos históricos. Esta dificuldade pode ser obviada com recurso a um catálogo sint tico, caracterizado pelos parâmetros da rela o de Gutenberg-Richter que são inferidos a partir do catálogo histórico, mas tendo uma dura o muito mais longa. Esta abordagem foi aplicada por Sorensen et al. (2012) ao cálculo da perigosidade probabilística de tsunamis no Mediterrâneo.

Neste estudo, adotou-se a abordagem de Sorensen et al. (2012). Foi produzido um catálogo sint tico com a dura o de 10000 anos, respeitando as zonas fonte e os parâmetros da recorrência sísmica utilizados para a análise da perigosidade sísmica. A Figura 49 mostra um catálogo sint tico produzido para esse efeito, com magnitudes entre 4.0 e 8.7.

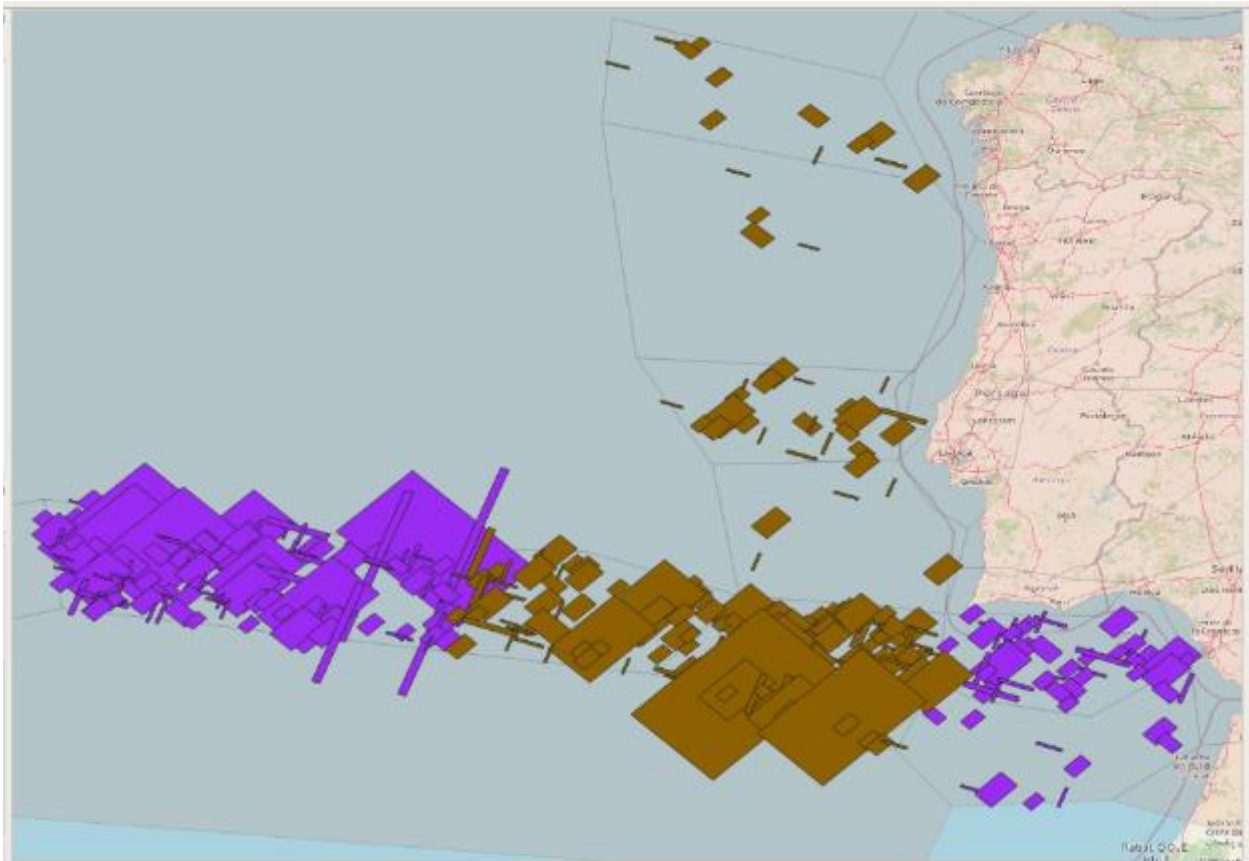


Figura 49 - Roturas sísmicas do catálogo sintético utilizado neste estudo. A duração do catálogo é de 10000 anos, e as magnitudes estão entre 4.0 e 8.7. As propriedades estatísticas por zona fonte correspondem às que foram utilizadas na análise da perigosidade sísmica. As roturas a roxo ocorrem em crosta ativa, e as roturas a castanho ocorrem em crosta estável.

Após identificação e modelação dos cenários de ocorrência relevantes do ponto de vista tsunamigénico, é contado - para cada nível de intensidade de tsunami e para cada ponto da região em estudo - o número de excedências ao longo da duração do catálogo sintético (10000 anos), e a partir desse número é estimado o período de retorno correspondente a cada nível de intensidade (duração do catálogo dividida pelo número de excedências). Como os períodos de retorno relevantes (da ordem de 1000 anos) são muito superiores ao período de exposição (tipicamente 50 anos), a probabilidade de excedência pode ser calculada através da razão entre o período de exposição e o período de retorno (aproximação em série de Taylor da expressão geral) usada na secção 2.2.1.

3.2. AVALIAÇÃO DA PERIGOSIDADE DE TSUNAMI

3.2.1. Dados Base

A preparação do Modelo Digital de Terreno e do Modelo Digital de Superfície para utilização em modelação hidrodinâmica deve assegurar (1) representação cartográfica homogénea a partir de fontes heterogéneas de informação, (2) abarcar as áreas fontes e as áreas alvo, (3) assegurar resolução horizontal na área alvo de modo a que os efeitos locais possam ser representados no modelo, (4) assegurar a continuidade entre as zonas imersa e emersa, particularmente no que diz respeito ao datum vertical (ANPC, 2010). Para assegurar uma representação cartográfica

homogénea de elevada resolução e precisão, foi realizado um levantamento LiDAR da faixa costeira do concelho de Oeiras.

O levantamento por varrimento laser da totalidade do troço em apreço foi efetuado através de um laser scanner RIEGL VUX instalado num helicóptero (Figura 50). Este equipamento recolhe dados com uma precisão de 10 mm com uma taxa de aquisição de 500,000 pontos/seg.



Figura 50 - Equipamento LiDAR utilizado na recolha de dados

Esta missão foi executada no dia 11 de maio de 2020, numa fiada a uma altitude média de 200 pés e a uma velocidade média de 40 nós.

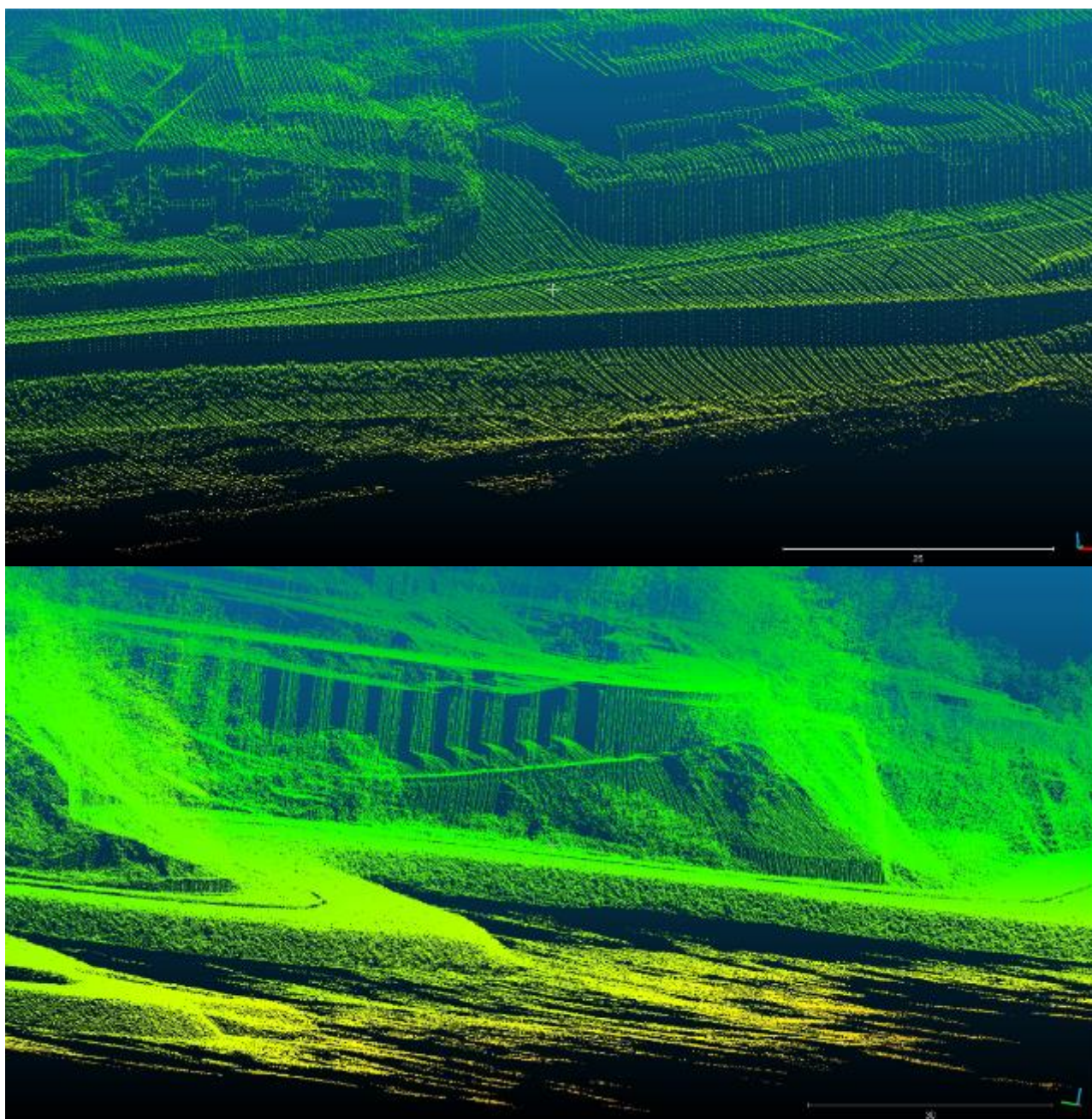


Figura 51 - Extratos do levantamento laser.

Após o pós-processamento das nuvens de pontos (Figura 51) foi gerado um modelo digital de terreno e um modelo digital de superfície, com uma resolução de 0,5m (Figura 52).

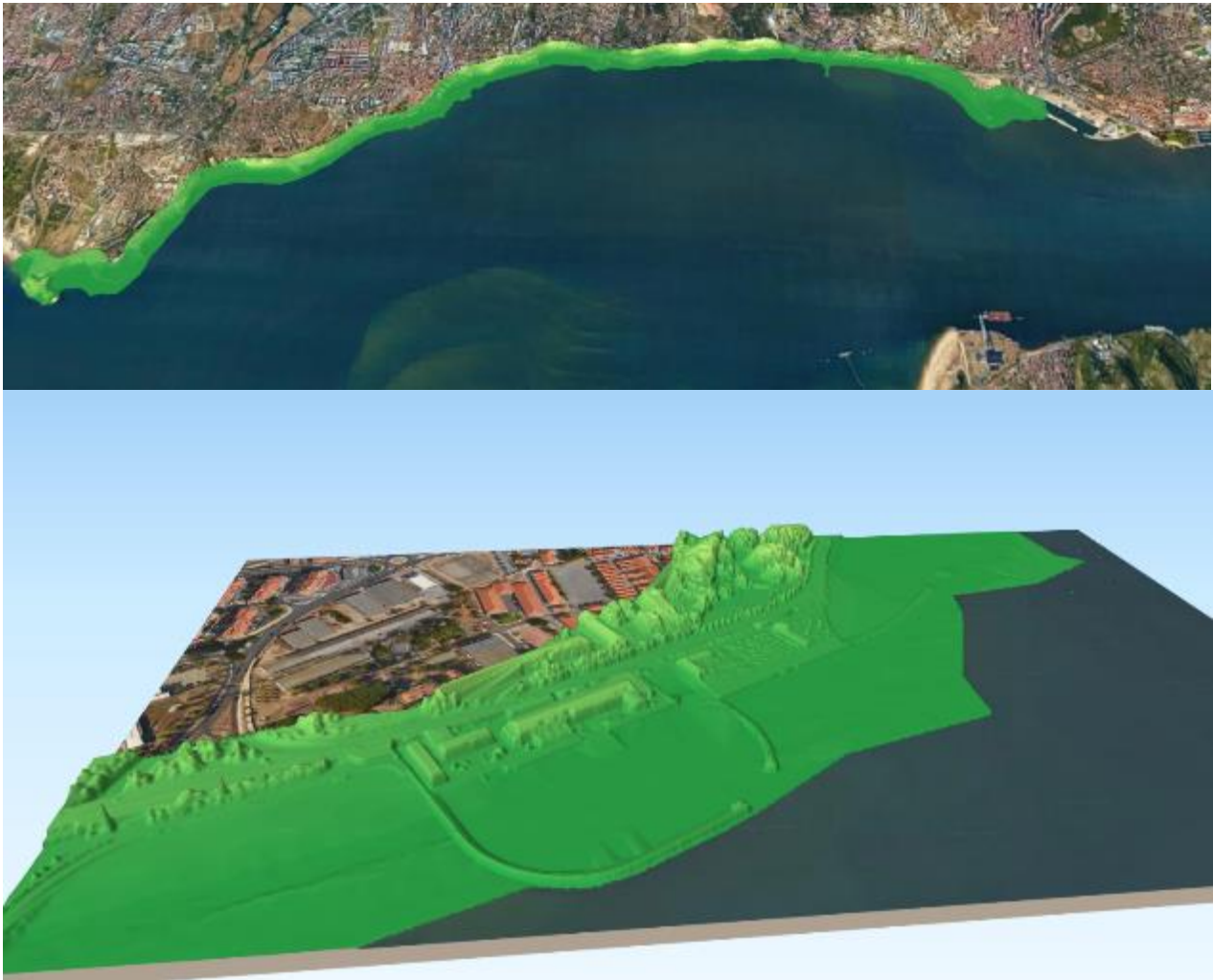


Figura 52 - Extrato do Modelo Digital de Superfície

3.2.2. Metodologia

Na Figura 49 são apresentadas 435 roturas sísmicas do catálogo sintético. No entanto, para efeitos do cálculo da propagação e inundação de tsunami, foram seleccionadas apenas as roturas com magnitudes superiores a 7,5 e do tipo normal/inverso, ou seja, fontes sísmicas que provoquem deslocamentos verticais do fundo do mar. Neste sentido, neste estudo vão ser consideradas 19 roturas geradoras de tsunami, com magnitudes entre de 7,55 e 8,75, conforme indicado na Figura 53.

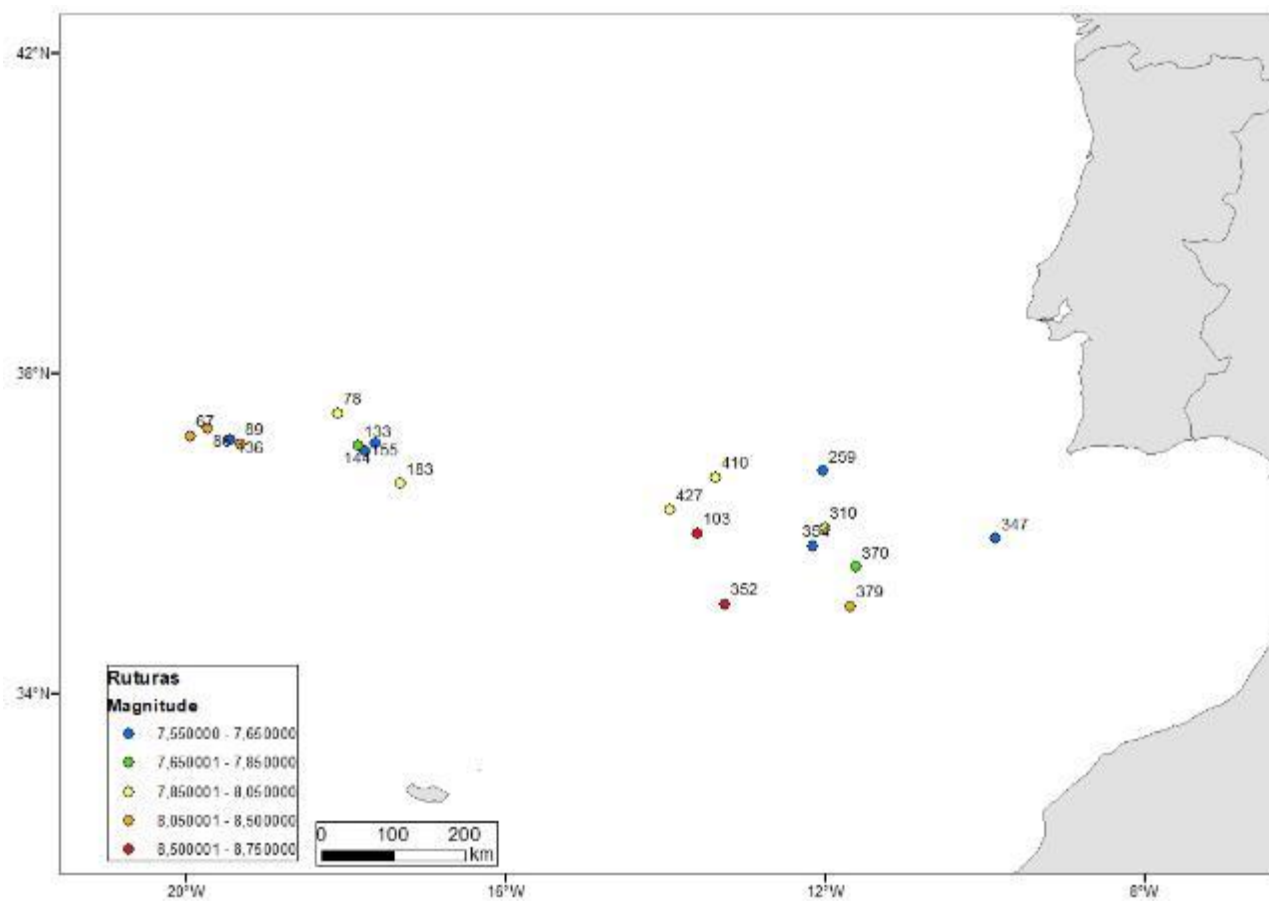


Figura 53 - Localização e magnitude das 19 ruturas consideradas neste estudo.

Os parâmetros de cada uma das 19 roturas fontes de tsunami são apresentados na

Tabela 57. O deslocamento vertical (*slip*) foi calculado através da abordagem de Relações de Escala da Falha (*scaling*) da relação entre magnitude, largura e comprimento de acordo com Leonard (2014).

Tabela 57 - Parâmetros das 19 fontes consideradas neste estudo.

Identificação	Magnitude	Azimute (Gr. N. + 0°)	Ângulo de Dip	Ângulo de Dive	Largura	Comprimento	Profundidade	Deslocamento
144	7,55	45	20	90,00	26424	86696	10481	3.49
136	7,55	45	20	90,00	26424	86696	10481	3.49
259	7,55	45	20	90,00	26424	86696	10481	3.49
155	7,55	45	20	90,00	26424	86696	15481	3.49
347	7,65	45	20	90,00	28973	99541	10045	3.92
354	7,65	45	20	90,00	28973	99541	15045	3.92
370	7,75	45	20	90,00	31769	114288	14567	4.40
133	7,85	45	20	90,00	34834	131220	19043	4.93
310	7,95	45	20	90,00	38194	150661	5572	5.53
78	7,95	45	20	90,00	38194	150661	5572	5.53
410	7,95	45	20	90,00	38194	150661	13468	5.53
427	7,95	45	20	90,00	38194	150661	13468	5.53
183	8,05	45	20	90,00	41879	172982	12838	6.21
86	8,15	45	20	90,00	45920	198609	12147	6.97
89	8,25	44	20	90,00	50350	228034	7966	7.82
67	8,35	44	20	90,00	55208	261818	8996	8.77
379	8,35	44	20	90,00	55208	261818	15559	8.77
352	8,55	44	20	90,00	66374	345144	11501	11.04
103	8,75	315	20	-90,00	79799	454988	7190	13.90

A modelação numérica de tsunamis começa com o cálculo do deslocamento vertical da superfície do fundo do oceano devido ao sismo, e que é transmitido de forma instantânea para a superfície do mar. Para tal, são utilizadas as fórmulas publicadas por Okada (1985), em que o input do modelo são os parâmetros de cada rutura apresentados na

Tabela 57. O output deste cálculo é o deslocamento inicial da superfície do mar, ou seja, o início do tsunami.

Seguidamente, utiliza-se o código TUNAMI (Universidade de Tohoku, Japão), de acordo com a metodologia de Imamura (1995), onde são implementadas as equações do Modelo das Águas Pouco Profundas, discretizadas com o esquema das diferenças finitas *leap-frog*.

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2 M}{D^{7/3}} \sqrt{M^2 + N^2} = 0$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gn^2 N}{D^{7/3}} \sqrt{M^2 + N^2} = 0$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

onde,

$$M = \int_{-h}^{\eta} u dz$$

$$N = \int_{-h}^{\eta} v dz$$

$$D = h + \eta$$

Em que M e N são os fluxos de descarga nas direções x e y , respetivamente, u e v são as velocidades nas direções x e y , respetivamente, η é o deslocamento vertical da água e h é a profundidade da água (batimétrica do local). O modelo toma ainda em consideração o atrito do fundo do mar, de acordo com o coeficiente de Manning $n = 0.025$.

O modelo numérico de tsunami é aplicado a 5 regiões computacionais, conforme apresentado na Figura 54. Cada região é embebida na anterior, com menor área e menor *cell size*. A região 1 tem um *cell size* de 729 m, e foi escolhida de modo a acomodar todas as 19 ruturas selecionadas, estando compreendida entre as longitudes 22°W e 4 W° e latitudes 30°N e 45°N. A região 2, 3 e 4 têm *cell size* de 243 m, 81 m e 27 m, respetivamente. Finalmente, todos os resultados apresentados neste relatório são referentes à região 5, que tem um *cell size* de 9 m.

Adicionalmente, na construção de cada região computacional são utilizados dados de batimetria com vários tipos de escala (GEBCO Digital Atlas, 2003, Cartas Náuticas do Instituto Hidrográfico, 2005, 2009, 2012). Apenas nas regiões 4 e 5 são utilizados dados topográficos (Cartas Topográficas escala 1:2 000, Dados Lidar SOCARTO), de modo a construir um modelo digital de terreno bastante detalhado para o cálculo final da inundação de tsunami.

