

PLANO DE ADAPTAÇÃO ÀS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS DE OEIRAS

RELATÓRIO SETORIAL: ORLA RIBEIRINHA

Autor: Rui Taborda, César Andrade, Andreia Ferreira | IDL/FCUL

ÍNDICE

1. Contexto.....	3
1.1. Perspetiva e diagnóstico do setor	5
1.1.1. Forçamento oceanográfico: Agitação marítima.....	5
1.1.2. Forçamento oceanográfico: Variações do nível do mar	6
2. Desenvolvimento.....	8
2.1. Variáveis e parâmetros climáticos relevantes para o setor	8
2.1.1. Evolução da área útil das praias	8
2.1.2. Inundação costeira	10
2.1.3. Galgamento costeiro	11
2.2. Avaliação das vulnerabilidades e modelação de impactos	12
2.2.1. Modelação SWAN	12
2.2.2. Modelação SWASH.....	14
3. Vulnerabilidade atual e cenários de evolução para Oeiras.....	17
3.1. Evolução da área útil das praias	17
3.2. Inundação costeira	18
3.3. Galgamento costeiro	21
3.3.1. Alcance do espraio	21
3.3.2. Caudal de galgamento.....	24
4. Considerações finais	27
5. Bibliografia	29
6. Anexos	31
6.1. Anexo I.....	31
6.2. Anexo II.....	36
7. Ficha técnica.....	38

1. CONTEXTO

A zona costeira de Oeiras tem uma frente de mar que ronda os 10 km, totalizando cerca de 12 km de comprimento considerando a LMPMAVE¹, e exhibe diversidade geológica, morfológica e ocupações. O litoral é dominado por praias e por arribas de altura reduzida, geralmente intervencionadas. A expansão do tecido urbano, que aproximou o edificado da linha de costa, e a presença de infraestruturas relevantes na faixa costeira (EN6, ferrovia e passeio marítimo), veio contribuir para incrementar a exposição ao galgamento e inundação costeira.

As praias estendem-se por cerca de um terço do litoral do município e constituem um recurso com importância socioeconómica crescente. Na sua generalidade encontram-se limitadas por estruturas fixas (estruturas de proteção costeira ou arribas), que diminuem a sua capacidade de adaptação - traduzida por migração para terra – tornando-as particularmente vulneráveis à alteração das condições de forçamento oceanográfico.

Neste relatório, avalia-se o impacto das alterações climáticas no regime de galgamento e inundação costeira e quantifica-se a resposta morfológica das praias à elevação futura do nível médio do mar (Figura 1).

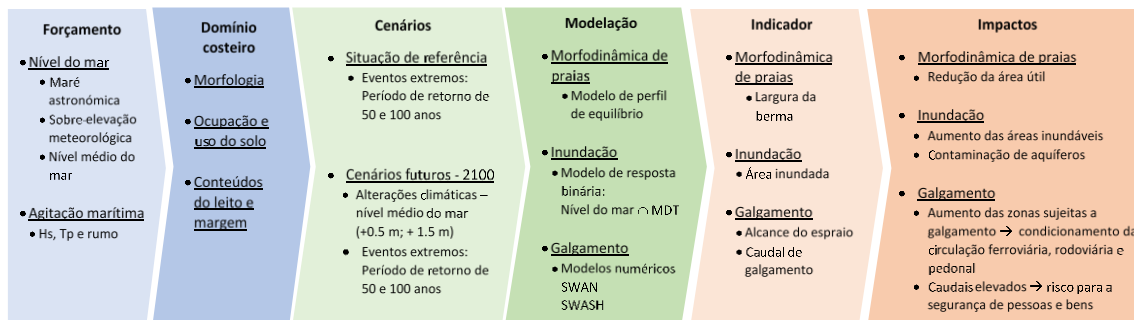


Figura 1 - Fluxograma da abordagem adotada neste estudo

Os eventos de galgamento e inundação costeira dependem do forçamento meteo-oceanográfico (nível do mar e agitação marítima) e das condicionantes geomorfológicas locais.

A projecção dos cenários futuros considerou o horizonte temporal de 2100, admitindo uma subida do nível médio do mar de 0,5 m e 1,5 m, relativamente a 1990. No que respeita a eventos extremos, consideraram-se os forçamentos característicos associados a períodos de retorno de 50 e 100 anos.

Para a avaliação do galgamento considerou-se principalmente o impacto em infraestruturas críticas, como a linha ferroviária, a avenida Marginal (EN6) e o passeio marítimo. As áreas

¹ Linha Máxima de Praia Mar de Águas Vivas Equinociais (ver também Rilo et al., 2014)

afetadas pela inundação foram discriminadas por tipos e usos do solo. A evolução da superfície útil dos areais de praia, em resposta   subida do nível do mar, foi determinada para a generalidade das praias do concelho.

1.1. PERSPETIVA E DIAGNÓSTICO DO SETOR

1.1.1. Forçamento oceanográfico: Agitação marítima

A caracterização do regime de agitação marítima em águas profundas baseou-se:

- i) no trabalho de Neves et al. (2010), que analisou dados da boia ondógrafo de Sines, entre maio de 1988 e dezembro de 2002;
- ii) na série de águas profundas reconstituída por Dodet et al. (2010) para um ponto ao largo de Sines entre 1953 e 2009².

O regime de extremos para períodos de retorno, T , de 50 e 100 anos, considerando a altura significativa, é apresentada na Tabela 1.

T (anos)	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°)
50	7,93	6 a 18	240 a 300
100	8,12	6 a 18	240 a 300

Tabela 1 - Regime de extremos na boia de Sines - altura significativa (Hs), período de pico (Tp) e rumo (Dir). Fonte: Neves et al. (2010)

Para caracterizar objetivamente as tempestades com maior impacto no litoral de Oeiras, definindo um trio Hs, Tp, Dir característico de cada período de retorno, atendeu-se à orientação deste troço costeiro (aberto a agitação do quadrante SW) e à distribuição conjunta altura-período e período-rumo, deduzida dos dados de Dodet et al. (2010) (Figura 2). Esta metodologia conduziu à adoção de um período de pico de potência de 12 s e rumo de WSW em ambos os casos.

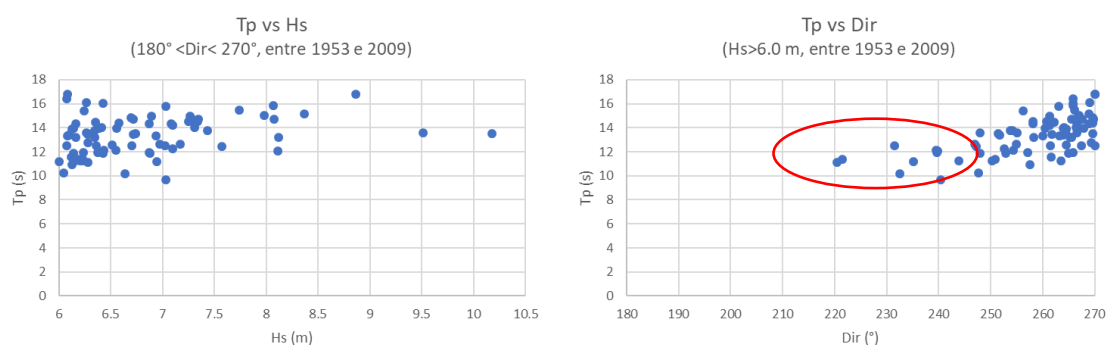


Figura 2 - Dispersão do período de pico em função da altura significativa e do rumo da agitação marítima, entre 1953 e 2009, ao largo de Sines (construído a partir da modelação de Dodet et al., 2010). Assinalados a vermelho os resultados mais rodados a SW

A definição de cenários futuros baseou-se nos resultados do projeto SIAM II (Andrade et al., 2006), onde não se projeta que ocorra variação relevante da altura significativa média anual das

² Dados disponíveis em disepla.fc.ul.pt/Micore/Micore.html

ondas ao largo da costa ocidental portuguesa. Neste contexto optou-se por manter invariante o rumo e os parâmetros escalares das ondas no horizonte 2100.

1.1.2. Forçamento oceanográfico: Variações do nível do mar

Neste estudo o nível do mar (NM) foi caracterizado através da soma das seguintes componentes: nível médio do mar (NMM), maré astronómica (η_{astro}) e sobre-elevação meteorológica (η_s). A sobre-elevação meteorológica foi determinada pela diferença entre o nível do mar observado e o nível da maré astronómica:

$$\eta_s = \eta_{medido} - \eta_{astro}$$

A maré astronómica em Oeiras foi caracterizada através dos máximos (max), mínimos (min), médias (med) das preia-mar (PM) e baixa-mar (BM), e destas em épocas de águas vivas (av) e mortas (am), com base em Taborda et al. (2010) que utilizou dados do marégrafo de Cascais entre 1990 e 2000 (Tabela 2).

PMmax	PMav	PMmed	PMam	PMmin	BMmax	BMam	BMmed	BMav	BMmin
1,95	1,53	1,18	0,81	0,48	-0,23	-0,56	-0,93	-1,27	-1,62

Tabela 2 - Níveis da maré astronómica no marégrafo de Cascais (m NMM38)

Os valores extremos alcançados pelo nível do mar (NM_{max}) incorporando as componentes de maré e sobre-elevação (η_{astro} e η_s), associados a períodos de retorno de 50 e 100 anos, basearam-se em Andrade et al. (2006) (Tabela 3).

T (anos)	NM_{max} (m)
50	2,22
100	2,32

Tabela 3 - Valores do nível máximo do mar com período de retorno T (Andrade et al., 2006)

Neste estudo, e de acordo com Andrade et al. (2006), admitiu-se que não existe tendência de longo termo da sobre-elevação meteorológica, pelo que a modificação dos valores do nível máximo do mar, no futuro, só dependerá da subida do NMM.

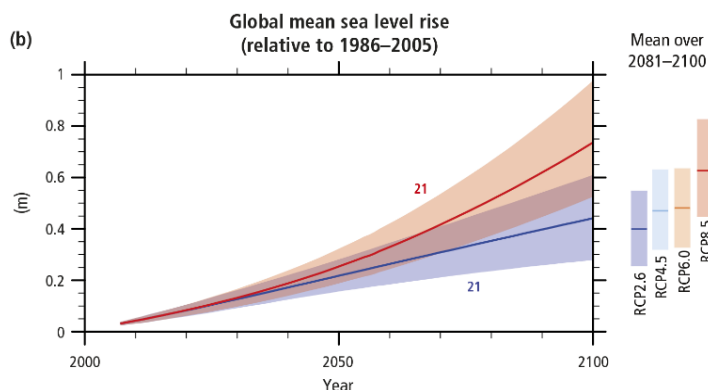


Figura 3 - Cenários de subida do nível médio do mar para o período 2006-2100 (relativo a 1986-2005) (IPCC, 2014)

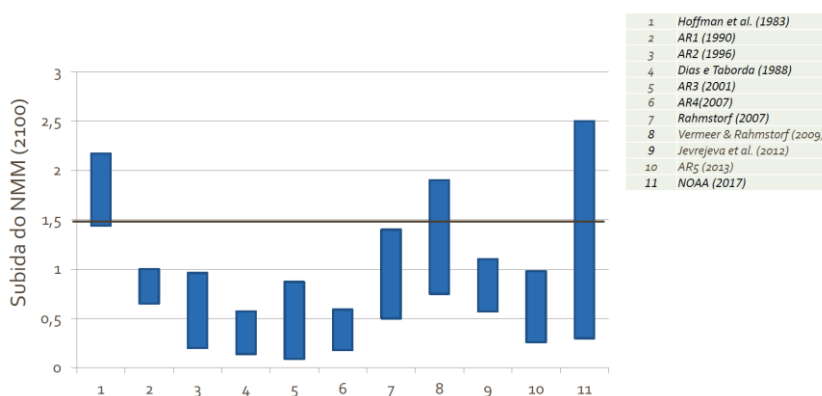


Figura 4 - Cenários de subida do nível médio do mar publicados entre 1983 e 2017 por vários autores

Existe consenso entre a comunidade científica que a taxa de subida do nível médio do mar tende a aumentar, embora as projeções ainda apresentem um elevado grau de incerteza. De facto, as projeções efetuadas pelo Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC, 2014) apontam para uma subida média global que varia entre 0,28 m e 0,98 m no intervalo 2081-2100, face ao NMM entre 1986 e 2005 (Figura 3), enquanto outros trabalhos publicados sobre a mesma temática indicam valores de subida que excedem os 2 metros (Figura 4).

Neste contexto, adotaram-se dois cenários de subida do NMM para o ano de 2100: um cenário de aumento de 0,50 m e outro, considerado extremo, que admite uma subida de 1,50 m.

