



**INSTITUTO  
DOM LUIZ**

## Memorando IV

---

Caracterização e delimitação das unidades de território classificáveis como zonas ameaçadas pelo mar na área da Fonte da Telha

Fevereiro 2013

---

---

---

## Índice

Índice.....	3
Termos de Referência .....	5
Métodos .....	5
1) Modelo de perfil de equilíbrio .....	5
1.a) Recuo induzido por tempestade .....	6
1.b) Recuo induzido por elevação secular do NMM .....	7
2) Cota de inundação potencial e níveis extremos do mar .....	8
3) Traçado dos limites das Zonas Ameaçadas pelo Mar (ZAM).....	9
Resultados.....	11
Situação de referência.....	11
Projeções para 2050 e 2100 .....	11
Zonas ameaçadas pelo mar - região da Fonte da Telha.....	12
Referências bibliográficas .....	13



---

## *Termos de Referência*

No âmbito do programa de trabalhos acordado com a Câmara Municipal de Almada para o período entre Novembro de 2012 e Dezembro de 2013, apresentam-se neste relatório os resultados da caracterização e delimitação das unidades de território classificáveis como zonas ameaçadas pelo mar na área da Fonte da Telha.

## *Métodos*

Para delimitar as zonas ameaçadas pelo mar na situação de referência e em cenários de forçamento oceanográfico futuro, considerando horizontes temporais de 50 e 100 anos, no trecho do litoral arenoso da Fonte da Telha, utilizaram-se dois tipos de modelos empíricos:

- 1) Modelos que utilizam o conceito de perfil de equilíbrio para caracterizar o efeito de uma tempestade extrema ou subida do nível médio do mar no recuo da linha de costa;
- 2) Modelos que calculam níveis extremos alcançados pela superfície do mar a partir das características da agitação incidente, maré (astronómica e meteorológica) e morfologia do perfil de praia.

Da combinação dos resultados obtidos através dos dois métodos, resultou um traçado para uma faixa de risco que permite, em sede do PP, salvaguardar a segurança de pessoas e bens. A cartografia desta faixa é apresentada em anexo a este relatório.

### *1) Modelo de perfil de equilíbrio*

Embora os perfis de praia exibam morfologia variada de local para local e ao longo do tempo, são, em geral, mais inclinados perto da linha de costa, e a inclinação diminui progressivamente com o aumento da profundidade. Esta regularidade encorajou o desenvolvimento de soluções analíticas para a descrição da forma de um perfil de praia em equilíbrio com o regime de agitação incidente e com os sedimentos que constituem o perfil.

De entre os modelos descritos na literatura, optou-se no presente trabalho por recorrer ao modelo de perfil de equilíbrio de Dean (1991), aplicado com sucesso em numerosos estudos de dinâmica e engenharia costeira (Komar, 1998). Este modelo foi utilizado para descrever o perfil transversal da praia submarina ao largo da Fonte da Telha e quantificar a recolocação desse perfil quando solicitado por um evento de tempestade ou subida do NMM.

O perfil da praia submarina em equilíbrio com o forçamento oceanográfico é descrito pela seguinte equação:

$$d_y = Ay^{\frac{2}{3}} \quad [\text{eq. 1}]$$

onde:  $d_y$  é a profundidade à distância  $y$  da linha de costa (Figura 1) e  $A$  é um parâmetro de forma adimensional que depende do diâmetro das partículas sedimentares que constituem o perfil (parâmetro de Dean).

A resposta deste perfil a variações do nível médio do mar, de longo e curto prazo, baseia-se no pressuposto de que a região subaérea do sistema praia-duna será erodida produzindo um volume sedimentar que é integralmente acumulado nos fundos próximos, por forma a garantir uma distribuição das profundidades consistente com a equação 1.

