

Impacte da dinâmica sedimentar litoral na sedimentação de um porto de pesca

F. S. B. F. Oliveira (1) e P. Freire (1)

(1) Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa. foliveira@lnec.pt.

Resumo: Aplicou-se uma metodologia de avaliação da dinâmica sedimentar de praias para diagnosticar a causa do problema de sedimentação à entrada do porto de Vila Praia de Âncora e interpretar a sua evolução. Esta metodologia baseou-se em monitorização e modelação matemática da dinâmica sedimentar das praias adjacentes a sul (praia de Âncora e praia da Gelfa). A monitorização da zona de estudo durante um período de 5 anos permitiu simular e interpretar, recorrendo a modelos de propagação da agitação marítima, transporte sedimentar, evolução da linha de costa e morfodinâmica, o funcionamento hidro-sedimentar da zona de estudo, durante o período em apreço. As principais conclusões foram: o porto e praias adjacentes a sul constituem uma unidade morfológica, logo, requerem gestão integrada; a agitação marítima induz um padrão de transporte sedimentar acentuadamente sazonal nesta unidade morfológica; a sedimentação à entrada do porto, localizada na zona ativa da praia, é irreversível sem intervenção humana.

Palavras chave: morfodinâmica, sazonalidade, praia, modelação matemática, monitorização

1. INTRODUÇÃO

Em geral, os portos têm problemas de manutenção da profundidade mínima que garanta a segurança da navegação. Intervenções de dragagem são a solução mais frequentemente aplicada para manutenção dessa profundidade em portos com tendência para sedimentação. No entanto, existe outro tipo de soluções, auto-sustentáveis, aplicadas com sucesso. Por exemplo: soluções que contemplam alterações das condições de troca de água dentro do porto, através da implementação de estruturas, cuja configuração afeta as correntes e, assim, induz à redução do transporte sedimentar; e soluções cuja configuração do porto foi projetada tendo em vista, não só a proteção contra a agitação marítima incidente, mas também, a otimização do *bypass* da deriva litoral (Broker, 2007).

Este estudo aborda o problema de sedimentação do porto de pesca de Vila Praia de Âncora, construído de Março/2002 a Novembro/2003, para abrigo de pequenas embarcações. O assoreamento verificado, que impedia a entrada de embarcações em condições de baixa-mar, teve início alguns meses após a conclusão da construção do porto. O objetivo do estudo que aqui se sumariza foi diagnosticar as causas da sedimentação verificada à entrada do porto e prever a sua evolução (permanência, reversibilidade natural ou agravamento), para que, na posse desta informação, fosse possível decidir sobre a melhor solução que garantisse a permanente acessibilidade ao porto.

2. ZONA DE ESTUDO

2.1. Geomorfologia

A baía de Vila Praia de Âncora localiza-se na costa Norte de Portugal, entre os promontórios rochosos Forte da Lagarteira, a Norte, e Forte do Cão a Sul. Este trecho de costa inclui as praias de Âncora, com

cerca de 400 m de comprimento, e da Gelfa, com cerca de 1700 m de comprimento (Figura 1). O trecho é predominantemente arenoso, contudo são visíveis aforamentos rochosos no extremo Sul da praia da Gelfa; tem um desenvolvimento curvilíneo no extremo Norte, que inclui a foz do rio Âncora, contudo, o alinhamento principal é NNE-SSW.



Fig. 1. Localização da zona de estudo.

As duas praias têm limite superior bastante diferenciado: a Âncora é limitada por uma defesa longitudinal aderente e a Gelfa é limitada por um sistema dunar. O caudal anual médio do rio Âncora é $3.2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Contudo, nos meses de Julho, Agosto e Setembro, ocorre, em geral, o fecho da foz do rio. Dada a existência de uma pequena represa construída para fins de rega agrícola, a aproximadamente 900 m da foz, estima-se que o caudal sólido que atinge a praia seja bastante reduzido. Por isso, não se considerou o rio como fonte sedimentar neste estudo.

2.2. Agitação marítima

Analisou-se a série temporal de agitação marítima (parâmetros altura, período e direção) num ponto à profundidade 10 m abaixo do Zero Hidrográfico (ZH) em frente à zona de estudo, para o período desde Outubro/2001 a Abril/2006, que correspondeu ao período de monitorização, doravante designado como período de estudo (Oliveira e Freire, 2011). Considerando as estações marítimas de inverno, de 1/Outubro a 31/Março, e de verão, de 1/Abril a 30/Setembro, o período de estudo contempla cinco invernos marítimos e quatro verões marítimos, doravante designados por inverno e verão, respetivamente.

