

# GEOLOGIA DO PORTINHO DA ARRÁBIDA

Pedro Brito e Luís Rebêlo

Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P.  
Unidade de Geologia Marinha - Grupo de Geologia Costeira  
Estrada da Portela, Bairro do Zambujal  
Apartado 7586, Alfragide - 2610-999 AMADORA

## RESUMO:

Na sequência da perda de areia da praia do Portinho da Arrábida que tem sido reportada pela população local, foi feito um balanço sumário do estado atual do conhecimento geológico deste troço costeiro. Face à aparente ausência de estudos de pormenor, a área é enquadrada tendo por base a serra da Arrábida e o delta de vazante do estuário do Sado, como sendo as principais unidades morfoestruturais regionais.

Como uma primeira abordagem ao problema e tendo em conta alguns dos processos teóricos que condicionam a deriva sedimentar, são levantadas hipóteses de trabalho que poderão contribuir para a explicação da perda de areia sentida na praia do Portinho da Arrábida.

Os processos referidos relacionam-se fundamentalmente com a subida do nível do mar, a variabilidade natural do perfil de praia e influência, direta ou induzida, da dinâmica sedimentar do delta de vazante do estuário do Sado. No entanto, a validação ou não das hipóteses de trabalho propostas, implica a realização de um estudo de pormenor que permita caracterizar a dinâmica sedimentar deste troço costeiro.

## ABSTRACT:

Due to the sand loss on the Portinho da Arrábida beach that has been reported by the local population, a preliminary study was performed in order to outline the state of the art of the geological knowledge for this coastal sector. Given the apparent absence of detailed studies, the geological setting of the area is based in the main regional morphostructural units, namely the Arrábida chain and Sado estuary ebb delta.

As a first approach to the problem and taking into account some of the theoretical processes that control the sediment drift, working hypotheses that may help to explain the sand depletion on the Portinho da Arrábida beach are raised. The referred processes are primarily

related to the rising sea level, the natural variability of the beach profile and the influence, direct or induced, of the Sado estuary ebb-tide delta sediment dynamics. However, the validation of the proposed hypotheses involves detailed studies that eventually could lead to the understanding of the sediment dynamics of this coastal segment.

## 1. INTRODUÇÃO

Na sequência da diminuição de areia que se tem vindo a sentir nas praias da área da Arrábida, em particular na praia do Portinho da Arrábida, considerou-se pertinente fazer um balanço do atual estado do conhecimento sobre as eventuais causas do desassoreamento deste sector costeiro. Temas como: o enquadramento geológico; as características dos sedimentos; a arquitetura sedimentar da zona costeira (Figura 1); a agitação marítima e a sua propagação até à costa; a dinâmica sedimentar; a evolução histórica (recente) das praias (Figura 2); e a evolução durante o holocénico deveriam ser abordados de forma a obter uma visão holística do problema.

As praias da península de Setúbal foram alvo de um trabalho realizado por Teixeira (1990), no âmbito do qual a praia do Portinho da Arrábida foi eleita como um dos casos de estudo. No entanto, a escala regional e o curto período de observação que nortearam este trabalho, não permitem uma caracterização da dinâmica sedimentar que viabilize a identificação dos processos responsáveis pela atual perda de areia da praia. Face à aparente inexistência de estudos de pormenor da área e ao curto tempo disponível, a abrangência da análise agora realizada é bastante mais modesta do que seria desejável.

A análise realizada centrou-se no enquadramento geológico geral da área no

âmbito das principais unidades geológicas regionais, e no destaque das particularidades da praia do Portinho da Arrábida. Tendo por base alguns dos principais processos teóricos responsáveis pela dinâmica sedimentar em praias, são enumeradas possíveis hipóteses de mecanismos que poderão contribuir para a perda de sedimentos reportada. Numa primeira fase, estas hipóteses poderão ajudar no delineamento dos pontos a ter conta num futuro estudo de pormenor que vise esclarecer as causas da perda de sedimento destas praias.

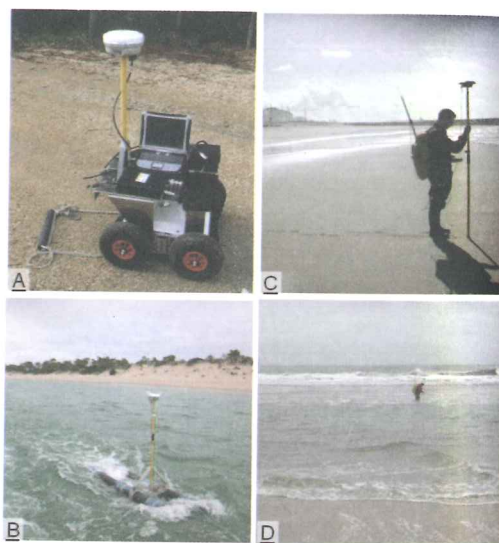


Figura 1 – Caracterização do registo sedimentar utilizando métodos geofísicos como o georadar (A) e sísmica de reflexão de alta resolução (B) e monitorização da morfologia de praia, utilizando GPS para realizar levantamentos topográficos com precisão centimétrica (C,D)

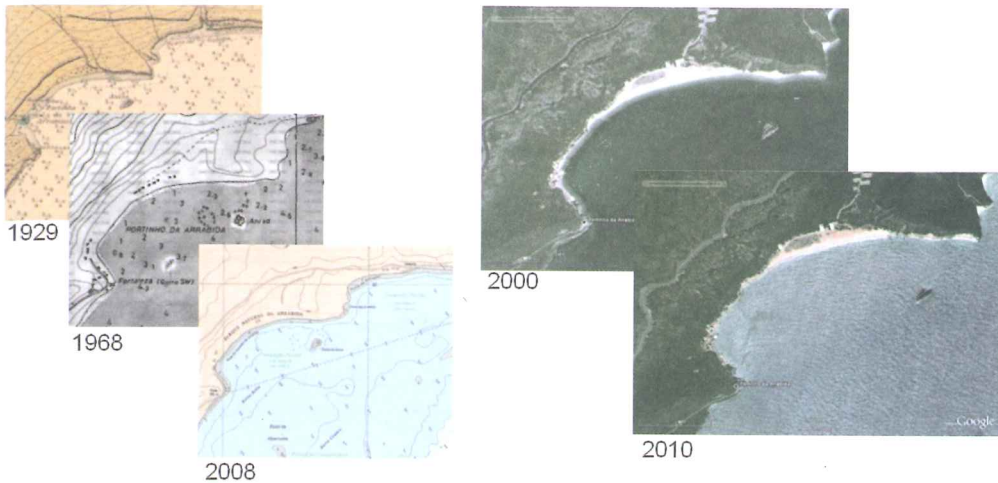


Figura 2 – Exemplos de excertos de cartas batimétricas (à esquerda) e de fotografias aéreas (à direita) históricas. A análise comparativa de elementos iconográficos deste tipo permite avaliar qualitativamente e quantitativamente a evolução morfológica da costa. (Fotografias retiradas do Google Earth, cartas do Instituto Hidrográfico e TV Ciência on-line. Carta de 1929 retirada da Net em 23 de Agosto de 2011 do site: <http://www.tvciencia.pt/tvccat/pagcat/tvccat02.asp?varcota=CDI-2821-1929&zoom=1>).

## 2. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

As principais unidades morfoestruturais que enquadram as praias da Arrábida são a Serra da Arrábida, a plataforma continental e o estuário do Sado (Figura 3).

