

## Evolução do sistema Bugio-Caparica entre 1980 e 2018

Portela, L. I. (1)

(1) Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), lportela@lnec.pt.

**Resumo:** Procede-se à comparação de levantamentos topo-hidrográficos à escala decenal (1980-2018) com o objetivo de contribuir para a interpretação da evolução morfológica do sistema Bugio-Caparica e para o esclarecimento do destino das areias utilizadas na alimentação das praias da Caparica. No banco do Bugio, entre 1982 e 2018, observa-se um fluxo sedimentar dirigido de sul para norte, com perda de ca.  $15 \times 10^6 \text{ m}^3$  a sul do paralelo Bugio-Cova do Vapor e acumulação de ca.  $10 \times 10^6 \text{ m}^3$  a norte. Porém, na zona da Caparica, entre 2001 e 2018, a tendência observada é de acumulação. Identifica-se, neste período, uma área de acumulação sedimentar parcialmente no exterior da célula de monitorização, com cotas da ordem de -4 a -2 m ZH, no bordo meridional do banco do Bugio, que poderá estar associada quer às alimentações artificiais realizadas na Caparica, quer a alterações morfológicas ocorridas na envolvente da Cova do Vapor.

**Palavras-chave:** levantamentos hidrográficos, embocadura, praias, transporte sedimentar.

### 1. INTRODUÇÃO

As praias da Costa da Caparica constituem um trecho crítico da costa portuguesa, onde, desde 2007, tem sido posta em prática uma estratégia de proteção baseada na realização de intervenções de alimentação artificial (Pinto *et al.*, 2018). Tendo-se verificado que parte do volume de areia depositado nas praias da Caparica pode abandonar a chamada “célula de monitorização” (com ca.  $4,3 \text{ km}^2$ ), foi reconhecida a conveniência de, para analisar o desempenho das intervenções, estender a monitorização da evolução morfológica ao Cachopo Sul/banco do Bugio, senão mesmo à totalidade da embocadura do estuário do Tejo (Pinto *et al.*, 2014).

O processo erosivo na Costa da Caparica remonta a meados do século passado e deve ser inserido no quadro mais amplo da evolução da embocadura e, em particular, do enfraquecimento e deslocamento para norte do banco do Bugio e do rápido recuo da restinga arenosa que então enraizava na Cova do Vapor (Oliveira, 1992). Dada a sua contiguidade, não é de surpreender a possibilidade de ocorrerem trocas sedimentares entre as praias da Caparica e as formas submersas da embocadura, conforme se refere em Pinto *et al.* (2014).

A análise da evolução do sistema Bugio-Caparica apresentada neste trabalho tem como objetivo principal contribuir para a identificação do destino das areias depositadas nas praias da Caparica desde 2007. Atendendo à escassez de levantamentos da embocadura adjacentes à Caparica no período das primeiras intervenções de alimentação artificial (2007-2014), a análise é realizada a uma escala temporal mais dilatada (desde 1980-1982) do que as efetuadas anteriormente à escala local da “célula de monitorização” (Pinto *et al.*, 2014).

### 2. METODOLOGIA

Foram comparados os seguintes levantamentos topo-hidrográficos da embocadura: 1982, realizado pelo Instituto Hidrográfico (IH), digitalizado no LNEC a partir de suporte papel; 2000 (completado por outro, de 1999, da “Golada do Bugio”), também do IH e cedido pelo Porto de Lisboa; e 2018, realizado no âmbito do Programa COSMO (Figura 1).

Utilizou-se o programa Surfer para criar malhas com passo espacial de 10 m, numa área comum definida principalmente pelo levantamento mais antigo (1982). Consideraram-se quatro sectores com vértice central no Forte do Bugio ( $38,6604^\circ\text{N}$ ;  $9,2989^\circ\text{W}$ ), coincidentes com as pranchetas de 1982: (A) noroeste ( $4,70 \text{ km}^2$ ); (B) nordeste ( $8,45 \text{ km}^2$ ); (C) sudeste ( $12,58 \text{ km}^2$ ); e (D) sudoeste ( $6,93 \text{ km}^2$ ). Estes sectores cobrem uma área total de  $32,66 \text{ km}^2$ , apresentando cotas em 2018 entre +13 e -39 m ZH. O sector C será objeto de maior atenção, devido à sua proximidade das praias da Caparica.