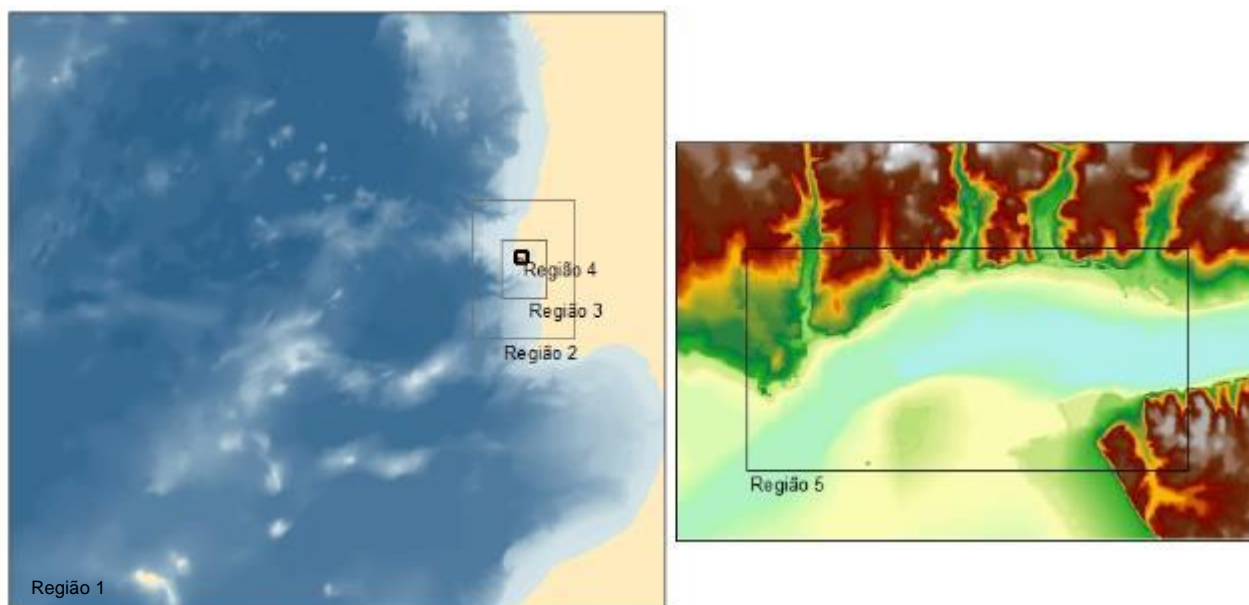


Figura 54 - Construção do modelo numérico. Os cálculos da inundação vão ser efetuados e apresentados na região 5.

O modelo é aplicado a cada uma das 19 fontes de tsunami (Figura 53) e os resultados do modelo são apresentados na região 5 da Figura 54 de acordo com os seguintes critérios:

- i) O mapa da área potencialmente inundada por tsunami de origem em sismo de $M > 8$ será obtido pela seleção de um dos 7 cenários de tsunami com magnitude superior a 8,0, apresentados na Tabela 57.
- ii) O mapa de inundação tsunami em condição de maré cheia e maré vazia, de origem em sismo de $M > 8$, tendo em conta modelos de previsão do nível do mar a 50 anos será obtido considerando a rotura fonte de tsunami com a magnitude mais elevada e que produza a maior área inundável. Considera-se uma subida do nível médio do mar de 0,70 m (Antunes et al., 2019) e uma variação de maré de ± 2 m.
- iii) O mapa de inundação por tsunami – pior cenário será obtido após o cálculo dos 19 cenários de tsunami. Será selecionado o cenário cujo tempo de chegada da 1ª onda é o menor, e considerando a subida do nível médio do mar de 0,70 m (Antunes et al., 2019) e uma variação de maré de ± 2 m. Por consequência, este cenário é identificado como o de maior perigosidade de tsunami, classificada de acordo com Santos e Koshimura (2015), conforme apresentada na Figura 28. Esta escolha representa o menor tempo de evacuação que a população dispõe para sair das zonas inundáveis em segurança. Este tema vai ver melhor apresentado e desenvolvido nas Secções 3.3 e 4 deste relatório.
- iv) O mapa de inundação por tsunami – Probabilística será obtido pela análise estatística dos resultados conjuntos da área inundada obtidos para os 19 cenários considerados.
- v) O mapa da envolvente das alturas máximas de inundação será obtido após o cálculo dos 19 cenários de tsunami. Será selecionado o cenário que produzir a envolvente das alturas máximas de inundação mais elevadas.

Adicionalmente, a perigosidade de tsunami foi obtida de acordo com a metodologia proposta por Santos e Koshimura (2015), sintetizada na Figura 55. Considerou-se uma subida do nível médio do mar de 0,70 m (Antunes et al., 2019) e uma variação de maré de ± 2m.

Critérios para avaliação da perigosidade de um Tsunami à escala regional

Altura da inundação (m)	Classificação	Tempo de chegada (min.)	Classificação
0-2	Muito Baixo	0-20	Crítico
2-5	Baixo	20-30	Elevado
5-10	Moderado	30-40	Moderado
10-15	Elevado	40-50	Baixo
>15	Crítico	>50	Muito Baixo

Matriz de Perigosidade de Tsunami

Tempo\Altura	Muito Baixo	Baixo	Moderado	Elevado	Crítico
Crítico	Moderado	Elevado	Elevado	Crítico	Crítico
Elevado	Moderado	Moderado	Elevado	Elevado	Crítico
Moderado	Baixo	Moderado	Moderado	Elevado	Elevado
Baixo	Baixo	Baixo	Moderado	Moderado	Elevado
Muito Baixo	Muito Baixo	Baixo	Baixo	Moderado	Moderado

Figura 55 - Critério para a classificação da perigosidade de tsunami (Santos e Koshimura, 2015).

3.2.3. Resultados – Inundação por Tsunami

3.2.3.1. Área potencialmente inundada por tsunami de origem em sismo de M>8

O mapa da área potencialmente inundada por tsunami de origem em sismo de M>8 foi obtido pela fonte de tsunami 379, com magnitude 8,35, comprimento 262 km e largura 55 km. Esta rotura gerou uma área inundada conforme apresentada na Figura 56, com altura máxima calculada na Praia da Torre de 4,3 m. Na praia de Santo Amaro de Oeiras também se atingem altura da água elevada, acima dos 3 m. Além disso, o tsunami penetra as 3 ribeiras a uma distância entre 500 e 920 m.

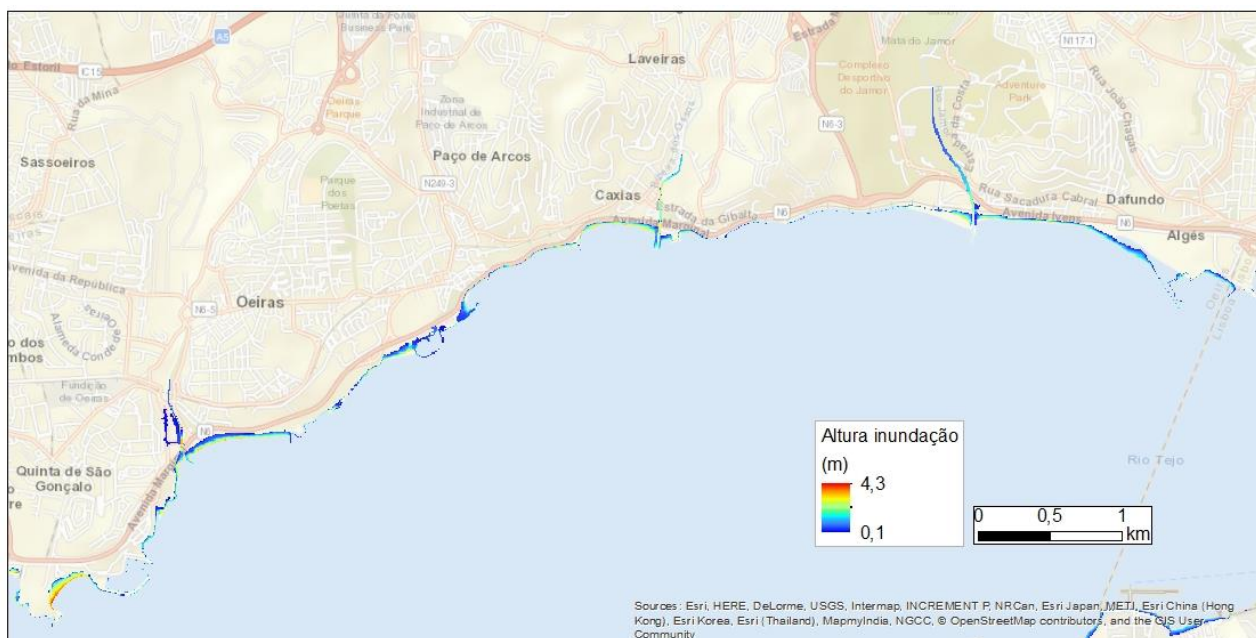


Figura 56 - Área inundada por um tsunami origem em sismo de M=8,35 (rutura 379).

3.2.3.2. *Em condição de maré cheia e maré vazia, de origem em sismo de $M > 8$, tendo em conta modelos de previsão do nível do mar a 50 anos*

O mapa da área potencialmente inundada por tsunamis de origem em sismo de $M > 8$, em condição de maré cheia (+ 2m) e maré vazia (-2 m), e tendo em conta modelos de previsão no nível médio do mar a 50 anos (+0,70 m) foi obtido pela fonte de tsunamis 103, com magnitude 8,75, comprimento 455 km e largura 80 km. Esta é a rotura de maior magnitude e como é uma das fontes de tsunamis mais próximas da costa, o cenário de maré alta é o que produz a maior área inundada, conforme apresentado na Figura 57.

De salientar que a altura de inundação máxima foi calculada na linha de costa da Avenida Ivens, entre Caxias e o Passeio Marítimo de Algés, na zona baixa de Dafundo, com um valor de 7,0 m. Como consequência, os edifícios de todas as Ruas Paulo Duque, Primeiro de Maio, Policarpo Anjos, Pereira Palha, até   Sacadura Cabral são fortemente afetados com alturas de inundação de mais de 2,7m. Na zona localizada cerca de 70 m para este do Aquário Vasco da Gama também foi calculado um máximo local da altura de inundação, chegando a 6,2 m.

A Praia da Torre   inundada com um valor máximo da altura da água de 5,7 m. O tsunami galga os pared es da marina de Oeiras, chegando a uma altura até 2.9 m. Como consequência, toda a zona no interior da marina   inundada, incluindo edifícios e a piscina.

A Praia de Santo Amaro de Oeiras é totalmente inundada, com uma altura máxima da água até 3,6m. Além disso, o tsunami galga a Avenida Marginal e inunda o Jardim Almirante Gago Coutinho com alturas de inundação que atingem os 3,2 m de altura. O tsunami inunda também as habitações das Ruas Dom João de Castro e São Pedro do Areeiro com alturas de inundação até 3,6m, penetrando a ribeira até uma distância horizontal de aproximadamente 1270 m.

A praia de Paço de Arcos é totalmente inundada, bem como toda a zona da Direção Geral de Faróis. O tsunami galga ainda a Av. Marginal, inundando o Jardim Municipal de Paço de Arcos e a zona residencial das Ruas de São João, da Vista Alegre e Costa Pinto, com alturas de inundação até 4 m.

Em Caxias, todas as praias também são completamente inundadas: a praia Grande de Caxias com uma altura de inundação até 4,3 m, a praia Baia dos Golfinhos até 3,8 m, e a praia de São Bruno 3,4m. As ondas de tsunami galgam a marginal, inundando toda a zona baixa de Caxias com alturas de inundação até 2m, e penetram a Ribeira de Barcarena ou Ribeira dos Ossos até uma extensão de 1260 m.

Na Cruz Quebrada o tsunami penetra o Rio Jamor até uma extensão de aproximadamente 1270m, inundando a zona baixa do Parque Urbano do Jamor.

Em Algés, toda a zona baixa   inundada com uma altura de inundação até 5 m.

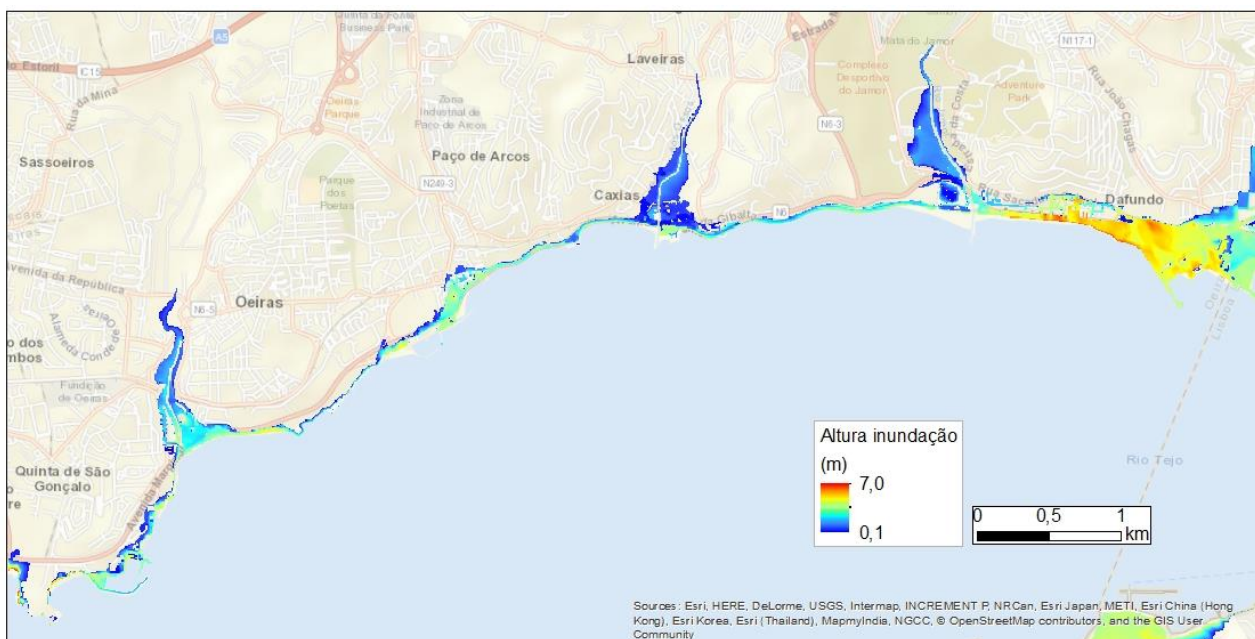


Figura 57 - Área inundada por um tsunami origem em sismo de $M=8,75$ (rotura 103), com maré alta, tendo em conta modelos de previsão do nível do mar a 50 anos.

A Figura 58 mostra o cenário da rotura 103, com magnitude 8,75, comprimento 455 km e largura 80 km, considerando maré vazia (-2 m) e tendo em conta modelos de previsão no nível médio do mar a 50 anos (+0,70 m). O cenário de maré vazia é mais conservador do que considerando a maré alta (Figura 30), mas ainda assim todas as praias são inundadas.

Na Praia de Santo Amaro de Oeiras o tsunami galga a Av. Marginal inundando parte do Jardim Almirante Gago Coutinho com alturas de inundação até 0,20m; inunda também as habita es das Ruas Dom João de Castro e São Pedro do Areeiro com alturas de inunda o até 0,30m, penetrando a ribeira até uma distância horizontal de aproximadamente 725 m.

O tsunami penetra ainda a Ribeira de Barcarena ou Ribeira dos Ossos até uma extensão de 700 m e o Rio Jamor até cerca de 1 km, mas não galga as margens destes. No entanto, o tsunami inunda a linha de costa da Avenida Ivens, entre Caxias e o Passeio Marítimo de Algés, na zona baixa de Dafundo. Como consequência, os edifícios de todas as Ruas Paulo Duque, Primeiro de Maio, Policarpo Anjos, Pereira Palha, até   Sacadura Cabral são inundados com valores de alturas de inunda o até 0,20 m.

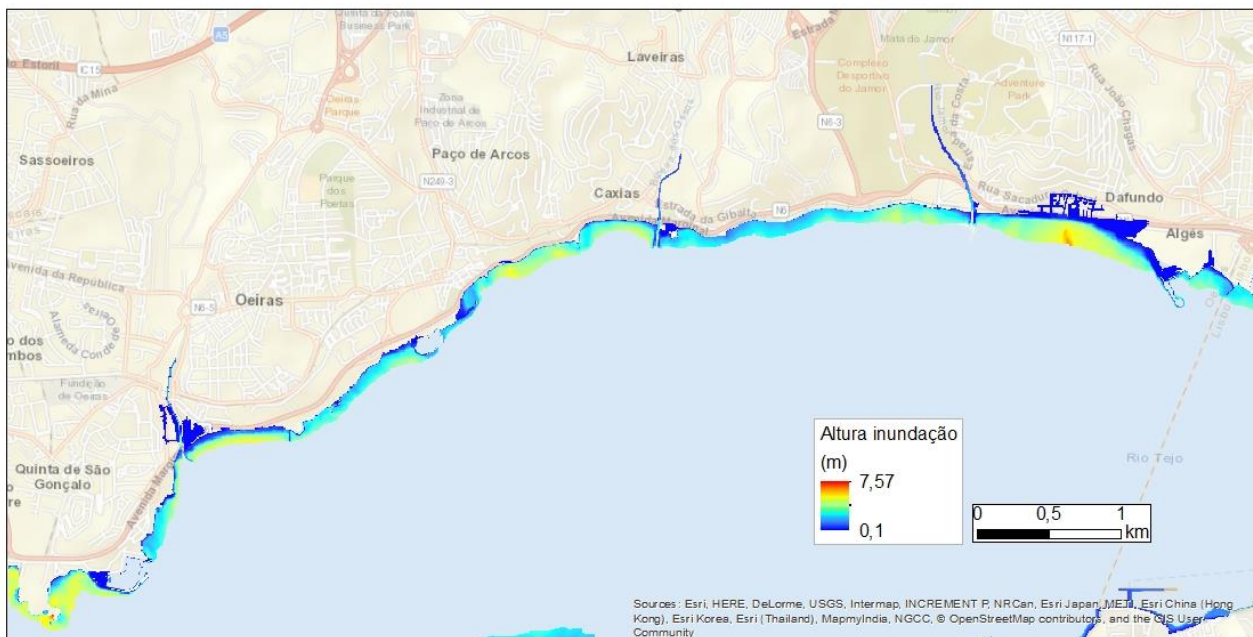


Figura 58 - Área inundada por um tsunami origem em sismo de $M=8,75$ (rotura 103), com maré baixa, tendo em conta modelos de previsão do nível do mar a 50 anos.

3.2.3.3. *Pior cenário*

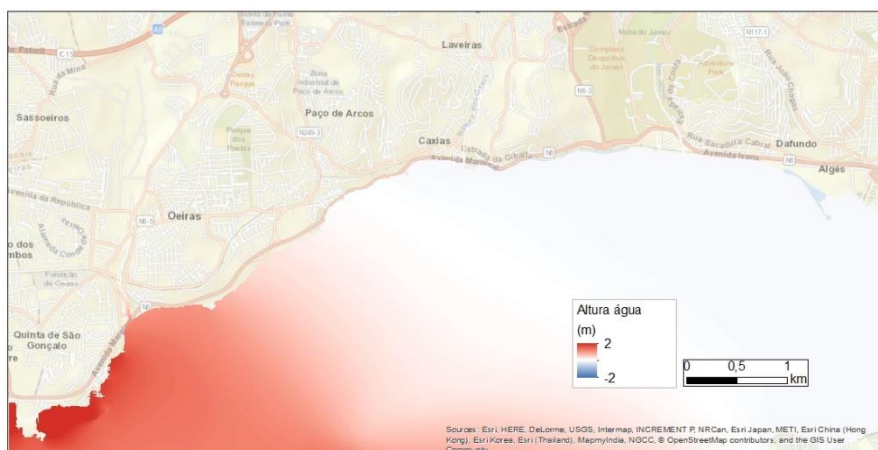
O modelo numérico de tsunami foi aplicado a cada uma das fontes de tsunami apresentadas na Figura 53 e Tabela 57, estando os resultados dos tempos de chegada da primeira onda ao município de Oeiras indicados na Tabela 22. Verificou-se que há 2 clusters de roturas: no primeiro, as ondas de tsunami chegam entre 29 e 44 minutos após o sismo; no segundo, as ondas de tsunami chegam entre 63 e 97 minutos após o sismo.

Uma vez que Portugal ainda não tem um sistema de alerta de tsunami nacional totalmente operacional, no caso de ocorrência de um sismo de elevada magnitude e que gere um tsunami, não se consegue avisar as populações costeiras em tempo útil da chegada eminente do mesmo. Assim, o critério para selecionar o pior cenário foi escolher a rotura que gerou o menor tempo de chegada, ou seja, a rotura 352, com magnitude 8,55. Considerou-se ainda este cenário em condição de maré cheia (+ 2m), e tendo em conta modelos de previsão no nível médio do mar a 50 anos (+0,70 m). Neste cenário, conforme indicado na Tabela 22, o tempo de percurso da primeira onda é 29 minutos – isto significa que é o tempo máximo que as populações costeiras têm para evacuar as áreas inundáveis em segurança. Este tópico será mais desenvolvido no Capítulo 4 deste relatório.

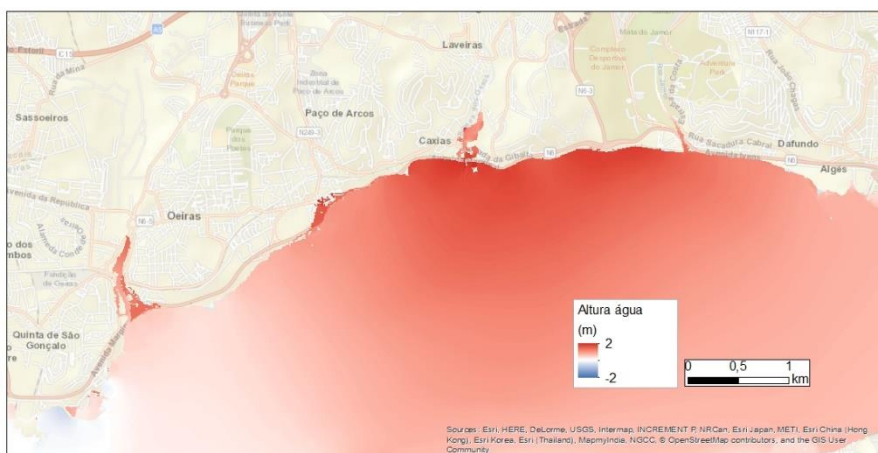
A Figura 59 apresenta os instantâneos da altura da água para 30, 35 e 40 minutos após o sismo: aos 30 minutos o tsunami atinge as praias da Torre e Santo Amaro de Oeiras, e a marina de Oeiras. Aos 35 minutos, o tsunami inunda toda a praia de Santo Amaro de Oeiras, galga a Av. Marginal e inunda todo o Jardim Almirante Gago Coutinho. Simultaneamente, inunda a Direção Geral de Faróis e a zona baixa de Paço de Arcos, bem como a zona baixa de Caxias, incluindo toda a extensão das praias, e o Rio Jamor. Aos 40 minutos após o sismo, todo o município é afetado, incluindo as zonas baixas do Dafundo e Algés.

Tabela 58 - Tempos de percurso das 19 fontes de tsunami consideradas neste estudo, salientando a cinzento a fonte com o menor tempo de chegada da primeira onda ao município de Oeiras.