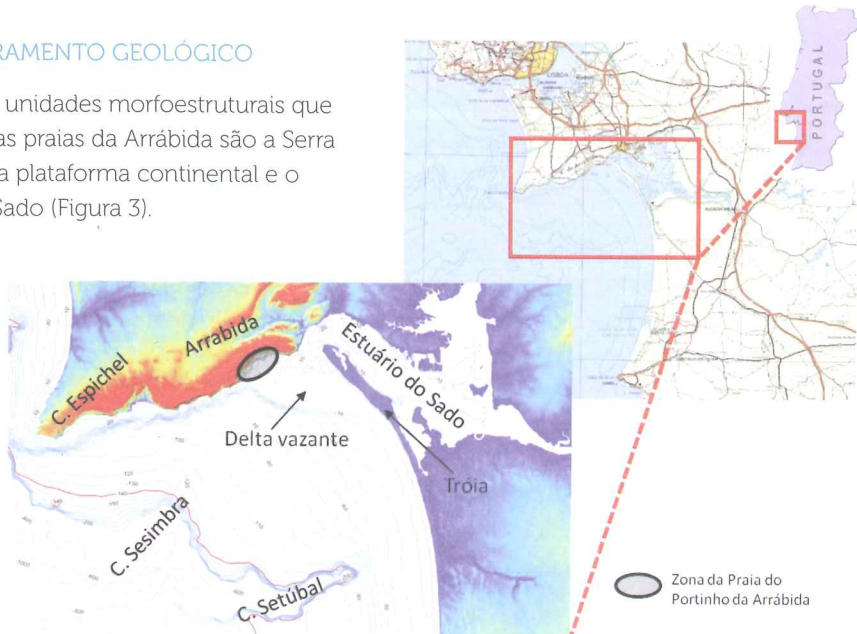


Figura 3 – Localização da área da Praia do Portinho da Arrábida e das principais unidades morfoestruturais que a enquadram (Figura adaptada de Brito, 2011)



## 2.1 Serra da Arrábida

A serra da Arrábida localiza-se no bordo Sul da península de Setúbal e forma um relevo que se estende por mais de 30 km segundo a direção ENE-WSW, prolongando-se na plataforma continental a Oeste do Cabo Espichel, e atingindo o seu ponto mais alto no Formosinho com 501 m de altitude. O seu limite ocidental é definido pela falha de Setúbal-Pinhal Novo, enquanto o seu limite meridional se associa a uma falha muito inclinada de direção aproximadamente E-W a ENE-WSW que, embora ainda não tenha sido confirmada diretamente, se deverá localizar na plataforma continental e é usualmente referida como a Falha da Arrábida (Figura 4).

Do ponto de vista litológico a serra da Arrábida é formada por séries de rochas carbonatadas e detríticas de idade mesozoica (e.g. calcário, margas, dolomitos, arenitos conglomerados, brechas e argilitos). Durante o Miocénico esta sequência sedimentar foi dobrada, tendo sido afetada por dois principais impulsos de deformação (21,8 a 16,6 e 8 a 6,5 milhões de anos) que modelaram a estrutura da serra (Kullberg *et al.*, 2000). Estruturalmente, a serra da Arrábida corresponde a um empilhamento de cavalgamentos<sup>1</sup> que compõem um anticlinal<sup>2</sup> assimétrico com um flanco Norte longo e um flanco Sul curto (Figura 5).

Os afloramentos de rochas consolidadas na área do portinho da Arrábida incluem rochas carbonatadas e detríticas do

Jurássico superior e depósitos de vertente do Quaternário (Figura 6). Os níveis detríticos não consolidados mais recentes correspondem a uma camada de cascalheira rolada sobre o qual assenta o prisma arenoso da praia, cujo recente decréscimo de volume subaéreo constitui fonte de preocupação.

## 2.2 Plataforma continental

A praia do Portinho da Arrábida insere-se num troço da plataforma continental que morfológicamente é limitado a Norte pelo Cabo Espichel e a Sul pelo Canhão de Setúbal (Figura 7). Este troço da plataforma continental tem uma largura notavelmente reduzida (Vanney e Mougenot, 1981), variando a sua largura entre um máximo de cerca de 20 km ao largo da Comporta, e valores mínimos de 2,5 km a 6 km na cabeceira do canhão de Setúbal e ao largo do cabo Espichel, respetivamente. O declive médio da plataforma é cerca de 0,4°, o que pode ser considerado um declive elevado. Localmente a plataforma atinge declives ainda mais elevados. É o que se verifica, nas áreas correspondentes ao lobo frontal do delta de vazante do estuário do Sado e aos elementos morfológicos da plataforma que se destacam na Figura 7, a saber: os canhões de Sesimbra e Setúbal (1.1, 1.2), três quebras de declive da plataforma (2.1, 2.2, 2.3) e a rampa de declive elevado ao longo do bordo Sul da península de Setúbal (3), cujo limite NE desaparece sob as areias do delta de vazante do Sado.

<sup>1</sup> Cavalgamento é uma falha inversa (falha em que o bloco acima do plano de falha sobe relativamente ao outro) muito pouco inclinada

<sup>2</sup> Anticlinal é uma dobra cujos flancos mergulham em sentidos opostos, tal como o telhado de uma casa.

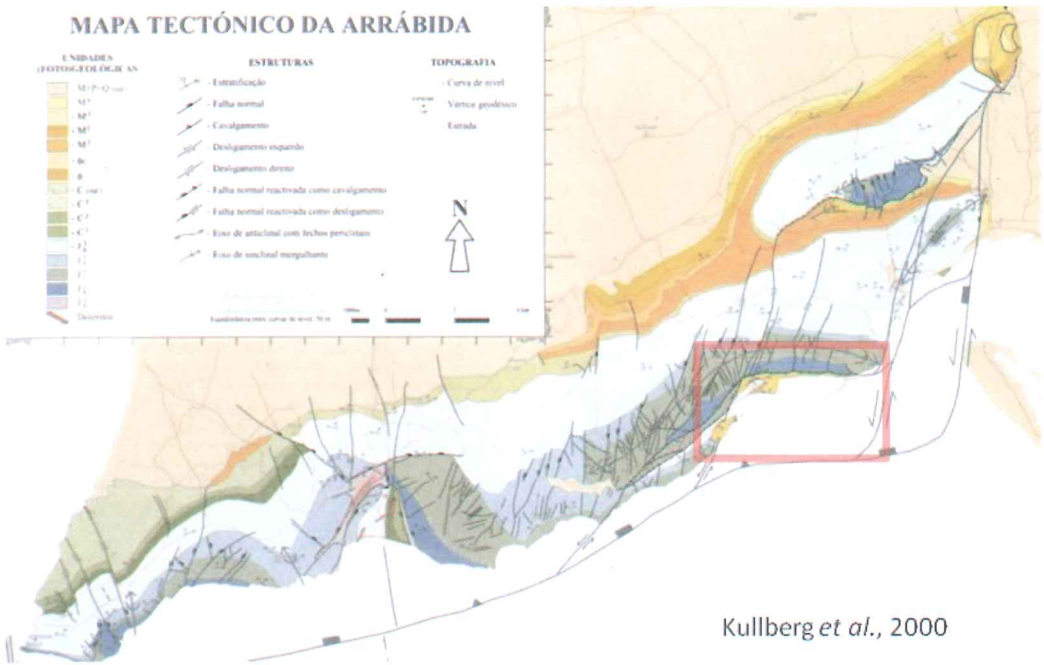


Figura 4 – Mapa tectónico da Arrábida. A área delimitada a vermelho corresponde à zona representada na Figura 6. (Figura adaptada de Kullberg *et al.*, 2000)