Dado que os levantamentos mais antigos tendem a apresentar uma cobertura pouco pormenorizada das praias, foi também efetuada uma comparação do levantamento COSMO de 2018 com levantamentos específicos da Costa da Caparica de: 1980, da Direção-Geral de Portos; e 2001, do IH. Neste caso, foram criadas malhas com passo espacial de 5 m. Na área comum local ( $3,23 \text{ km}^2$ ), as cotas em 2018 variam entre +13 e -10 m ZH.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Zona do Bugio (sectores A, B, C e D)

Apresenta-se na Figura 2 a distribuição das áreas de erosão e sedimentação na zona circundante do Bugio.

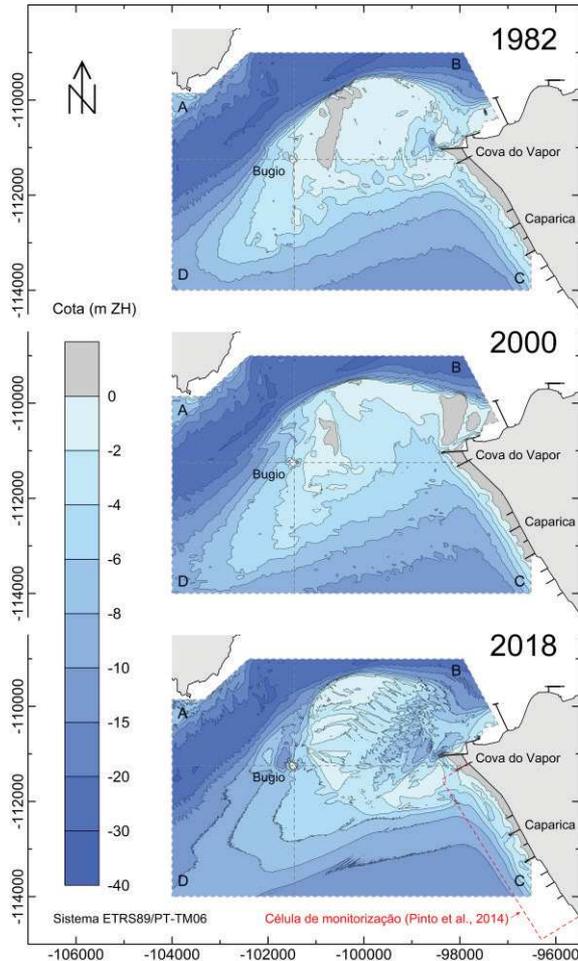


Fig. 1. Levantamentos topo-hidrográficos da zona do Bugio, na embocadura do Tejo, de 1982, 2000 e 2018.

Devido ao intervalo de 36 anos entre os levantamentos de 1982 e 2018, a evolução nesse período, muito complexa, encontra-se filtrada, resumindo-se no essencial a uma continuação das tendências, registadas há várias décadas (Oliveira, 1992; Barata *et al.*, 2013), de aprofundamento do Cachopo Sul/banco do Bugio e de acumulação sedimentar no talude norte desse banco. Os resultados apresentam imperfeições (*e.g.* em 1982-2000, nos sectores A e D, observa-se um padrão circular com centro no Bugio, que reflete a disposição radial das sondas do levantamento de 1982), mas sem implicações relevantes.

Sobre a questão de saber para onde se estão a deslocar as areias das alimentações artificiais das praias da Caparica, a comparação dos levantamentos de 1982 e 2018 revela uma área de acumulação no bordo sul do banco do Bugio, a cerca de 1500 m do sector norte da praia de S. João da Caparica, que merece especial atenção. Analisando apenas o período 2000-2018, o volume acumulado nessa área é claramente mais elevado, o que se afigura compatível com o facto de as alimentações de praia se terem iniciado apenas em 2007. Porém, a interpretação da evolução neste período é complicada pela alteração ocorrida em

torno da extremidade do esporão EV2, na Cova do Vapor. Com efeito, em 2000 tinha-se formado um banco acima do ZH a norte do esporão EV2, em resultado da migração da parte emersa do banco do Bugio para nascente. Em 2018, assiste-se na mesma área ao aprofundamento do canal da Golada, podendo, assim, a acumulação no bordo sul do banco do Bugio ter sido promovida, não apenas pelas intervenções nas praias da Caparica, a sul, mas também por um eventual transporte sedimentar a partir de norte do esporão EV2.

Entre 1982 e 2018, foi estimada uma perda sedimentar de ca.  $15 \times 10^6 \text{ m}^3$  a sul de um paralelo que passa pelo Bugio e pela Cova do Vapor (sectores C e D) e uma acumulação de ca.  $10 \times 10^6 \text{ m}^3$  a norte (sectores A e B; Tabela I). Estes resultados sugerem uma perda total de ca.  $5 \times 10^6 \text{ m}^3$ , mas esta perda, correspondente a uma variação de cota média de  $-0,15 \text{ m}$ , estará dentro do limite de incerteza admissível (*cf.* margem de erro de  $0,30 \text{ m}$  assumida por Pinto *et al.*, 2014). O que não parece oferecer dúvidas, neste período, é a persistência de um fluxo sedimentar dirigido de sul para norte.