### 1.a) Recuo induzido por tempestade

No caso de solicitação por tempestade, a variação do nível médio do mar relaciona-se com a sobrelevação de natureza meteorológica (SE) e com o *set-up* das ondas (S). O perfil activo ( $W_b$ ) estende-se desde a primeira rebentação até ao limite de actuação das ondas rebentadas (Figura 1).

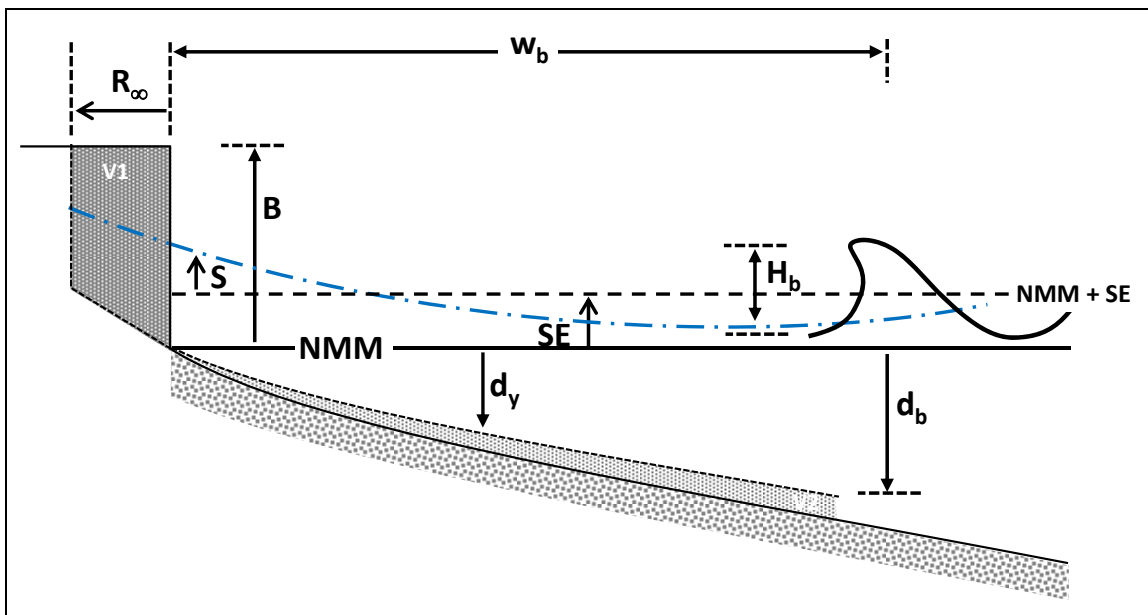


Figura 1. Modelo conceptual de resposta de um perfil de equilíbrio a uma tempestade. B – cota média da região erodida;  $d_b$  – profundidade de rebentação;  $H_b$  – altura na rebentação; S – *set-up*; SE – sobrelevação meteorológica;  $W_b$  – largura do perfil activo;  $d_y$  – profundidade à distância y;  $R_\infty$  – recuo máximo expectável da linha de costa;  $v_1$  – volume erodido =  $v_2$  – volume depositado. A linha a azul representa a superfície livre do mar afectada pela sobrelevação e pelo *set-up* (adaptado de Dean & Dalrymple, 2002).

A expressão que relaciona o recuo máximo expectável da linha de costa em consequência de uma tempestade extrema, é a seguinte (Dean et al., 2008):

$$R_\infty = (SE + 0.068 H_b) \frac{W_b}{B + d_b} \quad [\text{eq. 2}]$$

onde:

- B – cota média da região erodida (m NMM);
- $d_b$  – profundidade na rebentação (m NMM) =  $1.28H_b$ ;
- $H_b$  – altura na rebentação (m);
- SE – sobrelevação meteorológica (m);
- $W_b$  – largura do perfil activo (m);
- $R_\infty$  – recuo máximo expectável da linha de costa (m).