ID	Δ NMM (m)
Ref	--
+0,5	+0,50
+1,5	+1,50

Tabela 4 - Quadro resumo dos cenários de evolução do NMM utilizados neste estudo

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. VARIÁVEIS E PARÂMETROS CLIMÁTICOS RELEVANTES PARA O SETOR

2.1.1. Evolução da área útil das praias

No concelho de Oeiras, as praias ocupam cerca de 30% do comprimento da linha de costa. De um total de 12 praias, cinco são consideradas praias balneares urbanas de uso intensivo (Figura 5). Como na maior parte do litoral de Oeiras, a linha de costa encontra-se associada a estruturas rígidas, sendo a capacidade de resposta desta linha às alterações no forçamento muito limitada.

Por sua vez, esta linha condiciona o limite terrestre das praias, pelo que eventuais modificações provocadas por forçamentos diferentes dos atuais, terão essencialmente expressão na variação da área por elas ocupada, em consequência de variação do alcance do plano de água oceânico, refletindo a subida do NMM e o alcance do espraio das ondas.

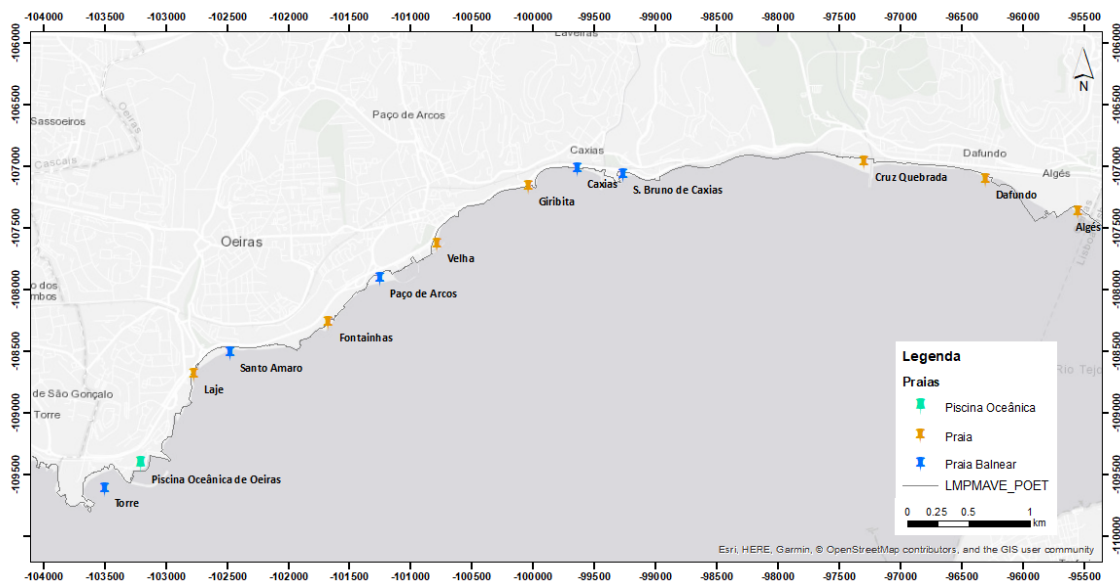


Figura 5 - Praias do concelho de Oeiras

Neste trabalho, o estudo da evolução de longo prazo das praias baseou-se na evolução da crista da berma, um dos geoindicadores mais utilizado neste tipo de estudo (Carapuço et al., 2016). Uma vez que não se prevêem alterações significativas do clima de agitação, o estudo só considerou os cenários de alteração do NMM, descritos anteriormente e sumarizados na Tabela 5.

ID	Δ NMM (m)
P_Ref	--

ID	Δ NMM (m)
P_+0,5	+0,50
P_+1,5	+1,50

Tabela 5 - Quadro resumo de cenários adotados na avaliação da evolução da área útil das praias

Na sua generalidade, as praias de Oeiras são encaixadas e assentam em substrato rochoso. Esta configuração proporciona condições favoráveis à conservação da massa (sistema fechado) em cenário de subida do NMM, havendo lugar apenas a um reajuste morfológico em resposta a aquele forçamento (Taborda et al., 2010). Face às condições geomorfológicas identificadas, optou-se por utilizar o modelo proposto por Taborda e Ribeiro (2015), descrito pela equação seguinte e ilustrado na Figura 6, traduzindo a resposta da praia pela redução da largura da berma, R .

$$R = L_B - \frac{BL_B + \frac{B^2}{2 \tan \beta} - \frac{(B + \Delta NMM)^2}{2 \tan \beta}}{B + \Delta NMM}$$

Em que:

R – Redução da largura da berma (m),

L_B – Largura da berma inicial (m),

$\tan \beta$ – Declive da face de praia,

B – Elevação da berma inicial (m),

ΔNMM – Variação do nível médio do mar (m).

Nesta aplicação, considerou-se uma plataforma rochosa horizontal, e assumiu-se a conservação do volume sedimentar e declive da face de praia, pelo que o reajuste morfológico se exprime através de variação da cota e largura da berma.

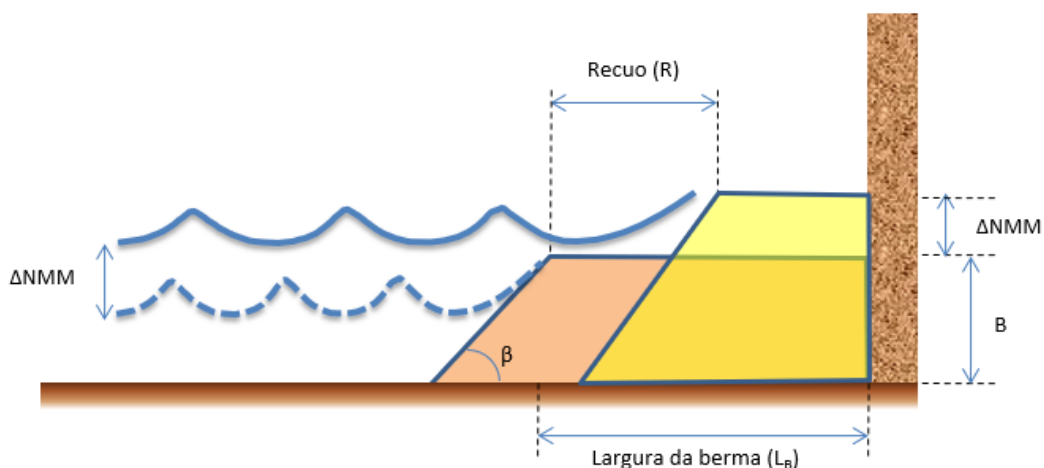


Figura 6 - Modelo de reajuste morfológico de uma praia com plataforma em resposta à subida do nível médio do mar (Taborda & Ribeiro, 2015)

Os parâmetros geométricos de cada praia foram obtidos através da análise do Modelo Digital de Terreno (MDT) *LiDAR 2011* (DGT and SNIG, 2014). Utilizou-se o mapa de declives extraído do MDT para identificar os domínios da face e berma de praia, bem como o domínio da plataforma rochosa adjacente ao sopé da face de praia. O declive da face de praia foi determinado através da média dos declives calculados nesse domínio, praia a praia. A largura da berma foi definida pelo valor médio da distância horizontal projetada entre a linha da crista e a LMPMAVE. A elevação da berma corresponde à altura média relativamente ao substrato rochoso.

As praias que exibem elevado contraste de largura da berma foram divididas em sectores mais homogéneos, e cada sector foi analisado separadamente.

Neste estudo não foram analisadas as praias das Fontainhas e da Giribita uma vez que apresentam um areal extremamente reduzido e, ocasionalmente, encontram-se submersas.

2.1.2. Inundação costeira

O estudo da vulnerabilidade à inundação da orla estuarina do concelho de Oeiras considerou um cenário de referência e dois cenários futuros de subida do nível médio do mar (0,5 m e 1,5 m). Em todos os cenários foram utilizados extremos de nível do mar com períodos de retorno de 50 e 100 anos (Tabela 6).

ID	T (anos)	Δ NMM (m)	NM _{máx} (m)	NM _{adotado} (m)
I_50_Ref	50	--	2,22	2,22
I_50+0,5	50	+0,50	2,22	2,72
I_50+1,5	50	+1,50	2,22	3,72
I_100_Ref	100	--	2,32	2,32
I_100+0,5	100	+0,50	2,32	2,82
I_100+1,5	100	+1,50	2,32	3,82

Tabela 6 - Quadro resumo de cenários e níveis do mar adotados na avaliação da inundação costeira

A modelação do terreno foi feita a partir da carta altimétrica (resolução de 2 m) do concelho de Oeiras (CMO, 2010), com recurso à extensão ArcGIS *Spatial Analyst* (Childs, 2004). Os dados originais foram interpolados para um modelo matricial com a ferramenta “*Topo To Raster*”, que utiliza o método iterativo de diferenças finitas na interpolação (Childs, 2004), para obter curvas de nível com equidistância natural de 0,10 m.

Para cada cenário, foram delimitadas as áreas cuja cota de terreno é inferior à cota do nível do mar adotado ($NM_{adotado} = \Delta NMM + NM_{máx}$). Estas áreas foram confrontadas com o mapa de Uso do Solo do concelho de Oeiras (CMO, 2010), obtendo-se assim as áreas sujeitas a inundação por tipo de ocupação. Foram também cruzadas com o Mapa de Permeabilidade – zonas de máxima infiltração do concelho (CMO, 2010), para identificar as áreas do aquífero costeiro mais permeáveis à intrusão salina.

2.1.3. Galgamento costeiro

O galgamento costeiro depende da atividade de fenómenos estocásticos (agitação marítima, ventos, tempestades, etc.) o que, aliado ao facto de as condições de fronteira serem muito diversificadas, transforma a previsão do galgamento numa tarefa complicada e, muitas vezes, imprecisa. Daqui resulta uma grande diversidade de modelos e fórmulas empíricas, desenhadas para condições fronteiras específicas; porém até ao momento, *“Nenhum destes métodos garante, universalmente, os melhores resultados”* (EurOtop, 2016).

Para ultrapassar estas dificuldades optou-se por uma aproximação, inovadora a nível nacional, que consistiu na utilização de modelos numéricos que explicitam com detalhe a batimetria e morfologia costeiras. Neste estudo, acoplaram-se os modelos numéricos SWAN e SWASH (descritos adiante) suportados por uma topo-batimetria costeira com elevada resolução espacial, baseada em dados LiDAR.

A aproximação adotada permitiu caracterizar o galgamento costeiro através do indicador mais utilizado para descrever este tipo de evento, o caudal médio de galgamento, q , ($m^3 \cdot s^{-1}$ por metro de desenvolvimento de coroamento) (EurOtop, 2016); determinou-se ainda o alcance (vertical e horizontal) do espraio das ondas correspondente ao *run-up* 2%, $Ru_{2\%}$.

O alcance do espraio da onda (alcance da lâmina de água ascendente sobre uma superfície emersa, resultante da rebentação de uma onda incidente) pode ser expresso através da distância medida na vertical entre o nível da superfície livre do mar e a cota atingida pelo espraio da onda, designando-se por *run-up*. Neste estudo foi considerado o *run-up* 2%, $Ru_{2\%}$, correspondendo ao *run-up* excedido por 2% das ondas incidentes, e descrito através da cota vertical (Z) e do alcance horizontal (X, Y), em cada perfil analisado.

Para a estimativa destes indicadores, foram considerados dois períodos de retorno (50 e 100 anos) para forçamentos meteo-oceanográficos, na situação de referência e em dois cenários de subida do NMM (Tabela 7).

