

Dinâmica sedimentar e evolução a longo prazo do porto da Praia, ilha de Santiago, Cabo Verde

L. I. Portela (1)

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

Resumo: Os processos de evolução costeira em Cabo Verde, resultantes de fatores naturais e de atividades humanas, são ainda pouco conhecidos. Analisa-se neste trabalho a evolução morfológica da baía do porto da Praia, na ilha de Santiago, com base em levantamentos hidrográficos de 1882 a 2016, fotografia aérea, imagens de satélite e cartografia histórica. Recorre-se também à modelação matemática de processos hidrodinâmicos e morfodinâmicos, considerando a interação ondas-correntes, para interpretar as condições locais. Os elementos analisados sugerem uma tendência de acumulação sedimentar, com uma taxa média de avanço da praia, a longo prazo, da ordem de 1 m/ano. Estima-se que o caudal sólido transportado episodicamente pelas ribeiras afluentes seja uma fonte sedimentar importante. Embora a recente expansão do porto tenha diminuído a influência da ação das ondas, as condições mais favoráveis à remobilização e à circulação sedimentar no interior da baía permanecem associadas aos períodos de agitação marítima mais energética.

Palavras-chave: acreção, Cabo Verde, cartografia hidrográfica, modelação, morfodinâmica.

1. INTRODUÇÃO

O porto da Praia, na ilha de Santiago, é um dos principais portos de Cabo Verde. Situa-se numa baía limitada a W pelo promontório da ponta Temerosa e a E pela ponta das Bicudas. O centro histórico da cidade da Praia assenta num planalto, a N, e o ilhéu de Santa Maria ocupa parte da baía, a W.

O porto foi objeto de obras de ampliação em 2012-2013, que envolveram o prolongamento do molhe-cais em 230 m e a dragagem de uma bacia de manobra, com diâmetro de 400 m, a -13,5 m. O prolongamento do molhe-cais introduziu um novo confinamento da baía, a E.

Os sistemas costeiros insulares estão sujeitos a processos de evolução, dependentes de múltiplos fatores (Ramalho *et al.*, 2013).

O presente trabalho pretende contribuir para a análise da evolução da baía do porto da Praia. Para isso, combina duas abordagens: a comparação de cartas, levantamentos hidrográficos e imagens aéreas, visando a identificação de tendências de evolução; e a modelação numérica de processos hidrodinâmicos e morfodinâmicos, com o objetivo de apoiar a identificação dos principais forçamentos e a explicação dessas tendências.

2. ÁREA DE ESTUDO

A baía da Praia é um ambiente microtidal. A maré é do tipo semidiurno, com amplitudes médias de 1,1 m em águas vivas e 0,5 m em águas mortas. O ZH situa-se 0,8 m abaixo do nível médio (IH, 2017).

Os ventos alísios, de NE, são predominantes, com a velocidade média do vento a variar entre 6,5 m/s em fevereiro e 3,5 m/s em agosto.

A corrente das Canárias, dirigida para SW, apresenta velocidades de 0,10-0,15 m/s (Zhou *et al.*, 2000), infletindo para W ao atingir a latitude de Cabo Verde (15°N).

A agitação marítima no exterior da baía tem uma altura significativa média de 0,6 m, podendo atingir 2,5 m. A maioria das ondas provém do sector 90°-112,5°, mas as alturas acima de 1,0 m estão associadas essencialmente ao sector 112,5°-180° (R. Capitão e J. Fortes, LNEC, com. pess.).

A ribeira da Trindade tem uma bacia hidrográfica de apenas 25 km², mas está sujeita a episódios de cheia de ocorrência esporádica (Sabino *et al.*, 1999), com elevado transporte de caudal sólido.

O sedimento de fundo da baía apresenta diâmetros medianos entre 0,15 e 0,80 mm, com aparente preponderância da fração silto-argilosa na zona mais abrigada do porto (BCEOM, 2008).

A praia da Gamboa, no interior da baía, é arenosa. A praia Negra, na foz da ribeira da Trindade, mais exposta, é de cascalho. O ilhéu de Santa Maria e os restantes trechos costeiros são maioritariamente rochosos. Verifica-se uma crescente artificialização da orla costeira.