O parâmetro  $R_{\infty}$  corresponde a recuo máximo expectável do perfil de praia. Porém, na realidade, existe um desfasamento temporal entre a solicitação hidrodinâmica e a resposta morfológica, pelo que o recuo efectivamente observado ( $R_t$ ) depende também da duração da tempestade e da resiliência do sistema, variáveis que a equação 2 não inclui; Dean et al. (2008) apresentam soluções gráficas para incorporar os efeitos deste desfasamento no cômputo de  $R_t$ .

De acordo com o modelo conceptual acima descrito, a caracterização do perfil de equilíbrio foi efectuada utilizando as variáveis descritas na tabela 1.

Tabela 1. Valores utilizados na parametrização do modelo de recuo induzido por tempestade – situação de referência.

Variável	Período de retorno (anos)		Fonte
	50	100	
$H_b$ (m)	5.5	6.0	Freitas et al. (2012)
$W_b$ (m)	430	490	Estimado a partir do perfil de equilíbrio [eq. 1]
B (m - NMM)	7.0		Estimado a partir dos levantamentos de campo (cf. Freitas et al., 2012) e MDT
Declive máximo da face de praia	0.09		Estimado a partir dos levantamentos de campo (cf. Freitas et al., 2012)
Diâmetro médio dos sedimentos (mm)	0.29		Estimado a partir dos trabalhos de campo (cf. Freitas et al., 2012)
Duração do temporal (horas)	72	84	Estimado a partir dos valores reportados em Pinto et al. (2012) e Andrade et al. (1996), respectivamente
SE (m)	0.50	0.61	Valor do percentil 90 e máximo, respectivamente (Freitas et al., 2012)

### 1.b) Recuo induzido por elevação secular do NMM

No caso de solicitação induzida por variações de longo termo do NMM, o modelo de resposta do perfil de equilíbrio é análogo ao descrito no ponto 1.a), modificando-se a extensão do perfil activo, que agora se prolonga até à profundidade de fecho ( $d_c$ ) e considerando-se a elevação secular do NMM (Figura 2). De acordo com este modelo, conhecido como regra de Bruun, o recuo ( $R_{NMM}$ ) é dado por:

$$R_{NMM} = \Delta NMM \frac{W_c}{B+d_c} \quad [\text{eq. 3}]$$

onde,

$\Delta NMM$  – variação secular do NMM (m);

$W_c$  – largura do perfil activo (até à profundidade de fecho) (m);

$d_c$  – profundidade de fecho (m NMM);

B – cota média da região erodida (m NMM).