ID	T (anos)	Forçamentos oceanográficos em águas profundas				
		Δ NMM (m)	NM _{max} (m)	H ₅₀ (m)	Tp (s)	Diro
G_50_Ref	50	--	2,22	7,93	12	WSW
G_50+0,5	50	+0,50	2,22	7,93	12	WSW
G_50+1,5	50	+1,50	2,22	7,93	12	WSW
G_100_Ref	100	--	2,32	8,12	12	WSW
G_100+0,5	100	+0,50	2,32	8,12	12	WSW
G_100+1,5	100	+1,50	2,32	8,12	12	WSW

Tabela 7 - Quadro resumo de cenários de forçamento de galgamento

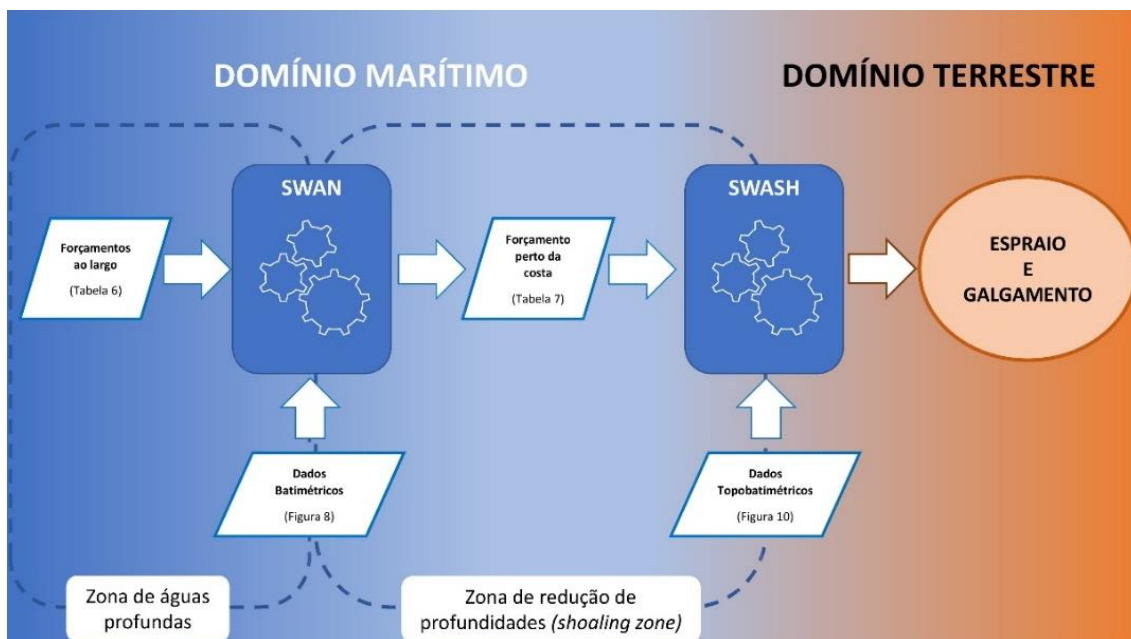


Figura 7 - Esquema da metodologia adotada para determinação do espraio e galgamento

A modelação de propagação de agitação marítima do largo até à costa foi efetuada em duas fases (Figura 7). A primeira, do largo até à linha batimétrica dos 10m, através do modelo SWAN, e a segunda, da profundidade 10 m até à costa, através do modelo SWASH.

A estratégia de modelação foi validada, dos pontos de vista quantitativo e qualitativo, com dados de campo na passagem da tempestade *Emma* (Ferreira et al., 2018). Os dados de campo obtidos foram:

- alcance máximo de espraio das ondas na praia de Santo Amaro de Oeiras;
- altura de ondas frente à piscina do Inatel e junto à praia das Fontainhas;
- zonas de ocorrência de galgamento, e cotas correspondentes.

2.2. AVALIAÇÃO DAS VULNERABILIDADES E MODELAÇÃO DE IMPACTOS

2.2.1. Modelação SWAN

Para a propagação da agitação marítima até à batimétrica dos 10 m foi utilizado o modelo numérico SWAN (*Simulating Waves Nearshore*) versão 41.20, de utilização livre, desenvolvido pela TUDelft (Delft University of Technology) (SWAN, 2018). O SWAN é um modelo de refração espectral, de terceira-geração, que estima as características das ondas junto à costa. Este modelo baseia-se na equação de conservação de ação da onda, considerando os seguintes processos físicos que a transformam: empolamento, refração de fundo, refração onda/correntes, dissipação de energia por atrito de fundo, rebentação e interação onda/onda (SWAN, 2018).

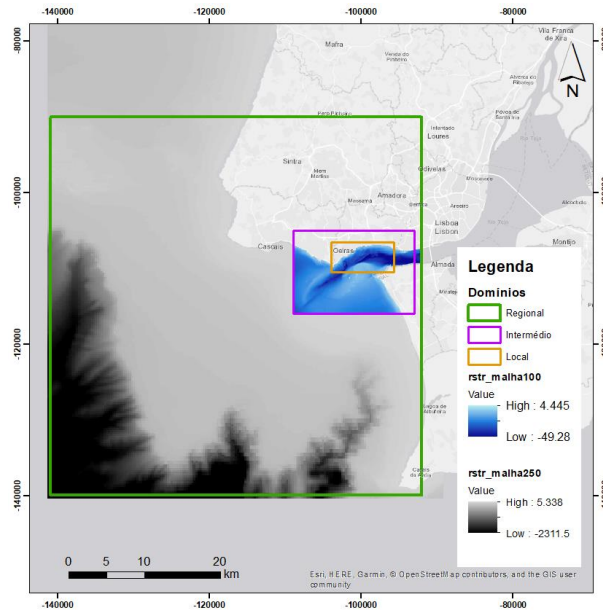


Figura 8 - Modelo batimétrico rio Liz - cabo Espichel (malha250), modelo batimétrico do estuário do Tejo (malha100). Geometria e localização dos domínios computacionais para a modelação SWAN

Foram utilizados dois modelos batimétricos, o modelo batimétrico do rio Liz ao cabo Espichel, com resolução de 250 m (IH, 2013), e o modelo batimétrico do rio Tejo, malha de 100 m (IH, 2010) (Figura 8). Na modelação foram considerados três domínios computacionais (regional, intermédio e local), correspondentes a malhas encaixadas com resolução de 100, 50 e 10 m, respetivamente, em cujas fronteiras foram impostos os forçamentos de agitação marítima considerados para os seis casos em análise (G_50_Ref, G_50+0,5, G_50+1,5, G_100_Ref, G_100+0,5 e G_100+1,5) (Figura 8).

Da modelação realizada, obtiveram-se campos de distribuição de altura significativa ($T=100$, ver Figura 9; $T=50$, ver Anexo I), do período de pico e da direção das ondas, e as características da agitação em 6 pontos ao longo da batimétrica dos 10 m.

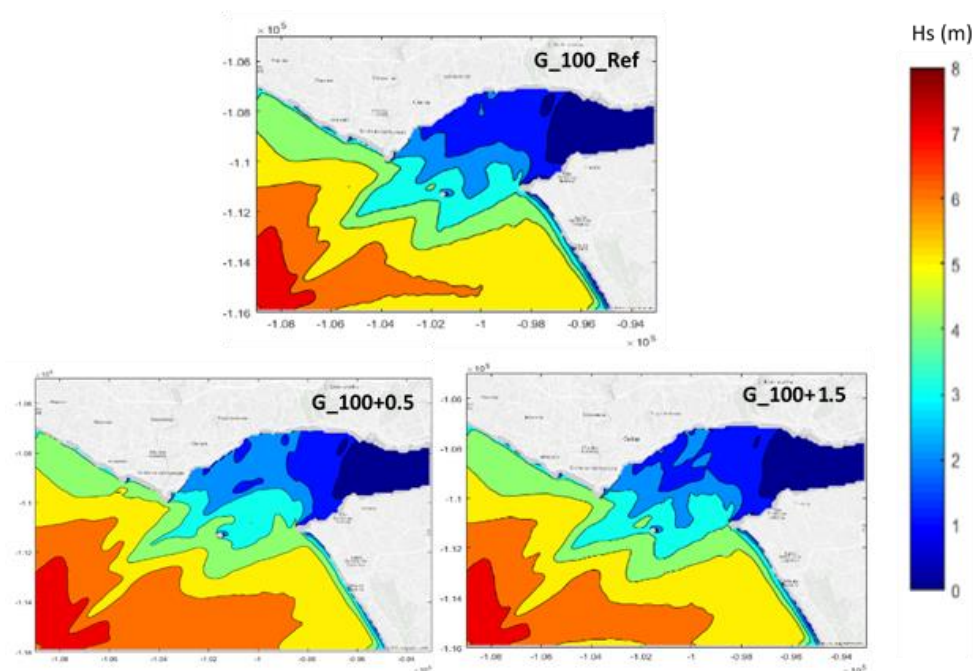


Figura 9 - Distribuição espacial da altura significativa das ondas, no domínio computacional intermédio, para os cenários G_100_Ref, G_100+0,5 e G_100+1,5

Os resultados ilustrados na Figura 9, sugerem que altura significativa das ondas junto à costa varia em função da elevação do NMM. Note-se que, nestas simulações, a batimetria é invariante, pelo que nos cenários de NMM mais elevados diminui-se o efeito de dissipação associados aos fundos do estuário exterior do Tejo.

2.2.2. Modelação SWASH

Para simulação da propagação das ondas da batimétrica dos 10 m até ao limite do espraio foi utilizado o modelo numérico SWASH (*Simulating WAVes till SHore*) versão 5.01 de utilização livre, desenvolvido pela TUDelft (Delft University of Technology) (SWASH, 2018). Este é um modelo determinístico, baseado nas leis da conservação da massa e momento, que resolve a fase da onda (*phase-resolving*), através das equações não lineares em águas pouco profundas (*Nonlinear Shallow Waters – NLSW*), no domínio temporal, incluindo um termo não hidrostático (Zijlema et al., 2011).

O galgamento foi estimado num pente de 86 perfis perpendiculares à linha de costa (Figura 10), com 1050 m de comprimento cada, afastados entre si de 100 m na interseção com a LMPMAVE. Os perfis foram extraídos do modelo batimétrico do rio Tejo (IH, 2010), na zona do estuário exterior do Tejo, e do *MDT LiDAR 2011* (DGT and SNIG, 2014) no restante domínio (Figura 10 e Figura 11).

A condição fronteira utilizada em cada um dos perfis SWASH foi extraída dos resultados do modelo SWAN em seis pontos considerados representativos da agitação incidente ao longo da costa (Tabela 8, Figura 10).

ID PTs	Localização		Dados de Entrada											
			G_50_Ref		G_50+0,5		G_50+1,5		G_100_Ref		G_100+0,5		G_100+1,5	
	X (m)	Y (m)	Hs (m)	T _{m01} (s)	Hs (m)	T _{m01} (s)	Hs (m)	T _{m01} (s)	Hs (m)	T _{m01} (s)	Hs (m)	T _{m01} (s)	Hs (m)	T _{m01} (s)
# 1	-103169	-109755	2,97	11,5	3,15	11,5	3,50	11,5	3,01	11,5	3,18	11,5	3,53	11,5
# 2	-102480	-108908	2,22	11,6	2,34	11,6	2,58	11,6	2,25	11,6	2,37	11,6	2,61	11,6
# 3	-101242	-108271	1,84	11,5	1,94	11,5	2,12	11,5	1,86	11,5	1,96	11,5	2,14	11,5
# 4	-100062	-107594	1,97	11,6	2,12	11,6	2,39	11,6	2,00	11,6	2,15	11,6	2,42	11,6
# 5	-98527	-107309	1,82	11,4	1,99	11,5	2,32	11,5	1,86	11,5	2,02	11,5	2,35	11,5
# 6	-97177	-107672	1,12	11,5	1,21	11,5	1,40	11,5	1,14	11,5	1,23	11,5	1,42	11,5

Tabela 8 - Dados de forçamento da agitação marítima de entrada da modelação SWASH

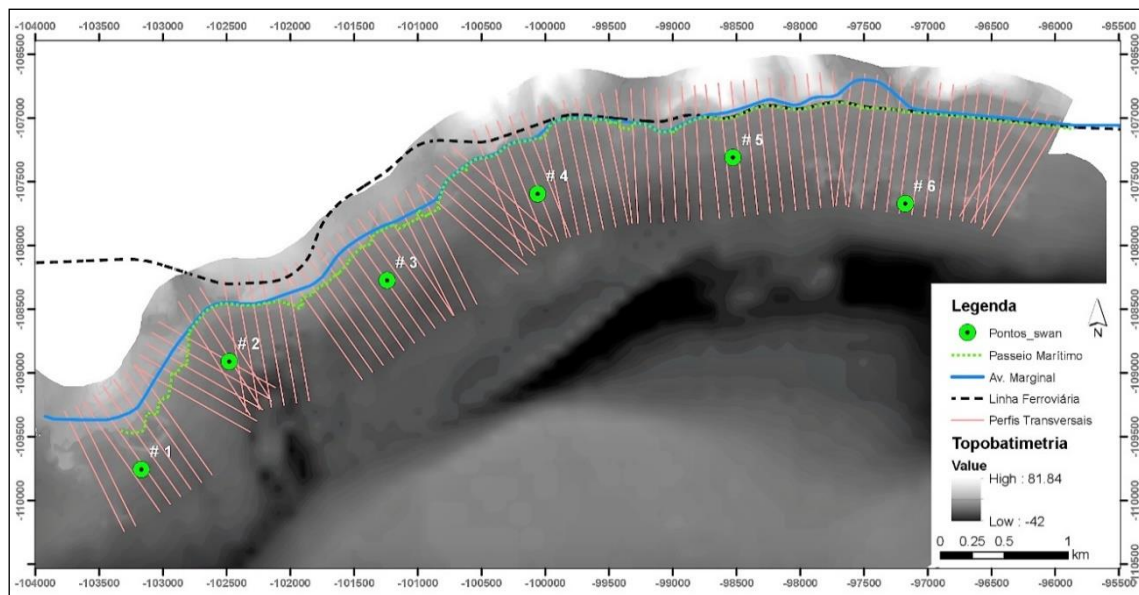


Figura 10 - Carta topo-batimétrica com representação dos perfis SWASH, pontos de saída SWAN e infraestruturas analisadas

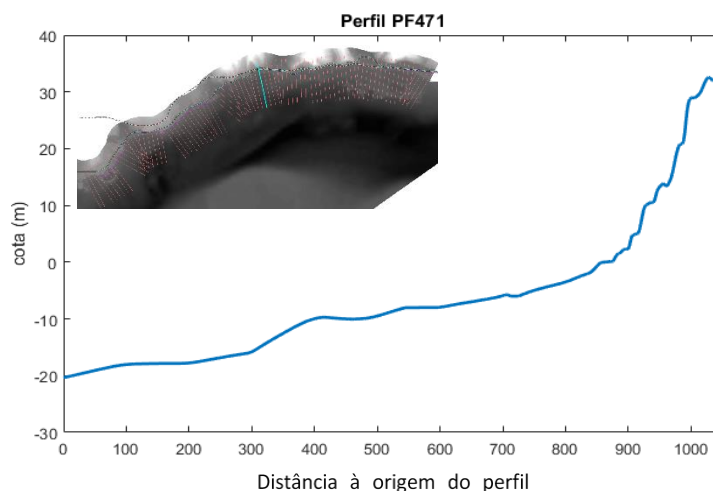


Figura 11 - Exemplo de um perfil analisado (PF471, no sector ponte da praia de Caxias)

Foi realizado um conjunto de simulações para testar a sensibilidade do modelo a diversos parâmetros de modelação, de modo obter a configuração computacionalmente mais eficiente na globalidade dos perfis. No Anexo II descreve-se a parametrização utilizada.