3. METODOLOGIA

Compararam-se cartas náuticas baseadas em levantamentos de 1882, 1902 e 1946, tendo também sido tida em conta cartografia mais antiga.

Como elementos mais recentes, foram analisados os levantamentos hidrográficos realizados pelo Instituto Hidrográfico em 2004 e 2016, no âmbito do acordo de cooperação entre Portugal e Cabo Verde no domínio da hidrografia e cartografia náutica.

Existindo fotografia aérea desde pelo menos 1957 (C. Mateus, ULisboa-IICT, com. pess.), procedeu-se à comparação de fotografia aérea de 1968 (CIGeoE) e imagens de satélite recentes.

Aplicou-se o sistema de modelação Delft3D (Deltares, 2014, 2015) para a simulação da hidrodinâmica, do transporte sedimentar e da evolução do fundo, por efeito da interação ondas-correntes. Definiu-se uma malha de cálculo principal com passo espacial de 20 m, cuja batimetria se baseia no levantamento de 2004 (incluindo, todavia, o prolongamento do molhe). As simulações foram realizadas considerando o efeito da maré, do vento (3,5-6,5 m/s de NE), do caudal fluvial (0-100 m³/s na ribeira da Trindade) e da agitação marítima (1,0-2,0 m de altura significativa, 8-12 s de período de pico e 90-180° de direção). Para o sedimento, foi considerado um D_{50} de 0,15 mm.

4. RESULTADOS

4.1. Evolução da baía

A comparação de cartas e levantamentos de 1882, 1946, 2004 e 2016, na área comum de $1,1 \times 10^6$ m², com cota média de cerca de -14 m, produziu resultados aparentemente consistentes com uma tendência de acreção moderada (ou de relativa estabilidade). Com efeito, obtiveram-se taxas de sedimentação de: 0,004 m/ano entre 1882 e 1946; 0,014 m/ano entre 1946 e 2004; e -0,012 m/ano entre 2004 e 2016, período durante o qual se verificou a dragagem da bacia de manobra.

Porém, a análise da distribuição espacial das áreas de deposição e de erosão (como a que se apresenta para o período de 70 anos entre 1946 e 2016 na Fig. 1, com um padrão irregular a profundidades apreciáveis) sugere que as taxas de sedimentação obtidas devem ser encaradas com reserva, o que se compreende, tendo em conta a evolução dos processos de aquisição de dados hidrográficos e a menor fiabilidade e densidade de sondagem dos levantamentos mais antigos.

A análise da batimétrica -6 m ZH, que limitará a faixa costeira mais ativa, revela um avanço de cerca de 80 m entre os dados mais antigos (1882 e 1946) e os mais recentes (2004 e 2016; Fig. 2). Este resultado sugere uma possível tendência de acreção frente à praia.

4.2. Evolução da praia

A incerteza associada à evolução da linha de costa é substancialmente menor.

A Fig. 3 apresenta duas imagens aéreas da praia da Gamboa, a sul da cidade alta, de 1968 e 2018, com identificação das linhas de costa (entendidas coincidentes com o limite da água). Neste período de 50 anos, verificou-se um avanço da linha de costa de cerca de 50 m (1 m/ano), estando atualmente toda a extensão da ponte-cais sobre praia emersa.

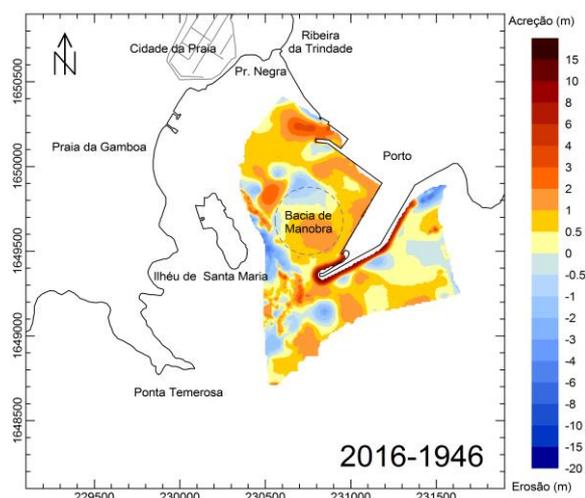


Fig. 1. Comparação de levantamentos hidrográficos: 2016-1946.