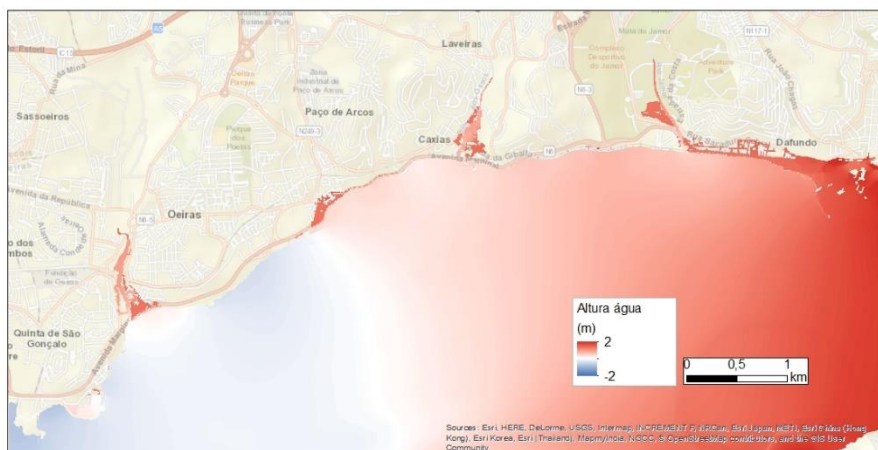
Identificação da rotura	Magnitude	Tempo de percurso (minutos)
144	7,55	83
136	7,55	97
259	7,55	32
155	7,55	83
347	7,65	39
354	7,65	44
370	7,75	38
133	7,85	73
310	7,95	32
78	7,95	69
410	7,95	35
427	7,95	42
183	8,05	63
86	8,15	77
89	8,25	72
67	8,35	34
379	8,35	35
352	8,55	29
103	8,75	40



a)



b)



c)

Figura 59 - Instantâneos da altura da água de um tsunami com origem em sismo de $M=8,55$ (rotura 352), com maré alta, tendo em conta modelos de previsão do nível do mar a 50 anos: a) aos 30 minutos; b) aos 35 minutos e c) aos 40 minutos após o sismo.

Na Figura 60 são apresentados os resultados da modelação para as séries temporais da variação da altura da água para a Praia da Torre (a 4,7 m de profundidade) e Caxias (a 3,5 m de profundidade). Verifica-se que o tsunami aproxima-se da praia da Torre a partir dos 27 minutos após o sismo, sendo

este o primeiro local a ser atingido pelo tsunami no território. O tsunami atinge Caxias a partir de 31 minutos.

Uma vez que a rotura 352 representa o pior cenário, para efeitos de estratégias de evacuação a serem melhor desenvolvidos no Capítulo 4 deste relatório, deve ser considerado um limite máximo de 25 minutos para evacuar todas as pessoas em segurança da zona inundável do município. Além disso, a Figura 60 mostra que a perturbação do nível médio do mar ocorre durante várias horas, o que significa que as populações costeiras não devem permanecer nas zonas inundáveis durante pelo menos 3 horas após o sismo.

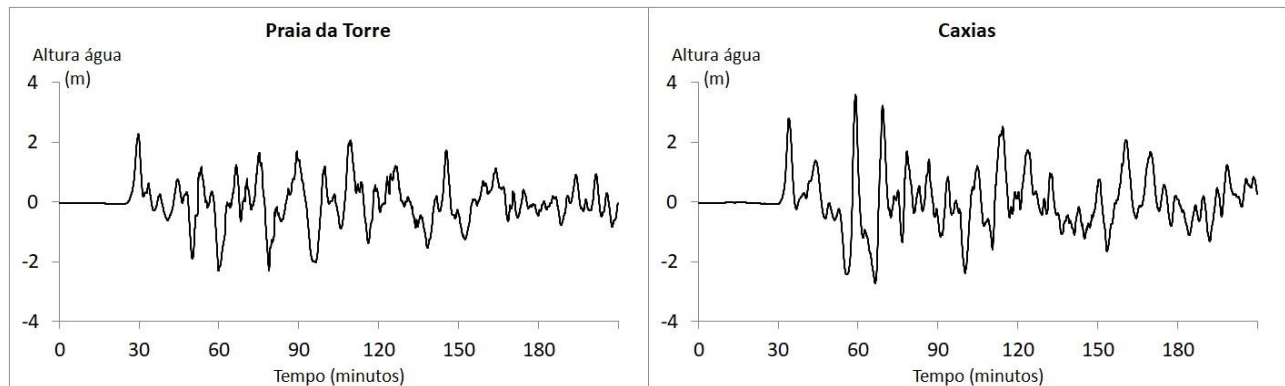


Figura 60 - Série temporal da variação da altura da água na praia da Torre e Caxias.

Apresentam-se na Figura 61 os resultados do modelo obtidos pela rotura 352 em condição de maré cheia e tendo em conta modelos de previsão do nível do mar a 50 anos relativos à altura máxima da envolvente no município. O valor calculado mais elevado foi de 4,2 m, obtido no banco de areia cerca de 2,8 km a sul de Caxias. No entanto, o troço entre Paço de Arcos e Caxias é o mais atingido por este cenário, com alturas máximas entre 3,8 e 4,1 m. Ainda na Figura 61 é apresentada a isócrona dos 30 minutos, que corresponde à frente da primeira onda (Figura 59 a) selecionando uma altura de 0,1m. Estes resultados são reclassificados para se obter as suscetibilidades da altura da água e do tempo de percurso, de acordo com o critério apresentado na Figura 55.

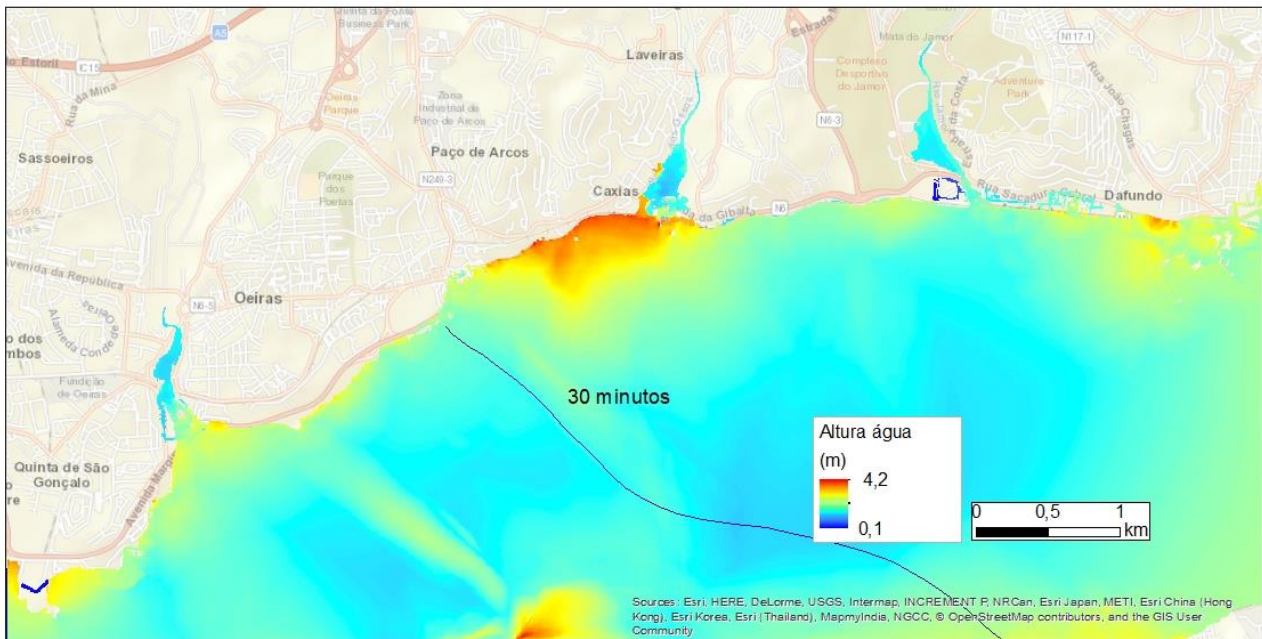


Figura 61- Resultados da modelação numérica de tsunami para a rotura 352, considerando a elevação do nível médio do mar para 50 anos e maré cheia: altura máxima da envolvente e a isócrona do tempo de percurso da primeira onda (30 minutos).

A suscetibilidade da altura da água é de um modo geral muito baixa e baixa (Figura 62 esquerda), enquanto a suscetibilidade do tempo de percurso é elevada até à Direção Geral de Faróis, e moderada a partir de Paço de Arcos (Figura 62 direita). Assim, a perigosidade de tsunami em condição de maré cheia, tendo em conta modelos de previsão do nível do mar a 50 anos, no município é em geral baixa e moderada (Figura 62 em baixo).

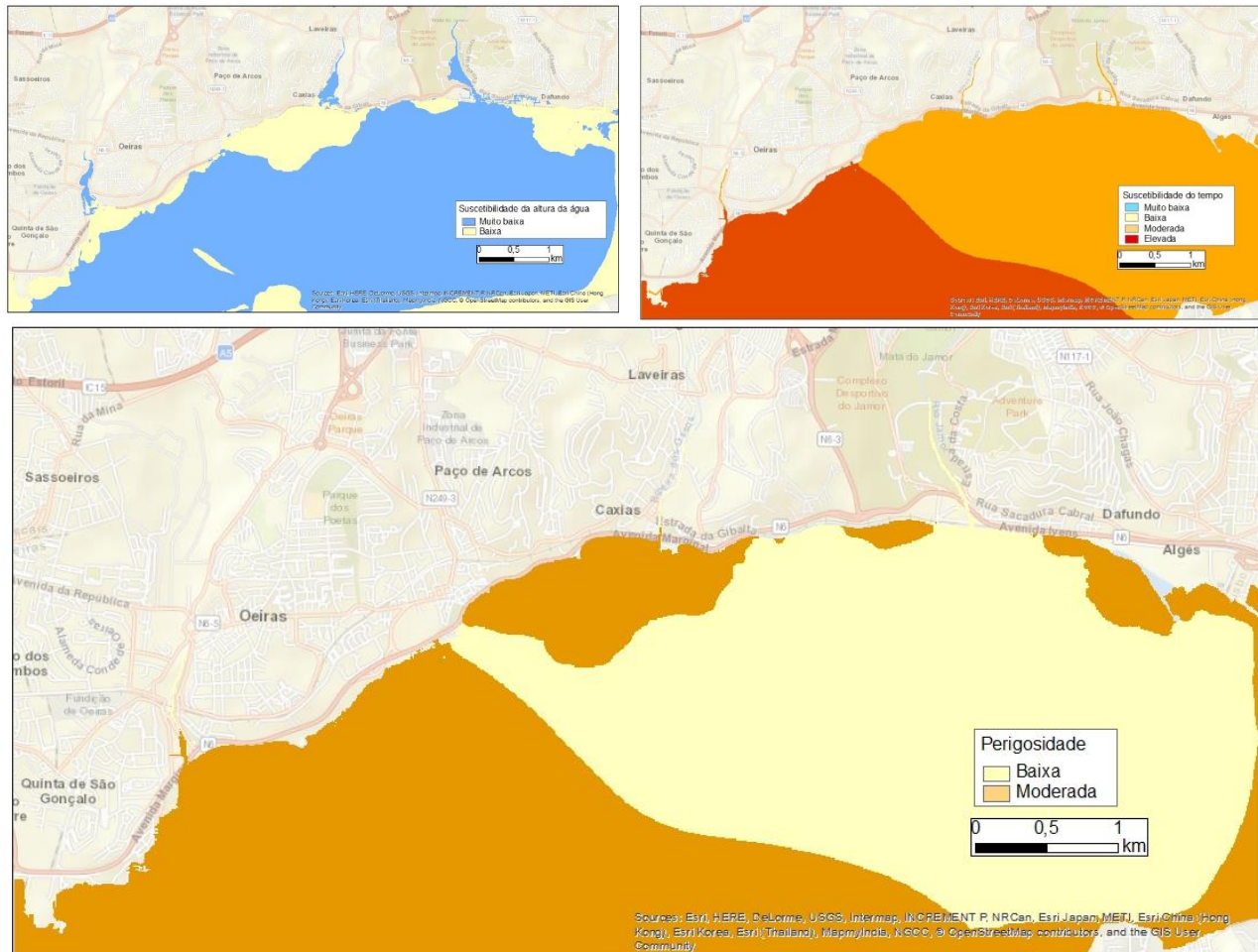


Figura 62 - Classificação da perigosidade de tsunami (rotura 352, considerando a elevação do nível médio do mar para 50 anos e maré cheia). Esquerda: suscetibilidade da altura máxima da água; direita: suscetibilidade do tempo de percurso da 1ª onda; em baixo: perigosidade de tsunami.

A altura de inundação para a rotura 352, considerando a eleva o do nível médio do mar para 50 anos e maré cheia é apresentada na Figura 63. Na Praia de Santo Amaro de Oeiras o tsunami galga a Av. Marginal inundando parte do Jardim Almirante Gago Coutinho com alturas de inunda o até 2,0 m; inunda também as habita es das Ruas Dom João de Castro e São Pedro do Areeiro com alturas de inunda o até 1,7 m, penetrando a ribeira até uma distância horizontal de aproximadamente 1,1 km.

O tsunami penetra ainda a Ribeira de Barcarena ou Ribeira dos Ossos até uma extensão de 1,1 m e o Rio Jamor até cerca de 1,3 km, inundando as suas margens. Adicionalmente, o tsunami inunda a linha de costa da Avenida Ivens, entre Caxias e o Passeio Marítimo de Algés, na zona baixa de Dafundo. Como consequência, os edifícios de todas as Ruas Paulo Duque, Primeiro de Maio, Policarpo Anjos, Pereira Palha, até   Sacadura Cabral são inundados com valores de alturas de inunda o até 1,7 m.

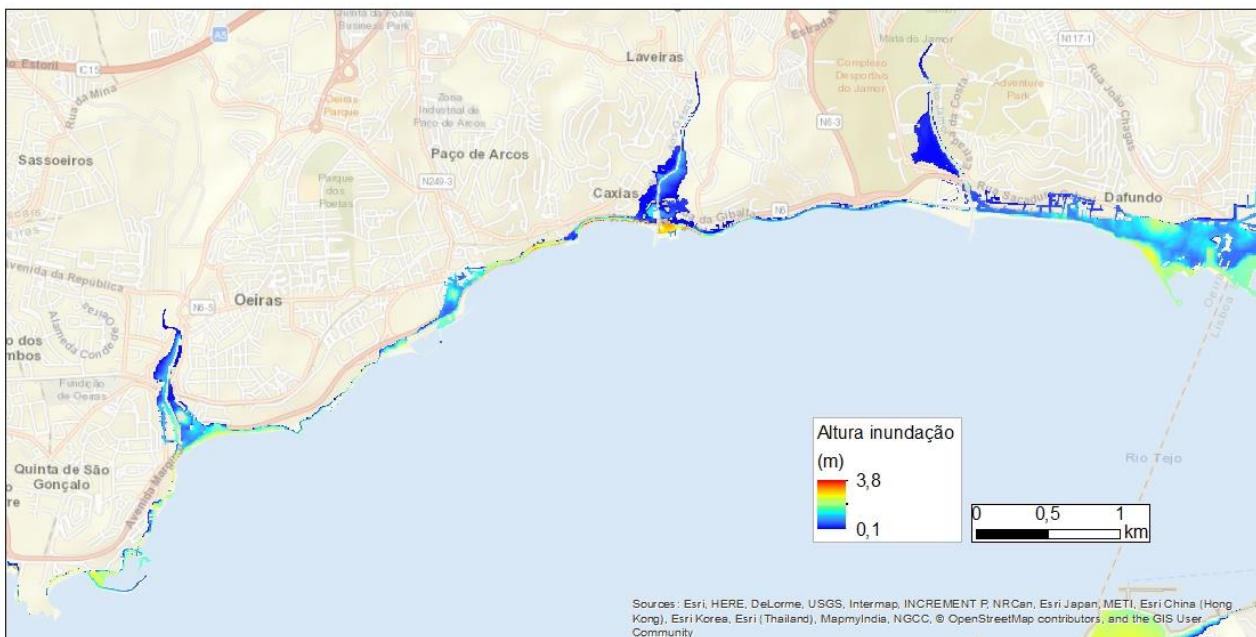


Figura 63 - Área inundada por um tsunami com origem na rotura 352, com maré baixa, tendo em conta modelos de previsão do nível do mar a 50 anos.

3.2.3.4. Análise probabilística

A Figura 64 mostra o mapa da probabilidade de excedência de inundação por tsunami para um período de exposição de 50 anos. Este mapa foi obtido pela análise conjunta dos resultados da altura de inundação dos 19 cenários. Verificou-se que todas as praias, Ribeira de Barcarena ou Ribeira dos Ossos e Rio Jamor são inundadas nos 19 cenários, dando probabilidade de excedência de 9.5%.

Os locais menos prováveis de serem inundados são a marina de Oeiras, o Jardim Almirante Gago Coutinho, as Ruas Dom João de Castro e São Pedro do Areeiro, Paço de Arcos, e o troço da Cruz Quebrada- Dafundo-Algés, com probabilidade de excedência de 0.5%.

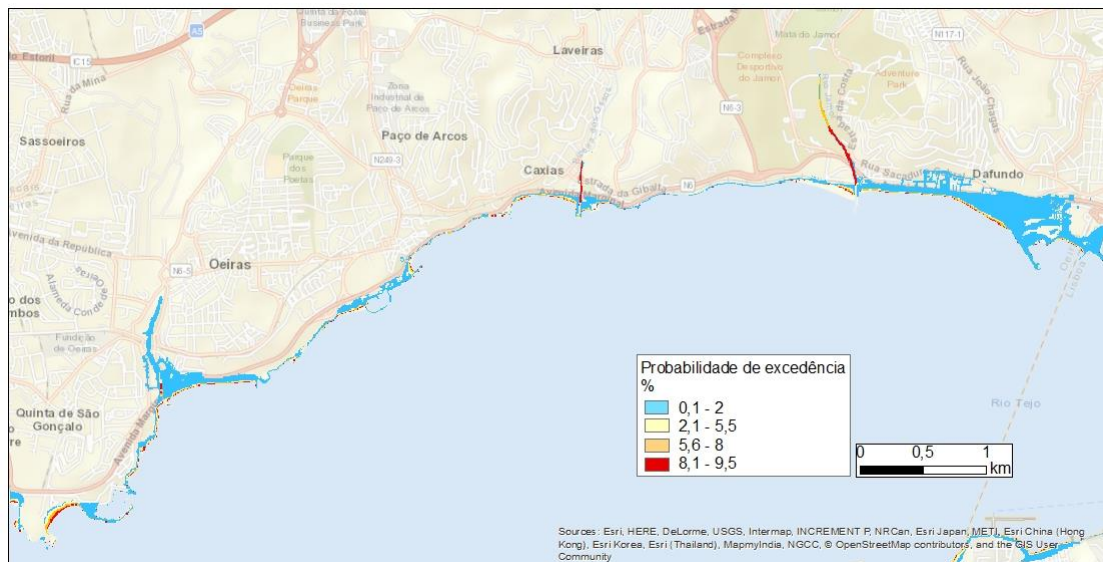


Figura 64 - Probabilidade de inundação por tsunami para um período de retorno de 526 anos, e num período de exposição de 50 anos.

3.2.3.5. *Envolvente das alturas máximas de inundação*

Apresentam-se na Figura 38 os resultados do modelo obtidos pela rotura 103, com magnitude 8,75 relativos à envolvente da altura máxima. Este foi o cenário selecionado porque dos 19 cenários apresentados na Figura 53 e Tabela 58 foi o que produziu a maior área inundada. Há 2 picos de máximo no município: a oeste do Forte de São Julião com valores entre 8,9 e 9,3 m; e em Dafundo, entre a Av. Ivens e a Rua Pereira Palha, com valores de 8.9 m e um pouco ao largo 8,8 e 9.2 m. Em Santo Amaro de Oeiras a altura máxima chega aos 6,2 m.

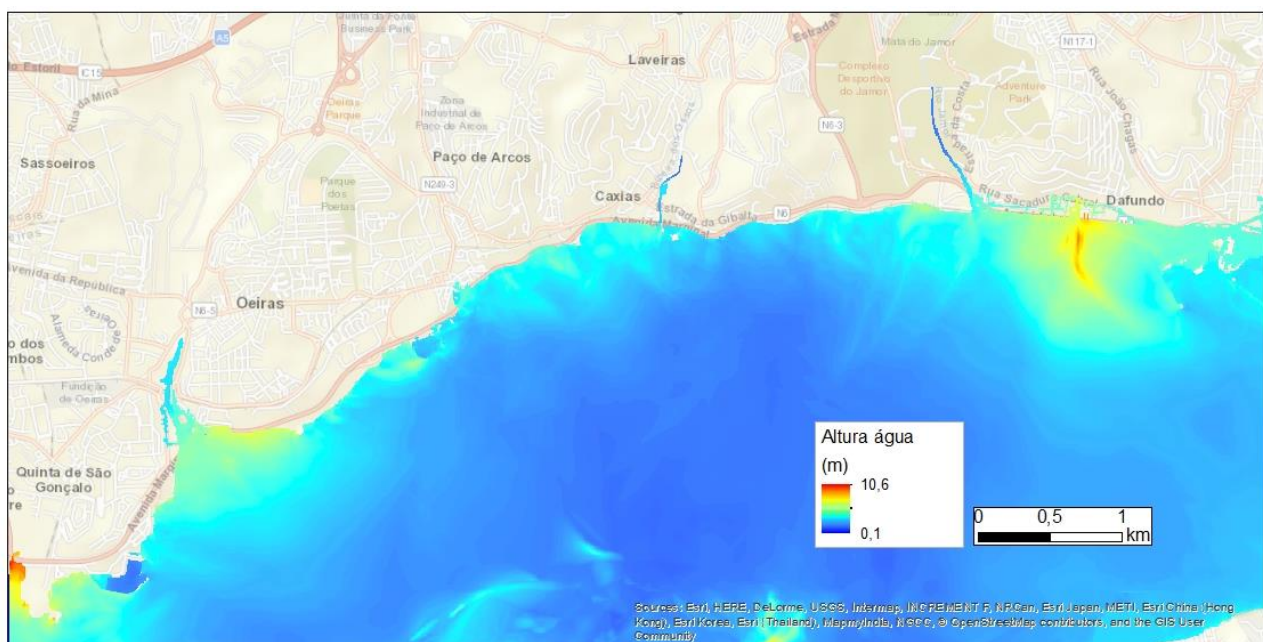


Figura 65 - Altura máxima da envolvente por um tsunami origem em sismo de $M=8,75$ (rotura 103).

3.3. ELEMENTOS EXPOSTOS OU EM RISCO

3.3.1. População

Para o modelo de exposição da população foram definidos os parâmetros “ocupantes_noite” e “ocupantes_dia”. O primeiro parâmetro corresponde ao número de pessoas que podem existir dentro de um edifício e foi obtido a partir dos dados censitários de 2011 (Tabela 59). Este número de ocupantes refere-se ao período noturno.

Tabela 59 – Dados base

Dados	Temas	Formato	Ano	Origem
BGE_Oeirasv5_Sum28247	Edifícios - Base Geográfica de Referência de Informação	ESRI Shapefile	2011	CMO
SmartCitySensor Torniquete Virtual Praia de Caxias (Baia dos Golfinhos).csv SmartCitySensor Torniquete Virtual Praia de S Bruno.csv SmartCitySensor Torniquete Virtual Praia de Santo Amaro 1 (Parque Infantil) .csv SmartCitySensor Torniquete Virtual Praia de Santo Amaro 2 (Yellow Beach) .csv SmartCitySensor Torniquete Virtual Praia de Santo Amaro 3 (Tunel) .csv SmartCitySensor Torniquete Virtual Praia de Santo Amaro 4 (Saisa 1) .csv SmartCitySensor Torniquete Virtual Praia de Santo Amaro 5 (Saisa 2) .csv SmartCitySensor Torniquete Virtual Praia Grande Caxias.csv SmartCitySensor Torniquete Virtual Praia Paco de Arcos 1.csv SmartCitySensor Torniquete Virtual Praia Paco de Arcos 2.csv	Frequência das praias com registo temporal entre junho e setembro de 2020	CSV	2021	CMO

A população residente exposta foi obtida a partir dos dados da população residente desagregados ao edifício. Tendo em consideração a perigosidade do tsunami em Oeiras (tempos de chegada e alturas de água), optou-se por corresponder o número de pessoas expostas no período diário à capacidade de carga das praias. Na Tabela 60 podem observar-se as capacidade de carga das praias, definidas a partir dos valores autorizados pela Agência Portuguesa do Ambiente e disponíveis no site da Câmara Municipal de Oeiras, considerando-se este o valor máximo de exposição da população nas praias.