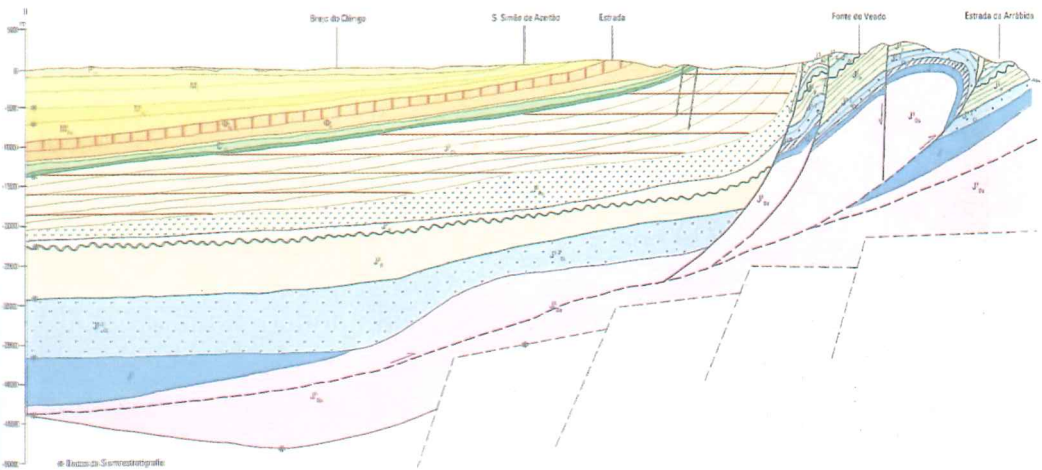


Figura 5 – Corte geológico esquemático N-S da estrutura da Arrábida (Figura adaptada de carta geológica à escala 1:50 000, folha nº34-B, Setúbal, publicada pelo Instituto Geológico e Mineiro em 1994)

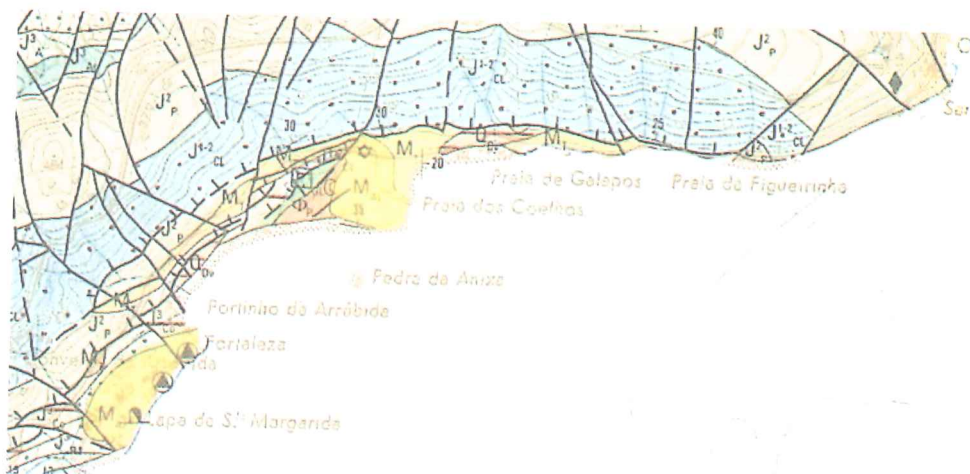


Figura 6 – Litologias representadas na zona da Praia do Portinho da Arrábida: Qdv - Quaternário, depósitos de vertente; Maz - Miocénico Med., argilitos e margas; \* - Paleogénico, conglomerados, arenitos e margas; C1 - Cretácico Inf., calcários, grés e argilas; J3 - Jurássico. Para enquadramento da área representada consultar Figura 4. (Excerto da carta geológica à escala 1:50 000, folha nº34-B, Setúbal, publicada pelo Instituto Geológico e Mineiro em 1994)

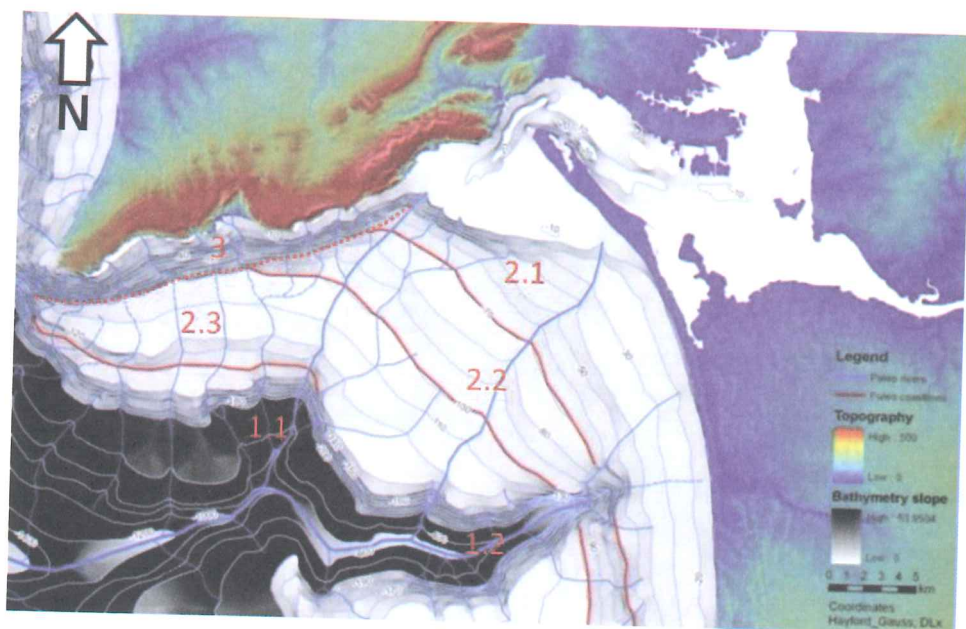


Figura 7 – Principais elementos morfológicos da plataforma ao longo do estuário do Sado. Canhões de Sesimbra (1.1) e de Setúbal (1.2). Quebras de declive da plataforma aos 40-70 m (2.1), aos 80-100 m (2.2) e aos 120-140 m (2.3) e rampa com declive elevado ao largo da península de Setúbal (3) cujo extremo NE é coberto pelo delta de vazante do Sado (Figura adaptada de Brito, 2011)



A cobertura sedimentar superficial da plataforma continental na área da praia do Portinho da Arrábida é dominada pelas areias do delta de vazante do estuário do Sado. Para além destas areias litoclásticas de calibre médio a grosseiro, ocorrem ainda níveis de cascalheira e afloramentos rochosos (Figura 8). A Pedra

da Anixa constitui o afloramento rochoso mais proeminente na área. No entanto, existem outros afloramentos, alguns dos quais submersos, bem como plataformas rochosas a cerca de 6 a 7 m abaixo do nível médio do mar que poderão corresponder a antigas plataformas de abrasão marinha (Erlides *et al.*, 1992).