Durante o inverno, as ondas com maior altura ocorrem predominantemente de WNW, o setor direcional com maior frequência de ocorrência para a maioria dos invernos. Em oposição, durante o verão, as ondas com maior altura não incidem de um setor direcional em particular e foi o setor NNW que verificou maior frequência de ocorrência para os quatro verões.

Durante o período de estudo verificaram-se variações interanuais significativas do regime de agitação marítima. Nos invernos de 2003 e 2004 ocorreu uma menor frequência das ondas com maior altura no setor direcional WNW do que nos restantes três anos. Durante os últimos três invernos analisados verificou-se maior frequência das ondas com maior altura no setor direcional NNW do que nos anteriores dois anos. No ano de 2004, de forma atípica, verificou-se uma frequência de ocorrência bastante elevada de ondas incidentes dos setores mais rodados a Norte.

Apesar de menos relevantes do que no inverno, também se verificaram variações interanuais da agitação marítima no verão para o período de estudo: excepcional predominância de ondas incidentes do setor NNW em 2004 e maior frequência de ocorrência das ondas mais altas no setor NNW em 2005.

2.3. Sedimentos

Os sedimentos das praias de Âncora e da Gelfa são predominantemente areias médias a grosseiras. No extremo Sul da praia da Gelfa, na zona dos afloramentos rochosos encontrou-se um depósito de cascalho na base da face de praia. Na zona da foz do rio Âncora os sedimentos apresentam uma fração silto-arenosa que não excede 1% do peso total das amostras.

3. MÉTODOS

A metodologia aplicada para interpretar a tendência de sedimentação à entrada do porto baseia-se na investigação do comportamento hidro-morfológico das praias adjacentes. A zona de estudo foi monitorizada com base num programa que incluiu levantamentos topo-hidrográficos sistemáticos de

toda a zona, e recolha e análise de amostras de sedimentos superficiais da face de praia, ao nível médio do mar (NMM), em vários perfis normais à linha de costa.

A metodologia integra resultados de duas análises complementares. A primeira contemplou a evolução morfo-sedimentar da praia e baseou-se no processamento, manipulação e interpretação dos resultados do programa de monitorização. A segunda baseou-se em modelação matemática da dinâmica longitudinal e transversal da praia, e, através da utilização dos resultados da primeira análise (como condições iniciais e de controlo), permitiu simular com continuidade o comportamento hidro-morfológico na zona de estudo.

A primeira análise incluiu: i) a avaliação da variação temporal e espacial das características granulométricas dos sedimentos, para conhecimento de eventual alteração de fontes sedimentares; ii) a avaliação da variação da geometria da linha de água ao NMM, para ajudar a conhecer as oscilações longitudinais de sedimentos dentro da baía; iii) a avaliação da evolução de perfis de praia, para concluir sobre o transporte transversal de sedimentos; iv) a comparação de modelos digitais de terreno, executados com base nos levantamentos topo-hidrográficos sistemáticos realizados, para avaliar as áreas de erosão e deposição e respetivas taxas; e v) a investigação da relação entre os eventos extremos ocorridos e as alterações morfológicas causadas.

A modelação matemática incluiu: i) o cálculo da hidrodinâmica da zona de rebentação induzida pela série de agitação marítima imposta na fronteira do lado mar da zona de estudo; ii) a identificação de tendências sazonais e de variações interanuais do transporte longitudinal no período de estudo; iii) a distribuição transversal do transporte longitudinal durante o período de estudo; iv) a avaliação do impacto do transporte longitudinal na morfologia da praia durante o período de estudo; e v) a avaliação do impacto de tempestades marítimas na morfologia da praia.

4. RESULTADOS

4.1. Programa de monitorização

Evolução sedimentológica

As características granulométricas dos sedimentos das praias de Âncora e da Gelfa foram relativamente constantes no espaço e tempo: o parâmetro D_{50} variou entre 0.4 e 0.6 mm e entre 1.3 e 1.7 mm, respetivamente, nas praias de Âncora e da Gelfa. Verificou-se que os valores mais baixos do parâmetro dispersão granulométrica estão associados aos sedimentos com menor diâmetro mediano.