Tabela 60 - Capacidade de carga das praias de Oeiras

Praia	Capacidade
Praia da Torre	3000
Praia de Paço de Arcos	1000
Praia de Santo Amaro de Oeiras	4100
Praia Grande Caxias	1000
Praia de Caxias (Baía dos Golfinhos)	350
Praia de S. Bruno	350

Fonte: <https://www.cm-oeiras.pt/pt/descobrir/turismo/praias/Paginas/praias-2020.aspx>

Para efeitos de elaboração dos cenários e indicação do número de vítimas expostas, foram utilizados os dados dos torniquetes instalados nas várias praias do concelho no verão de 2020. Estes dados, foram obtidos a partir de um sistema de contagem (torniquetes virtuais, possibilitando em tempo real a atualização da capacidade e lotação de cada praia do concelho), instalado nas entradas dos areais, enquanto medida de higiene e segurança para evitar aglomerações e a propagação da COVID-19. Os registos permitem verificar a elevada frequência de utilizadores nas praias de Santo Amaro e da Torre (Figura 66) em concordância com as suas capacidades de carga. Por outro lado, verifica-se que o mês de julho é o que regista maior afluência à generalidade das praias do concelho.

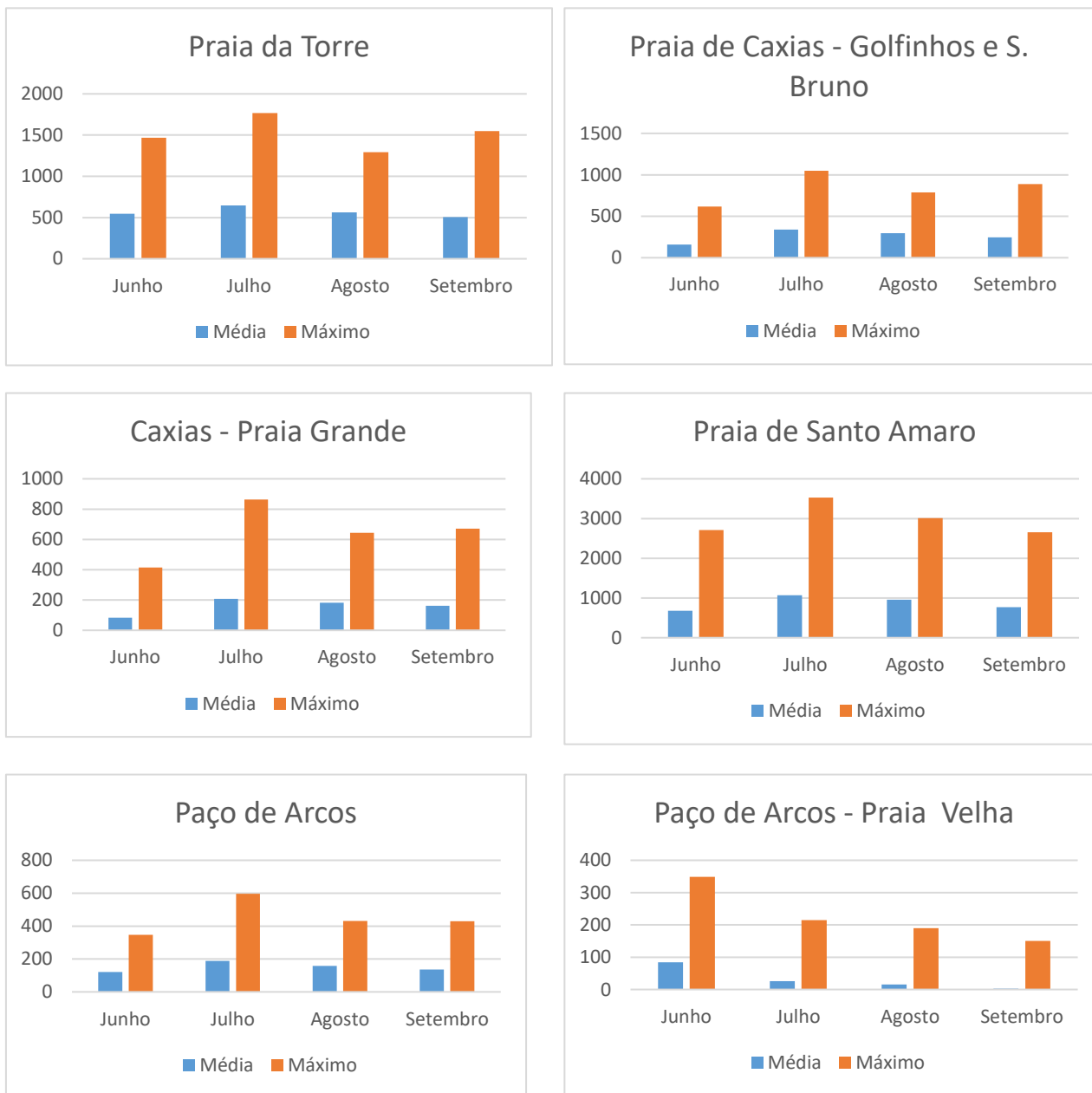


Figura 66 - Frequência média e máxima das praias em 2020

3.3.2. Edificado

A caracterização do parque edificado exposto na área inundável teve como base os dados constantes no questionário de edifício do V recenseamento geral da habitação, realizado em 2011. Para além destes dados foram utilizados os dados cartográficos das construções à escala 1:2000 (Tabela 10).

Tabela 61 – Dados utilizados na caracterização do parque edificado

Dados	Temas	Formato	Ano	Origem
Construcoes_sum86014.shp	Construções	ESRI Shapefile	2011	CMO
BGE_Oeirasv5_Sum28247	Edifícios - Base Geográfica de Referência de Informação	ESRI Shapefile	2011	CMO
CON_Construcoes_pol_v.shp.shp	Construções	ESRI Shapefile	2016	CMO

As Tabela 62 e Tabela 63 mostram que há 824 edifícios que se encontram na área inundada. Verifica-se que cerca de 70% dos edifícios expostos são habitações, que correspondem a um total de 579. Destes edifícios residenciais, 346 são prédios, 182 são vivendas, incluindo ainda 25 garagens e 32 anexos/arrecadações. De salientar ainda que 96 edifícios administrativos estão também na área inundada, destacando-se um edifício da junta de freguesia, dois bancos e as estações da CP de Algés e da Cruz Quebrada.

Tabela 62 - Número de edifícios que estão na área inundada, de acordo com a tipologia.

Tipo de edificado	Número total
Habitacionais	579
Construções em Geral	100
Administrativos	96
Desportivos e de lazer	21
Industriais, oficinas e armazéns	8
Escolares	6
Hospitalares e lares de idosos	4
Hoteleiros e restauração	4
Espetáculos e de reuniões públicas	2
Comerciais e gares de transporte	2
Estacionamentos	1
Museus e galerias de arte	1
Total	824

Encontram-se ainda expostos quatro edifícios da classe ‘hospitalares e lares de idosos’, e quatro edifícios da classe ‘hoteleiros e de restauração’. Há também seis edifícios da classe ‘escolares’ que se encontram expostos ao risco de tsunami, nomeadamente, um instituto de investigação, dois edifícios de ensino privado, dois jardins de infância, e uma escola do ensino básico do 1º ciclo. O

Aquário Vasco da Gama também está incluído na zona de inundação, bem como o Teatro Independente de Oeiras.

Tabela 63 - Número de edifícios que estão na área inundada, de acordo com a sua descrição.

Descrição do Edifício	Número total
Prédio	346
Vivenda Casa	182
Construções em Geral	58
Arrecadação/Anexo	32
Edifício de Serviços	32
Edifício Comercial	29
Garagem	25
Telheiro, Alpendre	15
Instalação militar	14
Posto de transformação	10
Edifício em ruínas	8
Pavilhão Gimno-Desportivo	7
Associações	6
Forte	6
Outras construções (desportivas)	5
Resíduos Líquidos (construções)	5
Edifício administrativo	4
Proteção Civil Nacional/Distrital/Municipal	4
Pousada da Juventude	3
Quiosque	3
Armazém	2
Bancos	2
Centro de Saúde	2
Ensino Privado	2
Estação de CF	2
Prédio-Escolar-Jardim de Infância	2
Aquário/Oceanário	1
Capela	1
Central Elevatória	1
Centro de Juventude	1
Centro social	1
Ensino Básico 1º ciclo	1
Estação de tratamento de águas	1
Fábrica	1
Hipermercado	1

Hotel	1
Instituto de Investigação	1
Junta de Freguesia	1
Lar da 3ª idade	1
Mercado	1
Museu	1
Palácio (monumento)	1
Parque de Estacionamento com Telheiro	1
Teatro	1
Total	824

3.3.3. Infraestruturas e equipamentos

As infraestruturas expostas (Tabela 64) ao risco de tsunami têm correspondência em todas as categorias analisadas, designadamente: Gás, Rede Água, Saneamento, Telecomunicações e Eletricidade. Pela sua importância na definição da estratégia de evacuação destaca-se a infraestrutura ferroviária (Linhas de Cascais) e a infraestrutura rodoviária (EN-6/Avenida Marginal).

Tabela 64 – Extensão das infraestruturas exposta ao risco de tsunami

Tipo	Subtipo	km
Gás	Ramal GALP	0.67
	Tubagem GALP	9.04
Rede Água	Condutas Adutoras SIMAS	3.28
	Condutas Ramal	0.14
	Condutas Simas	22.04
Saneamento	Troço Coletor	4.59
	Troço coletor Municipal	40.54
	Troço Conduta	7.69
Telecomunicações	Conduta First Rule	11.54
	Conduta NOS	1.44
	Conduta ONI	1.20
Rede Ferro-Rodoviária	Rede Ferro-Rodoviária	49.19
Eletricidade	Rede Troço BT IP EDP	18.58
	Rede Troço IP EDP	29.77

Relativamente aos equipamentos/estabelecimentos expostos ao risco de tsunami, destacam-se pela sua sensibilidade e importância na definição da estratégia de evacuação o Centro de Acolhimento de Paço de Arcos - Mãos Dadas para a Vida II e os equipamentos de ensino (Tabela 65).

Tabela 65 - Equipamentos/estabelecimentos expostos ou na proximidade da zona inundada

Tipo	Nome	N.º
Bombas de combustível	Bombas de Gasolina Cipol (Algés)	2
	Bombas de Gasolina Cipol (Santo Amaro De Oeiras)	
Equipamentos de Ensino	Colégio D. João de Castro	2
	Jardim de Infância Roberto Ivens	
Equipamentos de Saúde	Unidade de Saúde Familiar do Dafundo	1
Estabelecimentos/Atividade económica	Escola de Condução de Algés	17
	Instituto Nacional de Administração – Delegação de Algés	
	Instituto Espanhol	
	IPIMAR	
	União de freguesias de Algés, Linda-a-Velha, Cruz quebrada e Dafundo	
	EB1 Pinheiro Chagas	
	Centro de Instrução do Instituto de Socorro a Náufragos	
	Delegação de Freguesia de Caxias	
	Hotel Vila Galé Palácio dos Arcos	
	Hotel Solar Palmeiras	
	Pavilhão GimnoDesportivo da Associação Desportiva de Oeiras	
	Clube Escola de Ténis de Oeiras	
	Residencial Casa de Repouso Nossa Senhora de Fátima	
	Pavilhão Gimnodesportivo de Oeiras e São Julião da Barra	
Centro de Apoio ao Animal		
West Coast - Sailing Centre		
Piscina Oceânica de Oeiras		
Equipamentos de Apoio Social com Alojamento	Centro de Acolhimento de Paço de Arcos - Mãos Dadas para a Vida II	1

3.4. AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE

3.4.1. População

As estimativas de danos e perdas em áreas potencialmente inundadas por um tsunami não são uniformes e encontram-se dependentes do tempo de chegada das ondas e das possíveis evacuações. O número de vítimas causadas por um tsunami é geralmente muito maior do que o causado por uma única onda de tempestade ou evento de onda alta devido ao fato de que a onda do tsunami poder chegar entre minutos a menos de uma hora, enquanto as tempestades ou ondas altas costumam levar mais tempo (várias horas a dias) para chegar, o que significa que as pessoas têm mais tempo para evacuar (Takabatake, Shibayama e Miguel, 2018).

Para determinar o número e tipo de vítimas da inundação por tsunami em Oeiras foi adotada a metodologia proposta por Yeh (2004) onde o número de vítimas mortais (NVM) e feridos (NVF) são obtidos por:

$$NVM_j = N_j \times (0.99TX_{mortalidade} + 1/2 (TX_{vítimas} - 0.99TX_{mortalidade}))$$

$$NVF_j = N_j \times TX_{vítimas} - NVM_j$$

onde $TX_{mortalidade}$ corresponde à taxa de mortalidade calculada a partir dos tempos de prepara o e tempos de evacua o. A $TX_{vítimas}$ é obtida através de:

$$TX_{vítimas} = 1 - TX_{sobrevivência}$$

onde a $TX_{sobrevivência}$ é obtida através do cálculo diferença de tempo entre o tempo de evacua o e o tempo disponível para evacuar.

A determina o da popula o exposta   inunda o por tsunami (N_j) depende do local, dia da semana, hora e do mês ou época do ano. Para o presente estudo, foram considerados 2 cenários para determinar a popula o exposta:

- 1) 17.00h, sábado, época de verão;
- 2) 2.00h, segunda-feira, época de inverno;

No primeiro cenário, foram apenas considerados os dados de popula o residente exposta. Estes dados agregados por lugar refletem a elevada exposi o no setor entre Algés, Dafundo e Cruz Quebrada (Tabela 66).

Tabela 66 - Popula o residente exposta ao risco de tsunami por lugar. Fonte: INE

Lugar	Popula�o residente exposta
Algés	631
Caxias	231
Cruz Quebrada	564
Dafundo	1630
Laveiras	58
Oeiras	167
Paço De Arcos	217
Total	3498

No segundo cenário, por uma questão de simplificação, apenas a evacuação de pedestres foi considerada. Para um determinado evento de tsunami, os dados necessários na avaliação da taxa de vítimas, de acordo com o modelo proposto por Yeh (2004) foram:

- a) Modelo digital de terreno (MDT) e informação da população exposta para cada setor (edifícios, passeio marítimo e praias).
- b) Distância de evacuação que pode ser expressa por um coeficiente de sinuosidade **Ct**.
- c) Localização de penetração máxima do tsunami **Max**.
- d) Tempo de chegada do tsunami **T0** e o tempo de penetração máxima do tsunami **Tmax**.
- e) Tempo de aviso T_w após o sismo.
- f) Velocidades de evacuação em função da avaliação da vulnerabilidade da população à inundações por tsunami, designadamente de fatores como a idade e género.
- g) Hora do dia e época do ano (2 cenários propostos).
- h) Condições ambientais das rotas de evacuação **Cevac**.
- i) **Tprep** de tempo de preparação mais provável para as pessoas iniciarem a evacuação após receberem o aviso de tsunami.

Com base na condição de tempo de preparação $T_{prep} = 10$ min; tempo de chegada do tsunami $T_0 = 30$ min; tempo de inundações máxima $T_{max} = 30$ min; tempo de aviso de tsunami $T_w = 0$ (imediatamente após a ocorrência do sismo); tempo de deslocação do evacuado $T_{travel} = 10$ min; a velocidade média de caminhada, 1,36 m / seg, e o desvio padrão na velocidade de caminhada, 0,22 m / seg, estimaram-se para as praias do concelho de Oeiras o número de mortos e de feridos. A população exposta neste cenário foi obtida a partir dos dados de frequência das praias para o ano de 2020. Com base nestes dados, calcularam-se as probabilidades de frequência semanais e horárias que permitiram obter a população exposta por praia (Tabela 67). O maior número de vítimas mortais (128) regista-se na praia de Santo Amaro de Oeiras. As praias com menor exposição e mais afastadas da origem da onda de tsunami, designadamente as de Caxias, apresentam um número menor de morto e feridos.

Tabela 67 - Número de mortos e feridos associados ao cenário de tsunami por praia

Praia	Probabilidade	Probabilidade	População	Mortos	Feridos
Caxias - Golfinhos	1.00	1.000	350	17	4
Caxias - Grande	0.77	0.740	398	20	4
Caxias - S. Bruno	0.82	0.925	530	26	5
Paço de Arcos 1	0.99	0.987	681	34	7
Paço de Arcos 2	0.58	0.983	402	20	4
Santo Amaro 1	0.72	1.000	503	25	5
Santo Amaro 2	0.45	0.779	248	12	3
Santo Amaro 3	0.89	1.000	622	31	6
Santo Amaro 4	1.00	0.945	662	33	7
Santo Amaro 5	0.88	0.878	539	27	5
Torre	0.88	1.000	618	31	6
TOTAL			5553	277	57

3.4.2. Edificado

3.4.2.1. Dados Base

A avaliação da vulnerabilidade física do edificado baseou-se na informação cartográfica fornecida pela Câmara Municipal de Oeiras, na informação estatística constante no questionário de edifício do V recenseamento geral da habitação, dados LiDAR e fotografias aéreas obtidas a partir do levantamento aéreo realizado pela Socarto em 2020 (Tabela 68).

Tabela 68 – Dados base

Dados	Temas	Formato	Ano	Origem
Construcoes_sum86014.shp	Construções	ESRI Shapefile		CMO
BGE_Oeirasv5_Sum28247	Edifícios - Base Geográfica de Referenciação de Informação	ESRI Shapefile	2011	CMO
oeiras1.las; oeiras2.las; oeiras3.las; oeiras4.las	Cobertura LiDAR da faixa costeira de Oeiras	las file	2020	Socarto
Fotografias aéreas (helicóptero)		jpg	2020	Socarto

3.4.2.2. Metodologia

A avaliação da vulnerabilidade do edificado baseou-se no método determinístico proposto por Dall'Osso et al. (2009), designado por modelo PTVA. Através do modelo PTVA calculou-se um índice relativo de vulnerabilidade que se baseia em duas componentes:

1. a vulnerabilidade da capacidade de carga da estrutura do edifício - atingido pela força hidrodinâmica horizontal associada ao fluxo de água; e
2. a vulnerabilidade de diferentes componentes do edifício devido ao contato com a água.

O cálculo do índice relativo de vulnerabilidade baseia-se em dois fatores: a vulnerabilidade estrutural e a vulnerabilidade à intrusão da água.

O fator correspondente à vulnerabilidade estrutural é calculado com recurso a 3 subfactores: os atributos da estruturais do edifício, a altura da inundação e o grau de proteção.

Os atributos relativos à estrutura do edifício (Tabela 69) variam entre -1 e +1, onde os valores positivos correspondem a uma vulnerabilidade elevada e os valores negativos a uma vulnerabilidade baixa.

Tabela 69 – Classificação dos atributos relativos à estrutura do edifício

Escala da vulnerabilidade estrutural	-1	-0.5	0	+0.25	+0.5	+0.75	+1
número de pisos	mais de 5 pisos	4 pisos	3 pisos		2 pisos		1 piso
material	betão		alvenaria dupla		alvenaria simples		madeira
hidrodinâmica do piso térreo	piso aberto	piso aberto com janelas	50% piso aberto		piso sem aberturas, mas com várias janelas		piso sem aberturas

robustez das fundações	fundações profundas (>5 pisos)		profundidade média das fundações (3 pisos)				fundações superficiais (1 piso)
forma e orientação	forma hidrodinâmica elevada		forma hidrodinâmica média				forma hidrodinâmica fraca
objetos móveis			risco mínimo associado a danos por objetos móveis	risco moderado associado a danos por objetos móveis	risco médio associado a danos por objetos móveis	risco elevado associado a danos por objetos móveis	risco extremo associado a danos por objetos móveis
estado de conservação	excelente	bom	razoável		mau		muito mau

Os atributos relativos ao grau de proteção do edifício variam entre 0 e 1, correspondente o valor 1 ao menor grau de proteção (Tabela 70).

Tabela 70 - Classificação dos atributos relativos ao grau de proteção do edifício

	0	0.25	0.5	0.75	1
ordem do edifício para a costa	>10º	7-8-9-10º	4-5-6º	2º-3º	1º
barreiras naturais	proteção muito elevada	proteção elevada	proteção média	proteção moderada	sem proteção
altura e forma das estruturas de proteção costeira	Vertical e > 5m	Vertical 3 a 5m	Vertical e 1.5 a 3m	Vertical e 0 a 1.5m ou inclinada 2e 1.5 a 3m	inclinada e 1.5 a 3m ou sem
muros em redor do edifício	altura do muro corresponde a 80% a 100% da altura da inundação	altura do muro corresponde a 60% a 80% da altura da inundação	altura do muro corresponde a 40% a 60% da altura da inundação	altura do muro corresponde a 20% a 40% da altura da inundação	altura do muro corresponde a 0% a 20% da altura da inundação

Na classificação da altura da inundação são consideradas 5 classes (Tabela 71).

Tabela 71 - Classificação da altura da inundação

Classificação	1	2	3	4	5
Altura da inundação	0-1 m	1-2 m	2-3 m	3-4 m	>4 m

O fator da vulnerabilidade à intrusão da água é obtido através da divisão do número de pisos inundados sobre o número total de pisos do edifício.

O resultado final do modelo PTVA é um índice relativo de vulnerabilidade, calculado para edifício exposto que varia de 1 (reduzida) a 5 (muito elevada). No modelo PTVA, os fatores e os subfactores apresentam diferentes contributos para o cálculo do índice de vulnerabilidade. Os pesos dos dois fatores, subfactores e dos vários atributos encontram-se descritos na Figura 67.