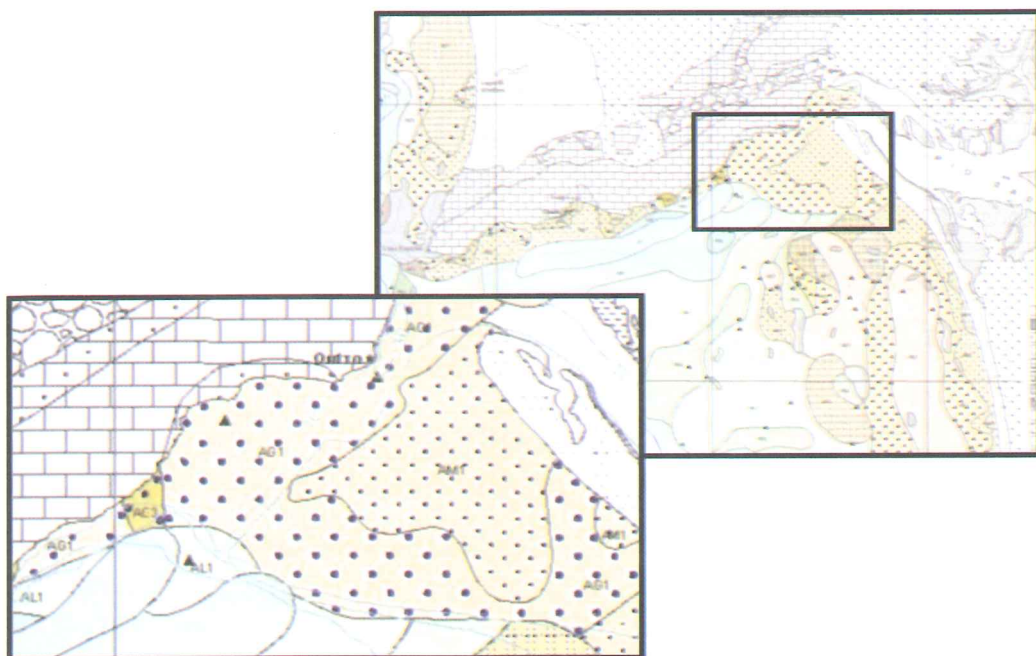


Figura 8 – Tipos de sedimentos superficiais da plataforma continental na área da praia do Portinho da Arrábida. Legenda: AG1 – Areia litoclástica grosseira; AM1 – Areia litoclástica média; AC1 – Areia cascalheira; AL1 – Areia litolodosa; Triângulos pretos e manchas cinzentas – Afloramento rochoso. (Excerto da folha 5 da carta de sedimentos superficiais da plataforma continental, publicada pelo Instituto Hidrográfico em 2005.)

### 2.3. Estuário do Sado

O estuário do Sado é a estrutura morfológica mais marcante deste sector de costa, sendo a sua relevância na circulação hidrodinâmica e transporte sedimentar na área equiparável ao papel desempenhado pela agitação marítima.

A praia do Portinho da Arrábida situa-se no delta de vazante do estuário do Sado. Pelo que, o transporte e redistribuição dos sedimentos desta praia são indissociáveis da dinâmica sedimentar estuarina e, em particular, da dinâmica sedimentar do delta de vazante (Figura 9). O delta de vazante

do Sado é um corpo sedimentar de forma grosseiramente triangular, instalado frente à embocadura do estuário e que se enraíza no lado oceânico da península de Tróia (Figura 10). Este corpo sedimentar tem um volume estimado de  $\sim 960 \times 10^6 \text{ m}^3$  e desenvolve-se numa superfície relativamente aplanada à cota -5 m (superfície de espalho) com cerca de  $47 \text{ km}^2$  ( $\sim 7 \times 12 \text{ km}$ ) (Brito *et al.*, 2006). Esta superfície termina abruptamente para o lado do mar numa vertente (lobo frontal do delta) onde se atingem inclinações na ordem dos  $3^\circ$  e que desce rapidamente até à cota base de -40 m. O delta é cortado por um canal (canal principal de vazante) que individualiza duas margens acentuadamente assimétricas do delta. A margem Sul é a maior e a única que tem um canal marginal de enchente bem desenvolvido (Figura 11). As correntes residuais, responsáveis pelo transporte sedimentar resultante, são dominadas por vórtices anticiclónico e ciclónicos nas margens Sul e Norte, respetivamente. A ausência de um canal marginal de enchente bem desenvolvido na margem Norte do delta, faz com que o trajeto da circulação sedimentar não esteja bem definido (Figura 12).

### 2.3.1. Evolução recente da morfologia do delta de vazante do Sado

Análises da evolução recente da morfologia dos fundos do estuário do Sado, feitas através da comparação de mapas batimétricos históricos (Andrade *et al.*, 2006; Brito, 2009; Quevauviller, 1985), mostram que enquanto no domínio interno do estuário

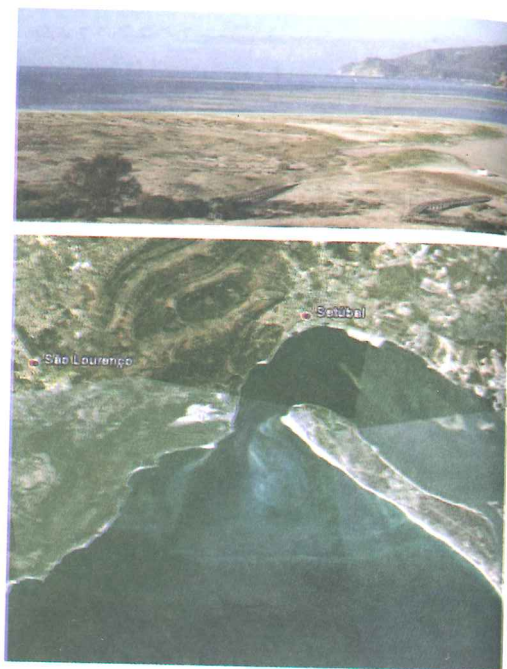


Figura 9 – Aspectos do delta de vazante do estuário do Sado. Painel superior: Vista oblíqua da área emergente do delta durante a baixa-mar. Painel inferior: Vista aérea do delta (imagem do Google Earth)

(bacia estuarina) existe uma tendência geral resultante no sentido da acumulação de sedimentos; no domínio externo (delta de vazante) existe uma alternância entre períodos em que domina a acumulação de sedimentos (1968-1979) e períodos em que domina a erosão (1979-2002). Esta alternância é atribuída essencialmente ao avanço ou recuo do lobo frontal do delta.

Estima-se que o resultado líquido destas alternâncias entre períodos de erosão ou de acumulação de sedimentos tenha sido uma redução de cerca de 14% do volume total

<sup>3</sup> O prisma de maré é o volume de água trocado entre o estuário e o mar durante um ciclo de maré. Ou seja, corresponde à diferença do volume de água contido na bacia estuarina entre a preia-mar e a baixa-mar.



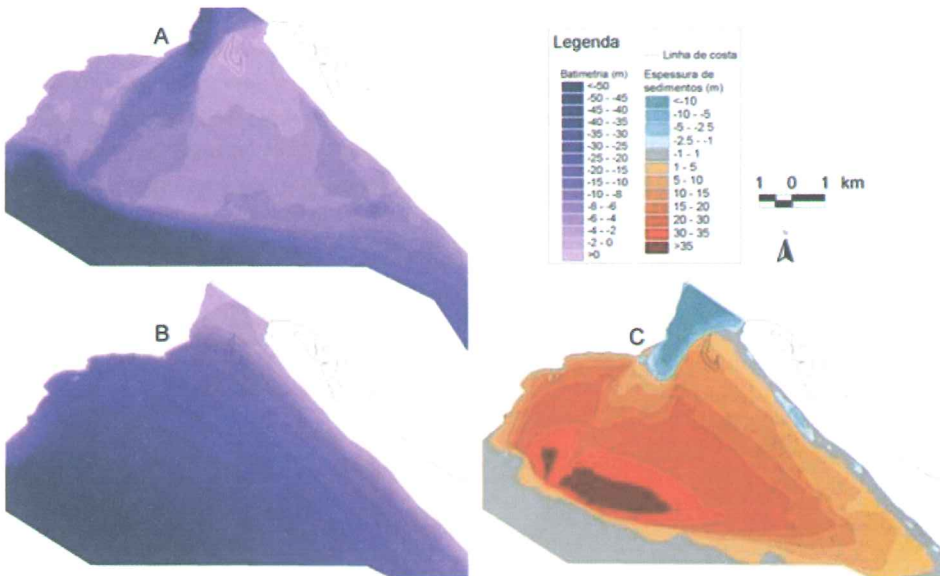


Figura 10 – Modelo do delta de vazante do estuário do Sado, onde se representa a espessura de sedimentos do corpo do delta (C) estimada por subtração da superfície batimétrica do delta em 2002 (A) e de uma superfície inferida da batimetria sem delta (B). (Figura adaptada de Brito, 2011)