Evolução morfológica

A variação da geometria da linha de água ao NMM durante o período de monitorização não mostrou um

padrão sazonal consistente. Contudo, observou-se uma transferência de sedimento entre os dois extremos do trecho de estudo: no sentido SSW durante o verão e no sentido NNE durante o inverno. A evolução de perfis transversais de praia distribuídos uniformemente ao longo da zona de estudo foi consistente com as variações sazonais do regime de agitação: verificou-se transferência de sedimentos da face da praia para a zona de rebentação durante condições mais energéticas e o processo inverso em condições de baixa energia. Na praia de Âncora, a migração natural da foz do rio Âncora causa variabilidade da morfologia transversal naquela zona. Na praia da Gelfa observa-se variabilidade longitudinal entre os extremos: o setor Sul é relativamente estável, provavelmente devido à presença dos afloramentos rochosos, e no setor Norte observa-se uma variação significativa do perfil transversal.

A comparação de modelos digitais de terreno baseados nos levantamentos topo-hidrográficos evidencia variações morfológicas significativas. Observou-se a seguinte relação entre a sazonalidade do regime de agitação marítima e o padrão de distribuição das áreas de erosão e deposição:

a) Durante o verão de 2004 desenvolveu-se uma barra na direção longitudinal à entrada do porto, à profundidade ZH. Ocorreu erosão na parte subaérea da praia de Âncora e acreção na parte subaérea da praia da Gelfa.

b) Durante o inverno de 2005 aumentou a sedimentação na zona da entrada do porto e ao longo da profundidade ZH. O banco migrou para Oeste e Sul, possivelmente devido ao deslocamento de sedimento da parte subaérea da Gelfa para maiores profundidades.

A comparação da morfologia do final de inverno de 2004 com a morfologia do final de inverno de 2006 evidencia a sedimentação que ocorreu à entrada do porto, com formação de um banco ao longo da profundidade ZH (Figura 2). A taxa de deposição à entrada do porto entre Abril e Novembro de 2004 foi 0.7 m.ano^{-1} .

4.2. Modelação matemática

Transporte longitudinal

Estimou-se o transporte longitudinal (ambos os modos, em suspensão e de fundo) durante o período de estudo. Aplicou-se o modelo Litdrif (DHI, 2005) para cada uma das nove estações marítimas separadamente. Utilizou-se a respetiva série de agitação marítima e o perfil representativo para essa estação extraído do setor central do trecho em estudo.

Os resultados mostraram um distinto padrão sazonal do transporte longitudinal, em concordância com os resultados de evolução morfológica do programa de monitorização: predominância do transporte em direção a NNE durante o inverno e em direção a SSW durante o verão (Figura 3). Tendo em conta o

alinhamento principal da linha de costa, estes resultados estão em concordância com as características sazonais da agitação marítima descritas na seção 2.2.

As variações interanuais do regime de agitação marítima ocorridas no inverno de 2003 e 2004 refletiram-se no transporte longitudinal, que se dirigiu para SSW, em oposição à tendência predominante.

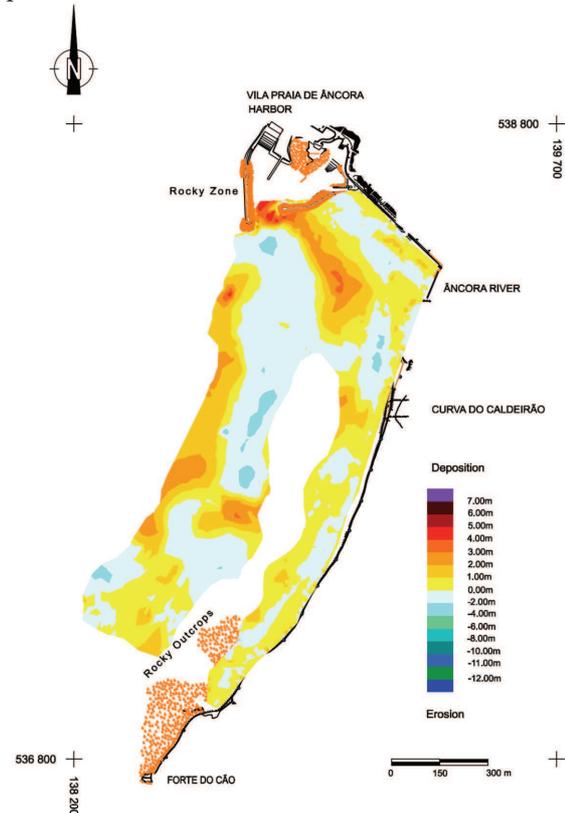


Fig. 2. Comparação dos modelos digitais de terreno de Abril/2004 e Abril-Maio/2006.