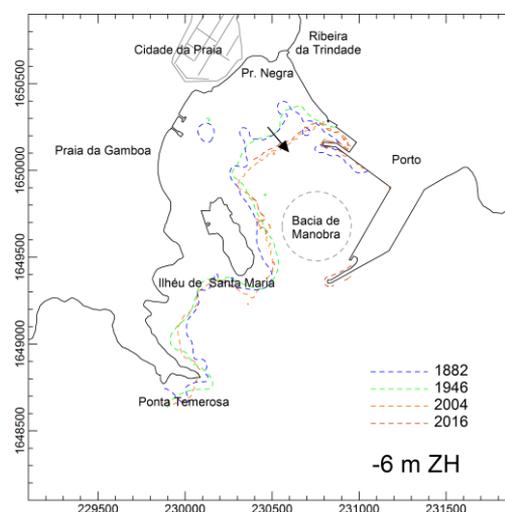


Fig. 2. Comparação da isolinha de batimetria -6 m ZH em levantamentos de 1882, 1946, 2004 e 2016.

Recorrendo a cartografia hidrográfica, é possível estimar a evolução ocorrida para períodos mais longos. Entre 1902 e 2018, estimou-se o avanço máximo em 110 m (Fig. 4), também próximo de uma taxa de evolução de 1 m/ano.

Note-se que diversas estruturas foram substituídas ou reconstituídas ao longo do tempo. Assim, por exemplo, a atual ponte-cais será mais longa do que a ponte-cais de madeira de 1880 (Infante D. Henrique), representada na carta de 1902. O cais próximo do quartel (cais de S. Januário) sofreu também alterações.

4.3. Modelação numérica

A Fig. 5 apresenta uma comparação de campos de velocidades obtidos na simulação de duas situações distintas: (a) sem agitação marítima; e (b) com agitação marítima de SE, com altura significativa de 1,5 m e período de pico de 12 s. Em ambos os casos, foi considerado também forçamento pela maré astronómica e pelo vento (3,5 m/s de NE), mas caudal fluvial nulo.



Fig. 3. Imagens aéreas da praia da Gamboa, a sul do centro histórico da cidade da Praia: **a** 1968 (fonte: CIGeoE); **b** 2018 (fonte: Google Earth). Linhas de costa a traço interrompido.

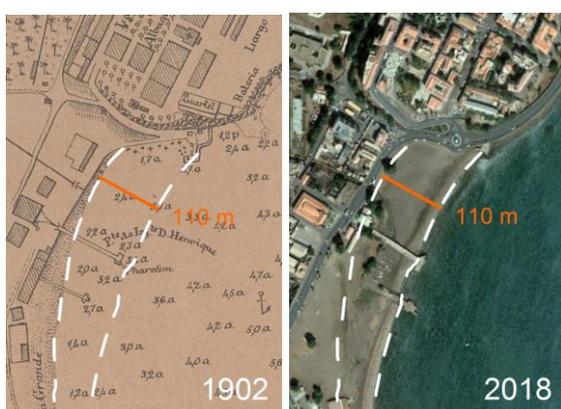


Fig. 4. Extrato de plano hidrográfico e imagem aérea da praia da Gamboa: **a** 1902 (fonte: Comissão de Cartografia, 1907); **b** 2018 (fonte: Google Earth). Linhas de costa a traço interrompido.

As simulações realizadas considerando apenas os efeitos da maré e do vento sugerem velocidades inferiores a 0,1 m/s no interior da baía e um pouco superiores em torno dos promontórios (velocidade máxima de 0,2 m/s; Fig. 5a).