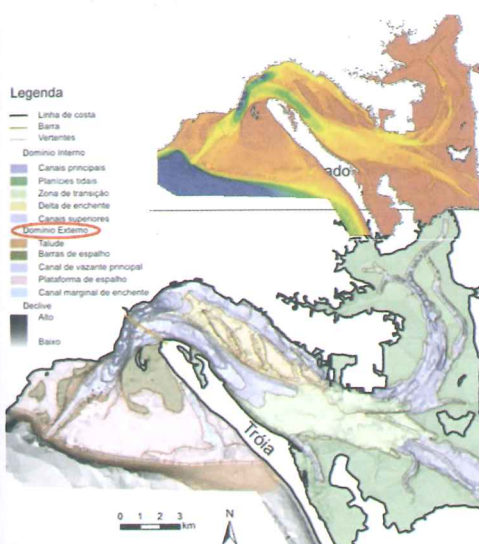


Figura 11 – Batimetria e domínios morfosedimentares do estuário do Sado. (Figura adaptada de Brito, 2011)

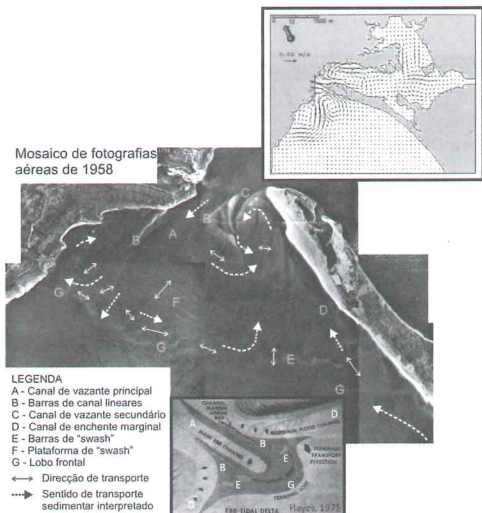


Figura 12 – Identificação dos principais elementos morfológicos do delta de vazante do Sado, segundo a nomenclatura proposta por Hayes (1975), e interpretação da circulação sedimentar a partir das formas de leito e da modelação das correntes residuais proposta por Martins *et al* (2001). (Figura adaptada de Brito, 2011, Hayes 1975 e Martins 2001)

do delta entre 1930 e 2002. Essa redução é essencialmente uma consequência da redução do prisma de maré do estuário<sup>3</sup> que se tem vindo a fazer sentir consistentemente pelo menos desde 1930 (Figura 14).

No entanto, poderão também contribuir para o efeito outros fatores que podem

ser relevantes para a dinâmica sedimentar na área da praia do Portinho da Arrábida. Nomeadamente, alterações da morfologia do delta associadas à formação de barras de espalho que se vão deslocando sobre a superfície do delta até, eventualmente, acabarem por se ligar a terra.

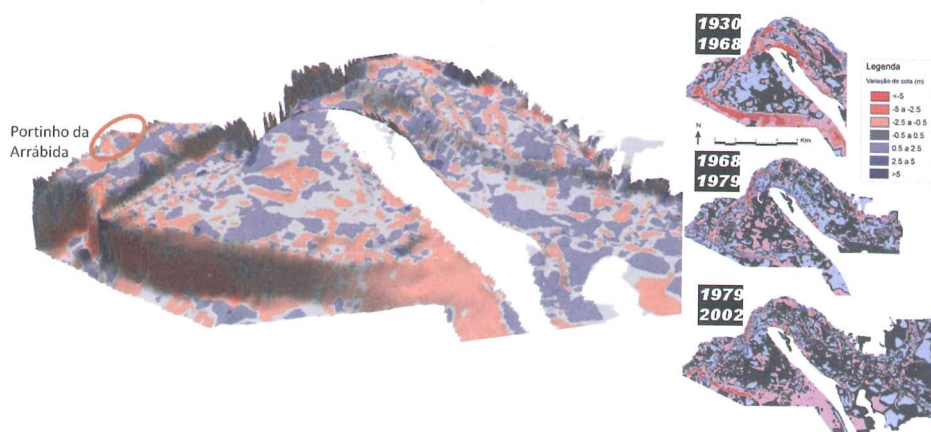


Figura 13 – Variação de cota do fundo estuarino estimada por comparação de mapas batimétricos editados em 1930, 1968, 1979 e 2002. (Figura adaptada de Brito, 2010)

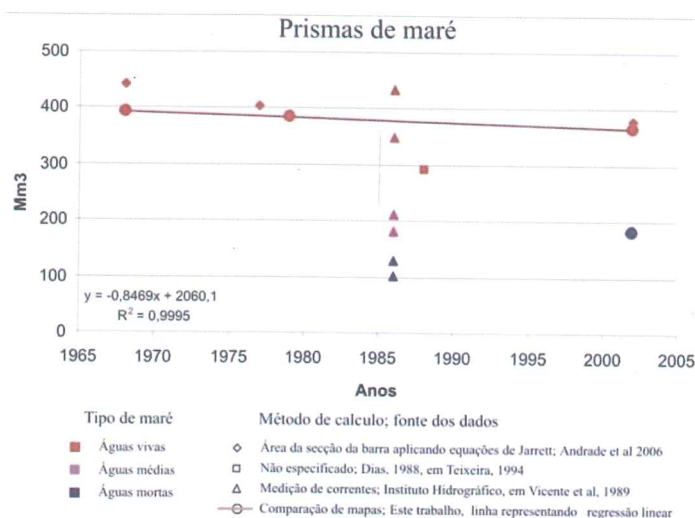


Figura 14 – Estimativa da redução do prisma de maré. (Figura adaptada de Brito, 2011)

### 2.3.2. Características particulares da praia do Portinho da Arrábida

A localização e o enquadramento morfoestrutural da praia do Portinho da Arrábida conferem-lhe características particulares que importa destacar.

A praia do portinho da Arrábida é uma praia de enseada, voltada a Sul e integralmente ancorada em afloramentos rochosos. Devido a este enquadramento, a praia está protegida da ondulação de NW, que é a predominante nesta costa. A praia é apenas afetada pela ondulação que se aproxima de Sul que é ainda atenuada pelos baixos fundos do delta de vazante do Sado e pela presença da pedra da Anixa. Note-se que esta capacidade do

delta de atenuar a ondulação que chega à praia, pode mudar de acordo com as alterações morfológicas que tipicamente os deltas de maré sofrem e que podem ter periodicidades muito variáveis.