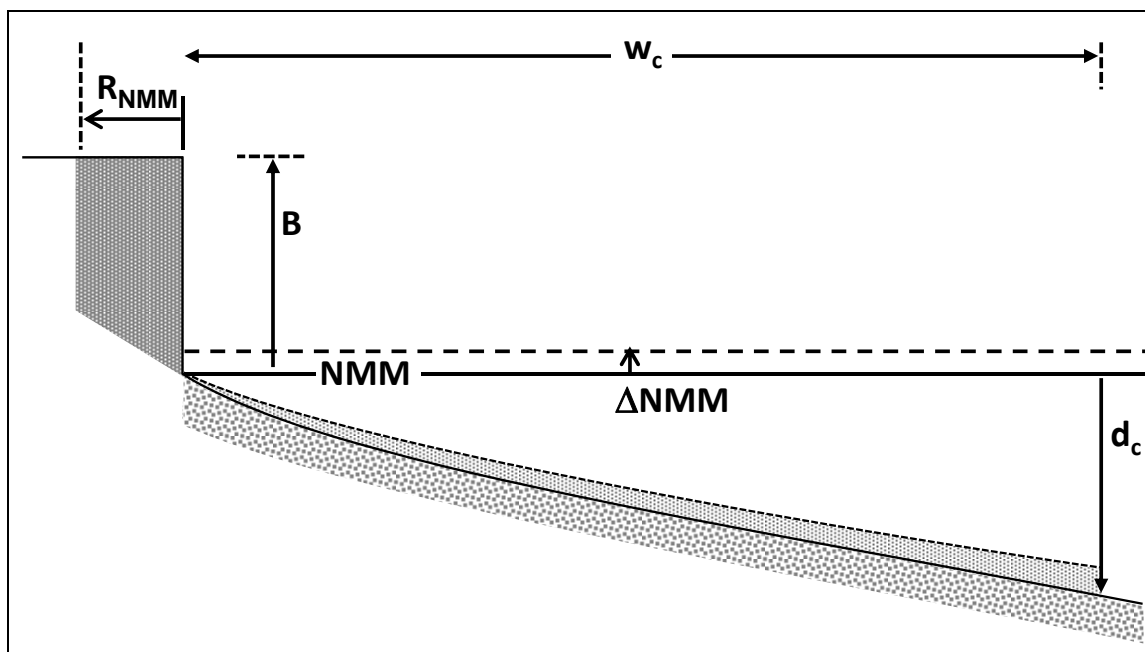


Figura 2. Esquema ilustrativo da regra de Bruun. B – cota média da região erodida;  $d_c$  – profundidade de fecho;  $W_c$  – largura da zona activa (até à profundidade de fecho);  $R_{NMM}$  – recuo da linha de costa imputável à elevação do NMM;  $\Delta NMM$  – elevação do NMM (adaptado de Dean & Dalrymple, 2002).

No caso presente, a escala temporal considerada é suficientemente longa para que a resposta morfológica possa ser considerada “instantânea”.

De acordo com a regra de Bruun, a caracterização do perfil de equilíbrio foi efectuada utilizando as variáveis descritas na tabela 2.

Tabela 2. Valores utilizados na parametrização do modelo de recuo induzido pela subida do NMM.

Variável	Horizonte temporal (anos)		Fonte
	2050	2100	
$\Delta NMM$ (m)	0.3	1.5	Freitas et al. (2012)
$W_c$ (m)	600		Estimado a partir do perfil de equilíbrio [eq. 1]
$d_c$ (m – NMM)	11		Freitas et al. (2012)

## 2) Cota de inundação potencial e níveis extremos do mar

A metodologia e os dados utilizados na determinação da cota máxima de galgamento (CG) expectável para períodos de retorno de 50 e 100 anos encontram-se descritos em Freitas et al. (2012).



---

### *3) Traçado dos limites das Zonas Ameaçadas pelo Mar (ZAM)*

A linha de costa na situação de referência corresponde à Linha do Máximo Preia-Mar de Águas Vivas Equinociais (LMPAVE) e utilizou-se a informação altimétrica de 2001 à escala 1:1000 fornecida pela Câmara Municipal de Almada para descrever a morfologia da zona costeira.

O procedimento adoptado para delinear as ZAM nos horizontes temporais de 2050 e 2100 sumariza-se nos parágrafos seguintes e encontra-se ilustrado na Figura 3:

- 1) Translação para terra da linha de costa na situação de referência (LMPAVE) de um valor igual ao recuo máximo estimado ( $R_t + R_{NMM}$ ), obtendo-se uma “linha de recuo”;
- 2) Se a cota de terreno na “linha de recuo” for inferior à cota máxima de galgamento (Figura 3A e 3C), a ZAM estende-se para terra até igualar a posição planimétrica de CG;
- 3) Se a cota de terreno na “linha de recuo” for igual ou superior a CG, a ZAM estende-se até à “linha de recuo” (Figura 3B).

Para garantir a continuidade espacial da solução proposta, nas situações em que a cota apical da duna frontal é variável, com alternância de cotas inferiores e superiores a CG, foi adoptado o seguinte procedimento:

- 1) Nos casos em que a crista do cordão dunar é dominado por cotas inferiores a CG, a duna é integralmente incluída na ZAM que se estende, neste caso particular, até ao sopé da arriba fóssil, onde as cotas de terreno igualam a curva de nível de CG (Figura 3D);
- 2) Nos casos em que a crista do cordão dunar é dominado por cotas superiores a CG, o traçado do limite terrestre da ZAM coincide com a crista do edifício dunar frontal nas zonas onde a cota da duna é inferior a CG (Figura 3E).