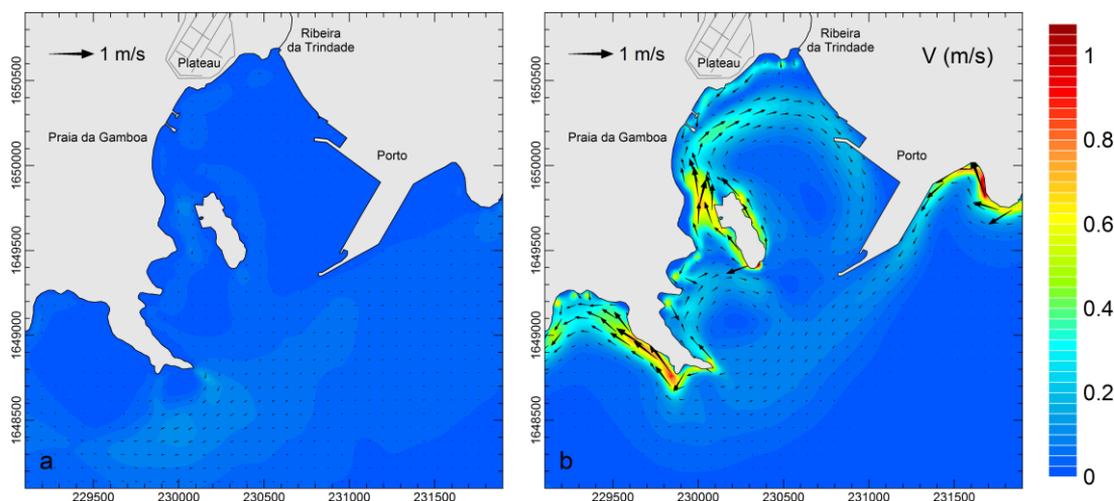


Fig. 5. Campo de velocidades no porto da Praia: **a** Simulação sem agitação marítima, com correntes devidas apenas ao vento (3,5 m/s de NE) e à maré astronómica; **b** Simulação com agitação marítima (altura de onda significativa de 1,5 m, período de pico de 12 s e direção de 135°), vento (3,5 m/s de NE) e maré astronómica.

As correntes obtidas para uma altura de onda significativa de 1,5 m de SE exibem velocidades de cerca de 0,3 m/s, atingindo 0,6 m/s nas áreas de menor profundidade junto do ilhéu de Santa Maria (velocidade máxima de 1,2 m/s; Fig. 5b). As simulações sugerem que a agitação gere na baía uma circulação de sentido horário. Porém, no sector norte da praia da Gamboa, a corrente poderá ser dirigida de NE para SW, o que estaria de acordo com a orientação da vala que nela desagua.

Simulações realizadas incluindo um caudal fluvial elevado indicam um efeito importante, mas, do ponto de vista hidrodinâmico, localizado na foz da ribeira da Trindade.

A simulação do transporte sedimentar indica que este depende essencialmente da ação das ondas, envolvendo áreas de reduzida profundidade. O transporte potencial é elevado na envolvente do ilhéu de Santa Maria e entre este ilhéu e a ponta Temerosa, mas a erosão prevista (Fig. 6) coincide com áreas onde a cobertura sedimentar é já praticamente nula.

5. DISCUSSÃO

A análise da evolução do porto da Praia, com base em levantamentos de 1882 a 2016, sugere uma tendência de acumulação sedimentar. Esta tendência está de acordo com referências anteriores (BCEOM, 2008). Porém, a incerteza associada ao exercício de comparação realizado é elevada. Mesmo entre os levantamentos de 2004 e 2016 ocorreram obras e uma operação de dragagem, que dificultam a análise das tendências de evolução.

Em contrapartida, a malha urbana da cidade alta encontra-se definida desde o último quartel do século XIX, constituindo uma excelente referência para a análise da evolução da praia.

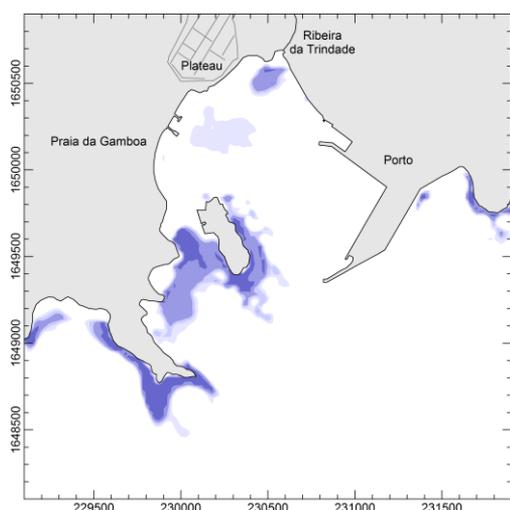


Fig. 6. Áreas de erosão potencial obtidas na simulação com agitação marítima (correspondente à Fig. 5b).