A natureza “encaixada” das praias de enseada, faz com que a formação e evolução morfológica destas praias sejam geralmente muito condicionadas pela estrutura geológica envolvente. No caso da praia do Portinho da Arrábida, o controle estrutural parece ser também o responsável pelas diferentes características que os sectores SW e NE da praia apresentam (Figura 15). Na metade SW da praia a zona supramareal é praticamente inexistente, destacando-se este sector por ter uma plataforma larga em que inclusivamente

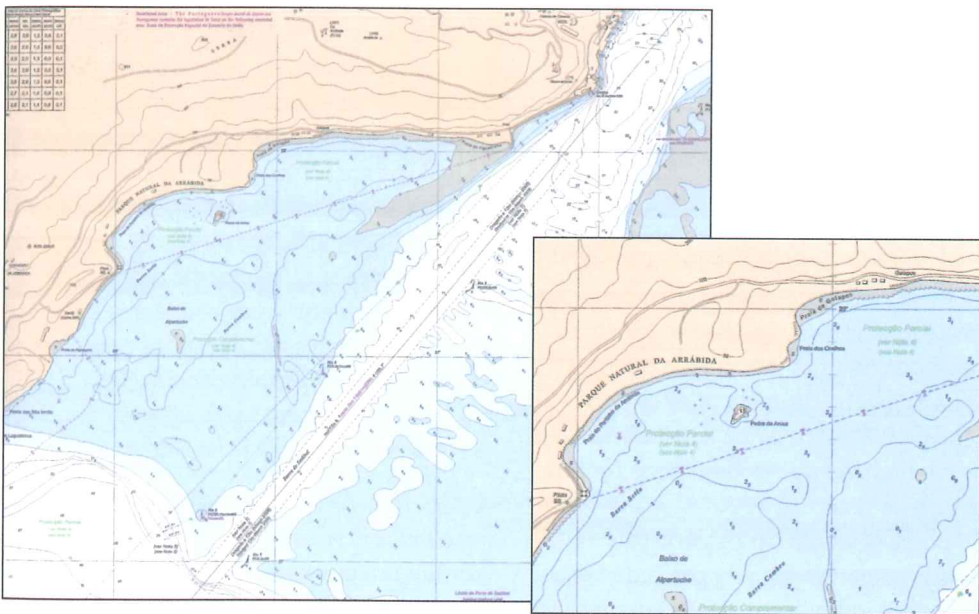


Figura 15 – Excerto de carta batimétrica com linha tracejada a vermelho separando duas áreas da praia do Portinha da Arrábida com diferentes características estruturais. (Excerto da carta batimétrica à escala 1:25 000, publicada pelo Instituto Hidrográfico (folha 26308, editada em 2008)).



a linha batimétrica dos 2 m se estende para o largo do ponto de ancoragem da praia a SW. Do ponto de vista litológico esta área da praia é enquadrada essencialmente por depósitos quaternários, alguns afloramentos de rochas mesozoicas e não apresenta quaisquer dunas. O sector NE da praia tem uma orientação mais rodada no sentido horário e exhibe uma plataforma mais estreita, que apenas se encontra bem desenvolvida na área que envolve a pedra da Anixa. Este sector é enquadrado por rochas mesozoicas e tem um areal mais largo, onde existem dunas baixas e parcialmente vegetadas, que se desenvolvem paralelamente à costa ao longo de um estreito corredor.

### 3. PROCESSOS QUE PODEM CONTRIBUIR PARA A ALTERAÇÃO DO PERFIL DE PRAIA

A evolução da posição da linha de costa (e consequentemente do perfil de praia, nas costas arenosas) pode ser encarada como o resultado da relação estabelecida entre a taxa de variação do nível médio do mar relativo e a taxa de sedimentação efetiva (Curry, 1964). Neste sentido, pode-se considerar que o clima e a tectónica são os dois principais mecanismos naturais que condicionam a posição da linha de costa. A estes dois mecanismos, acresce ainda a influência que a intervenção do Homem pode ter nos processos naturais.

Não é possível identificar os principais processos responsáveis pela perda de areia da praia do Portinho da Arrábida sem realizar um estudo de pormenor desse sector costeiro. No entanto, numa primeira fase é possível levantar algumas hipóteses que,

ainda que especulativas, podem ajudar a definir as linhas de investigação a seguir, e que no decorrer do estudo poderão vir a ser comprovadas ou falseadas. Nesse sentido, propõem-se 3 mecanismos que eventualmente poderão contribuir para a perda de sedimentos sentida nas praias, a saber:

- 1) Subida do nível médio do mar;
- 2) Perda de sedimento da praia para além da zona de transferência normal; eventualmente com interferência de resalto morfológico acima da profundidade de fecho do perfil de praia que dificulta o reposicionamento da areia na praia subaérea;
- 3) Influência da dinâmica sedimentar do delta de vazante quer por a) diminuição na transferência de sedimento do delta para a praia relacionada com o decréscimo de volume do delta e/ou o processo de realimentação da margem norte do delta, ou b) alteração dos fluxos sedimentares como consequência direta das variações morfológicas auto-cíclicas do delta de vazante ou como consequência da alteração que estas variações conferem ao padrão de refração da ondulação.

#### 3.1. Alteração do nível médio do mar relativo

De acordo com a série de dados instrumentais recolhidos no marégrafo de Cascais, a costa portuguesa tem estado sujeita a uma subida do nível médio do mar nos últimos 100 anos que se avalia em cerca de 2 mm por ano (Antunes e Taborda, 2009) (Figura 16). Se esta subida do nível médio do mar

não for compensada por um aumento da disponibilidade sedimentar, o perfil de praia modifica-se, podendo ter dois comportamentos: 1) reajuste do perfil por reposicionamento de sedimentos que são retirados da zona superior e colocados na zona inferior do perfil; e/ou 2) retrogradação (ou rollover) do perfil, ou seja, deslocação de todo o perfil de praia na direção de terra (Cowell *et al.*, 2003).

O enquadramento morfológico da praia do Portinho da Arrábida faz com que esta não tenha espaço disponível para recuar, pelo que a sua capacidade de retrogradação (ou

rollover) é muito reduzida. Neste sentido, é expectável que face a uma subida do nível médio do mar o perfil da praia esteja a ser reajustado transferindo-se sedimento da sua zona superior, onde se inclui a zona de praia emersa, para as zonas mais profundas do perfil. A confirmação de que este processo de reajuste do perfil de praia está efetivamente a acontecer e a avaliação de quão significativa é a transferência de sedimento que eventualmente esteja a ocorrer, são questões em aberto e às quais só será possível responder após a realização de um estudo detalhado.

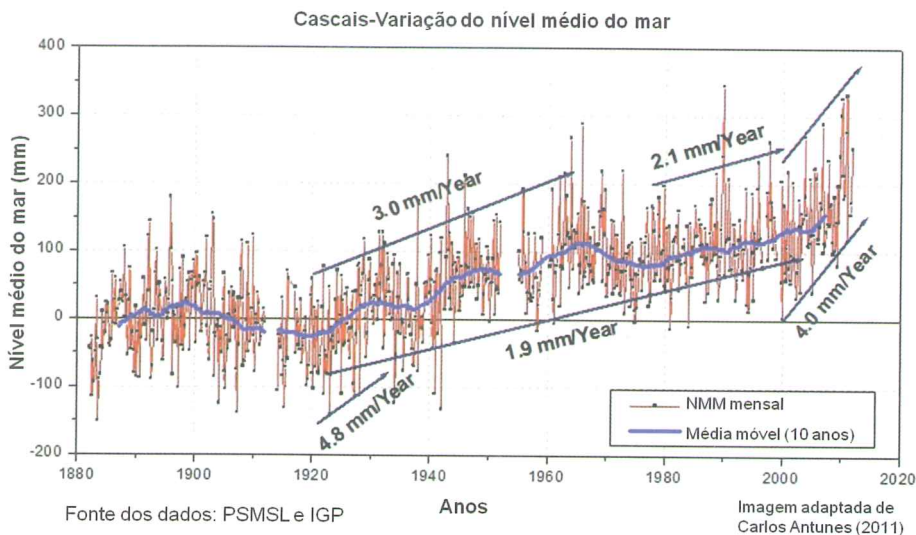


Figura 16 – Gráfico ilustrando a variação do nível médio do mar de acordo com o marégrafo de Cascais. (Figura adaptada de Antunes 2011. Imagem retirada em 13/03/2012 da página: [http://webpages.fc.ul.pt/~cmantunes/hidrografia/NMM\\_Cascais.JPG](http://webpages.fc.ul.pt/~cmantunes/hidrografia/NMM_Cascais.JPG).)