Na Figura 12 e Figura 13 apresentam-se alguns exemplos dos resultados obtidos para o perfil PF471 (Figura 11).

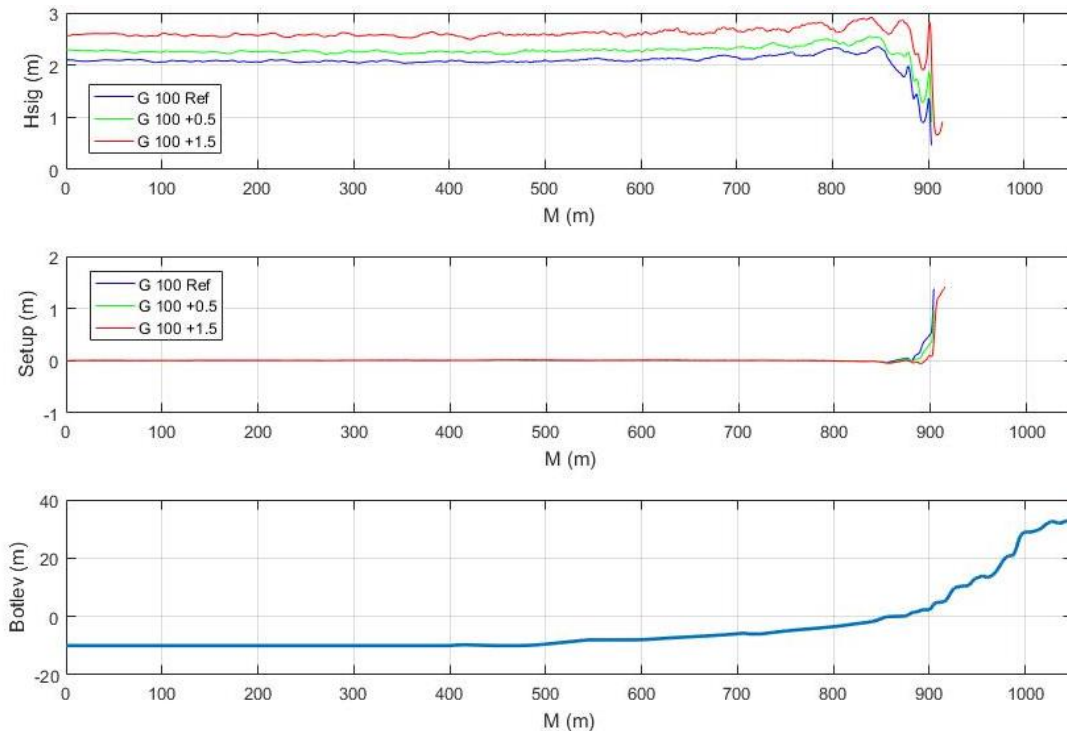


Figura 12 - Hs e setup ao longo de um perfil (exemplo PF471, T=100 anos)

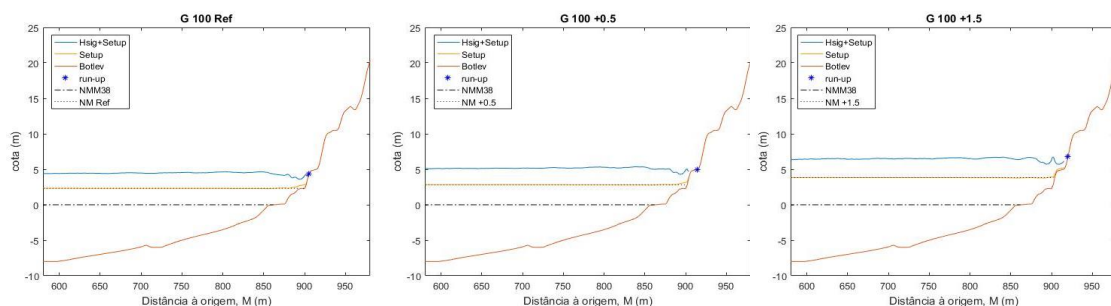


Figura 13 - Representação da combinação dos forçamentos ao longo de um perfil (exemplo PF471, T=100 anos)

Os resultados da aplicação do modelo foram sujeitos a pós-processamento para a determinar o alcance vertical e horizontal do espraio excedido por 2 % das ondas incidentes ($Ru_{2\%}$) em cada perfil, bem como o caudal médio de galgamento, q , nos pontos de interseção do perfil com o passeio marítimo, a avenida marginal e a linha ferroviária (Figura 10).

3. VULNERABILIDADE ATUAL E CENÁRIOS DE EVOLUÇÃO PARA OEIRAS

3.1. EVOLUÇÃO DA ÁREA ÚTIL DAS PRAIAS

As praias de Oeiras apresentam uma configuração geomorfológica relativamente simples, com um prisma sedimentar assente sobre substrato rochoso, modelado numa única berma que se articula com uma face de praia. A face da praia confina com a plataforma rochosa à cota -2 m, e exhibe declives entre 0,06 na Praia Velha, e 0,13 no troço oeste da praia de Santo Amaro. A berma tem largura variável entre 20 e 70 m, e crista à cota aproximada de 2 m (Tabela 9 e Figura 14). Considerou-se conveniente dividir em dois sectores (oeste e este) as praias de Santo Amaro, São Bruno de Caxias e do Dafundo, devido à sua configuração planimétrica.

Os resultados mostram que a elevação do nível médio do mar poderá conduzir a uma redução generalizada da área útil das praias em ambos os cenários modelados (Tabela 9). No cenário P_{+0,5}, verifica-se uma redução de largura que varia entre 16% e 40%, sendo que nas praias balneares a magnitude dessa redução é de 24% em valor médio, com um máximo na praia de Caxias (31%).

Para o cenário mais gravoso, P_{+1,5}, em algumas praias a redução estimada é superior a 80%, com destaque para a praia de Caxias, cuja largura se reduzirá a 4 m, e para o troço oeste da praia do Dafundo que é completamente obliterada. Neste cenário, a única praia onde se prevê uma redução inferior a 50% corresponde ao sector oeste da praia de Santo Amaro.

Em ambos os cenários, as maiores reduções percentuais observam-se no sector este do concelho, mas, em valor absoluto ocorrem na praia Velha, na praia da Torre e em Santo Amaro (sector oeste), com perdas de 36 m, 32 m e 29 m (no cenário P_{+1,5}), respetivamente.

Praia	P_Ref			P_+0,5		P_+1,5	
	tan β	B	L _B	R _{+0,5}	Redução (%)	R _{+1,5}	Redução (%)
Torre	0,08	4,0	60	12	21%	32	54%
Santo Amaro - oeste	0,13	4,0	70	11	16%	29	41%
Santo Amaro - este	0,12	4,0	32	8	24%	20	62%
Paço de Arcos	0,12	4,0	40	9	21%	22	55%
Praia Velha	0,06	4,0	60	14	23%	36	61%
Caxias	0,11	4,0	22	7	31%	18	82%
S. Bruno de Caxias - oeste	0,09	4,0	32	9	27%	22	70%
S. Bruno de Caxias - este	0,09	4,0	31	8	27%	22	71%
Cruz Quebrada	0,07	4,0	32	10	31%	26	82%
Dafundo - oeste	0,08	4,0	20	8	40%	20	100%
Dafundo - este	0,08	4,0	35	10	28%	25	72%
Algés	0,08	4,0	25	9	34%	23	90%

Tabela 9 - Cenário de referência e variação da largura da berma de praia, nos cenários P_{+0,5} e P_{+1,5}

A variação da área útil do areal é um bom indicador da variação da capacidade balnear em cenários de alterações climáticas (Taborda et al., 2010). Em todas as praias balneares do concelho projeta-se uma redução significativa dessa capacidade (na ausência de eventuais

operações de enchimento ou recarga artificial), o que poderá inviabilizar a sua exploração balnear (caso da praia de Caxias).

De entre as praias do concelho e na situação de referência, a praia de Santo Amaro é a que tem maior capacidade de carga. No cenário mais gravoso prevê-se que possa sofrer uma redução de 40 % no sector mais largo, e no sector mais estreito poderá reduzir-se a uma largura média de apenas 12 m.

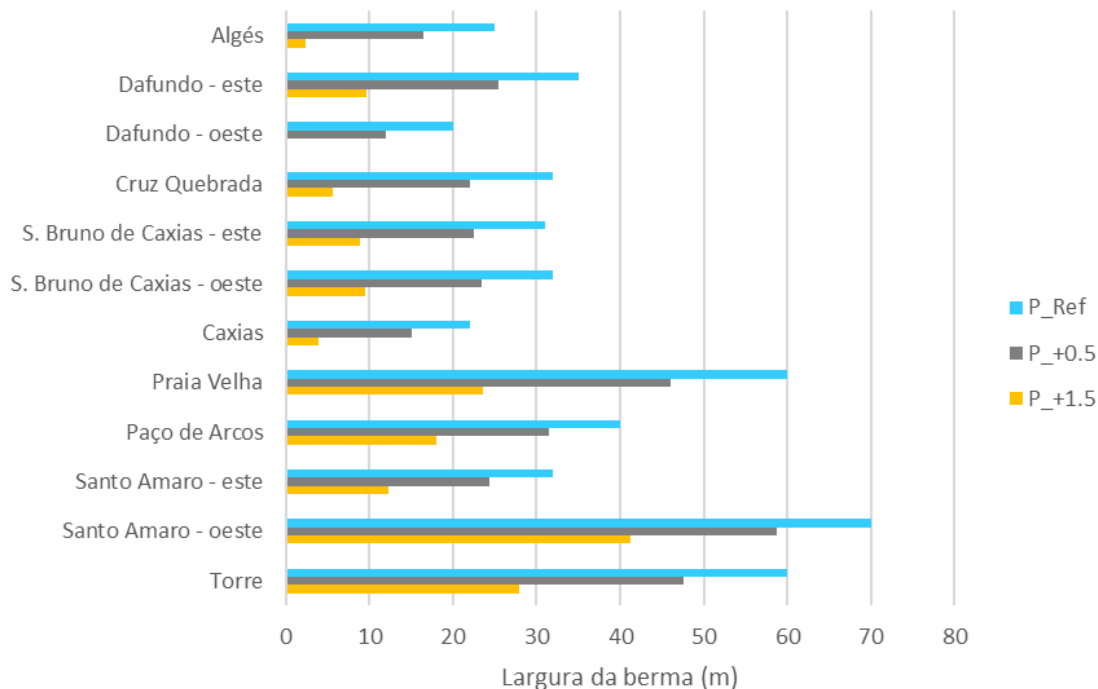


Figura 14 - Largura útil das praias para os cenários P_Ref, P_+0,5 e P_+1,5

3.2. INUNDAÇÃO COSTEIRA

Na situação de referência, a inundação costeira incide maioritariamente sobre espaços verdes urbanos e residenciais consolidados (Tabela 10, Figura 15 e Figura 16), adjacentes aos leitos de cheia de ribeiras (ribeiras da Lage, de Barcarena e o vale do Jamor) e a zonas baixas próximas da linha de costa (Paço de Arcos, Dafundo e zona de Algés). Merecem referência também os equipamentos de defesa e as zonas portuárias que, neste concelho, se localizam principalmente sobre a linha de costa. O incremento para 100 anos do período de retorno não modifica significativamente este padrão, exceto no que respeita à área industrial na zona da Cruz Quebrada. Em termos de área inundada, no cenário T50 identificam-se 7 ha potencialmente inundados, valor este que cresce para 10 ha no cenário T100.

Em todos os cenários de alterações do forçamento considerados neste estudo, as vias de comunicação são significativamente mais afetadas que na situação de referência, tal como a zona industrial e estação elevatória na Cruz Quebrada (Figura 16).