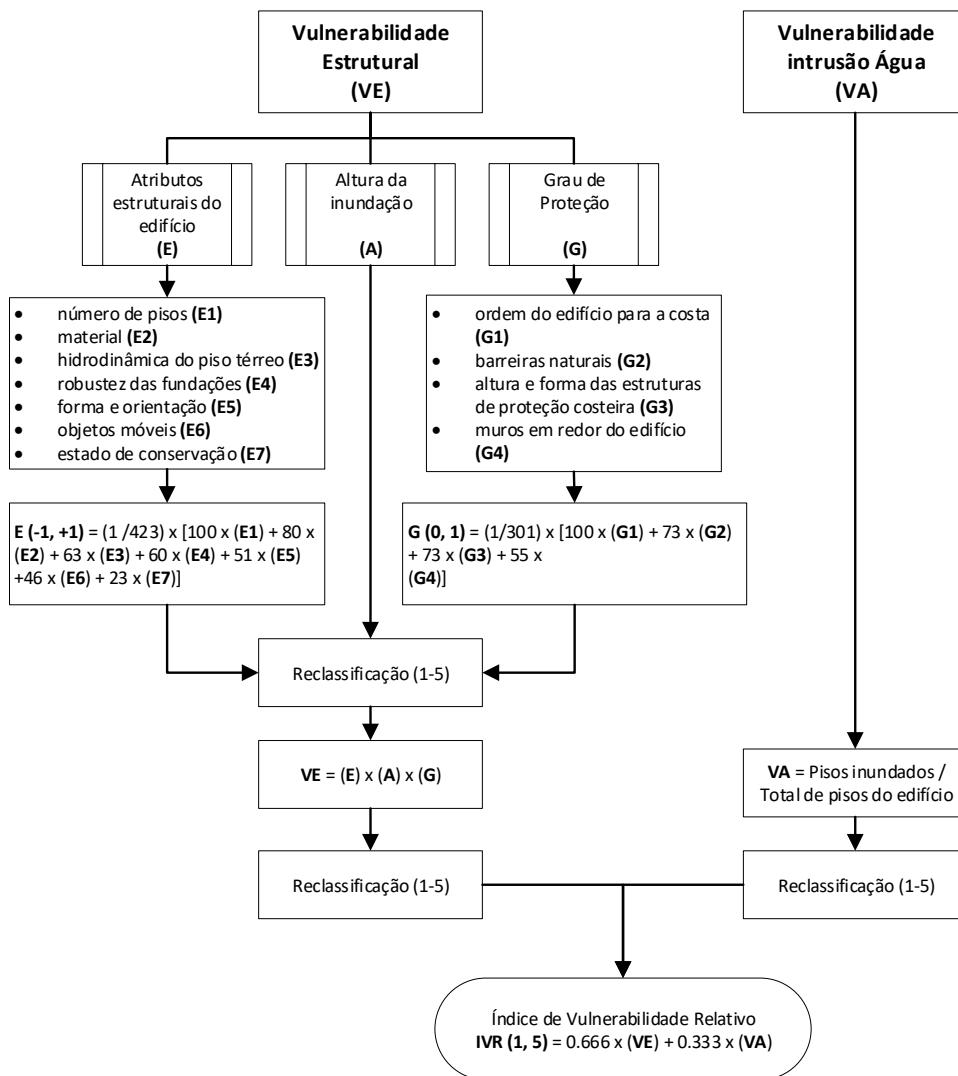


Figura 67 - Fluxograma de cálculo do IVR. Adaptado de Santos et al. (2014)

3.4.2.3. Resultados

Neste ponto apresentam-se os resultados da distribuição da vulnerabilidade das variáveis que dão origem ao fator VE, aplicado à área exposta no município de Oeiras.

Como podemos verificar na Figura 68, 53,4% do edificado potencialmente inundado por um tsunami em Oeiras caracteriza-se por ter um ou dois andares. Por outro lado, podemos observar que 12,7% dos edifícios têm mais que cinco andares, ou seja encontram-se na classe “-1” de vulnerabilidade.

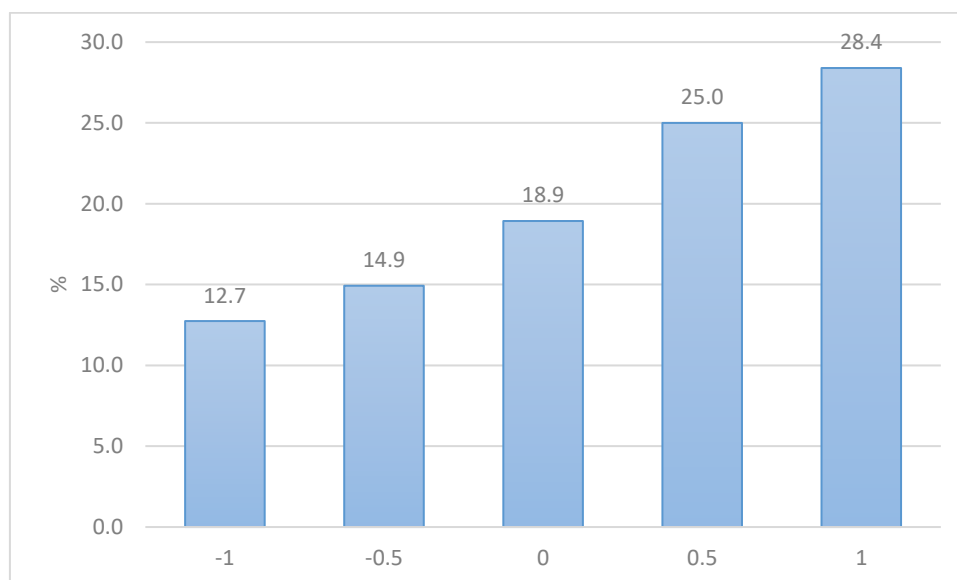


Figura 68 - Percentagem de edifícios por classe de vulnerabilidade - pisos

O material tem uma forte correlação com o ano de construção do edificado. Este atributo apresenta um número significativo de edifícios com vulnerabilidade elevada (51,8%), conforme se pode verificar na Figura 69.

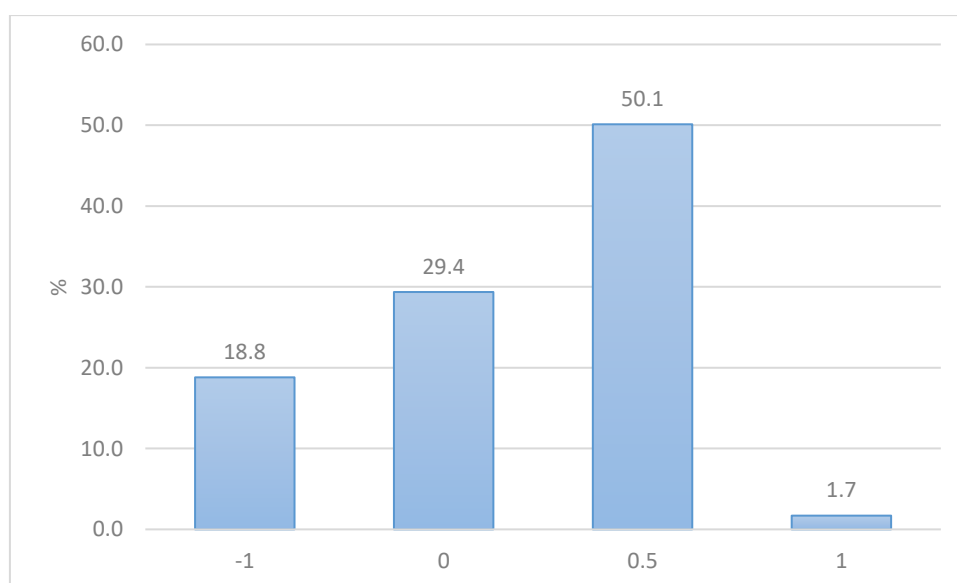


Figura 69 - Percentagem de edifícios por classe de vulnerabilidade – material

Cerca de 93,2% do edificado tem forte e extrema vulnerabilidade hidrodinâmica no piso térreo, sendo que é muito residual o valor de edifícios com fraca vulnerabilidade (Figura 70).

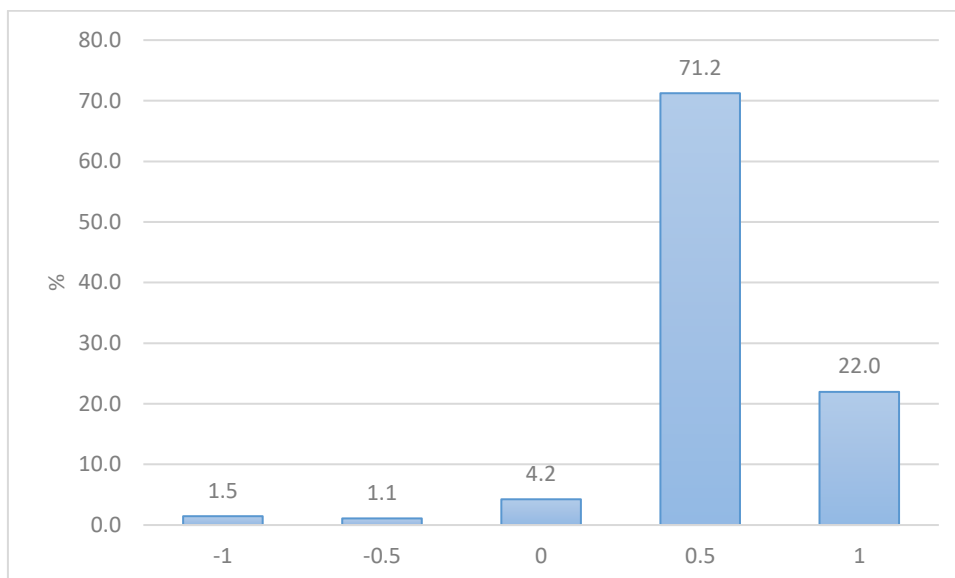


Figura 70 - Percentagem de edifícios por classe de vulnerabilidade – hidrodinâmica do piso térreo

A grande maioria dos edifícios tem uma vulnerabilidade fraca quanto à robustez das fundações (61,5%). Os edifícios com vulnerabilidade extrema correspondem a 38,2% (Figura 71).

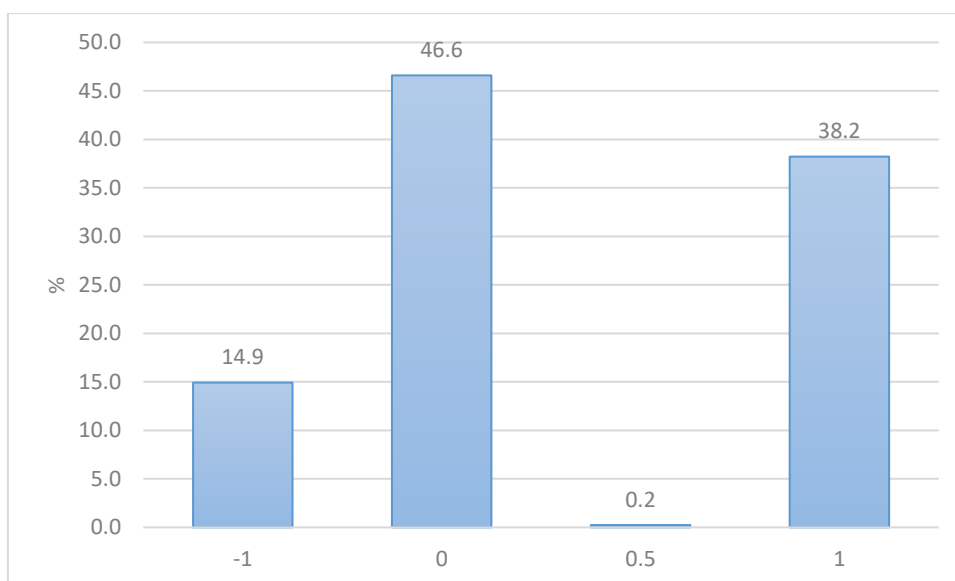


Figura 71 - Percentagem de edifícios por classe de vulnerabilidade – robustez das fundações

Quanto à forma hidrodinâmica dos edifícios, estes apresentam maioritariamente uma vulnerabilidade média e elevada (Figura 72).

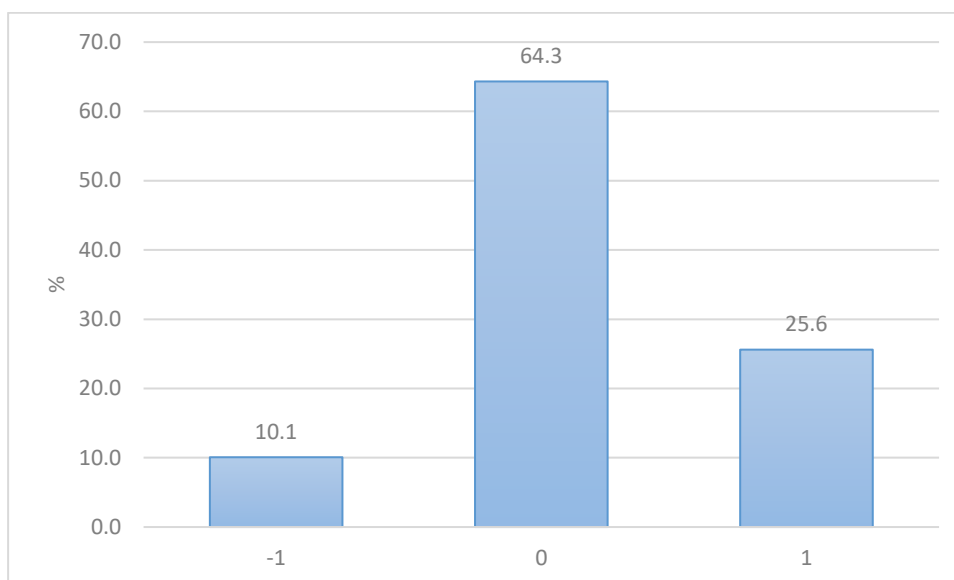


Figura 72 - Percentagem de edifícios por classe de vulnerabilidade – forma hidrodinâmica do edifício

Devido à área exposta ser uma área fortemente urbanizada, e com isso ter uma forte presença de objetos móveis (carros, barcos, contentores do lixo e outros objetos móveis de grandes dimensões), é normal que o edificado nesta área tenha uma vulnerabilidade elevada (77,0%) (Figura 73).

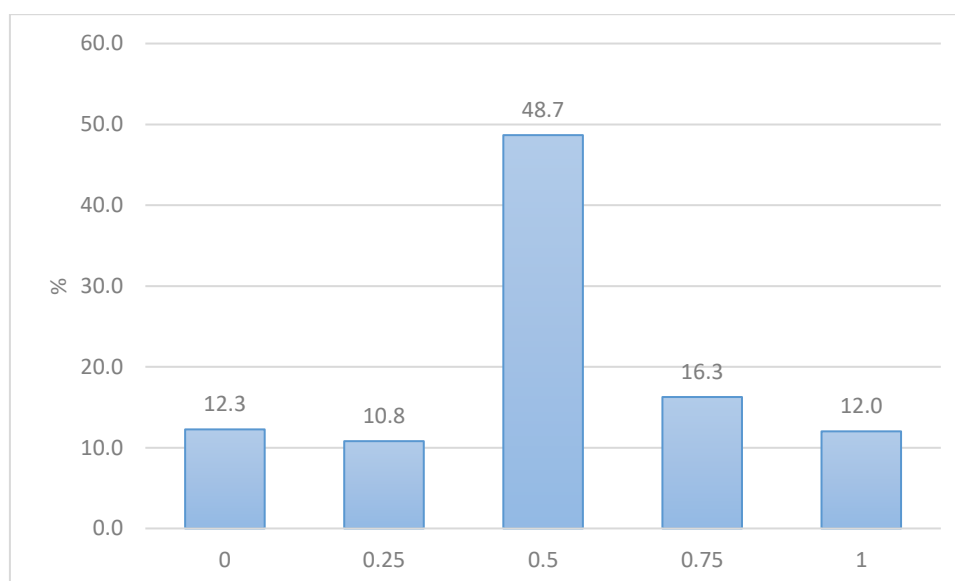


Figura 73 - Percentagem de edifícios por classe de vulnerabilidade – objetos móveis

Embora a área exposta integre edifícios antigos, o atributo referente ao estado de conservação caracteriza-se maioritariamente por uma vulnerabilidade inexistente ou muito fraca (85,3%). Com uma vulnerabilidade forte e extrema observam-se 13,2% dos edifícios (Figura 74).

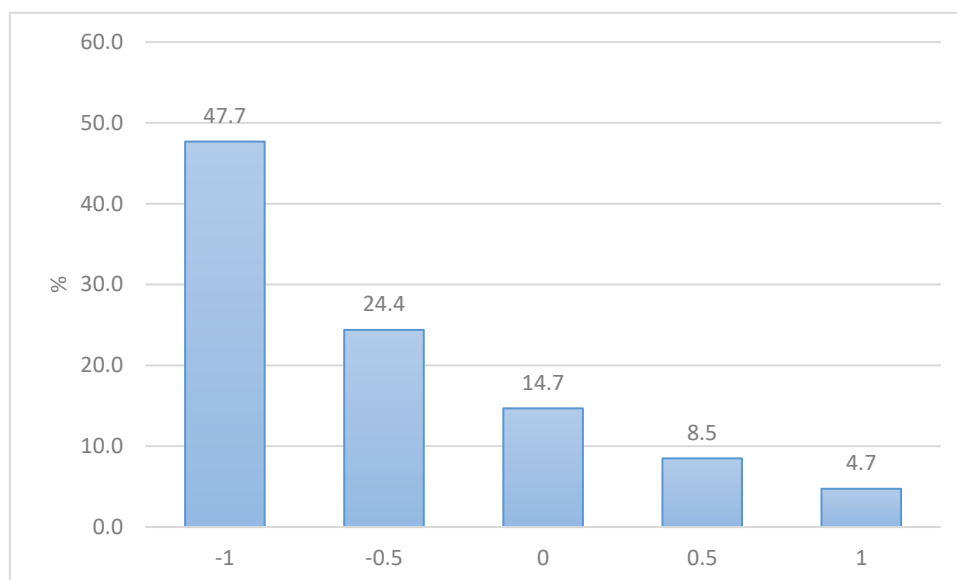


Figura 74 - Percentagem de edifícios por classe de vulnerabilidade – estado de conservação

As figuras seguintes dizem respeito à distribuição da vulnerabilidade para os atributos que dão origem ao fator vulnerabilidade à intrusão da água (VA), aplicado à área exposta no município de Oeiras.

Relativamente à ordem dos edifícios para a costa, a classe com mais expressão é a classe corresponde aos valores 0,75 com 35,4% (Figura 75). Devido à área potencialmente inundada por tsunami não alcançar uma grande extensão do território, verifica-se que a maioria dos edifícios expostos não tenham estruturas ou outros edifícios em frente, ou apenas tenham dois ou três edifícios entre o edifício em avaliação e a linha de costa.

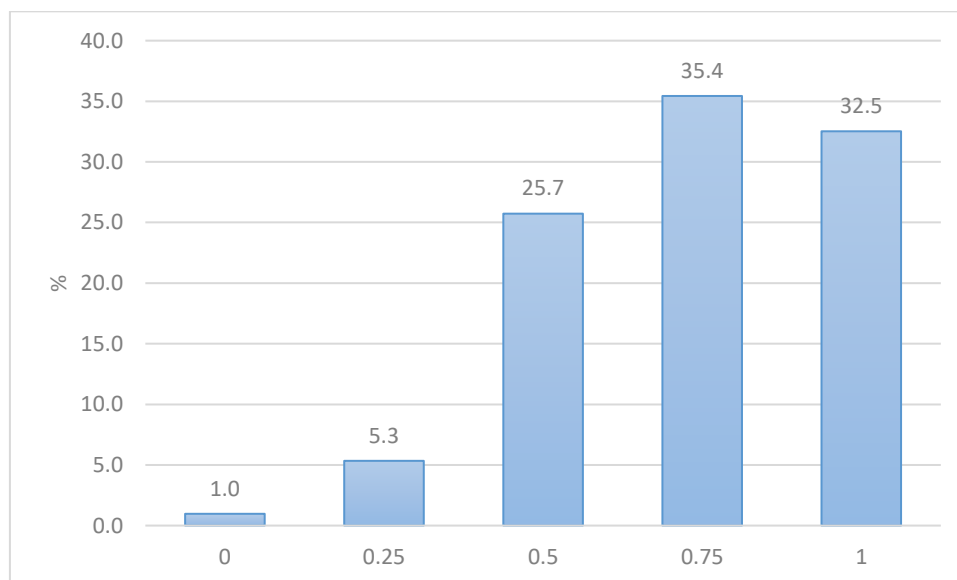


Figura 75 - Percentagem de edifícios por classe de vulnerabilidade – Ordem dos edifícios para a costa

As barreiras naturais são quase inexistentes no território do município de Oeiras, verificando-se que 62,3% do edificado não tem qualquer proteção associada a barreiras naturais (Figura 76).

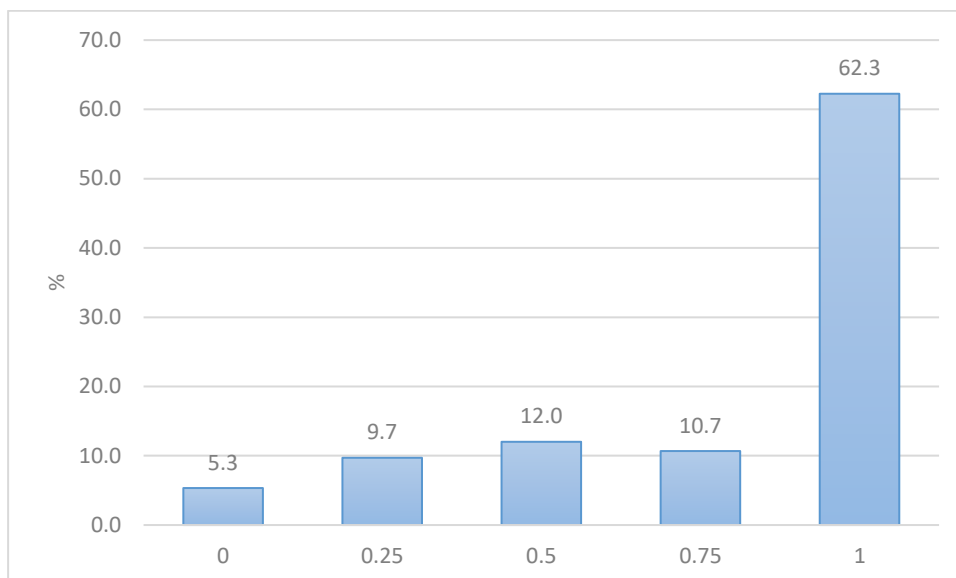


Figura 76 - Percentagem de edifícios por classe de vulnerabilidade – barreiras naturais

Relativamente às barreiras artificiais, verifica-se a existência de um reduzido número, refletindo-se na elevada percentagem de edifícios (99,0%) que se caracteriza por uma proteção baixa (Figura 76). Apesar de ao longo da EN6 (Estrada Marginal) existirem vários quebra mares e muros de proteção, estes não foram considerados enquanto estruturas dedicadas à proteção contra tsunamis o que resulta numa elevada da vulnerabilidade do edificado exposto.

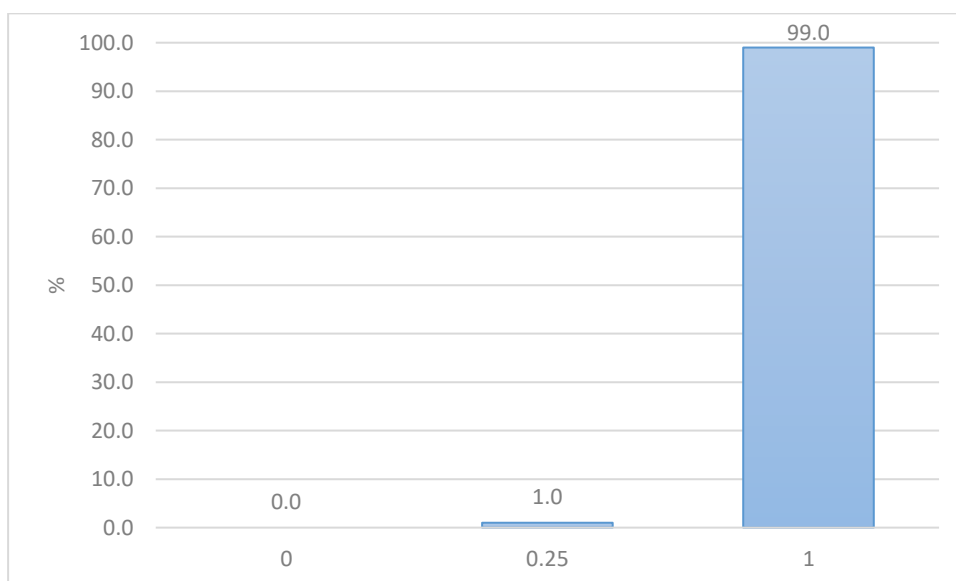


Figura 77 - Percentagem de edifícios por classe de vulnerabilidade – barreiras artificiais

Devido a grande parte dos edifícios expostos serem edifícios habitacionais associados a prédios, e este tipo de edifício não ter muros ao redor do edificado, verifica-se que a classe de proteção inexistente tenha uma elevada expressão (76,9%) nesta variável (Figura 78). Por outro lado, a classe de muito alta proteção tem 17% do total desta variável, sendo que a esmagadora maioria desta percentagem são moradias.