Parece legítimo admitir, a partir de cartografia histórica (por exemplo, de 1788 e ca. 1840), com maior subjetividade, que o avanço da praia observado dê continuidade a um processo que já estaria em curso anteriormente.

A modelação realizada apresenta limitações, decorrentes de alguma escassez de informação de base (por exemplo, medições de velocidades e cartas do sedimento superficial). Por conseguinte, os campos de velocidades calculados não foram objeto de verificação, devendo ser considerados meramente indicativos das condições locais e dos processos mais relevantes. Foi também admitida uma distribuição uniforme, não realista, da cobertura sedimentar do fundo.

Apesar disso, os resultados obtidos, ao indicarem que a agitação marítima será o principal agente mobilizador do sedimento na baía, e que terá também um papel preponderante nos padrões de circulação que se desenvolvem no seu interior, afiguram-se credíveis. Os resultados parecem igualmente suportar a hipótese de que a entrada de sedimento no sistema se faça principalmente através das ribeiras afluentes, em breves episódios de precipitação torrencial, e que parte desse sedimento encontre condições hidrodinâmicas que permitem a sua deposição no interior da baía.

6. CONCLUSÕES

A análise da evolução do porto da Praia, com base em levantamentos de 1882 a 2016, sugere uma tendência de acumulação sedimentar.

A análise da evolução da linha de costa no mesmo período, com base em cartografia e em imagens aéreas, revela uma taxa média de avanço da praia da Gamboa da ordem de 1 m/ano, consistente com essa tendência.

A entrada de sedimento no sistema verificar-se-á principalmente através das ribeiras afluentes, em particular da ribeira da Trindade e da própria vala existente na praia da Gamboa.

Estima-se que a agitação marítima, nos períodos de maior altura de onda de SE e S, seja o principal agente com capacidade para promover a circulação sedimentar no interior da baía. No entanto, parte significativa do material transportado pelas linhas de água durante as cheias encontrará condições que permitem a sua deposição no interior da baía.

A baía do porto da Praia atravessa um período de importantes transformações, marcado pela expansão do porto, concluída em 2013, bem como por outros desenvolvimentos, que poderão influenciar a sua evolução futura.

Agradecimentos

O autor agradece ao Instituto Hidrográfico (IH) a disponibilização, para a realização deste trabalho, dos levantamentos mais recentes.

REFERÊNCIAS

- BCEOM (2008). Second phase of the Port of Praia expansion and modernization project. Environmental impact assessment. Millennium Challenge Account, 559 pp.
- Deltares (2014). Delft3D-FLOW. Simulation of multidimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments. User Manual. Version 3.15.34158. Deltares, Delft.
- Deltares (2015). Delft3D-WAVE. Simulation of short-crested waves with SWAN. User Manual. Version 3.05.34160. Deltares, Delft.
- IH (2017). *Tabelas de Maré 2018, volume 2*. Marinha, Instituto Hidrográfico, Lisboa.
- Ramalho, R.S., Quartau, R., Trenhaile, A.S., Mitchell, N.C., Woodroffe, C.D., Ávila, S.P. (2013). Coastal evolution on volcanic oceanic islands: a complex interplay between volcanism, erosion, sedimentation, sea-level change and biogenic production. *Earth-Science Reviews*, 127, 140-170.
- Sabino, A.A., Querido, A.L., Sousa, M.I. (1999). Flood management in Cape Verde: the case study of Praia. *Urban Water*, 1, 161-166.
- Zhou, M., Paduan, J.D., Niiler, P.P. (2000). Surface currents in the Canary Basin from drifter observations. *Journal of Geophysical Research*, 105(C9), 21893-21911.