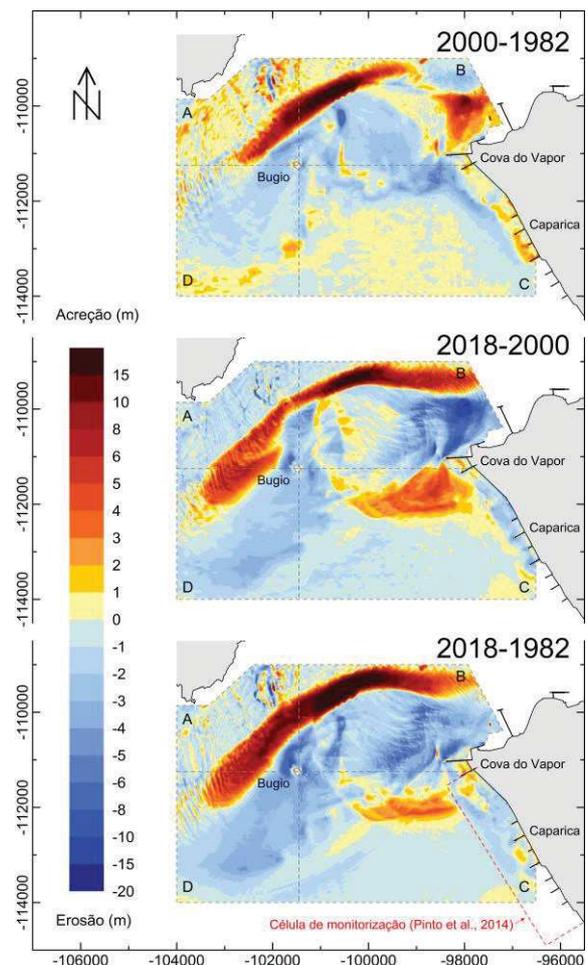


Fig. 2. Comparação de levantamentos topo-hidrográficos da zona do Bugio: 2000-1982; 2018-2000; 2018-1982.

Porém, analisando separadamente os períodos 1982-2000 e 2000-2018, verifica-se que a evolução volumétrica foi muito distinta, sugerindo um abrandamento do transporte sedimentar de sul para norte e a sua limitação aos sectores a poente, do primeiro período para o segundo (Tabela I). Parece também poder concluir-se, dos resultados obtidos, que a área de comparação de levantamentos considerada, embora superior à de outros estudos sobre a evolução da zona do Bugio e Golada (Barata *et al.*, 2013; Freire *et al.*, 2018), é ainda insuficiente para uma completa interpretação da dinâmica do Cachopo Sul/banco do Bugio.

### 3.2. Sector Bugio-Caparica (sector C)

Uma análise mais detalhada do sector C (12,58 km<sup>2</sup>), adjacente a parte das praias da Caparica, indica que o volume de acreção bruto estimado entre 2000 e 2018 (6,2 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>; Tabela II) é superior ao volume das intervenções de alimentação artificial (3,5 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>; Pinto *et al.*, 2014). Este resultado reforça a hipótese de que, nesse período, a acumulação sedimentar a sudoeste dos esporões da Cova do Vapor envolva também material proveniente de NNE. No período anterior (1982-2000), a evolução em relação à extremidade do esporão EV2 tinha tido um padrão simétrico, isto é, acumulação a NNE e erosão a SSW (Figura 2). Verifica-se também que, no período completo entre 1982 e 2018, embora o saldo no sector C seja claramente de erosão, o volume de acreção bruto (3,1 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>; Tabela II) tem uma magnitude comparável ao das alimentações artificiais na Caparica. A área de acumulação, razoavelmente bem delimitada, apresenta em 2018 cotas típicas da ordem de -4 a -2 m ZH (Figura 3).

Para uma avaliação complementar da fiabilidade dos resultados, procedeu-se, na zona da Caparica, à comparação de levantamentos locais de 1980 e 2001 com o levantamento de 2018. Embora os resultados obtidos com os levantamentos de 1980 e 1982 apresentem pequenas diferenças, a distribuição das áreas de maior acumulação no sector norte da praia de S. João da Caparica é concordante (Figura 3a). No caso dos levantamentos de 2000 e 2001, em que o primeiro apresenta uma cobertura menos completa da faixa de rebentação, verifica-se também muito boa concordância (Figura 3b). Assim, os levantamentos locais confirmam os resultados obtidos com os levantamentos gerais relativamente à configuração da acumulação sedimentar na proximidade do sector norte da praia de S. João da Caparica e no limite sul do banco do Bugio.