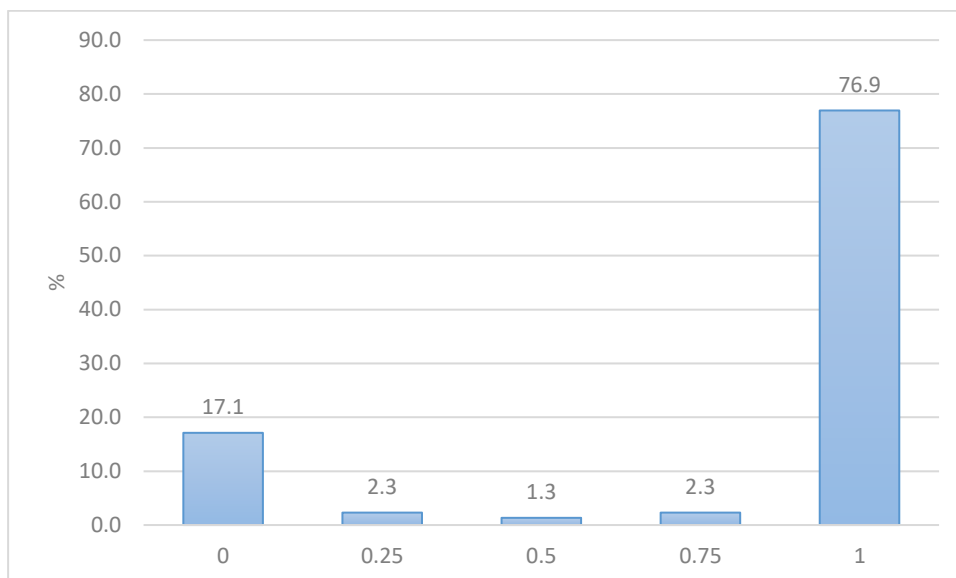


Figura 78 - Percentagem de edifícios por classe de vulnerabilidade – muros de proteção

Os resultados do cálculo do índice relativo de vulnerabilidade, com recurso às subcomponentes do modelo PTVA, apresentam como principal característica a elevada percentagem de edifícios com uma vulnerabilidade reduzida e moderada (82%). As classes de vulnerabilidade elevada e muito elevada têm uma expressão reduzida, representando 5% do edificado exposto.

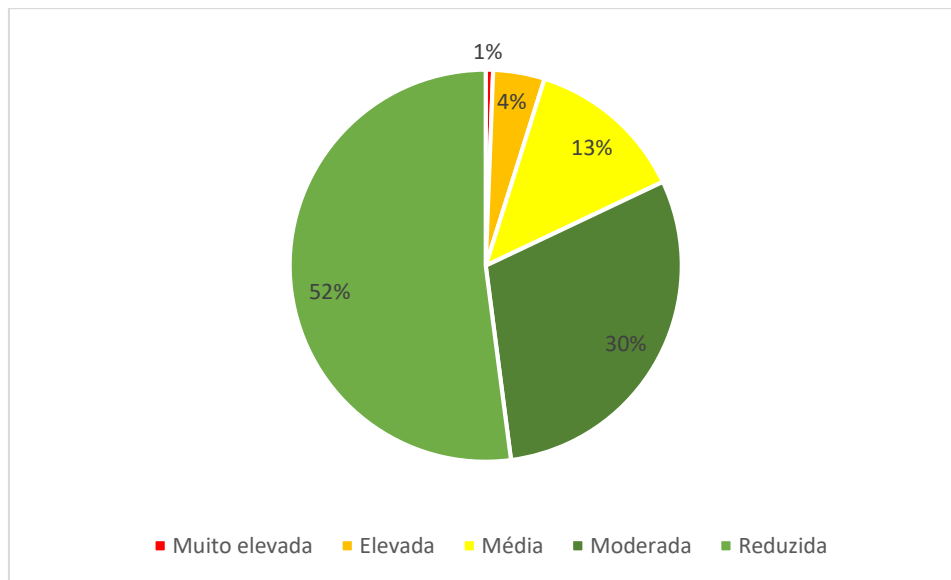
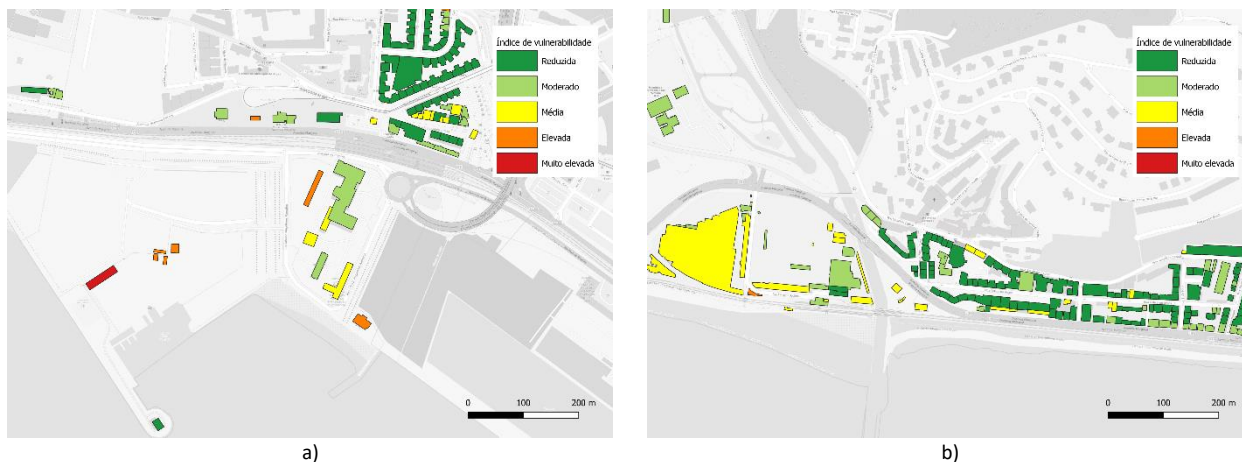


Figura 79 - Percentagem de edifícios por classe de vulnerabilidade – muros de proteção muros de proteção

Na Figura 80, encontram-se representados os resultados referentes à classificação do índice relativo de vulnerabilidade do edificado para os troços costeiros de Algés, Cruz-Quebrada, Caxias, Paço de Arcos, Santo Amaro e Praia da Torre. Pela sua elevada vulnerabilidade destacam-se nestes troços os edifícios localizados no aterro de Algés, o Forte de S. Bruno, o estabelecimento Baía dos Golfinhos, Auto Caxiense, Centro de Convívio A Nossa Praia, Forte da Giribita, o Centro Náutico de Paço de Arcos, o estabelecimento O Amarelo, o pavilhão da Associação Desportiva de Oeiras, a base dos Escuteiros Marítimos de Nova Oeiras, o restaurante do INATEL e os edifícios da Marina de Oeiras.



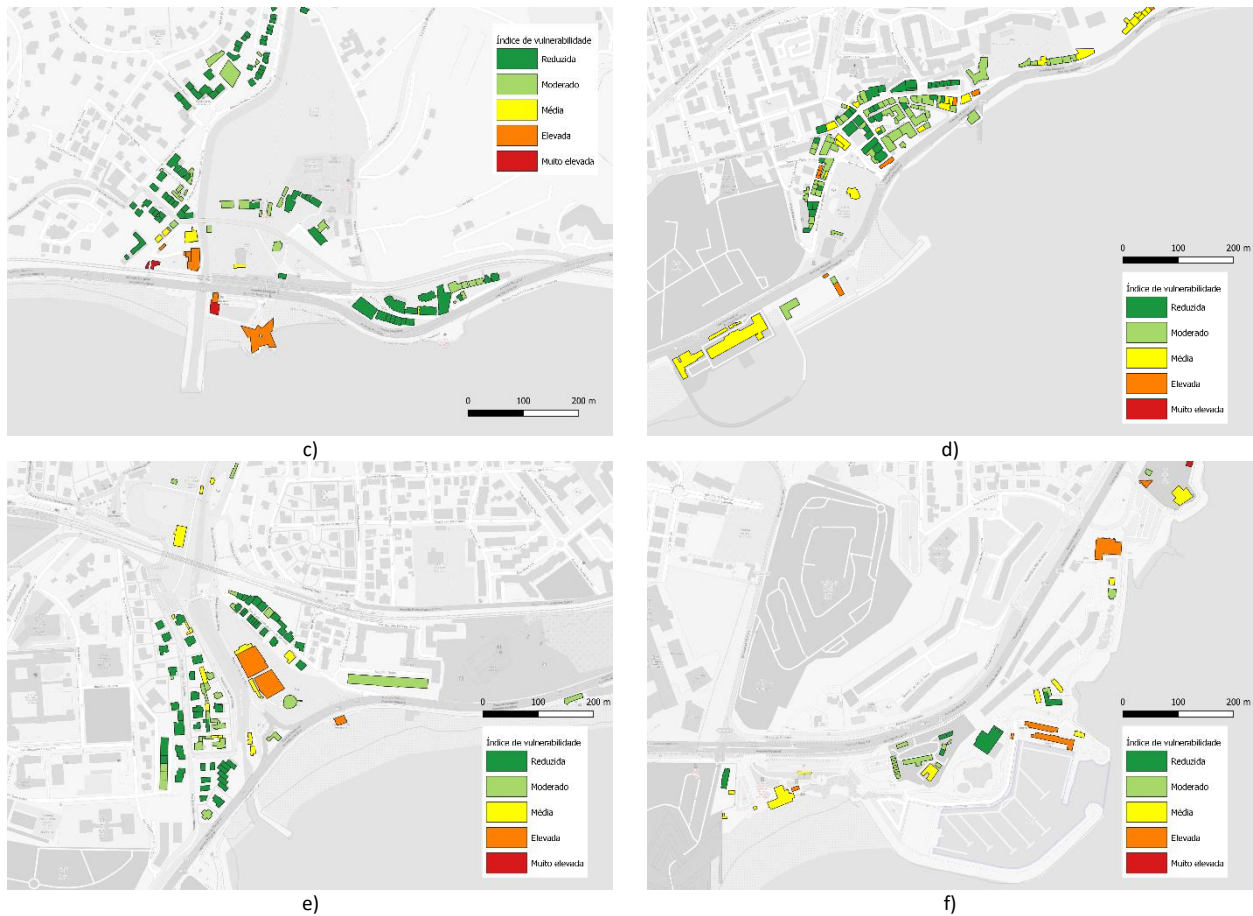
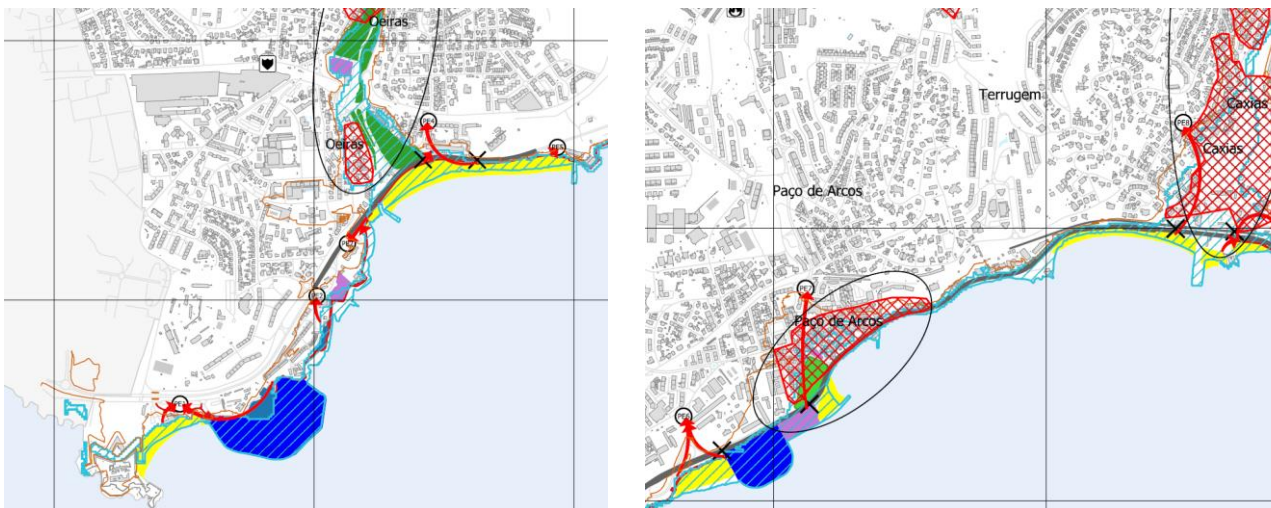


Figura 80 - Vulnerabilidade do edificado para o fator VA. a) Algés; b) Cruz-Quebrada; c) Coxias; d) Paço de Arcos; Praia de Santo Amaro; e) Praia da Torre.

4. PLANEAMENTO DE EMERGÊNCIA

4.1. ESTRATÉGIA DE EVACUAÇÃO

Na elaboração do mapa conjunto tsunami+sismos para definir a estratégia de evacuação foi identificada a área prioritária de evacuação com recurso aos resultados do estudo, listando-se as áreas de maior vulnerabilidade ao tsunami (EN-6, Linha Ferroviária de Cascais, Passeio Marítimo, estacionamentos públicos, localização de eventos temporários, Jardim de Oeiras, Jardim de Paço de Arcos, Marinas/Docas, Piscinas Públicas, Pista de Canoagem do Jamor e Praias). Considerando as praias e o passeio marítimo, como os locais de maior afluência de população na faixa litoral, foram identificados um conjunto de pontos de encontro fora da área de evacuação, e acima da cota de 10 m. Tendo como referência estes pontos de encontro, foram esquematizadas as respetivas rotas de evacuação (Figura 81). Neste mapa, constam ainda a identificação de possíveis constrangimentos associados às evacuações, designadamente as passagens inferiores junto às praias, passagem superior de Caxias e as barreiras/vedações associadas às infraestruturas rodoviárias e ferroviárias, como por exemplo no troço do passeio marítimo entre Caxias e Cruz Quebrada e entre a Cruz Quebrada e Algés. Para apoiar a estratégia de evacuação, integram este mapa os locais de maior probabilidade de concentração de danos associados a um sismo, devendo-se evitar permanecer nestes locais. Sugere-se, portanto, que as populações costeiras evacuem em primeiro lugar em direção ao Ponto de Encontro, mas que continuem a andar a pé para locais mais elevados, a designar pela proteção civil de Oeiras.



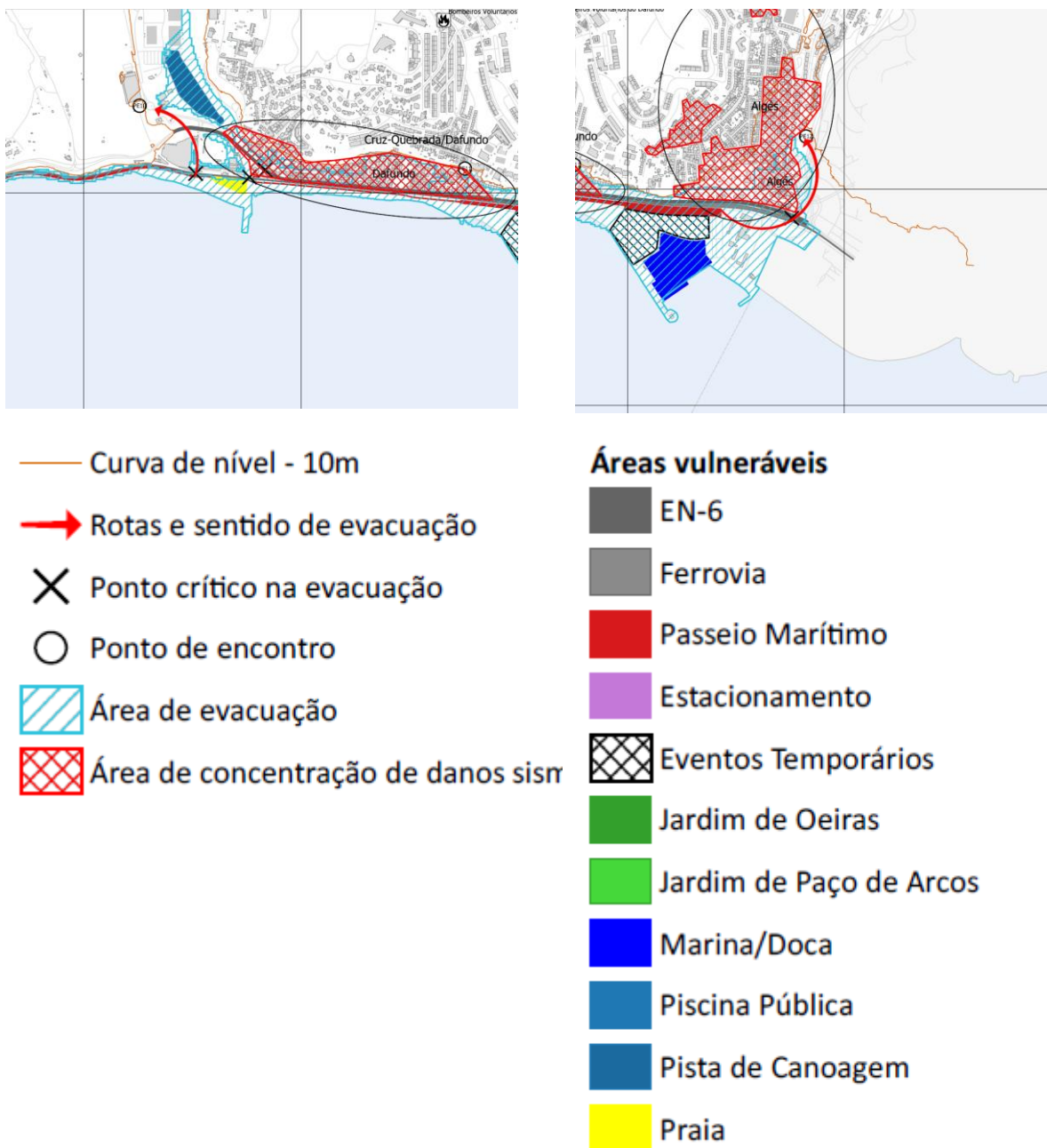


Figura 81 – Extratos do mapa conjunto tsunami+sismo

As estratégias de evacuação recomendadas neste relatório têm em consideração que Portugal ainda não tem um sistema de alerta de tsunami operacional. Quando este estiver operacional, as estratégias deverão ser atualizadas e revistas. Em função dos resultados do estudo, toda a zona de inundação do território deve ser evacuada em menos de 25 minutos após o sismo.

Sugere-se primeiramente que seja realizado um exercício de evacuação piloto em cada uma das zonas de inundação assinaladas neste relatório. Nesse exercício devem participar apenas os agentes de proteção civil, em conjunto com os autores deste relatório, para validar as estratégias e tempos de evacuação, bem como os locais mais adequados para a colocação de sinalética.

Numa segunda fase, sugere-se a elaboração de material educativo, nomeadamente panfletos informativos com os procedimentos a adotar pela população em caso de sismo. Os exercícios de evacuação devem ser gradualmente estendidos a toda a população.

A informação a ser disponibilizada à população deve conter os mapas de evacuação e algumas instruções, nomeadamente:

Antes do sismo:

Elaborar o Plano de Emergência familiar, incluindo residência-trabalho/escola e local de férias/lazer.

Durante o sismo:

- i. Manter a calma;
- ii. Baixar, proteger e aguardar.

Imediatamente após o sismo:

- i. Ajudar quem precisa e pedir ajuda se necessitar, mantendo a calma.
- ii. Ligar para o 112 apenas de houver feridos e evacuar a pé para o Ponto de Encontro, seguindo a sinalética.

A tendência das pessoas é deixar o local, ir para o carro e tentarem ir para casa – em caso de emergência esta atitude não é correta porque as estradas devem estar desimpedidas de trânsito para as pessoas evacuarem a pé, e para os serviços de emergência poderem deslocar-se mais facilmente.

- iii. Uma vez que um tsunami é um conjunto de várias ondas, e nem sempre a primeira onda é a maior, as pessoas não devem regressar à zona de inundação durante pelo menos 3 horas após o sismo.
- iv. Se o Ponto de Encontro mais próximo começar a ficar com muitas pessoas, continuar a evacuar para locais mais elevados, seguindo a sinalética.

4.2. PROPOSTA DE MEDIDAS PREVENTIVAS/MITIGADORAS

A mitigação do risco sísmico comporta três vertentes: redução da exposição através do reforço estrutural do edificado e do ordenamento do território, sensibilização da população e preparação da resposta de emergência. O presente estudo tem o potencial de impactar positivamente todas essas vertentes.

4.2.1. Medidas para a redução da exposição

4.2.1.1. Edificações existentes

A reabilitação estrutural seletiva do edificado existente é uma medida de mitigação com grande impacto, e a análise de Costa et al. (2009) para a Área Metropolitana de Lisboa aponta para uma potencial redução de 36% nas perdas económicas devidas a sismos, através da introdução desse tipo de medida. Uma série de desastres já no presente século tem demonstrado que as populações

escolares são particularmente vulneráveis (Spence, 2009), pelo que os edifícios escolares devem ser alvos prioritários deste tipo de intervenção. Igualmente prioritárias são as infraestruturas críticas para a resposta de emergência em caso de desastre, como quartéis de bombeiros, hospitais, esquadras de Polícia e afins. O presente estudo pode servir de base à definição de prioridades para este tipo de intervenção, ou, no limite, à decisão de realocar estruturas críticas ou vulneráveis.

4.2.1.2. *Edificações futuras*

O presente estudo é um primeiro passo no sentido da microzonagem sísmica do Concelho de Oeiras, permitindo a atualização da cartografia de risco incluída no Plano Municipal de Emergência de Oeiras (2018). A cartografia de perigosidade produzida permite já que a localização de futuras infraestruturas críticas ou escolas seja direcionada para locais de menor suscetibilidade a sismos, tsunamis, liquefação ou deslizamento de taludes. Para o projeto de edificações correntes, a caracterização dos solos do Concelho em termos do parâmetro VS30 pode apoiar a seleção do espectro de resposta adequado no que respeita à classe de solo, sempre que não forem viáveis estudos geotécnicos dedicados.

4.2.1.3. *Ações de sensibilização da população*

A experiência tem mostrado que a populações escolares são um veículo privilegiado para disseminação de informação sobre medidas a tomar em caso de sismo. O presente estudo pode servir de base a sessões de sensibilização nas escolas, aumentando o grau de consciência do problema e informando sobre as medidas de autoproteção a adotar individualmente. Ações de sensibilização (ex. 'Preparação e Sobrevivência em Cenário de Catástrofe' ou 'Mass Training em Suporte Básico de Vida'), dirigidas a classes profissionais específicas (professores, agentes da construção civil, etc.) podem também ser motivadas pelo presente estudo.