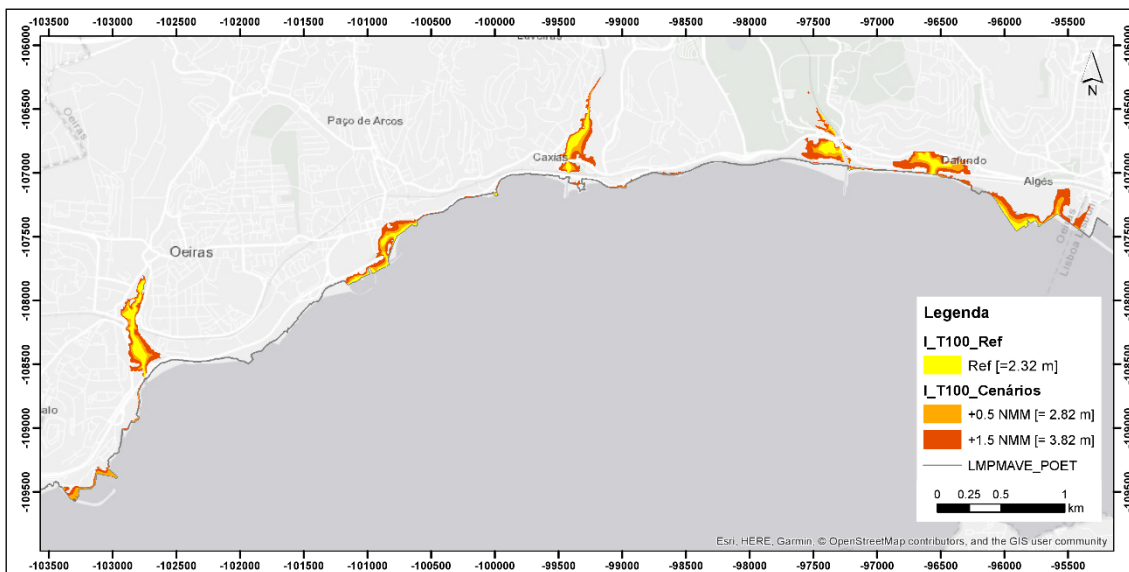


Figura 15 - Cartografia de risco de inundação para os cenários I_100_Ref, I_100+0,5 e I_100+1,50

Uso do solo	Área de inundável (x10 ³ m ²)					
	I_50_Ref	I_50+0,5	I_50+1,5	I_100_Ref	I_100+0,5	I_100+1,5
áreas portuárias	6,00	14,99	31,92	7,36	16,29	34,16
equipamentos de cultura	0,00	0,45	5,35	0,00	0,50	5,97
equipamentos de defesa	4,74	10,47	18,82	6,09	11,36	19,73
equipamentos de educação	1,16	1,56	1,70	1,32	1,60	1,70
equipamentos de lazer	0,00	4,15	4,56	0,00	4,56	4,56
equipamentos de saúde	0,00	0,12	0,27	0,01	0,15	0,27
equipamentos de tratamento de água	0,01	0,21	0,84	0,05	0,25	0,96
equipamentos desportivos	0,80	2,77	7,54	1,22	3,16	8,53
espaços verdes urbanos	22,73	45,88	84,38	29,90	50,34	89,23
floresta mista	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,12
grandes e médias superfícies comerciais	0,00	0,00	4,85	0,00	0,02	6,04
indústria	0,43	18,13	37,59	10,80	19,84	39,49
matos	1,37	4,87	14,39	2,15	5,63	15,96
praias, dunas e areais	0,58	2,24	6,40	0,87	2,61	7,20
quinta	3,68	6,19	8,04	4,48	6,48	8,19
redes viárias	3,70	12,69	30,72	5,20	12,51	32,01
residencial consolidado	19,83	46,89	110,36	24,20	52,06	118,34
rocha nua	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vegetação herbácea natural	5,14	12,33	16,57	6,96	13,30	16,67
Total	70,18	183,94	384,37	100,60	200,66	409,10

Tabela 10 - Áreas suscetíveis a inundação costeira por tipo de Ocupação e Uso de Solo, por cenário (x10³ m²)

Em cenários climáticos futuros, o impacto associado à elevação do NMM excede claramente os efeitos decorrentes da ampliação do período de retorno de eventos extremos. A diferença de área inundada imputável à ampliação do período de retorno é da ordem de +10%, enquanto o aumento de NMM duplica a área inundada.

No cenário I_T50+0,5, obtiveram-se 18 ha de área potencialmente inundada, valor que cresce para 38 ha no cenário de subida de 1,50 m do NMM (Anexo I). Estes valores são a 3 e 5 vezes superiores ao total obtido no cenário de referência, respetivamente. Nos cenários I_T100+0,5 e I_T100+1,5, as áreas potencialmente inundadas correspondem a 20 ha e 41 ha, respetivamente, (2 e 4 vezes o cenário de referência I_T100Ref - Figura 16 e Tabela 10).

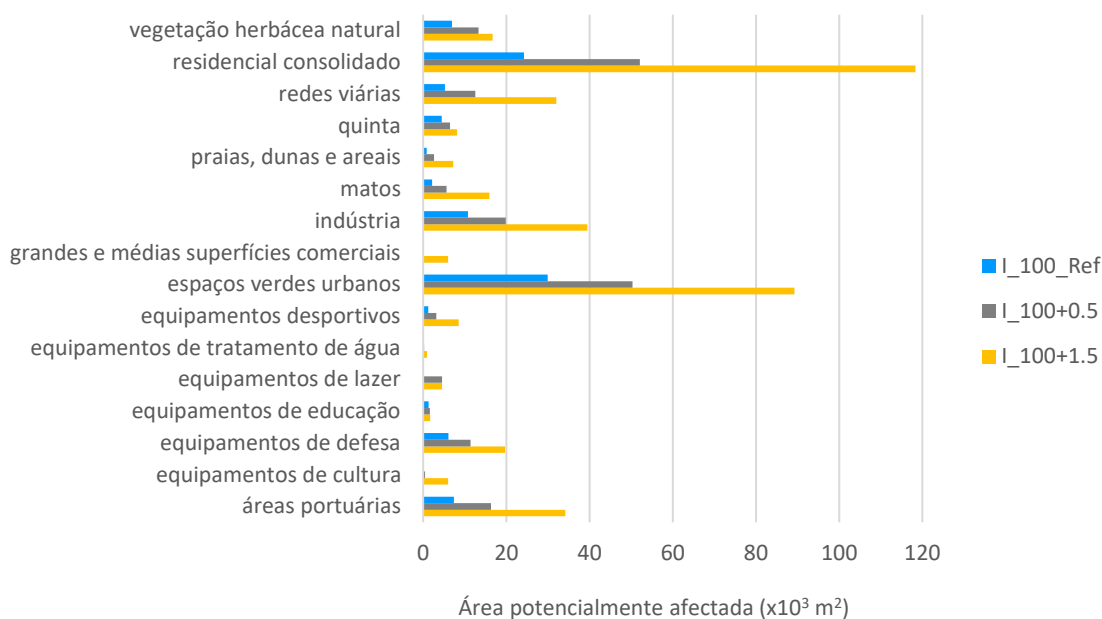


Figura 16 - Distribuição das áreas suscetíveis a inundação por tipo de ocupação e uso do Solo e por cenário NMM, T=100 anos

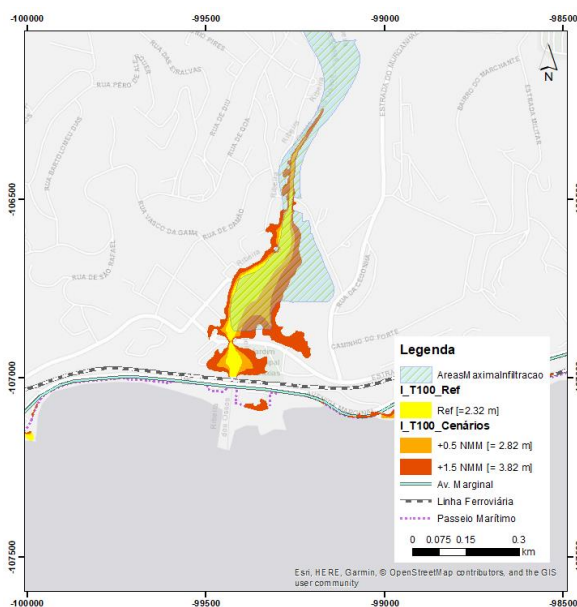


Figura 17 - Interseção da área potencialmente afetada por inundação marítima (T=100 anos) com uma zona de máxima infiltração na ribeira de Barcarena, Caxias

No caso da ribeira de Barcarena, na zona de Caxias, a inundação costeira afeta uma área de máxima infiltração, o que potencia a salinização do aquifero costeiro Figura 17.

3.3. GALGAMENTO COSTEIRO

3.3.1. ALCANCE DO ESPRAIO

A cota alcançada pelo $Ru_{2\%}$ é extremamente variável ao longo do litoral de Oeiras, atingindo valores superiores nas zonas alcantiladas, como no troço Forte das Maias – praia de Paço de Arcos e Alto da Boa Viagem (Figura 18). Junto ao Forte das Maias obteve-se o valor mais elevado, de 8,4 m. Nas zonas mais baixas as cotas são inferiores, no entanto, o alcance horizontal do espraio   superior. São exemplo o troço costeiro de Paço de Arcos e a zona do Dafundo (Figura 18). O alcance do espraio das ondas, nos cenários analisados, foi confrontado com a localização das principais vias de comunicação costeiras (passeio marítimo, avenida Marginal e linha ferroviária). Nos cenários de referência, G_T50_Ref e G_T100_Ref , o espraio das ondas pode atingir o passeio marítimo em toda a sua extensão; nas zonas mais baixas de Santo Amaro, Paço de Arcos e do Dafundo, a avenida Marginal é a infraestrutura mais vulnerável, e no troço Cruz Quebrada/ vale do Jamor/Alto da Boa Viagem é a linha ferroviária que se encontra mais exposta, podendo ser atingidas pelo espraio das ondas (Figura 18 e Anexo I).

Esta distribuição espacial de vulnerabilidades é corroborada pelas observações históricas (documentais e observadas no terreno no âmbito deste Plano), compiladas na listagem de ocorrências PMAACO – Fase B.

Em todos os cenários futuros simulados, observa-se um aumento significativo das cotas alcançada pelo $Ru_{2\%}$ e, conseqüentemente, aumenta o comprimento (longilitoral) das infraestruturas críticas, acima referidas, potencialmente afetadas pelo espraio das ondas. No caso da avenida Marginal, o efeito da subida de 0,5m do NMM, integra o troço de Caxias na lista de zonas potencialmente afetadas. Paço de Arcos e Dafundo são as áreas mais suscetíveis a inundação temporária pelo espraio das ondas.

O aumento de alcance vertical do espraio entre o cenário de referência G_100_Ref e os cenários $G_100+0,5$ e $G_100+1,5$ é de cerca de 13% no primeiro caso, e 38% no segundo (Tabela 11).

No que respeita ao alcance horizontal do espraio das ondas (Figura 18 B, C e D), sobressaem os troços de Santo Amaro, Paço de Arcos, Caxias, Cruz Quebrada e, com maior expressão, a zona do Dafundo.