### 3.2. Migração da areia para além da profundidade de fecho usual

#### 3.2.1. Período de recorrência da profundidade de fecho

A profundidade de fecho de um perfil de praia pode ser definida como a mais baixa profundidade para além da qual não existem alterações significativas da elevação do fundo, nem trocas significativas de sedimento entre o litoral próximo e o largo (Kraus, 1999 em Morang e Birkemeier, 2005). A capacidade de transporte de sedimentos depende, entre outros aspetos, das condições de agitação marítima vigentes. Como o padrão de variação da agitação

praia que numa primeira análise podem parecer anormalmente elevadas, poderão eventualmente ser variações normais quando se associam a uma profundidade de fecho do perfil de praia com um maior período de recorrência.

#### 3.2.2. Degrau morfológico do perfil de praia acima da profundidade de fecho

Quando uma praia é assolada por uma tempestade, é expectável que o perfil de praia seja rapidamente reajustado, através da deslocação de um volume de areia da zona superior para a zona inferior do perfil. Quando se restabelecem as condições de agitação marítima normais, esse mesmo

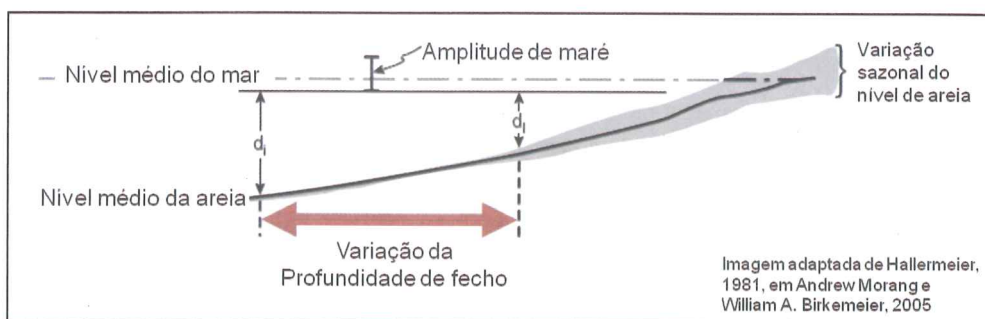


Figura 17 – Esquema ilustrando a variabilidade da profundidade de fecho do perfil de praia.

marítima ao longo do tempo é complexo, o conceito de profundidade de fecho deve estar associado a uma escala temporal. Pode-se portanto definir (quer por métodos empíricos ou por medições recorrentes) diferentes profundidades de fecho de acordo com o período de recorrência (escala temporal) considerado para determinada ondulação (Figura 17). Neste sentido, variações observadas no perfil de

volume de areia deverá ser progressivamente repostado novamente na zona superior do perfil, retomando-se assim o perfil de praia inicial que está em equilíbrio com o regime hidrodinâmico local para essa época. Um fator que pode interferir com esta movimentação transversal de sedimento prende-se com a existência de quebras de declive (e.g. socacos rochosos) no fundo do mar, acima da profundidade de fecho.



Assim, a areia que durante um evento de alta energia é transportada para cotas abaixo dessa descontinuidade, poderá não conseguir transpor essa mesma descontinuidade para, como seria de esperar, voltar à zona superior do perfil de praia quando se retomam as condições hidrodinâmicas normais.

Eventualmente esta poderá ser outra hipótese para as alterações ocorridas recentemente na praia do Portinho da Arrábida. Com efeito, a morfologia conhecida da zona submersa do perfil desta praia sugere que, pelo menos em algumas zonas, exista uma plataforma rochosa que termina para o largo num ressalto (degrau). Se esse degrau se situar a uma cota acima da profundidade de fecho do perfil de praia, é possível que durante as tempestades seja retirada areia da zona superior (emersa) do perfil de praia e que, ao ser colocada abaixo desse degrau morfológico, essa areia perca a capacidade de vir a ser novamente recolocada na zona superior do perfil de praia após a tempestade.

### 3.3. Influência da dinâmica sedimentar do delta de vazante

O delta de vazante do estuário do Sado (Figura 9 e Figura 10) é a estrutura sedimentar mais relevante deste sector da plataforma continental. Essa relevância advém não só do grande volume de sedimentos acumulados no delta, como também, da sua influência na morfologia de fundo e consequentemente na circulação hidrodinâmica deste sector costeiro.

Dado que a praia do Portinho da Arrábida se insere no delta de vazante do Sado, é

expectável que a dinâmica sedimentar desta praia seja fortemente influenciada pelas alterações volumétricas e morfológicas que tipicamente ocorrem num delta deste tipo.

#### 3.3.1. Redução da alimentação sedimentar

Dois mecanismos que poderão contribuir para uma eventual redução da alimentação sedimentar da praia do Portinho da Arrábida são:

- a) A redução do volume total de sedimentos acumulados no delta de vazante, que se estima em cerca de 14% de 1930 a 2002 (Brito, 2009); e que resulta da redução do prisma de maré do estuário;
- b) A redução, ou mesmo corte, da alimentação sedimentar da margem Norte do delta, que poderá resultar da fixação do canal de vazante principal (canal da barra) na sua posição atual, impedindo a realimentação da margem Norte através de mecanismos de transferência do canal que, eventualmente, terão funcionado no passado (Figura 18).

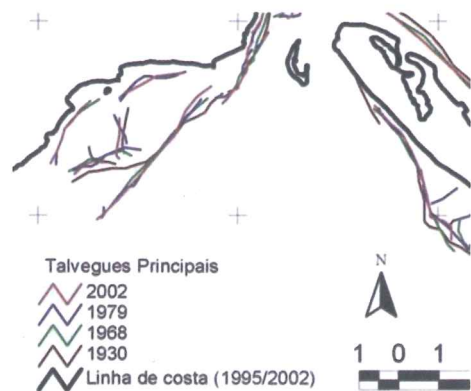


Figura 18 - Esquema Ilustrando a divagação das linhas de talvegue principais de 1930 a 2002. (Figura adaptada de Brito, 2010)

### 3.3.2. Alterações morfológicas da superfície do delta

Os deltas de vazante são estruturas dinâmicas que estão constantemente a sofrer alterações morfológicas auto-cíclicas, mesmo quando não existem alterações dos mecanismos forçadores externos. Por vezes, as alterações morfológicas deste tipo de deltas ocorrem em contra-fase com a linha de costa, ocorrendo erosão num lado enquanto no outro existe acumulação. A ciclicidade destes mecanismos de autorregulação pode ser mais longa (7-42 anos) ou mais curta (4-7 anos), de acordo com o tipo de processos envolvidos nas alterações morfológicas,

nomeadamente a divagação de canais ou a formação e migração de barras de espalho, respetivamente (Fitzgerald, 1984).

As alterações morfológicas do delta de vazante do estuário do Sado (Figura 19) podem contribuir para as alterações sentidas no volume de areia da praia do Portinho da Arrábida por 2 vias. 1) Por consequência direta dos fluxos de sedimento associadas às alterações morfológicas auto-cíclicas típicas deste tipo de deltas; ou 2) indiretamente já que as alterações morfológicas do delta podem induzir modificações no padrão de refração da ondulação que, por sua vez, podem alterar os fluxos de transporte sedimentar.