4.2.1.4. *Preparação da resposta de emergência*

A melhor caracterização do risco proporcionada pelo presente estudo permite a realização de exercícios, quer por parte dos agentes da Proteção Civil quer ao nível das escolas, instalações industriais, centros comerciais ou outros locais de grande aglomeração, focados em cenários mais realistas. Exercícios de evacuação das zonas suscetíveis de inundação por tsunami poderão ser organizados com base no zonamento definido neste estudo. A melhor caracterização do risco permitirá também estimar em que medida a capacidade de resposta do sistema de Proteção Civil poderá ser afetada pelo sinistro, permitindo a preparação de planos de contingência.

4.2.2. *Propostas de medidas preventivas/mitigadoras*

Tendo em consideração os resultados do estudo, foram listadas um conjunto de propostas de medidas preventivas/mitigadoras para minimizar danos e assegurar a reposição de serviços. A proposta de medidas preventivas/mitigadoras para o risco sísmico e de tsunami encontram-se organizada em medidas genéricas e medidas específicas.

Tabela 72 – Proposta de medidas de preventivas/mitigadoras para o risco sísmico

Medidas genéricas	M1.1) Integração das zonas de concentração de danos e da cartografia de perigosidade sísmica no plano municipal de emergência de proteção civil.
Medidas específicas	<p>M1.2) Elaborar um documento de orientação para inventariar os perigos estruturais e não estruturais dentro e ao redor dos edifícios escolares.</p> <p>M1.3) Elaboração de um estudo de avaliação da potencial atividade sísmica das estruturas geológicas do Concelho³.</p> <p>M1.4) Apoiar com incentivos fiscais/financeiros (ex. isenção de taxas, apoio financeiro à elaboração do projeto, redução da taxa de IMI), os proprietários de habitações nos centros históricos que realizem reforços sísmicos nas estruturas.</p> <p>M1.5) Reforço estrutural da Escola Profissional Val do Rio e do Jardim de Infância Roberto Ivens.</p> <p>M1.6) Equacionar a deslocalização da Universidade Atlântica (edifícios da Reitoria, Centro Informática, Reprografia, Contabilidade e Apoio Social).</p>

Tabela 73 – Proposta de medidas de preventivas/mitigadoras para o risco de tsunami

Medidas genéricas	<p>M2.1) Integração da zona de evacuação no plano municipal de emergência de proteção civil.</p> <p>M2.2) Integração dos pontos de encontro no plano municipal de emergência de proteção civil.</p> <p>M2.3) Elaboração de um plano de evacuação.</p>
Medidas específicas	<p>M2.4) Aquisição e instalação de um sistema aviso às populações nas praias da Torre, Santo Amaro de Oeiras, Paço de Arcos e Caxias.</p> <p>M2.5) Criação de abrigos verticais através de protocolo com os proprietários:</p> <ul style="list-style-type: none"> Edifício da Piscina Oceânica Edifício do McDonalds em Santo Amaro de Oeiras Edifício da Direção de Faróis da Autoridade Marítima Nacional Edifício Mónaco Torre VTS em Algés

³ Em Portugal, os relatos históricos sobre ocorrências sísmicas permitem recuar cerca de 600 anos. Para obter informação sobre épocas mais recuadas é necessário recorrer à Paleosismologia, que investiga os vestígios de sismos preservados em terrenos Holocénicos (ou seja, depositados nos últimos 12000 anos) através de escavações e análises geológicas detalhadas. O presente estudo não incluiu trabalhos de prospeção geofísica e/ou estudos de paleosismologia, pelo que a elaboração destes trabalhos para deteção de deformações e confirmação de eventuais falhas ativas será particularmente relevante para a análise do risco sísmico do Município de Oeiras.

M2.6) Colocação de sinalética de evacuação junto às praias indicando os caminhos a seguir e local do Ponto de encontro.

M2.7) Criação de panfletos e brochuras com os procedimentos gerais para a população.

M2.8) Agendamento de um exercício de proteção civil municipal dedicado à evacuação associada a um tsunami para avaliação das rotas de evacuação.

M2.9) Construção de uma passagem pedonal de emergência no troço do passeio marítimo entre Caxias e a Cruz Quebrada.

M2.10) Construção de uma passagem pedonal de emergência no troço do passeio marítimo entre a Cruz Quebrada e Algés (ligação ao Jardim de Algés).

M2.11) Deslocalização do Pavilhão da Associação Desportiva de Oeiras.

M2.12) Deslocalização das Bombas de Gasolina da Prio em Oeiras e Algés.

M2.13) Integração do risco de tsunami no projeto de desnivelamento da Marginal (através de túnel ou viaduto).

5. BIBLIOGRAFIA

ANPC – Autoridade Nacional de Proteção Civil (2010). Estudo do Risco Sísmico e de Tsunamis do Algarve, Direcção Nacional de Planeamento de Emergência / Núcleo de Riscos e Alerta, Carnaxide.

Antunes, C., Rocha, C., Catita, C. (2019): Coastal Flood Assessment due to Sea Level Rise and Extreme Storm Events: A Case Study of the Atlantic Coast of Portugal's Mainland. - *Geosciences*, 9, 239; doi:10.3390/geosciences9050239.

Appleton, João, Travassos, Nuno; Appleton, Júlio, Edifício do Centro de Coordenação e Controlo de Tráfego do Porto de Lisboa com inclinação sobre o Tejo, *Revista Engenharia e Vida*, nº 14, Junho 2005.

Atkinson, G. M., and D. M. Boore (2006). Earthquake ground-motion prediction equations for eastern North America, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 96, 2181–2205.

Bensana-Ostman, G., Vilanova, S.P., Nemser, E. S., Falcao-Flor, A., Heleno, S., Ferreira, H., and Fonseca, J.F.D.B. (2012). Large Holocene Earthquakes in the Lower Tagus Valley Fault Zone, Central Portugal. *Seismological Research Letters*, 83, 1, 67-76.

Boore, D., Stewart, J., Seyhan, E., Atkinson, G. (2014). NGA-West2 equations for predicting PGA, PGV, and 5% damped PSA for shallow crustal earthquakes. *Earthquake Spectra*, 30 (3), 1057–1085.

Burkhard M, Grünthal G (2009) Seismic source zone characterization for the seismic hazard assessment project PEGASOS by the Expert Group 2 (EG1b). *Swiss J Geosci* 102:149–188. doi:10.1007/s00015- 009-1307-3

Campbell, K. W. (2003). Prediction of strong ground motion using the hybrid empirical method and its use in the development of ground- motion (attenuation) relations in eastern North America, *Bull Seismol. Soc. Am.* 93, 1012–1033.

Canora, C., Vilanova, S. P., Besana-Ostman, G. M., Carvalho, J., Heleno, S., and Fonseca, J. (2015). The Eastern Lower Tagus Valley Fault Zone in central Portugal: Active faulting in a low-deformation region within a major river environment. *Tectonophysics*, 660, 117-131.

Chiou, B e Youngs, R. (2014). Updated of the Chiou and Youngs NGA Model for the Average Horizontal Component of Peak Ground Motion and Response Spectra. *Earthquake Spectra*,30(3), 1117.

Cornell, C. (1968). Engineering seismic risk analysis, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 58, 1568–1606.

Costa, A.C., Sousa, M.L., Carvalho, A. E Coelho, E. (2009). Evaluation of seismic risk and mitigation strategies for the existing building stock: Application of LNECloss to the metropolitan area of Lisbon, *Bulletin of Earthquake Engineering* 8(1):119-134.

Crowley, H., V. Silva (2013). *OpenQuake Engine Book: Risk v1.0.0*. GEM Foundation, Pavia, Italy.

Cubrinovski, Misko & Hughes, Matthew & Bradley, Brendon & Noonan, John & Hopkins, Rex & McNeill, Steve & English, Geoff. (2014). *Performance of Horizontal Infrastructure in Christchurch*

City through the 2010-2011 Canterbury Earthquake Sequence. Civil & Natural Resources Engineering Research Report 2014–02. University of Canterbury, March 2014. ISSN 1172-9511.

Dall'Osso, F., Gonella, M., Gabbianelli, G., Withycombe, G., & Dominey-Howes, D. (2009). A revised (PTVA) model for assessing the vulnerability of buildings to tsunami damage. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9, 1557e1565. <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-9-1557-2009>.

FEMA (2003). HAZUS-MH MR4 technical manual, multi-hazard loss estimation methodology earthquake model." FEMA 366, Washington, DC.

Freire, S. (2007). Modeling Daytime and Nighttime Population Distributions in Portugal Using Geographic Information Systems, Tese de Mestrado em Geografia, University of Kansas.

Grunthal G, Wahlstrom R (2013) The European-Mediterranean Earthquake Catalogue (EMEC) for the last millennium. *J Seismol* 16:535–570. doi:10.1007/s10950-012-9302-y

Guerra, N., Antão, A. E Melo, P. (2010). Plano de Pormenor da Intervenção na Margem Direita da Foz do Rio Jamor – Parecer aspectos geológico-técnicos potencialmente envolvidos. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Caparica.

Imamura, F. (1995): Review of tsunami simulation with a finite difference method. In Long-Wave Runup Models; World Scientific: Singapore, pp. 25–42.

INE – Instituto Nacional de Estatística (2003). Movimentos pendulares e organização do território metropolitano: área metropolitana de Lisboa e área Metropolitana do Porto: 1991/2001, Instituto Nacional de Estatística, Lisboa.

Isoyama, Ryoji & Ishida, Eisuke & Yune, Kiyoji & Shirozu, Toru. (2000). Seismic damage estimation procedure for water supply pipelines. *Water Supply*. 18.

Kawakami, Hidegi (1998). Seismic vulnerability assessment of water supply system in Tokyo; Anti-seismic Measures on Water Supply; IWSA& JWSA.

Kotha, S., Bindi, D., e Cotton, F. (2016). Partially non-ergodic region specific GMPE for Europe and Middle-East. *Bull Earthquake Eng* (2016) 14:1245–1263.

Kotha, S.R., Weatherill, G., Bindi, D. et al. (2020). A regionally-adaptable ground-motion model for shallow crustal earthquakes in Europe. *Bull Earthquake Eng* 18, 4091–4125.

Leonard, M (2014): Self-Consistent Earthquake Fault-Scaling Relations: Update and Extension to Stable Continental Strike-Slip Faults - *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 104, No. 6, pp. 2953–2965, December 2014, doi: 10.1785/0120140087

LNEC (2005). Building Stock Inventory and Vulnerability Data for Lisbon Metropolitan Area"; Relatório 423/2005 – NESDE, LNEC.

NUREG (Nuclear Regulatory Commission). Practical implementation Guidelines for SSHAC Level 3 and level 4 Hazard Studies, U.S. Nuclear Regulatory Commission, 2117.

Okada, Y. (1985): Surface Deformation due to Shear and Tensile Faults in a Half Space. - *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 75, 1135–1154.

Proença, J. (2000). Modelos de Vulnerabilidade Sísmica de Conduatas, Relatório ICIST DTC nº 07/2000, Julho de 2000, IST, Lisboa.

Psyrras, Nikolaos & Sextos, Anastasios. (2017). Safety of buried steel natural gas pipelines under earthquake-induced ground shaking: A review. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 106. 10.1016/j.soildyn.2017.12.020.

Rockwell, T., Fonseca, J.F.B.D., Madden, C., Dawson, T., Owen, L. A., Vilanova, S.P., and Figueiredo, P. (2009). Palaeoseismology of the Vilarça Segment of the Manteigas-Bragança Fault in northeastern Portugal. *Geol. Soc. London. Spec. Publ*, 316, 237–258.

Roque, D.; PERISSIN, D.; FALCÃO, A.P.; GOMES, R.; ROQUE, A. J.; FONSECA, A.M. (2015). Displacement Measurement Using SAR Interferometry - An Application to the Lisbon Regional Outer Circular and Its Neighbourhood. *Proceedings of International Conference on Urban Risks*, 30 junho-2 de julho, Lisboa.

Rusu, L. E Soares, C.G. (2006). Simulações de alta resolução com o modelo SWAN à entrada do estuário do Tejo (capítulo de livro), in *O Sector Marítimo Português*, Edições Salamandra, Lisboa, pp. 533-538.

Santos, A., Koshimura, S. (2015): A criterion for tsunami hazard assessment at the local scale. - *Journal of Geodesy and Geomatics Engineering* 2, 87-96 DOI: 10.17265/2332-8223/2015.06.004

Santos, A.; Tavares, A.; Emidio, A. (2014). Comparative tsunami vulnerability assessment of an urban area: An analysis of Setúbal city, Portugal, *Applied Geography*, 55, 19-29.

Silva, V., Crowley, H., Varum, H. et al. (2015). Seismic risk assessment for mainland Portugal. *Bull Earthquake Eng* 13, 429–457.

Sleeter, Rachel, Nathan Wood (2003). "Estimating daytime and nighttime population density for coastal communities in Oregon." *Urban and Regional Information Systems Association Annual Conference Proceedings*, 2006, p. 973+. Gale Academic OneFile, Accessed 15 Sept. 2020.

Sørensen, M.B., Spada, M., Babeyko, A.Y., Wiemer, S., Grünthal, G. (2012). Probabilistic tsunami hazard in the Mediterranean Sea. - *Journal of Geophysical Research*, 117, B01305.

Spence, R. (2009), *Earthquake Risk mitigation – the Global Challenge*, in Tankut (Ed.), *Earthquakes and Tsunamis*, Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering Series Vol. 11, Springer, 2009.

SSHAC (Senior Seismic Hazard Analysis Committee): Budnitz, R. J., G. Apostolakis, D. M. Boore, L. S. Cluff, K. J. Coppersmith, C. A. Cornell, and P. A. Morris (1997). *Recommendations for probabilistic seismic hazard analysis: Guidance on uncertainty and use of experts*, Washington, D.C., U.S. Nuclear Regulatory Commission Report, NUREG/CR-6372.

Stucchi, M., Rovida, A., Capera, A. G., Alexandre, P., Camelbeeck, T., Demircioglu, M. B., Kouskoun V., Gasperini, P., Musson, R.M.W., Radulian, M., Sesetyan, K., Vilanova, S., Baumont, D., Faeh, D., Lenhardt, W., Martinez Solares, J.M., Scotti, O., Zivcic, M., Albini, P., Batllo, J., Papaioannou, C., Tatevossian, R., Locati, M., Meletti, C., Viganò, D., and Giardini, D. (2013). The SHARE European earthquake catalogue (SHEEC) 1000–1899. *Journal of Seismology*, 17(2), 523-544.

Takabatake, T., Shibayama, T., & Miguel, E. (2018). Tsunami Casualty Estimation Considering Intended Evacuation Behavior of Local Residents and Visitors. *Coastal Engineering Proceedings*, 1(36), risk.99. <https://doi.org/10.9753/icce.v36.risk.99>

Vilanova, S. P., Ferreira, M. A., e Oliveira, C. S. (2009). PAD-1.0 Portuguese accelerometer database, CD-ROM edition. *Seismological Research Letters*, 80(5), 839-844.

Vilanova, S., Fonseca, J. e Oliveira (2012). Models for Seismic-Hazard Assessment in Western Iberia: Constraints from Instrumental Data and Intensity Observations, *Bulletin of the Seismological Society of America* 102(1):169-184.

Vilanova, S.P., Narciso, J., Carvalho, J.P., Lopes, I., Quinta-Ferreira, M., Cancela, C., Moura, R., Nemser, E.S., Borges, J. (2018). Developing a geology-based VS30 site-conditions model Portugal: methodology and assessment of the performance of proxies. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 108 (1): 322-337.

Vilanova, S.P., Nemser, E.S., Besana-Ostman, G.M, Bezzeghoud, M., Borges, J.F., Brum da Silveira, A., Cabral, J., Carvalho, J., Cunha, P.P., Dias, R.P., Madeira, J., Lopes, F.C., Oliveira, C.S., Perea, H., García-Mayordomo, J., Wong, I., Arvidsson, R., and Fonseca, J.F.B.D., (2014). Incorporating Descriptive Metadata into Seismic Source Zone Models for Seismic-Hazard Assessment: A Case Study^[1]_{SEP} of the Azores–West Iberian Region. *Bulletin of the Seismological Society of America* 104, 1212–1229.

Woessner, J., Laurentiu, D., Giardini, D., Crowley, H., Cotton, F., Grünthal, G., Valensise, G., Arvidsson, R., Basili, R., Demircioglu, M.B., Hiemer, S., Meletti, C., Musson, R. W., Rovida, A. N., Sesetyan, K., Stucchi, M., and The SHARE CONSORSIUM* (2015). The 2013 European seismic hazard model: key components and results. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 13(12), 3553-3596.

Yeh, Harry (2014). Tsunami Hazard and Casualty Estimation Model, Tenth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Alaska.

6. ANEXOS

PESSOAL AO SERVIÇO DOS ESTABELECIMENTOS POR LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA (NUTS - 2013) E ATIVIDADE ECONÓMICA (CAE REV. 3)

Atividade económica (CAE Rev. 3)	N.º
Agricultura, produção animal, caça e atividades dos serviços relacionados	535
Pesca e aquicultura	29
Extração de hulha e lenhite	0
Extração de petróleo bruto e gás natural	0
Extração e preparação de minérios metálicos	0
Outras indústrias extrativas	9
Indústrias alimentares	1062
Indústria das bebidas	565
Indústria do tabaco	0
Fabricação de têxteis	41
Indústria do vestuário	75
Indústrias da madeira e da cortiça e suas obras, exceto mobiliário; Fabricação de obras de cestaria e de espartaria	12
Fabricação de pasta, de papel, de cartão e seus artigos	32
Impressão e reprodução de suportes gravados	546
Fabricação de coque, produtos petrolíferos refinados e de aglomerados de combustíveis	0
Fabricação de produtos químicos e de fibras sintéticas ou artificiais, exceto produtos farmacêuticos	122
Fabricação de produtos farmacêuticos de base e de preparações farmacêuticas	81
Fabricação de artigos de borracha e de matérias plásticas	60
Fabricação de outros produtos minerais não metálicos	58
Indústrias metalúrgicas de base	41
Fabricação de produtos metálicos, exceto máquinas e equipamentos	107
Fabricação de equipamentos informáticos, equipamento para comunicações e produtos eletrónicos e óticos	205
Fabricação de equipamento elétrico	570
Fabricação de máquinas e de equipamentos, n.e.	118
Fabricação de veículos automóveis, reboques, semi-reboques e componentes para veículos automóveis	8
Fabricação de outro equipamento de transporte	5
Fabrico de mobiliário e de colchões	171
Outras indústrias transformadoras	156
Reparação, manutenção e instalação de máquinas e equipamentos	213
Eletricidade, gás, vapor, água quente e fria e ar frio	124
Captação, tratamento e distribuição de água	449
Recolha, drenagem e tratamento de águas residuais	41
Recolha, tratamento e eliminação de resíduos; valorização de materiais	79
Descontaminação e atividades similares	0
Promoção imobiliária (desenvolvimento de projetos de edifícios); construção de edifícios	1265
Engenharia civil	724
Atividades especializadas de construção	1476
Comércio, manutenção e reparação, de veículos automóveis e motociclos	1435

Comércio por grosso (inclui agentes), exceto de veículos automóveis e motociclos	5157
Comércio a retalho, exceto de veículos automóveis e motociclos	9029
Transportes terrestres e transportes por oleodutos ou gasodutos	1845
Transportes por água	17
Transportes aéreos	590
Armazenagem e atividades auxiliares dos transportes(inclui manuseamento)	280
Atividades postais e de courier	182
Alojamento	530
Restauração e similares	5659
Atividades de edição	2280
Atividades cinematográficas, de vídeo, de produção de programas de televisão, de gravação de som e de edição de música	450
Atividades de rádio e de televisão	540
Telecomunicações	638
Consultoria e programação informática e atividades relacionadas	2684
Atividades dos serviços de informação	130
Atividades de serviços financeiros, excepto seguros e fundos de pensões	3723
Seguros, resseguros e fundos de pensões, excepto segurança social obrigatória	924
Atividades auxiliares de serviços financeiros e dos seguros	277
Atividades imobiliárias	1381
Atividades jurídicas e de contabilidade	2250
Atividades das sedes sociais e de consultoria para a gestão	3105
Atividades de arquitetura, de engenharia e técnicas afins; atividades de ensaios e de análises técnicas	2186
Atividades de investigação científica e de desenvolvimento	806
Publicidade, estudos de mercado e sondagens de opinião	868
Outras atividades de consultoria, científicas, técnicas e similares	1133
Atividades veterinárias	143
Atividades de aluguer	307
Atividades de emprego	480
Agências de viagem, operadores turísticos, outros serviços de reservas e atividades relacionadas	729
Atividades de investigação e segurança.	297
Atividades relacionadas com edifícios, plantação e manutenção de jardins	1781
Atividades de serviços administrativos e de apoio prestados às empresas	7465
Administração Pública e Defesa	6605
Educação	2278
Atividades de saúde humana	4233
Atividades de apoio social com alojamento	967
Atividades de apoio social sem alojamento	185
Atividades de teatro, de música, de dança e outras atividades artísticas e literárias	902
Atividades das bibliotecas, arquivos, museus e outras atividades culturais	16
Lotarias e outros jogos de aposta	14
Atividades desportivas, de diversão e recreativas	882
Atividades das organizações associativas	180
Reparação de computadores e de bens de uso pessoal e doméstico	175
Outras atividades de serviços pessoais	1584

Quadro A1 – Medianas para a definição das curvas de fragilidade (PGA em g).