A largura das ZAM obtidas com esta metodologia é igual ou superior ao recuo máximo expectável e a cota do seu limite terrestre iguala ou excede a cota máxima de galgamento.

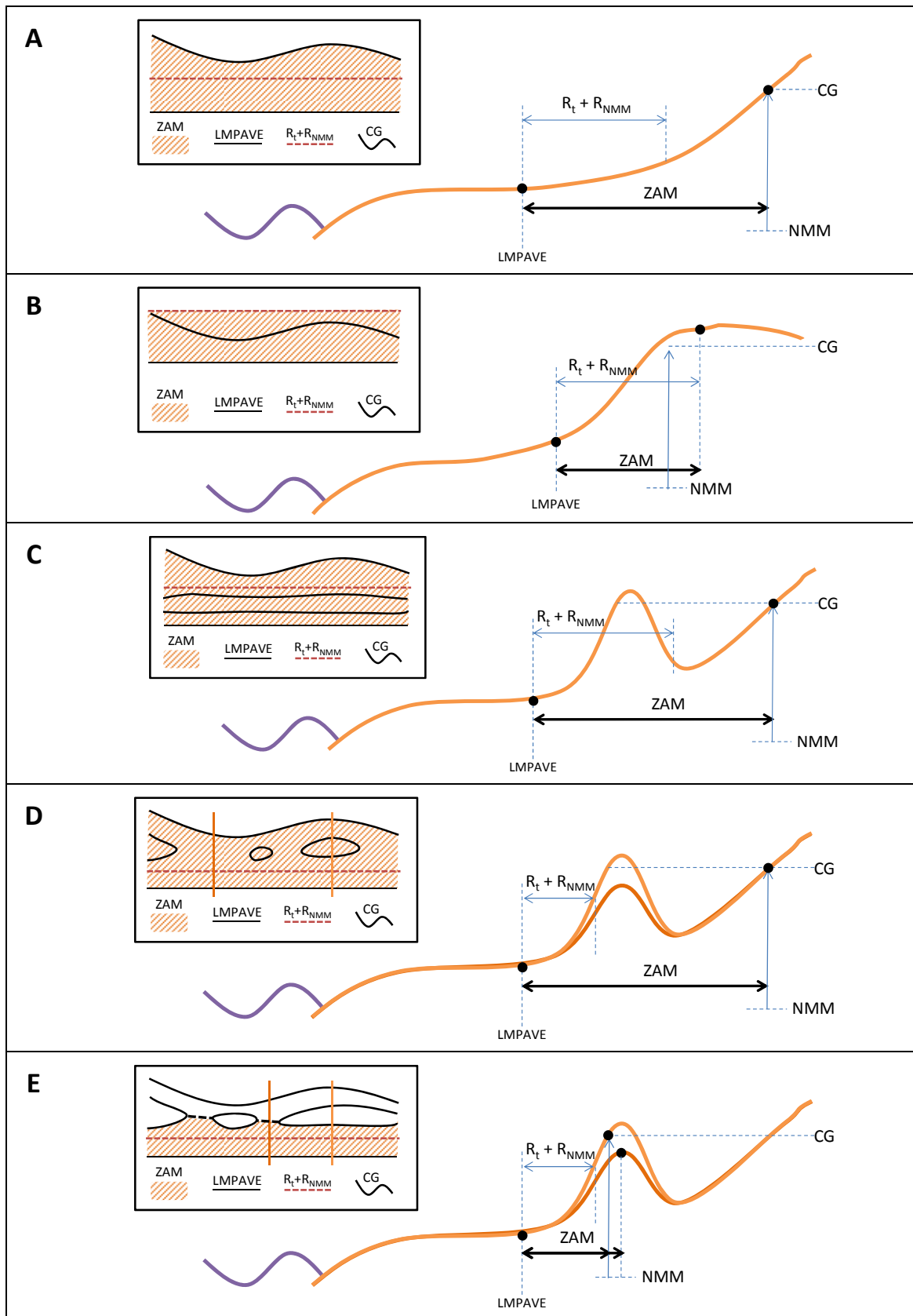


Figura 3. Esquemas ilustrativos da aplicação dos critérios de definição das ZAM em diferentes contextos morfológicos.