Considerando apenas a zona da Caparica (3,23 km<sup>2</sup>), a evolução volumétrica nos períodos 1980-2001 e 2001-2018, determinada com base nos levantamentos locais, é distinta, verificando-se quase neutralidade entre volumes acumulados e erodidos em 1980-2001 e acumulação sedimentar em 2001-2018 (Tabela III). Os resultados sugerem que parte do volume das alimentações artificiais permanece, em 2018, na zona

da Caparica, distribuído de forma heterogénea, mas que parte significativa a terá abandonado para o banco do Bugio. Os valores em concreto indicados devem ser encarados com prudência. Note-se que a área considerada tem limites diferentes da “célula de monitorização” de Pinto *et al.* (2014), e que o período de análise é também diferente.

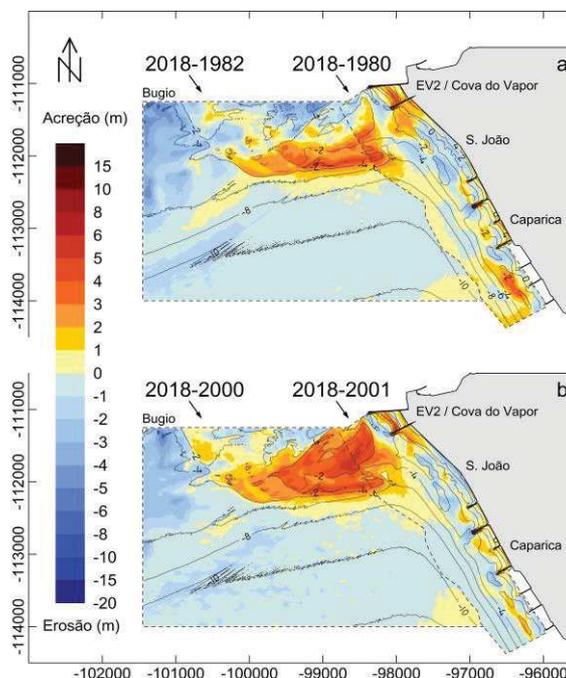


Fig. 3. Comparação de levantamentos topo-hidrográficos do sector C e, em plano superior, da Caparica, com sobreposição das batimétricas do levantamento COSMO de 2018: a) 2018-1982 (na Caparica, 2018-1980); b) 2018-2000 (na Caparica, 2018-2001).

Tabela I. Variação volumétrica por sector.

	Variação de volume (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )				
	A	B	C	D	Total
2000-1982	+5,2	+7,2	-5,0	-3,5	+3,8
2018-2000	+0,5	-2,5	-1,2	-5,7	-8,9
2018-1982	+5,6	+4,7	-6,3	-9,1	-5,1

Tabela II. Pormenorização da variação volumétrica no sector C.

	Área (km <sup>2</sup> )	Volume (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )		
		Acreção	Erosão	Soma
2000-1982	12,58	+2,1	-7,1	-5,0
2018-2000		+6,2	-7,4	-1,2
2018-1982		+3,1	-9,4	-6,3

Tabela III. Variação volumétrica na Caparica.

	Área (km <sup>2</sup> )	Volume (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )		
		Acreção	Erosão	Soma
2001-1980	3,23	+1,6	-1,5	+0,2
2018-2001		+2,4	-1,0	+1,4
2018-1980		+2,5	-0,9	+1,6

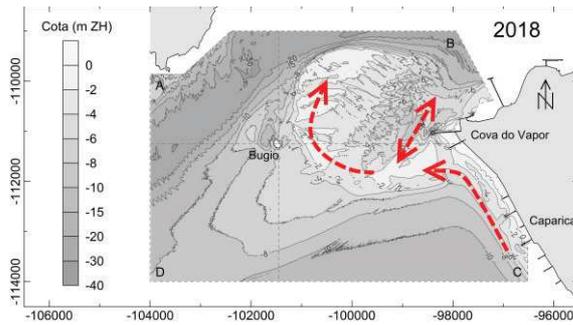


Fig. 4. Possíveis fluxos sedimentares associados à área de acumulação no bordo sul do banco do Bugio.