ID Cenário	Alcance vertical $Ru_{2\%}$ (m)		
	Máximo	Média	σ
G_T50_Ref	5,87	4,41	0,62
G_T50+0,5	6,61	5,02	0,75
G_T50+1,5	8,12	6,21	0,92

ID Cenário	Alcance vertical Ru _{2%} (m)		
	Máximo	Média	σ
G_T100_Ref	6,21	4,59	0,64
G_T100+0,5	7,06	5,10	0,81
G_T100+1,5	8,44	6,29	0,99

Tabela 11 - Quadro resumo da cota de run-up 2% ao longo do litoral de Oeiras (valores máximo, médio e desvio padrão) para os cenários simulados

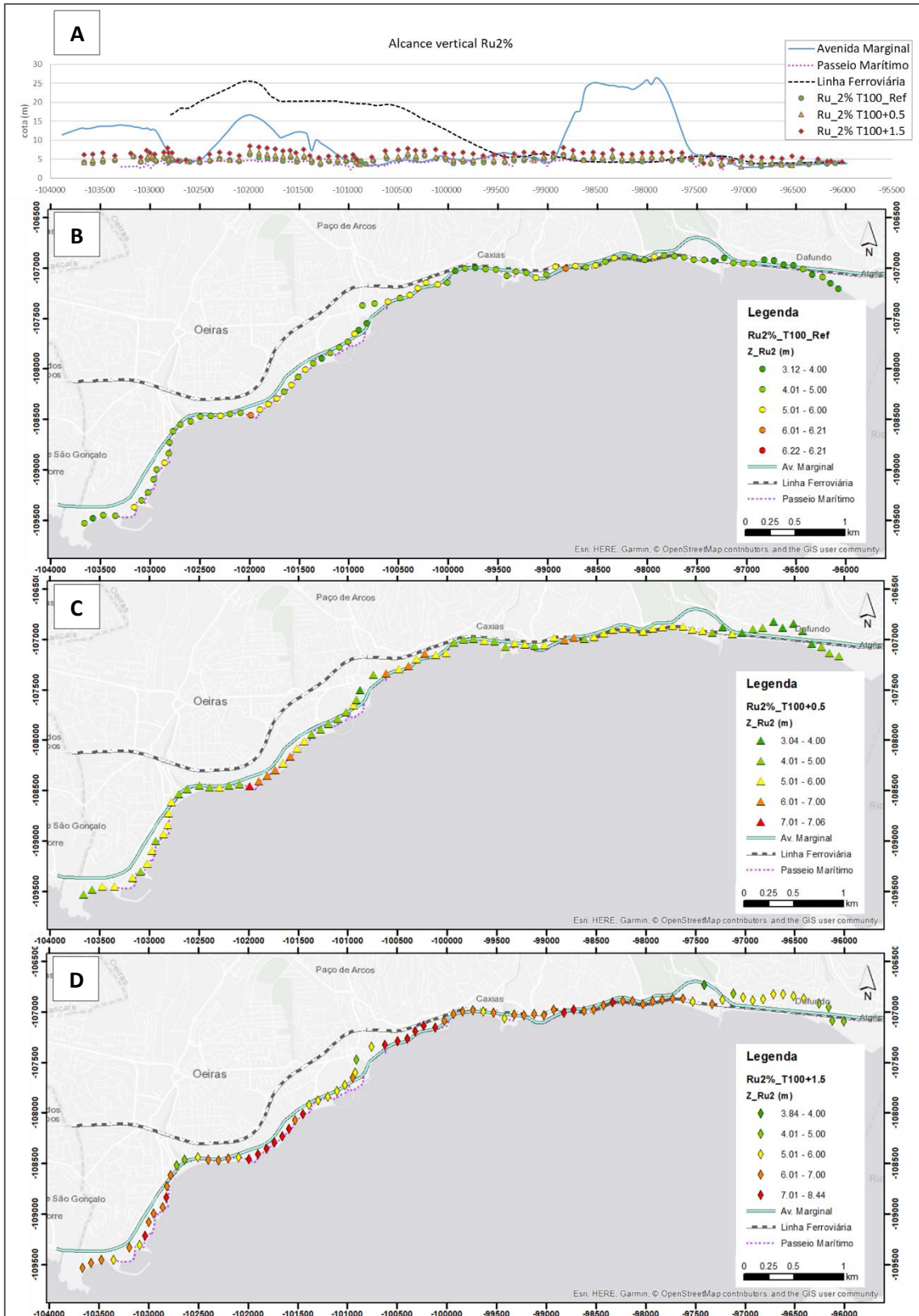


Figura 18 - Alcance vertical (A) e horizontal atingido pelo run-up 2%, para T=100 anos, para os cenários Ref (B), +0,5 (C) e +1,5 (D)

3.3.2. CAUDAL DE GALGAMENTO

O caudal médio de galgamento, q , foi estimado em três infraestruturas distintas: passeio marítimo, avenida marginal (EN6) e linha ferroviária. Os valores obtidos foram classificados de acordo com os limites definidos pelo *Coastal Engineering Manual* (CEM, 2002): quando o caudal médio ultrapassa $1 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ por metro de desenvolvimento do coroamento, a situação é potencialmente muito perigosa, tanto para pedestres como para a circulação de veículos, a qualquer velocidade, e nestas condições podem ocorrer danos nas estruturas. Nesta avaliação, o valor de $q = 1 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ por metro foi considerado como limite crítico para a segurança de pessoas e bens. Os caudais de galgamento superiores a este limite estão representados pelas cores laranjas e vermelho na escala de cores da Figura 20, e os caudais inferiores a este valor estão representados a verde.

Os valores máximos estimados nos diversos cenários simulados (Tabela 12) sofrem aumentos significativos com o aumento do NMM em todas as infraestruturas analisadas. A infraestrutura com o maior caudal de galgamento é o passeio marítimo, seguindo-se a av. Marginal e a linha ferroviária. Verifica-se que as diferenças entre os efeitos devidos a forçamentos com 100 e 50 anos de período de retorno não são significativas (Tabela 12), pelo que se discutem abaixo apenas os resultados para $T=100$ anos.

ID Cenário	Caudal de galgamento, q ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ por metro)		
	Passeio Marítimo	Av. Marginal	Linha Ferroviária
G_T50_Ref	2,35E-01	1,83E-01	6,61E-02
G_T50+0,5	3,89E-01	3,13E-01	1,31E-01
G_T50+1,5	8,00E-01	6,84E-01	3,67E-01
G_T100_Ref	2,64E-01	2,05E-01	7,68E-02
G_T100+0,5	4,21E-01	3,48E-01	1,54E-01
G_T100+1,5	8,43E-01	7,25E-01	3,93E-01

Tabela 12 - Quadro resumo dos valores máximos de caudal de galgamento, q , em cada infraestrutura, para os vários cenários ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ por metro)

Estando o galgamento diretamente relacionado com o *run up*, as zonas críticas em termos do caudal de galgamento coincidem razoavelmente com as identificadas para o alcance do espraio das ondas: Santo Amaro de Oeiras (foz da ribeira da Laje), Paço de Arcos, Caxias, Alto da Boa Viagem, Vale do Jamor, Cruz Quebrada e Dafundo.

A avaliação da extensão dos troços potencialmente afetados por caudais de galgamento superiores ao valor crítico, relativamente ao comprimento total das infraestruturas consideradas, é apresentado na Figura 19. Em cenários progressivamente mais graves do NMM, verificam-se aumentos (do simples para o dobro) do comprimento em situação de perigosidade, em todas as infraestruturas consideradas. No caso do passeio marítimo, a condição de perigosidade atinge toda a sua extensão no cenário G_100+1,5.

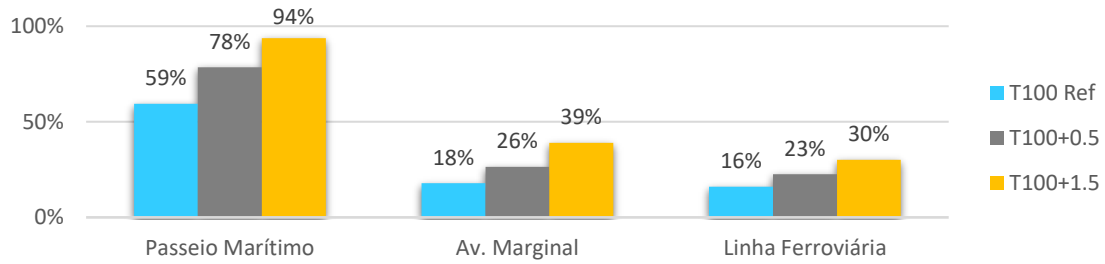


Figura 19 - Percentagem de comprimento afetado por caudais superiores ao valor crítico, por cada infraestrutura analisada, em diferentes cenários de elevação de NMM (T=100 anos)

A Figura 20 ilustra a distribuição espacial de caudais de galgamento nas várias infraestruturas e cenários considerados. Em cada infraestrutura, verifica-se a ocorrência de condições de perigosidade em segmentos com alguma continuidade espacial, mesmo na situação de referência. A passagem para cenários de forçamento mais gravosos incrementa a magnitude dos caudais e amplifica a extensão destes segmentos, promovendo mesmo a sua coalescência em G_T100+1,5.

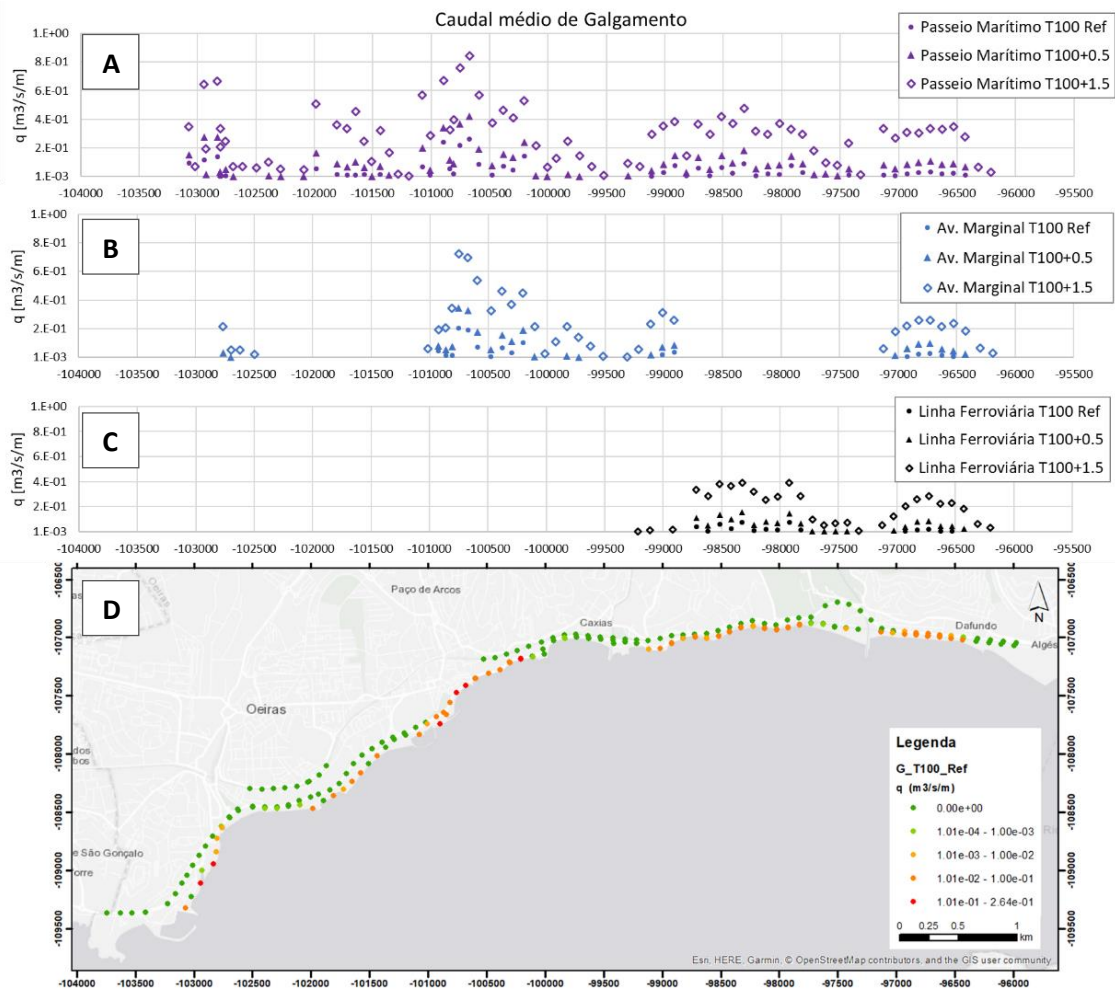




Figura 20 - Caudal médio de galgamento no passeio marítimo (A), Av. Marginal (B) e Linha Ferroviária(C), e distribuição espacial dos níveis de caudal de galgamento para os cenários de Ref. (D), +0,5 m (E) e +1,5 m (F), para T=100 anos

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O litoral de Oeiras é essencialmente alcantilado e rochoso ou artificializado, com pequenas praias, parte delas com aproveitamento balnear.

A faixa costeira alberga tecido urbano e infraestruturas relevantes, tais como redes viárias, portos, equipamentos de defesa e infraestruturas de saneamento básico, o que incrementa a exposição ao forçamento oceanográfico, aqui avaliado em termos de galgamento, de inundação costeira e variação da morfodinâmica das praias. Estes fenómenos foram avaliados em dois cenários de NMM no horizonte temporal de 2100, considerando eventos extremos com períodos de retorno de 50 e 100 anos.

Os efeitos das alterações climáticas sobre a zona costeira são transversais a vários sectores considerados neste Plano, como resumido na Tabela 13. Para cada sector foram identificados os principais impactos e avaliada a vulnerabilidade, no presente e em cenários futuros.