---

## Resultados

### Situação de referência

O recuo induzido por uma tempestade extrema ( $R_t$ ) e as cotas de galgamento (CG), na situação de referência, encontram-se na Tabela 3. Os valores de recuo calculados para a situação de referência concordam com os apresentados (e validados no terreno) por Pinto et al. (2012).

Tabela 3. Recuo induzido por tempestade e cotas máximas de galgamento na situação de referência.

Variável	Período de retorno (anos)	
	50	100
$R_t$ (m)	19	24
CG (m NMM)	9.0	9.4

### Projeções para 2050 e 2100

Considerando as incertezas que caracterizam as projeções futuras, e de acordo com o Princípio da Máxima Precaução, na construção dos cenários de 2050 e 2100 utilizaram-se os valores de  $\Delta$ NMM de +0.30 m e +1.50 m (Tabela 2) que majoram a elevação do NMM e produzem estimativas mais elevadas do recuo e cotas máximas de galgamento.

O recuo total associado a tempestades extremas e elevação do NMM ( $R_t + R_{NMM}$ ) bem como as cotas de galgamento projectadas para os horizontes temporais de 2050 e 2100, encontram-se na Tabela 4.

Na estimativa do recuo associado a tempestades assumiu-se que o clima de agitação incidente se manterá invariante, ou seja, que este é estacionário. Para os horizontes temporais de 2050 e 2100 associaram-se “tempestades de projecto” com períodos de retorno de 50 e 100 anos.

Tabela 4. Recuo máximo estimado (associado a tempestades e subida do NMM) e cotas máximas de galgamento (incorporando a subida do NMM) para os horizontes temporais de 2050 e 2100.

Variável	Horizonte temporal (anos)	
	2050	2100
$R_t + R_{NMM}$ (m)	29	74
CG (m NMM)	9.3	10.9

---

## *Zonas ameaçadas pelo mar - região da Fonte da Telha*

Os elementos planimétricos fornecidos pela estimativa de recuo máximo associado a tempestades e à elevação do NMM ( $R_t + R_{NMM}$ ) foram conjugados com a informação altimétrica correspondente à cota máxima de galgamento (CG), produzindo a excursão máxima expectável da inundação marinha. Desta metodologia resultaram duas linhas, que correspondem ao limite terrestre das zonas ameaçadas pelo mar em 2050 (ZAM 50) e 2100 (ZAM 100) (Figura 4). Uma estimativa das incertezas inerentes aos dados e metodologia subjacentes ao traçado destas linhas sugere que a respectiva representação cartográfica seja efectuada a escala inferior a 1:10000.

Os polígonos correspondentes às ZAM na região da Fonte da Telha constituem anexo, em formato digital, a este relatório.