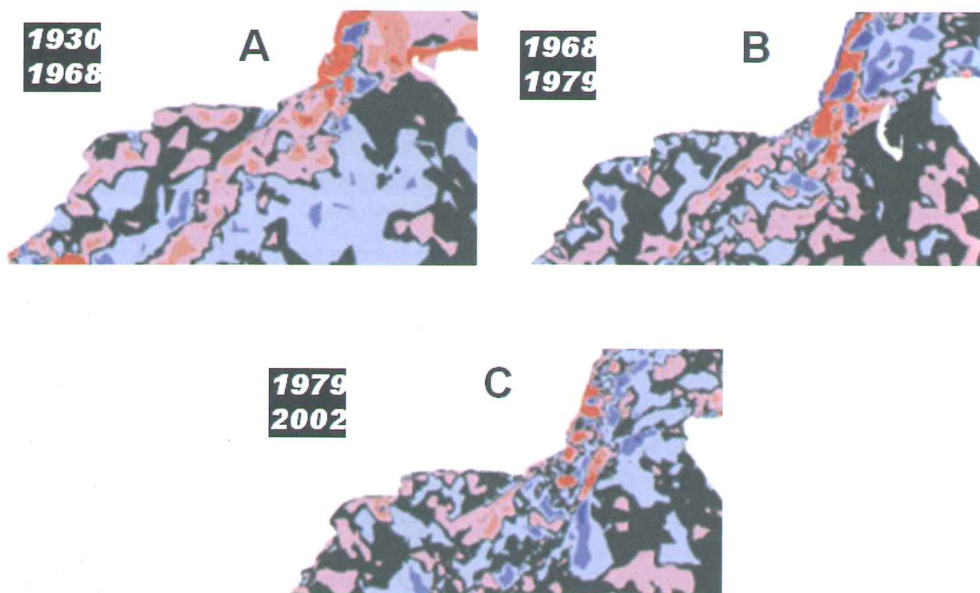


Figura 19 – Alterações morfológicas da superfície do delta de vazante do estuário do Sado estimadas por comparação de mapas batimétricos de 1930-1968 (A), 1968-1979 (B) e 1979-2002 (C). (Figura adaptada de Brito, 2010).

#### 4. CONCLUSÕES

Graças ao seu enquadramento morfológico, a praia do Portinho da Arrábida está muito protegida da agitação marítima, tratando-se portanto de uma praia de baixa energia. No entanto, as particularidades do seu enquadramento morfoestrutural, conferem-lhe uma singularidade que dificulta a caracterização e modulação da sua dinâmica sedimentar. Consequentemente, o esclarecimento das causas que conduzem à perda de areia que tem sido reportada nesta praia é um problema complexo.

Como primeiras hipóteses de trabalho, são propostos 3 processos teóricos que poderão contribuir para a perda de areia sentida. 1) Subida do nível médio do mar, 2) variabilidade de longo período de recorrência do perfil de praia; eventualmente com interferência de ressalto morfológico acima da profundidade de fecho do perfil de praia que dificulta o reposicionamento da areia na praia subaérea; e finalmente 3) influência da dinâmica sedimentar do delta de vazante quer por a) redução da alimentação sedimentar, relacionada com o decréscimo de volume do delta e/ou o processo de realimentação da margem norte do delta ou b) alteração dos fluxos sedimentares

como consequência direta das variações morfológicas auto-cíclicas do delta de vazante ou como consequência da alteração que estas variações podem provocar no padrão de refração da ondulação. Urge fazer um estudo de pormenor deste troço costeiro que permita caracterizar os padrões locais da dinâmica sedimentar e possa consubstanciar eventuais intervenções para mitigar os seus efeitos considerados nefastos.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos colegas Susana Costas, Marco Ferraz e Silvia Nave, do Grupo de Geologia Costeira da Unidade de Geologia Marinha do LNEG, I.P., pela contribuição que deram para este trabalho. Quer através de diversas frutíferas conversas que tivemos sobre este tema, quer pelas revisões que fizeram do texto, sugerindo pertinentes alterações e eliminando inúmeras gralhas.

Gostaria ainda de agradecer pela possibilidade de utilização e adaptação de mapas e imagens publicados e ou disponibilizados na internet por Carlos Antunes, Câmara Municipal de Sesimbra, Instituto Hidrográfico e TV Ciência on-line.

#### 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrade, C., Freitas, M.C., Brito, P., Amorim, A., Barata, A. e Cabaço, G., 2006. Estudo de caso da região do Sado, zonas costeiras. In: F.D. Santos e P. Miranda (Editors), Alterações Climáticas em Portugal Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação, Projecto SIAM II. Gradiva, Lisboa, pp. 506.

Antunes, C. e Taborda, R., 2009. Sea Level at Cascais Tide Gauge: Data, Analysis and Results. Journal of Coastal Research, SI 56(ICS2009 (proceedings)): 218-222.

Antunes, C., 2007. Previsão de Marés dos Portos Principais de Portugal. FCUL Webpage, [http://webpages.fc.ul.pt/~cmantunes/hidrografia/hidro\\_mares.html](http://webpages.fc.ul.pt/~cmantunes/hidrografia/hidro_mares.html), (consultada a 13/03/2012).



- Brito, P., 2009. Impactos da elevação do nível médio do mar em ambientes costeiros: O caso do estuário do Sado. Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa, Lisboa, 344 pp.
- Brito, P., 2011. Evolução do estuário do Sado e da plataforma continental entre Sesimbra e o canhão de Setúbal nos últimos cerca de 50 000 anos. Câmara Municipal de Sesimbra, Sesimbra.
- Brito, P., Andrade, C., Terrinha, P., Rebelo, L., Monteiro, J.H. e Freitas, M.D.C., 2006. Variação da morfologia e volumetria do delta de vazante do estuário do Sado. In: F. Rocha, D. Terroso e A. Santos (Editors), 5º Simpósio sobre a Margem Ibérica Atlântica. Universidade de Aveiro, Aveiro, pp. 33-34.
- Cowell, P.J., Stive, M.J.F., Niedoroda, A.W., de Vriend, H.J., Swift, D.J.P., Kaminsky, G.M. e Capobianco, M., 2003. The coastal-tract (part 1): A conceptual approach to aggregated modeling of low-order coastal change. *Journal of Coastal Research*, 19(4): 812-827.
- Curray, J.R., 1964. Transgressions and regressions. In: R.L. Miller (Editor), *Papers in Marine Geology Shepard Commemorative Volume*. The Macmillan Company, New York, pp. 175-203.
- Erlides, E., Regnauld, H., Dias, J.A., Pereira, A.R., Gouéry, P., Kuzucuoglu, C. e Ferreira, Ó., 1992. Decouvert d'un niveau submerge le long de la chaine de l' Arrabida, Portugal. *Finisterra*, 53-54: 183-186.
- Fitzgerald, D.M., 1984. Interactions between the Ebb-tidal delta and the landward shoreline: Prince inlet, South Carolina. *Journal of Sedimentary Petrology*, 54(4): 1303-1318.
- Kullberg, M.C., Kullberg, J.C. e Terrinha, P., 2000. Tectónica da cadeia da Arrábida. *Memórias de Geociências*, Museu Nacional de História Natural Universidade de Lisboa, 2 - Tectónica das regiões de Sintra e Arrábida: 35-84.
- Martins, F.A., Leitão, P.C., Silva, A. e Neves, R.J., 2001. 3D modelling in the Sado estuary using a new generic vertical discretization approach. *Oceanologica Acta*, 24: S51-S62.
- Morang, A. e Birkemeier, W.A., 2005. Depth of closure on sandy coasts. In: M.L. Schwartz (Editor), *Encyclopedia of Coastal Science*. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer Netherlands, pp. 474-377.
- Quevauviller, P., 1985. Estuário do Sado - Costa da Galé análise geomorfológica e estudo de alguns aspectos sedimentológicos, Direcção Geral do Ordenamento.
- Teixeira, S.B., 1990. Dinâmica das praias da Península de Setúbal (Portugal). Tese de Mestrado, Universidade de Lisboa, Lisboa, 198 pp.
- Vanney, J.-R. e Mougenot, D., 1981. La plate-forme continentale du Portugal et les provinces adjacentes: Analyse geomorphologique. *Memórias dos Serviços Geológicos de Portugal*, 28.