### 3.3. Fluxos sedimentares

Aparentemente, após as intervenções de alimentação artificial, verificar-se-á uma tendência de transporte de sul para norte das areias depositadas, com acumulação no sector norte da praia de S. João da Caparica e eventual perda para NW, para a área identificada (Figura 4). Por outro lado, entre 2000 e 2018, o enraizamento submerso do banco do Bugio na Cova do Vapor tendeu a deslocar-se de norte para sul do esporão EV2, o que poderá explicar ganhos da “célula de monitorização” atribuídos a fontes externas (Pinto *et al.*, 2014); não é de excluir que, noutros períodos, as alterações na vizinhança do esporão EV2 tenham efeito contrário. A acumulação sedimentar no sector C em 2000-2018 refletirá, assim, as intervenções de alimentação artificial e uma possível fonte sedimentar com origem a norte do esporão EV2. As batimétricas -4 a -2 m ZH sugerem que as formas de fundo associadas à área de acumulação se desloquem gradualmente para W-NW. À semelhança do que tem sido observado noutros sistemas (Ludka *et al.*, 2018), os fluxos sedimentares inter-anuais nas fronteiras da “célula de monitorização” poderão ter importância comparável aos volumes das intervenções.

## 4. CONCLUSÕES

O destino final das areias utilizadas nas intervenções de alimentação artificial das praias da Caparica tem suscitado algumas dúvidas. Estudos de balanço realizados na “célula de monitorização” indicam que a maior parte do volume das alimentações tem permanecido nessa célula (Pinto *et al.*, 2014). No presente estudo, na comparação de levantamentos de 1982-2018 e 2000-2018 a mais larga escala, foi identificada uma área de acumulação parcialmente exterior à célula, no bordo sul do banco do Bugio, a SW dos esporões da Cova do Vapor. Os elementos analisados sugerem que esta área de acumulação, com cotas da ordem de -4 a -2 m ZH, possa estar associada quer às alimentações artificiais realizadas na Caparica, quer a alterações morfológicas ocorridas a norte e a sul do esporão EV2.

A acumulação sedimentar registada nos últimos anos na proximidade do sector norte de S. João da Caparica, nomeadamente na praia imersa, é um

desenvolvimento local favorável à estabilidade das praias da Caparica, em particular da de S. João. Porém, podendo essa acumulação não ter origem exclusivamente nas intervenções de alimentação artificial, a evolução futura das praias é difícil de prever. Neste contexto, o prosseguimento da realização de intervenções de alimentação artificial, associado a um programa mais completo de monitorização do sistema, afigura-se uma estratégia prudente.

## Agradecimentos

O autor agradece à Agência Portuguesa do Ambiente a autorização para publicar este estudo e à Administração do Porto de Lisboa (APL) e à Direção-Geral dos Recursos Naturais, Segurança e Serviços Marítimos (DGRM) os levantamentos hidrográficos disponibilizados. O levantamento de 2018 foi obtido no âmbito do Programa de Monitorização da Faixa Costeira de Portugal Continental (COSMO) da Agência Portuguesa do Ambiente, cofinanciado pelo Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos (POSEUR).

## REFERÊNCIAS

- Barata, A., Rosa, T., Cabaço, J., Teles, M., Andrade, C.F., Silveira, T. (2013). Evolução morfodinâmica da região das Barras do Tejo. Estudo do litoral na área de intervenção da APA I.P./ARH do Tejo. Entregável 1.2.3.f., junho 2013, 34 pp. Relatório da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Freire, P., Portela, L.I., Fortunato, A.B. (2018). Assoreamento do cais da SILOPOR na Trafaria. Caracterização da situação atual. Relatório 269/2018-DHA/NEC, LNEC, Lisboa.
- Ludka, B.C., Guza, R.T., O'Reilly, W.C. (2018). Nourishment evolution and impacts at four southern California beaches: A sand volume analysis. *Coastal Engineering*, 136, 96-105.
- Oliveira, I.B.M. (1992). Port of Lisbon: improvement of the access conditions through the Tagus estuary entrance. In: *Proc. of the 23rd International Conference on Coastal Engineering (ICCE 1992)*, pp. 2745-2757.
- Pinto, C.A., Taborda, R., Silveira, T. (2014). Alimentação artificial das praias da Costa da Caparica. Síntese dos resultados de monitorização (2007 a 2014). Contributo para o Grupo de Trabalho do Litoral (Anexo VI), pp. 218-242.
- Pinto, C.A., Silveira, T.M., Teixeira, S.B. (2018). Alimentação artificial de praias na faixa costeira de Portugal continental: Enquadramento e retrospectiva das intervenções realizadas (1950-2017). Relatório técnico. Agência Portuguesa do Ambiente, 60 p.