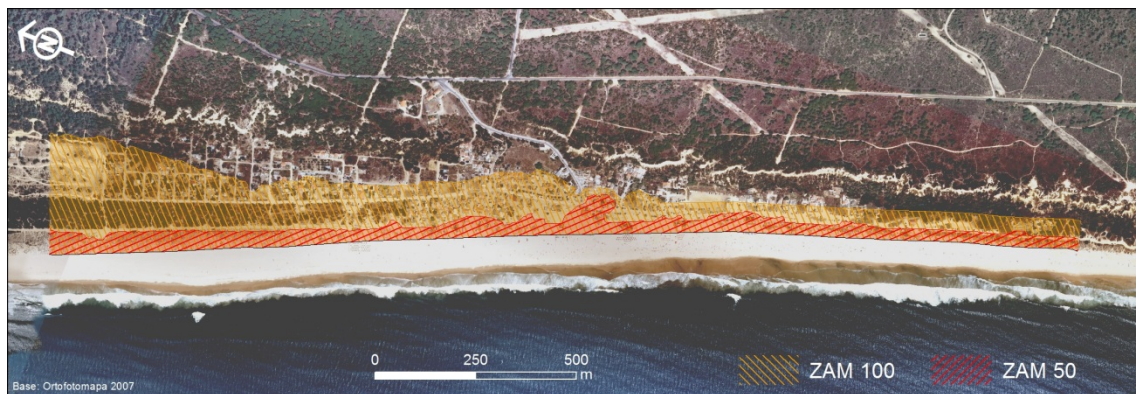


Figura 4. Representação cartográfica sobre ortofotomapa de 2007 das ZAM para os horizontes temporais de 2050 (ZAM 50) e 2100 (ZAM 100).

A faixa correspondente às ZAM 50 apresenta largura variável entre 30 e 50 m, diminuindo para sul em concordância com a redução de largura da planície costeira e coincide *grasso modo* com a duna frontal que marginava a praia e cuja expressão morfológica ainda persiste apesar dos sinais evidentes de degradação antrópica. Na sua região central o limite terrestre desta faixa compreende um desenvolvimento lobado, com 90 m de extensão máxima transversal à costa, determinado pela existência de depressões topográficas associadas a deflação eólica, desaterro ou pisoteamento.

A faixa correspondente às ZAM 100 apresenta um contorno menos recortado e a metade norte tem uma largura substancialmente superior à da metade sul, 285 e 75 m, respectivamente. Este contraste justifica-se pela existência de uma depressão interdunar alongada paralelamente ao litoral, imediatamente atrás da duna frontal, que termina em fundo de saco na secção central do núcleo urbano da Fonte da Telha. Daqui resulta uma morfologia em canelura que, associada à reduzida largura da duna frontal e fraca envergadura dos edifícios dunares secundários, transfere aquele limite para o sopé da arriba fóssil.

---

## *Referências bibliográficas*

- Andrade, C., Teixeira, S., Reis, R. e Freitas, C. (1996) - The record of storminess of the Portuguese NW coast in newspaper sources. In: Taussik, J. e Mitchell, J. (eds), Partnership in coastal zone management. Samara, pp. 159–166.
- Dean, R.G. (1991) - Equilibrium Beach Profiles: Characteristics and Applications. *Journal of Coastal Research*, 7(1), pp. 53-84.
- Dean, R.G., Kriebel, D. e Walton, T. (2008) - Cross-shore sediment processes. In: Walton e King (editors). *Coastal Engineering Manual*. Part III - Coastal sediment processes. Chapter III-3.1110-2-1100 USACE. Washington, DC.
- Dean, R.G. e Dalrymple, R.A. (2002) – *Coastal processes with engineering applications*. Cambridge, 475 p.
- Freitas, M.C. (coord), Andrade, C., Marques, F., Silva, M.C., Carvalho, M.R., Taborda, R., Antunes, C., Alves, M., Carapuço, M., Matildes, R. & Silveira, T. (2012) - Impacte das alterações climáticas na faixa costeira estuarina e atlântica do concelho de Almada. Relatório final. Relatório técnico não publicado para Câmara Municipal de Almada, Julho 2012, 172 p. + anexos.
- Komar, P. (1998) – *Beach processes and sedimentation*. Prentice-Hall, 544 p.
- Pinto, C., Silveira, T., Taborda, R., Andrade, C. e Freitas, M.C. (2012) - Reavaliação de faixas de risco em litoral baixo e arenoso: aplicação ao setor de São João da Caparica (Costa da Caparica – Portugal). Resumo submetido ao VII Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa.

FCUL, 1 de Fevereiro de 2013

Rui Taborda

César Andrade

Tanya Silveira

Maria da Conceição Freitas