Sistema	Sectores	Impactos	Locais	Exposição	
				Referência	Cenários futuros
Natural	Praia	Galgamento e Inundação Costeira	Todas	***	*****
		Redução da largura da praia	Todas		****
	Arriba	Recuo	Setor oriental praia da Torre	*	*
	Aquíferos costeiros	Intrusão Salina	Zona da ribeira de Barcarena – Caxias	**	***
	Rede hidrográfica	Inundação Costeira	Fozes das ribeiras afluentes ao Tejo	**	***
Antrópico	Edificado	Galgamento e Inundação Costeira	Edifícios adjacentes à linha de costa (e.g. D. G. de Faróis e Estação do I. S. Naufragos)	***	*****
		Inundação Costeira	Zonas residenciais		**
		Inundação Costeira	Equipamentos sociais		*
	Território	Recuo da linha de costa	Setor oriental praia da Torre, Dafundo		*
	Património	Galgamento e Inundação Costeira	Fortificações séc. XVI, XVII e XVIII	**	****
	Infraestruturas	Galgamento e Inundação Costeira	Rede viária: EN6, Linha Ferroviária, Passeio Marítimo, Infraestruturas Portuárias, redes de drenagem natural e urbana.	***	*****
	Turismo e Lazer	Galgamento e Inundação Costeira	Piscina Oceânica INATEL, Equipamentos e apoios de	***	*****

Sistema	Sectores	Impactos	Locais	Exposição	
				Referência	Cenários futuros
			praia, restaurantes/bares de praia.		
		Redução da largura da praia	Redução da capacidade balnear		****

Legenda:

Vulnerabilidade Muito Baixa - *

Vulnerabilidade Muito Alta - *****

Tabela 13 - Resumo das vulnerabilidades climáticas atuais e futuras associadas a galgamento e inundação costeira

Os principais impactos identificados foram: a diminuição da área útil das praias, o incremento de áreas inundáveis e de segmentos costeiros sujeitos a galgamento, com expressão no condicionamento da circulação rodoviária, ferroviária e pedonal.

No cenário mais gravoso, projeta-se a redução da área útil das praias para menos de metade do observado na situação de referência. Esta variação pode inviabilizar a sua exploração balnear (e.g. Caxias), ou conduzir mesmo à sua obliteração (e.g. Algés e sector oeste da praia do Dafundo).

As áreas afetadas por inundações costeiras aumentam significativamente, podendo quadruplicar face aos cenários de referência. Tal terá implicações diretas em zonas residenciais e na interdição, mesmo que temporária, da circulação nas vias de comunicação ribeirinhas. Indiretamente, terá implicações no funcionamento dos sistemas de drenagem e de saneamento do concelho. Na zona de Caxias, as inundações de origem marítima aumentam a exposição do aquífero costeiro à intrusão salina.

Os eventos de galgamento tendem a aumentar tanto a sua magnitude como a extensão longilitoral por eles afetada. O passeio marítimo é a infraestruturas mais exposta em qualquer cenário considerado, e em situação de tempestade extrema e subida de 1,5m do NMM, todo ele oferece condições de perigosidade muito elevada. No mesmo cenário, 40% da Av. Marginal (troços de Santo Amaro, Paço de Arcos, Caxias e Dafundo) e 30% da linha ferroviária (entre o Alto da Boa Viagem e Dafundo) encontram-se sujeitas a caudais de galgamento que excedem o limite crítico para a segurança de pessoas e bens, podendo ainda ocorrer danos nas estruturas.

5. BIBLIOGRAFIA

- Andrade, C., Oliveira Pires, H., Silva, P., Taborda, R., Freitas, M.C., 2006. Zonas Costeiras, in: Santos, F.D., Miranda, P. (Eds.), Alterações Climáticas Em Portugal. Cenário, Impactos e Medidas de Adaptação. Projeto SIAM II. Gradiva, Lisboa, p. 169-208.
- Carapuço, M.M., Taborda, R., Silveira, T.M., Psuty, N.P., Andrade, C., Freitas, M.C., 2016. Coastal geoindicators: Towards the establishment of a common framework for sandy coastal environments. *Earth-Science Rev.* <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.01.002>
- CEM, 2002. CEM: Coastal Engineering Manual, EM 1110-2-1100. U.S. Army Corps of Engineers (USACE), Washington, DC.
- Childs, C., 2004. Interpolating surfaces in ArcGIS spatial analyst. *ArcUser*, July-September 3235, 569.
- CMO, 2010. Plano Municipal de Emergência de Protecção Civil de Oeiras. Oeiras.
- DGT, SNIG, 2014. Cartografia: “Modelo Digital do Terreno das Zonas Costeiras de Portugal Continental com resolução de 2 m (600 m mar , 400 m terra) - LiDAR.”
- Dodet, G., Bertin, X., Taborda, R., 2010. Wave climate variability in the North-East Atlantic Ocean over the last six decades. *Ocean Model.* 31, 120–131. <https://doi.org/10.1016/J.OCEMOD.2009.10.010>
- EurOtop, 2016. Manual on wave overtopping of sea defences and related structures. An overtopping manual largely based on European research, but for worldwide application. Van der Meer, J. W. Allsop, N. W. H. Bruce, T. De Rouck, J. Kortenhaus, A. Pullen, T. Schüttrumpf, H. Troch, P. Zanuttigh, Barbara. GBR.
- Ferreira, A., Bastos, A., Silva, A., Taborda, R., Andrade, C., 2018. Impactos da depressão Emma no litoral da região de Lisboa, in: IH (Ed.), Actas Das 5.as Jornadas de Engenharia Hidrográfica. Lisboa.
- IH, 2013. Modelo Batimétrico - do Rio Lis ao Cabo Espichel.
- IH, 2010. Modelo batimétrico do rio Tejo.
- IPCC, 2014. Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Pachauri, Rajendra K Allen, Myles R Barros, Vicente R Broome, John Cramer, Wolfgang Christ, Renate Church, John A Clarke, Leon Dahe, Qin Dasgupta, Purnamita Others. IPCC.
- Neves, D., Fortes, C., Capitão, R., Zózimo, A., Pinheiro, L., 2010. Desenvolvimentos recentes do sistema GUIOMAR. Aplicação ao Caso de Sines. Repositório LNEC.
- SWAN, 2018. SWAN User Manual - SWAN Cycle III version 41.20A. Delft University of Technology, Delft.
- SWASH, 2018. SWASH User Manual - Version 5.01. Delft University of Technology.
- Taborda, R., Andrade, C., Marques, F., Freitas, M. da C., Rodrigues, R., Antunes, C., Pólvora, C., 2010. Plano Estratégico de Cascais face às Alterações Climáticas - Sector Zonas Costeiras. LATTEX/IDL; Centro de Geologia da Universidade de Lisboa Departamento de Geologia e Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, Faculdade de Ciências da

Universidade de Lisboa, Lisboa.

Taborda, R., Ribeiro, M.A., 2015. A simple model to estimate the impact of sea-level rise on platform beaches. *Geomorphology* 234, 204–210.
<https://doi.org/10.1016/J.GEOMORPH.2015.01.015>

Zijlema, M., Stelling, G., Smit, P., 2011. SWASH: An operational public domain code for simulating wave fields and rapidly varied flows in coastal waters. *Coast. Eng.* 58, 992–1012.
<https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2011.05.015>

6. ANEXOS

6.1. ANEXO I

Inundação Costeira para T = 50 anos

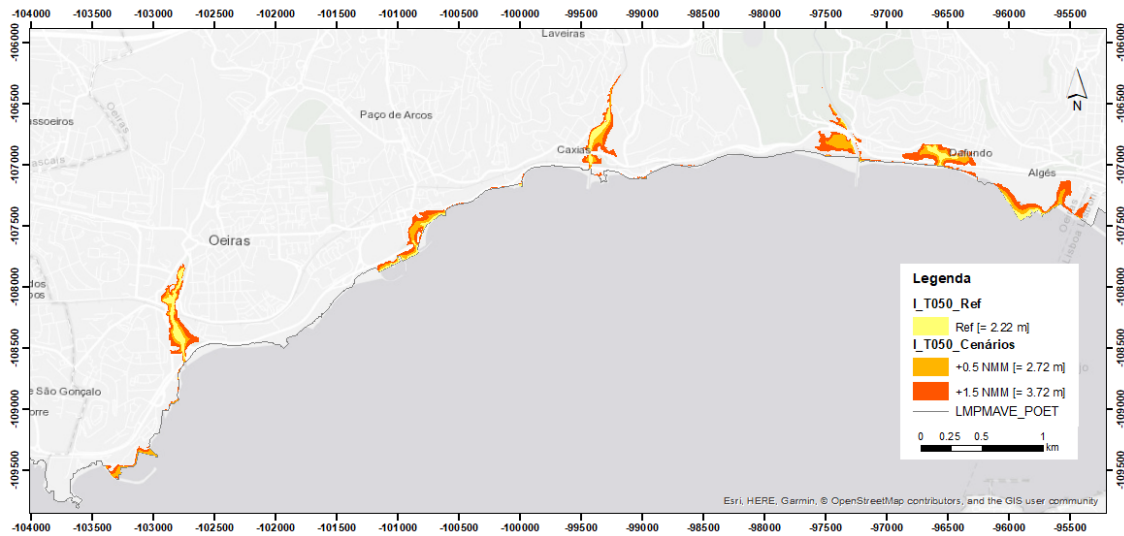


Figura 21 - Cartografia de risco de inundação para os cenários I_50_Ref, I_50+0,5 e I_50+1,50

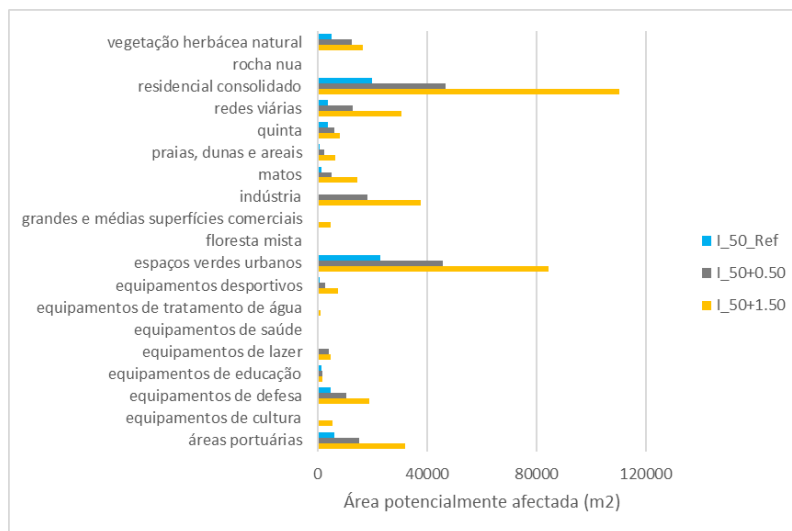


Figura 22 - Distribuição das áreas suscetíveis a inundação por tipo de ocupação e uso do Solo, por cenário, T=50 anos

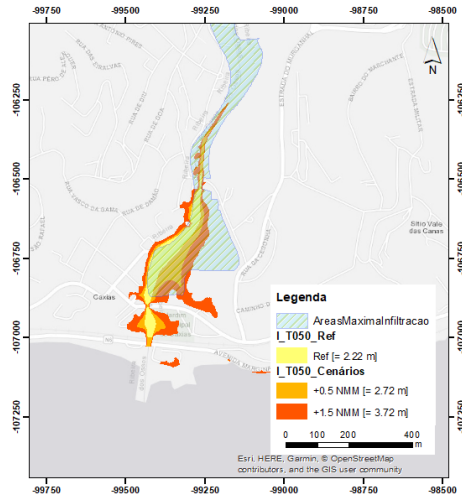


Figura 23 - Área potencialmente afetada por inundação marítima que sobrepõe uma zona de máxima infiltra o, T=50 anos