Classe	D. Ligeiros	D. Moderados	D. Severos	Colapso	beta
A1+	0.13	0.17	0.26	0.37	0.60
A1-	0.10	0.14	0.21	0.30	0.60
A2+	0.13	0.17	0.26	0.37	0.60
A2-	0.10	0.14	0.21	0.30	0.60
A3+	0.13	0.17	0.26	0.37	0.60
A3-	0.10	0.14	0.21	0.30	0.60
A4+	0.09	0.13	0.21	0.38	0.60
A4-	0.07	0.10	0.17	0.30	0.60
A5+	0.09	0.13	0.21	0.38	0.60
A5-	0.07	0.10	0.17	0.30	0.60
B1+	0.10	0.14	0.21	0.35	0.60
B1-	0.08	0.11	0.17	0.28	0.60
B2+	0.10	0.14	0.21	0.35	0.60
B2-	0.08	0.11	0.17	0.28	0.60
B3+	0.10	0.14	0.21	0.35	0.60
B3-	0.08	0.11	0.17	0.28	0.60
B4+	0.09	0.14	0.25	0.41	0.60
B4-	0.07	0.11	0.20	0.33	0.60
B5+	0.09	0.14	0.25	0.41	0.60
B5-	0.07	0.11	0.20	0.33	0.60
C1+	0.16	0.20	0.29	0.54	0.60
C1-	0.13	0.16	0.23	0.43	0.60
C2+	0.16	0.20	0.29	0.54	0.60
C2-	0.13	0.16	0.23	0.43	0.60
C3+	0.16	0.20	0.29	0.54	0.60
C3-	0.13	0.16	0.23	0.43	0.60
C4+	0.14	0.19	0.35	0.63	0.60
C4-	0.11	0.15	0.28	0.50	0.60
C5+	0.14	0.19	0.35	0.63	0.60
C5-	0.11	0.15	0.28	0.50	0.60
D1+	0.16	0.20	0.29	0.54	0.60
D1-	0.13	0.16	0.23	0.43	0.60
D2+	0.16	0.20	0.29	0.54	0.60
D2-	0.13	0.16	0.23	0.43	0.60
D3+	0.16	0.20	0.29	0.54	0.60
D3-	0.13	0.16	0.23	0.43	0.60
D4+	0.14	0.19	0.35	0.63	0.60
D4-	0.11	0.15	0.28	0.50	0.60
D5+	0.14	0.19	0.35	0.63	0.60
D5-	0.11	0.15	0.28	0.50	0.60

Quadro A1 – Medianas para a definição das curvas de fragilidade (PGA em g) (Continuação)

Classe	D. Ligeiros	D. Moderados	D. Severos	Colapso	beta
E1+	0.12	0.17	0.26	0.44	0.60
E1-	0.10	0.14	0.21	0.35	0.60
E2+	0.12	0.17	0.26	0.44	0.60
E2-	0.10	0.14	0.21	0.35	0.60
E3+	0.12	0.17	0.26	0.44	0.60
E3-	0.10	0.14	0.21	0.35	0.60
E4+	0.11	0.17	0.32	0.51	0.60
E4-	0.09	0.14	0.26	0.41	0.60
E5+	0.11	0.17	0.32	0.51	0.60
E5-	0.09	0.14	0.26	0.41	0.60
F1+	0.16	0.23	0.41	0.77	0.60
F1-	0.13	0.18	0.33	0.62	0.60
F2+	0.16	0.23	0.41	0.77	0.60
F2-	0.13	0.18	0.33	0.62	0.60
F3+	0.16	0.23	0.41	0.77	0.60
F3-	0.13	0.18	0.33	0.62	0.60
F4+	0.15	0.26	0.55	1.02	0.60
F4-	0.12	0.21	0.44	0.82	0.60
F5+	0.15	0.26	0.55	1.02	0.60
F5-	0.12	0.21	0.44	0.82	0.60
F6+	0.12	0.23	0.57	1.07	0.60
F6-	0.10	0.18	0.46	0.86	0.60
F7+	0.12	0.23	0.57	1.07	0.60
F7-	0.10	0.18	0.46	0.86	0.60
G1+	0.21	0.35	0.70	1.37	0.60
G1-	0.17	0.28	0.56	1.10	0.60
G2+	0.21	0.35	0.70	1.37	0.60
G2-	0.17	0.28	0.56	1.10	0.60
G3+	0.21	0.35	0.70	1.37	0.60
G3-	0.17	0.28	0.56	1.10	0.60
G4+	0.17	0.36	0.87	1.95	0.60
G4-	0.14	0.29	0.70	1.56	0.60
G5+	0.17	0.36	0.87	1.95	0.60
G5-	0.14	0.29	0.70	1.56	0.60
G6+	0.12	0.29	0.82	1.87	0.60
G6-	0.10	0.23	0.66	1.50	0.60
G7+	0.12	0.29	0.82	1.87	0.60
G7-	0.10	0.23	0.66	1.50	0.60

Quadro T1R – Classes de Pontes Rodoviárias

Descrição	<1985	>1985
• Arco de alvenaria.	A1-	A1+
• Arco de alvenaria com tabuleiro em betão armado (alargamento)	A2-	A2+
• Vigas ou laje de betão armado assente sobre pilares e encontros de alvenaria	A3-	A3+
• Quadro monolítico de betão armado	B1-	B1+
• Arco de betão armado	B2-	B2+
• Quadro pré-fabricado de betão armado	B3-	B3+
Passagem inferior com tabuleiro em laje:		
• assente em encontros de betão armado	C1-	C1+
• assente em encontros de betão armado e em pilares	C2-	C2+
Passagem inferior com tabuleiro em laje vigada:		
• assente em encontros de betão armado	D1-	D1+
• assente em encontros de betão armado e em pilares	D2-	D2+
Passagem superior com 2 ou 3 vãos, tabuleiro em laje nervurada com mais do que uma nervura e um só pilar por apoio:		
• com ligações monolíticas aos encontros.	E1-	E1+
• com ligações descontínuas aos encontros mas que mobilizam a resistência destes para o equilíbrio da ação sísmica	E2-	E2+
• livres nos encontros e com a resistência sísmica garantida pelos pilares	E3-	E3+
Passagem superior com 2 ou 3 vãos, tabuleiro em laje nervurada, restantes soluções de pilares:		
• com ligações monolíticas aos encontros.	F1-	F1+
• com ligações descontínuas aos encontros mas que mobilizam a resistência destes para o equilíbrio da ação sísmica	F2-	F2+
• livres nos encontros e com a resistência sísmica garantida pelos pilares	F3-	F3+
Passagem superior com 2 ou 3 vãos, tabuleiro em laje vigada e um só pilar por apoio. As ligações aos encontros não são monolíticas mas mobilizam a resistência destes à ação sísmica.	G1-	G1+
Passagem superior com 2 ou 3 vãos, tabuleiro em laje vigada e mais do que um pilar por apoio ou um só pilar em lâmina. As ligações aos encontros não são monolíticas mas mobilizam a resistência destes à ação sísmica.	H1-	H1+
Viadutos longos (+ de 3 vãos) com tabuleiro em laje nervurada:		
• com resistência sísmica garantida pelos encontros.	I1-	I1+
• com resistência sísmica garantida pelos encontros e pilares	I2-	I2+
• com resistência sísmica garantida pelos pilares	I3-	I3+
• com aparelhos dissipadores de energia	I4-	I4+
Viadutos longos (+ de 3 vãos) com tabuleiro em laje vigada:		
• com resistência sísmica garantida pelos encontros.	J1-	J1+
• com resistência sísmica garantida pelos encontros e pilares	J2-	J2+
• com resistência sísmica garantida pelos pilares	J3-	J3+
• com aparelhos dissipadores de energia	J4-	J4+
Pontes especiais.	L1-	L1+

Quadro T1F – Classes de Pontes Ferroviárias

Descrição	<1985	>1985
Passagem superior:		
• Abóbadas de cantaria	Af-	Af+
• Abóbadas de tijolo	Bf-	Bf+
• Tabuleiro de Betão Armado e encontros de alvenaria	Cf-	Cf+
• Pórtico em Betão Armado	Df-	Df+
• Vãos múltiplos em betão armado	Ef-	Ef+
Passagem inferior:		
• Abóbadas de cantaria	Ff-	Ff+
• Abóbadas de tijolo	Gf-	Gf+
• Abóbadas de Betão Armado	Hf-	Hf+
• Vigas metálicas apoiadas em encontros	If-	If+
• Vigas de Betão Armado apoiadas em encontros	Jf-	Jf+
• Vigas de alma cheia	Kf-	Kf+
• Estruturas metálicas articuladas	Lf-	Lf+
• Pórticos de Betão Armado	Mf-	Mf+
• Vãos múltiplos em betão armado	Nf-	Nf+
• Quadro em betão armado	Of-	Of+

Quadro T2F– Valores para as Curvas de Fragilidade de Pontes Rodoviárias (pré RSA)

Classe	Valores para Curvas de Fragilidade devidas ao Efeito Dinâmico – Sa(1.0) [g]					Valores para Curvas de Fragilidade devidas à Rotura da Fundação – PGD[cm]				
	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	β	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	β
A1-	0.26	0.32	0.38	0.55	0.4	10	10	10	45	0.2
A2-	0.26	0.32	0.38	0.55	0.4	10	10	10	45	0.2
A3-	0.32	0.40	0.48	0.69	0.4	10	10	10	45	0.2
B1-	0.48	0.60	0.72	1.04	0.4	10	10	10	45	0.2
B2-	0.48	0.60	0.72	1.04	0.4	10	10	10	45	0.2
B3-	0.48	0.60	0.67	0.93	0.4	10	10	10	45	0.2
C1-	0.48	0.56	0.65	0.90	0.4	10	10	10	45	0.2
C2-	0.37	0.44	0.50	0.69	0.4	10	10	10	45	0.2
D1-	0.48	0.56	0.65	0.90	0.4	10	10	10	45	0.2
D2-	0.37	0.44	0.50	0.69	0.4	10	10	10	45	0.2
E1-	0.35	0.42	0.48	0.62	0.4	10	10	10	15	0.2
E2-	0.32	0.40	0.43	0.55	0.4	10	10	10	15	0.2
E3-	0.26	0.32	0.38	0.55	0.4	10	10	10	15	0.2
F1-	0.35	0.42	0.48	0.69	0.4	20	20	20	40	0.2
F2-	0.32	0.40	0.48	0.69	0.4	20	20	20	40	0.2
F3-	0.30	0.38	0.46	0.66	0.4	20	20	20	40	0.2
G1-	0.32	0.40	0.43	0.55	0.4	10	10	10	15	0.2
H1-	0.32	0.40	0.48	0.69	0.4	20	20	20	40	0.2
I1-	0.35	0.42	0.48	0.69	0.4	20	20	20	40	0.2
I2-	0.32	0.40	0.48	0.69	0.4	20	20	20	40	0.2
I3-	0.30	0.38	0.46	0.66	0.4	20	20	20	40	0.2
I4-	0.38	0.46	0.53	0.69	0.4	20	20	20	40	0.2
J1-	0.35	0.42	0.48	0.69	0.4	20	20	20	40	0.2
J2-	0.32	0.40	0.48	0.69	0.4	20	20	20	40	0.2
J3-	0.30	0.38	0.46	0.66	0.4	20	20	20	40	0.2
J4-	0.38	0.46	0.53	0.69	0.4	20	20	20	40	0.2
L1-	0.32	0.40	0.48	0.69	0.4	20	20	20	40	0.2

Quadro T2F– Valores para as Curvas de Fragilidade de Pontes Rodoviárias (pós RSA)

Classe	Valores para Curvas de Fragilidade devidas ao Efeito Dinâmico – Sa(1.0) [g]					Valores para Curvas de Fragilidade devidas à Rotura da Fundação – PGD[cm]				
	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	β	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	β
A1+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A2+	0.47	0.57	0.72	0.96	0.4	10	10	10	45	0.2
A3+	0.49	0.60	0.76	1.01	0.4	10	10	10	45	0.2
B1+	0.59	0.72	0.91	1.21	0.4	10	10	10	45	0.2
B2+	0.59	0.72	0.91	1.21	0.4	10	10	10	45	0.2
B3+	0.59	0.72	0.87	1.11	0.4	10	10	10	45	0.2
C1+	0.59	0.69	0.84	1.06	0.4	10	10	10	45	0.2
C2+	0.56	0.66	0.80	1.01	0.4	10	10	10	45	0.2
D1+	0.59	0.69	0.84	1.06	0.4	10	10	10	45	0.2
D2+	0.56	0.66	0.80	1.01	0.4	10	10	10	45	0.2
E1+	0.54	0.63	0.76	0.91	0.4	60	60	60	90	0.2
E2+	0.49	0.60	0.68	0.81	0.4	60	60	60	90	0.2
E3+	0.39	0.48	0.61	0.81	0.4	60	60	60	90	0.2
F1+	0.54	0.63	0.76	1.01	0.4	80	80	80	90	0.2
F2+	0.49	0.60	0.76	1.01	0.4	20	20	20	90	0.2
F3+	0.47	0.57	0.72	0.96	0.4	20	20	20	90	0.2
G1+	0.49	0.60	0.68	0.81	0.4	60	60	60	90	0.2
H1+	0.49	0.60	0.76	1.01	0.4	80	80	80	90	0.2
I1+	0.54	0.63	0.76	1.01	0.4	80	80	80	90	0.2
I2+	0.49	0.60	0.76	1.01	0.4	80	80	80	90	0.2
I3+	0.47	0.57	0.72	0.96	0.4	80	80	80	90	0.2
I4+	0.59	0.69	0.84	1.01	0.4	80	80	80	90	0.2
J1+	0.54	0.63	0.76	1.01	0.4	80	80	80	90	0.2
J2+	0.49	0.60	0.76	1.01	0.4	80	80	80	90	0.2
J3+	0.47	0.57	0.72	0.96	0.4	80	80	80	90	0.2
J4+	0.59	0.69	0.84	1.01	0.4	80	80	80	90	0.2
L1+	0.49	0.60	0.76	1.01	0.4	80	80	80	90	0.2

Quadro T2F – Valores para as Curvas de Fragilidade de Pontes Ferroviárias (pré RSA)

Classe	Valores para Curvas de Fragilidade devidas ao Efeito Dinâmico – Sa(1.0) [g]					Valores para Curvas de Fragilidade devidas à Rotura da Fundação – PGD[cm]				
	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	β	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	β
Af-	0.26	0.32	0.38	0.55	0.4	10	10	10	45	0.2
Bf-	0.26	0.32	0.38	0.55	0.4	10	10	10	45	0.2
Cf-	0.32	0.40	0.48	0.69	0.4	10	10	10	45	0.2
Df-	0.35	0.42	0.48	0.69	0.4	10	10	10	45	0.2
Ef-	0.32	0.40	0.48	0.69	0.4	10	10	10	15	0.2
Ff-	0.26	0.32	0.38	0.55	0.4	10	10	10	45	0.2
Gf-	0.26	0.32	0.38	0.55	0.4	10	10	10	45	0.2
Hf-	0.48	0.60	0.72	1.04	0.4	10	10	10	45	0.2
If-	0.32	0.40	0.48	0.69	0.4	10	10	10	45	0.2
Jf-	0.32	0.40	0.48	0.69	0.4	10	10	10	45	0.2
Kf-	0.29	0.36	0.43	0.62	0.4	10	10	10	35	0.2
Lf-	0.27	0.34	0.41	0.59	0.4	10	10	10	35	0.2
Mf-	0.48	0.56	0.65	0.90	0.4	10	10	10	45	0.2
Nf-	0.32	0.40	0.48	0.69	0.4	10	10	10	15	0.2
Of-	0.34	0.42	0.48	0.69	0.4	10	10	10	45	0.2

Quadro T2F – Valores para as Curvas de Fragilidade de Pontes Ferroviárias (pós RSA)

Classe	Valores para Curvas de Fragilidade devidas ao Efeito Dinâmico – Sa(1.0) [g]					Valores para Curvas de Fragilidade devidas à Rotura da Fundação – PGD[cm]				
	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	β	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	β
Af+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bf+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cf+	0.49	0.60	0.76	1.01	0.4	10	10	10	45	0.2
Df+	0.54	0.63	0.76	1.01	0.4	10	10	10	45	0.2
Ef+	0.49	0.60	0.76	1.01	0.4	60	60	60	90	0.2
Ff+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gf+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hf+	0.74	0.90	1.14	1.52	0.4	10	10	10	45	0.2
If+	0.49	0.60	0.76	1.01	0.4	10	10	10	45	0.2
Jf+	0.49	0.60	0.76	1.01	0.4	10	10	10	45	0.2
Kf+	0.44	0.54	0.68	0.91	0.4	10	10	10	35	0.2
Lf+	0.42	0.51	0.65	0.86	0.4	10	10	10	35	0.2
Mf+	0.74	0.84	1.03	1.31	0.4	10	10	10	45	0.2
Nf+	0.49	0.60	0.76	1.01	0.4	60	60	60	90	0.2
Of+	0.51	0.63	0.76	1.01	0.4	10	10	10	45	0.2

Quadro V1 – Adaptação das taxas de vítimas do HAZUS ao estudo

Danos	Taxonomia	S1	S2	S3	S4
no_damage	A1	0	0	0	0
no_damage	A2	0	0	0	0
no_damage	A3	0	0	0	0
no_damage	A4	0	0	0	0
no_damage	A5	0	0	0	0
no_damage	B1	0	0	0	0
no_damage	B2	0	0	0	0
no_damage	B3	0	0	0	0
no_damage	B4	0	0	0	0
no_damage	B5	0	0	0	0
no_damage	C1	0	0	0	0
no_damage	C2	0	0	0	0
no_damage	C3	0	0	0	0
no_damage	C4	0	0	0	0
no_damage	C5	0	0	0	0
no_damage	D1	0	0	0	0
no_damage	D2	0	0	0	0
no_damage	D3	0	0	0	0
no_damage	D4	0	0	0	0
no_damage	D5	0	0	0	0
no_damage	E1	0	0	0	0
no_damage	E2	0	0	0	0
no_damage	E3	0	0	0	0
no_damage	E4	0	0	0	0
no_damage	E5	0	0	0	0
no_damage	F1	0	0	0	0
no_damage	F2	0	0	0	0
no_damage	F3	0	0	0	0
no_damage	F4	0	0	0	0
no_damage	F5	0	0	0	0
no_damage	F6	0	0	0	0
no_damage	F7	0	0	0	0
no_damage	G1	0	0	0	0
no_damage	G2	0	0	0	0
no_damage	G3	0	0	0	0
no_damage	G4	0	0	0	0
no_damage	G5	0	0	0	0
no_damage	G6	0	0	0	0
no_damage	G7	0	0	0	0
ligeiros	A1	0.05	0	0	0
ligeiros	A2	0.05	0	0	0
ligeiros	A3	0.05	0	0	0

ligeiros	A4	0.05	0	0	0
ligeiros	A5	0.05	0	0	0
ligeiros	B1	0.05	0	0	0
ligeiros	B2	0.05	0	0	0
ligeiros	B3	0.05	0	0	0
ligeiros	B4	0.05	0	0	0
ligeiros	B5	0.05	0	0	0
ligeiros	C1	0.05	0	0	0
ligeiros	C2	0.05	0	0	0
ligeiros	C3	0.05	0	0	0
ligeiros	C4	0.05	0	0	0
ligeiros	C5	0.05	0	0	0
ligeiros	D1	0.05	0	0	0
ligeiros	D2	0.05	0	0	0
ligeiros	D3	0.05	0	0	0
ligeiros	D4	0.05	0	0	0
ligeiros	D5	0.05	0	0	0
ligeiros	E1	0.05	0	0	0
ligeiros	E2	0.05	0	0	0
ligeiros	E3	0.05	0	0	0
ligeiros	E4	0.05	0	0	0
ligeiros	E5	0.05	0	0	0
ligeiros	F1	0.05	0	0	0
ligeiros	F2	0.05	0	0	0
ligeiros	F3	0.05	0	0	0
ligeiros	F4	0.05	0	0	0
ligeiros	F5	0.05	0	0	0
ligeiros	F6	0.05	0	0	0
ligeiros	F7	0.05	0	0	0
ligeiros	G1	0.05	0	0	0
ligeiros	G2	0.05	0	0	0
ligeiros	G3	0.05	0	0	0
ligeiros	G4	0.05	0	0	0
ligeiros	G5	0.05	0	0	0
ligeiros	G6	0.05	0	0	0
ligeiros	G7	0.05	0	0	0
moderados	A1	0.35	0.4	0.001	0.001
moderados	A2	0.35	0.4	0.001	0.001
moderados	A3	0.35	0.4	0.001	0.001
moderados	A4	0.35	0.4	0.001	0.001
moderados	A5	0.35	0.4	0.001	0.001
moderados	B1	0.2	0.025	0	0
moderados	B2	0.2	0.025	0	0
moderados	B3	0.2	0.025	0	0

moderados	B4	0.2	0.025	0	0
moderados	B5	0.2	0.025	0	0
moderados	C1	0.2	0.025	0	0
moderados	C2	0.2	0.025	0	0
moderados	C3	0.2	0.025	0	0
moderados	C4	0.2	0.025	0	0
moderados	C5	0.2	0.025	0	0
moderados	D1	0.2	0.025	0	0
moderados	D2	0.2	0.025	0	0
moderados	D3	0.2	0.025	0	0
moderados	D4	0.2	0.025	0	0
moderados	D5	0.2	0.025	0	0
moderados	E1	0.2	0.025	0	0
moderados	E2	0.2	0.025	0	0
moderados	E3	0.2	0.025	0	0
moderados	E4	0.2	0.025	0	0
moderados	E5	0.2	0.025	0	0
moderados	F1	0.2	0.03	0	0
moderados	F2	0.2	0.03	0	0
moderados	F3	0.2	0.03	0	0
moderados	F4	0.2	0.03	0	0
moderados	F5	0.2	0.03	0	0
moderados	F6	0.2	0.03	0	0
moderados	F7	0.2	0.03	0	0
moderados	G1	0.2	0.03	0	0
moderados	G2	0.2	0.03	0	0
moderados	G3	0.2	0.03	0	0
moderados	G4	0.2	0.03	0	0
moderados	G5	0.2	0.03	0	0
moderados	G6	0.2	0.03	0	0
moderados	G7	0.2	0.03	0	0
severos	A1	2	0.2	0.002	0.002
severos	A2	2	0.2	0.002	0.002
severos	A3	2	0.2	0.002	0.002
severos	A4	2	0.2	0.002	0.002
severos	A5	2	0.2	0.002	0.002
severos	B1	1	0.1	0.001	0.001
severos	B2	1	0.1	0.001	0.001
severos	B3	1	0.1	0.001	0.001
severos	B4	1	0.1	0.001	0.001
severos	B5	1	0.1	0.001	0.001
severos	C1	1	0.1	0.001	0.001
severos	C2	1	0.1	0.001	0.001
severos	C3	1	0.1	0.001	0.001

severos	C4	1	0.1	0.001	0.001
severos	C5	1	0.1	0.001	0.001
severos	D1	1	0.1	0.001	0.001
severos	D2	1	0.1	0.001	0.001
severos	D3	1	0.1	0.001	0.001
severos	D4	1	0.1	0.001	0.001
severos	D5	1	0.1	0.001	0.001
severos	E1	1	0.1	0.001	0.001
severos	E2	1	0.1	0.001	0.001
severos	E3	1	0.1	0.001	0.001
severos	E4	1	0.1	0.001	0.001
severos	E5	1	0.1	0.001	0.001
severos	F1	1	0.1	0.001	0.001
severos	F2	1	0.1	0.001	0.001
severos	F3	1	0.1	0.001	0.001
severos	F4	1	0.1	0.001	0.001
severos	F5	1	0.1	0.001	0.001
severos	F6	1	0.1	0.001	0.001
severos	F7	1	0.1	0.001	0.001
severos	G1	1	0.1	0.001	0.001
severos	G2	1	0.1	0.001	0.001
severos	G3	1	0.1	0.001	0.001
severos	G4	1	0.1	0.001	0.001
severos	G5	1	0.1	0.001	0.001
severos	G6	1	0.1	0.001	0.001
severos	G7	1	0.1	0.001	0.001
colapso	A1	40	20	5	10
colapso	A2	40	20	5	10
colapso	A3	40	20	5	10
colapso	A4	40	20	5	10
colapso	A5	40	20	5	10
colapso	B1	40	20	5	10
colapso	B2	40	20	5	10
colapso	B3	40	20	5	10
colapso	B4	40	20	5	10
colapso	B5	40	20	5	10
colapso	C1	40	20	5	10
colapso	C2	40	20	5	10
colapso	C3	40	20	5	10
colapso	C4	40	20	5	10
colapso	C5	40	20	5	10
colapso	D1	40	20	5	10
colapso	D2	40	20	5	10
colapso	D3	40	20	5	10

colapso	D4	40	20	5	10
colapso	D5	40	20	5	10
colapso	E1	40	20	5	10
colapso	E2	40	20	5	10
colapso	E3	40	20	5	10
colapso	E4	40	20	5	10
colapso	E5	40	20	5	10
colapso	F1	40	20	5	10
colapso	F2	40	20	5	10
colapso	F3	40	20	5	10
colapso	F4	40	20	5	10
colapso	F5	40	20	5	10
colapso	F6	40	20	5	10
colapso	F7	40	20	5	10
colapso	G1	40	20	5	10
colapso	G2	40	20	5	10
colapso	G3	40	20	5	10
colapso	G4	40	20	5	10
colapso	G5	40	20	5	10
colapso	G6	40	20	5	10
colapso	G7	40	20	5	10