Galgamento Costeiro para T = 50 anos

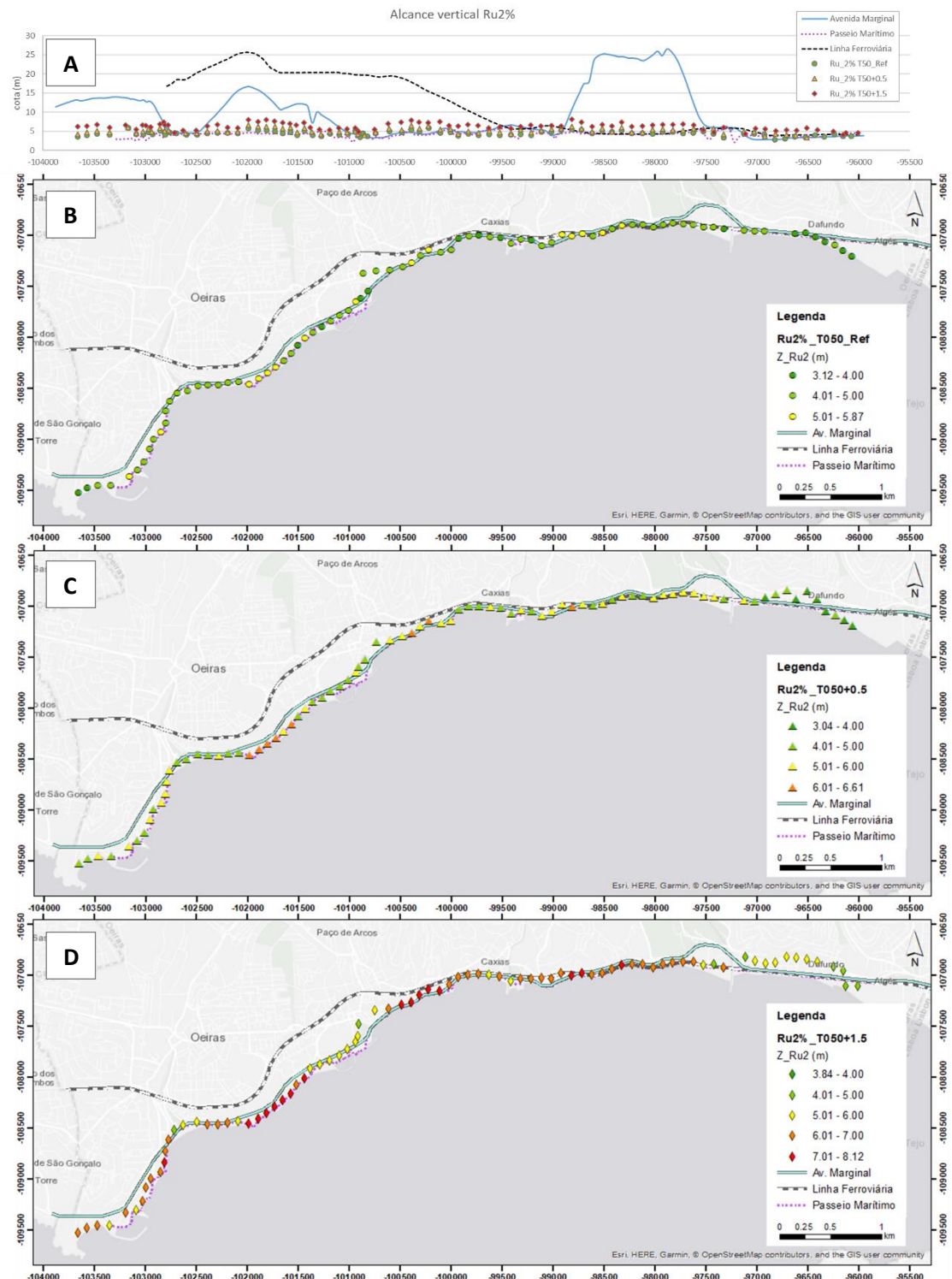


Figura 24 - Alcance vertical (A) e horizontal atingido pelo run-up 2%, para T=50 anos, para os cenários Ref (B), +0,5 (C) e +1,5 (D)

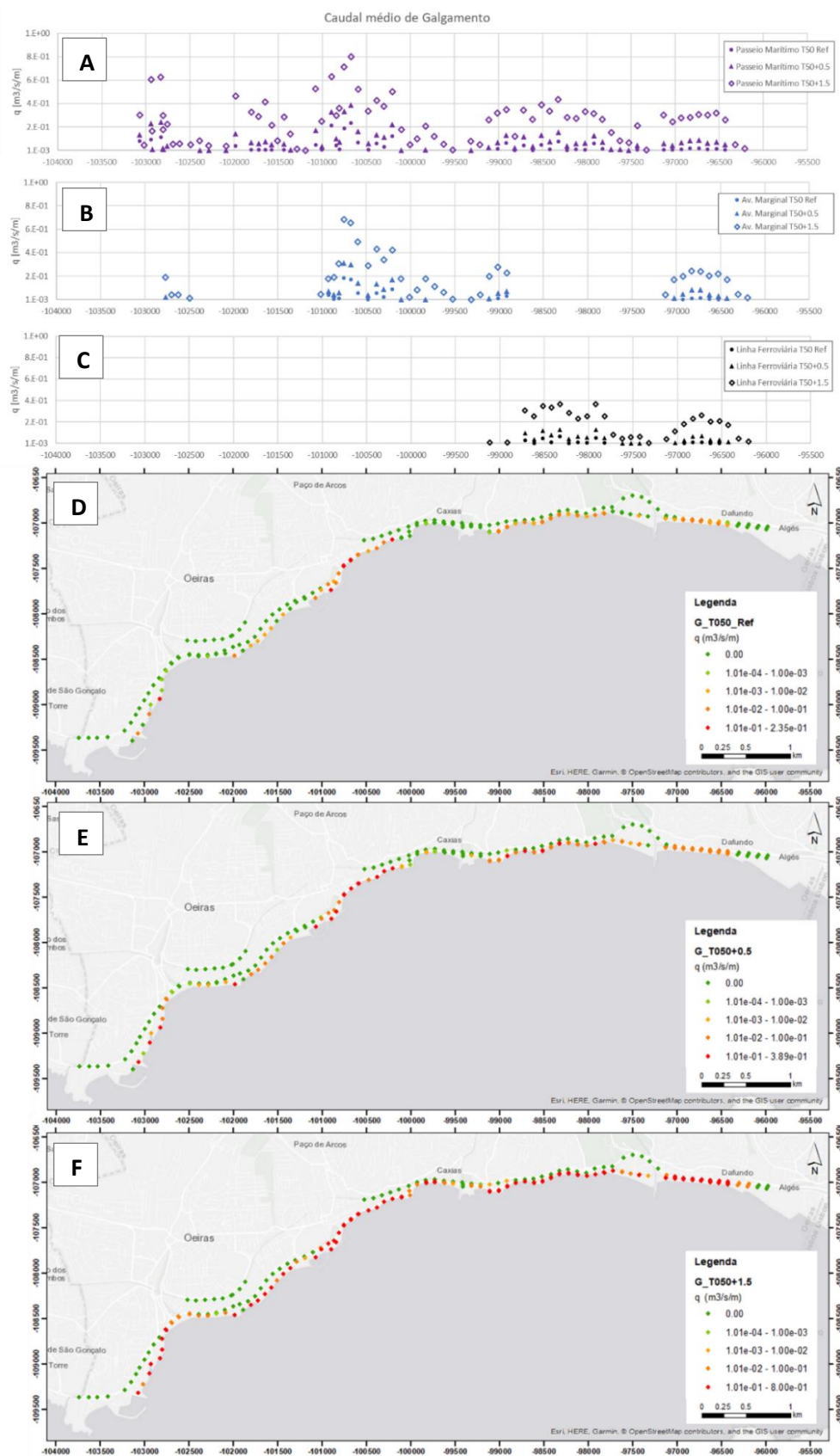


Figura 25 - Caudal médio de galgamento no passeio marítimo (A), Av. Marginal (B) e Linha Ferroviária(C), e distribuição espacial dos níveis de caudal de galgamento para os cenários de Ref. (D), +0,5 m (E) e +1,5 m (F), para T=50 anos

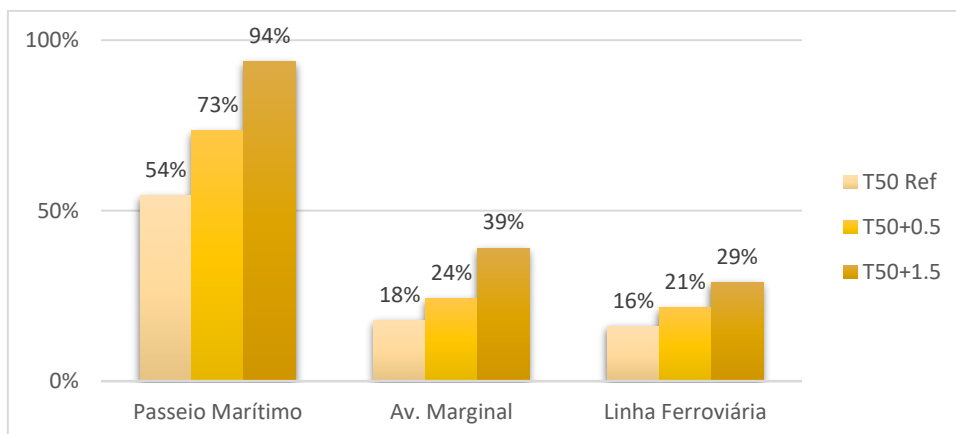


Figura 26 - Variação das zonas potencialmente afetadas de cada infraestrutura analisada, T=50 anos

6.2. ANEXO II

Parametrização da modelação SWASH

Discretização espacial do modelo

O modelo foi aplicado em modo 1D (tipo canal), a cada perfil, em modo não estacionário.

- MODE DYN ONED

Foi definida uma grelha computacional regular com resolução horizontal de 0,50 m em todo o comprimento do perfil, o que permitiu uma discretização de, no mínimo, 260 células por comprimento de onda, garantindo os mínimos aconselhados de 50 e 100 células por comprimento de onda para ondas baixas ($H/d \ll 1$) e altas, respetivamente, (SWASH, 2018).

- CGRID REG 0. 0. 0. 1050 0. 2100 0

Segundo o plano vertical, o SWASH funciona com um número fixo de camadas de altura variável, de modo a garantir que toda coluna de água se encontra representada. A discretização vertical recomendada depende do valor de kd associado, sendo d a profundidade e k o número de onda, dado por:

$$k = \frac{2\pi}{L}$$

onde, L é o comprimento de onda. Para a profundidade máxima no domínio considerado ($d=10$ m), resulta $kd \leq 2.9$; para uma única camada vertical ($K=1$) o erro associado é de 3%, que é considerado um valor aceitável (SWASH, 2018).

- VERT 1

Condições iniciais e de fronteira

As condições iniciais para o nível da água e para as componentes da velocidade foram consideradas nulas.

- INIT ZERO

Na opção de aplicação em modo 1D, as ondas são geradas na origem do perfil ($M_i=0$ m). Foram impostas ondas irregulares, com os parâmetros dados pelo SWAN e assumindo um espectro de JONSWAP com $\gamma=3,3$.

- BOU SHAPE JON gamma MEAN
- BOU SIDE W BTYPE WEAK ADDB CON SPECT height period

Parâmetros físicos

Os parâmetros físicos considerados foram: o atrito de fundo, representado pelo coeficiente de Manning (adotou-se o valor de 0,019, recomendado para a modelação de ondas (SWASH, 2018),

e a rebentação das ondas induzida pelo fundo (parâmetros de rebentação adotados: $\alpha=0,6$ e $\beta=0,3$).

- FRIC MANN 0.019
- BREAK 0.6 0.3

Parâmetros numéricos

O tempo total de simulação foi de 30 minutos, por perfil. Considerando que, segundo o Manual do SWASH, a simulação demora cerca de 10 a 15% do tempo total a estabilizar (aproximadamente 5 minutos no caso presente), a extração de resultados incidu sobre os últimos 25 minutos de cada corrida.

O passo de tempo adequado para se obter uma solução estável deve respeitar a seguinte condição (condição CFL) para modelação 1D:

$$C_r = \frac{\Delta t(\sqrt{gd} + |u|)}{\Delta x} \leq 1$$

onde, Δx é a dimensão da célula, Δt o passo de tempo, u a velocidade da corrente e C_r o número de *Courant*. O modelo ajusta dinamicamente o passo de tempo através do número de *Courant*, mas ainda assim é necessário definir uma gama de valores. Estes valores foram ajustados por iteração até o modelo estabilizar, tendo-se definido $C_{r,min} = 0,2$ e $C_{r,max} = 0,5$. O passo de tempo inicial foi definido com o valor de 0,1 segundos.

- TIMEI METH EXPL 0.2 0.5
- COMPUTE 000000.000 0.01 SEC 003000.000

7. FICHA TÉCNICA

Título

Plano Municipal de Adaptação às Alterações Climáticas de Oeiras (PMAACO) – Relatório do setor Agricultura e Segurança Alimentar sobre vulnerabilidades climáticas

Coordenação Científico/Executiva

Luís Filipe Dias (CCIAM/cE3c/FCUL)

Coordenação Não Executiva

Filipe Duarte Santos (CCIAM/cE3c/FCUL)

Equipa Técnica

CCIAM/Ce3C/FCUL:

Amandine Pastor (Recursos Hídricos)
Ana Lúcia Fonseca (Caracterização Socioeconómica)
André Oliveira (Saúde Humana, Segurança Pessoas e Bens)
Bruno Aparício (Clima, Economia)
Helena Santos (Agricultura e Segurança Alimentar)
Inês Morais (Recursos Hídricos)
João Pedro Nunes (Recursos Hídricos)
Luís Filipe Dias (Clima, Recursos Hídricos, Ordenamento do Território, Economia)
Ricardo Coelho (Energia e Segurança Energética, Transportes e Vias de Comunicação)
Sidney Batista (Clima)
Tomás Calheiros (Fogos Florestais)

eChanges/Ce3C/FCUL:

Cristina Branquinho (Biodiversidade)
Filipa Grilo (Biodiversidade)
Pedro Pinho (Biodiversidade)
Alexandra Oliveira (Biodiversidade)
Ana Luz (Biodiversidade)

IDL/FCUL:

Rui Taborda (Orla Ribeirinha)
César Andrade (Orla Ribeirinha)
Andreia Marques Ferreira (Orla Ribeirinha)

CEF/ISA/UL:

José Lima-Santos (Agricultura e Segurança Alimentar)

Superlative Numbers:

Frank Braunschweig (Recursos Hídricos)