Durante o inverno, a extensão da zona ativa da praia submersa e a profundidade de fecho (ambas relativas ao transporte longitudinal) são consideravelmente maiores do que no verão. Em 2002 estes dois parâmetros duplicaram do verão para o inverno, quando a extensão da zona ativa alcançou cerca de 850 m e a profundidade de fecho -9 m ZH (Figura 4).

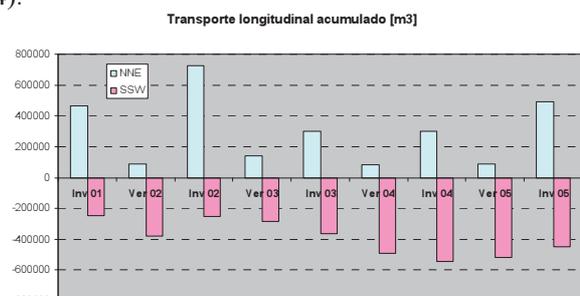


Fig. 3. Transporte longitudinal sazonal num perfil transversal central

Na estimativa do transporte sazonal, usou-se o respetivo perfil sazonal, que se considerou constante ao longo de cada estação. Contudo, como durante cada estação marítima o perfil não é estático, investigou-se o efeito da geometria do perfil na avaliação do transporte longitudinal. Os resultados obtidos com os 6-meses de agitação marítima do inverno de 2003 e os perfis representativos do inverno e do verão de 2003 mostraram diferenças significativas na distribuição transversal do transporte longitudinal (Figura 5), conforme se descreve com detalhe em Oliveira e Freire (2011). A geometria do perfil de inverno induz mais transporte longitudinal do que a geometria do perfil de verão: cerca de 20% mais na direção NNE, e 24 % mais na direção SSW.

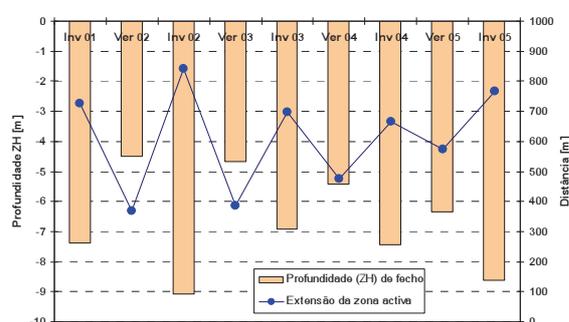


Fig. 4. Parâmetros morfológicos por estação marítima num perfil transversal central.

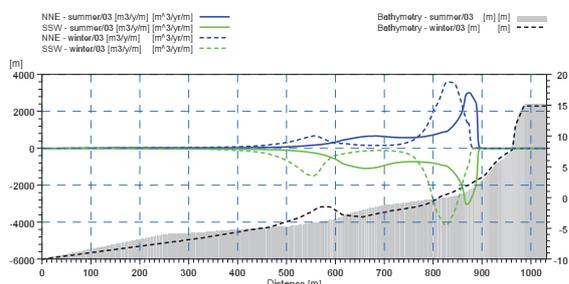


Fig. 5. Distribuição transversal do transporte longitudinal para NNE e SSW.

Evolução da linha de costa

Simulou-se a evolução da linha de água ao NMM durante o período de estudo com o modelo numérico Litline (DHI, 2005). Os resultados mostraram que o modelo tem uma boa concordância no extremo Sul da zona de estudo, mas não na zona Norte, ou seja, na zona da foz do rio Âncora (Oliveira e Freire, 2011). Estes resultados são devidos ao facto da zona Norte possuir um desenvolvimento plano suficientemente curvilíneo para fazer prevalecer os processos bidimensionais e assim violar as condições de aplicação deste tipo de modelos.

Dinâmica transversal de curto prazo

Simulou-se a evolução morfológica das duas praias, Âncora e Gelfa, para a mais severa tempestade marítima ocorrida durante o período de estudo com base no modelo numérico Litprof (DHI, 2005). Concluiu-se que a praia de Âncora é mais vulnerável do que a da Gelfa, pois o volume mobilizado na

última foi cerca de 84 e 63% do volume mobilizado na primeira, para os perfis de inverno e verão, respetivamente. A profundidade de acumulação dos sedimentos foi cerca de -7 e -5 m ZH nas praias de Âncora e Gelfa, respetivamente. Testou-se o efeito da tempestade sobre os perfis de inverno e verão para cada praia. Verificou-se que o efeito erosivo é agravado no perfil de inverno, pois não só o volume extraído da face de praia é superior, 30 e 7% para as praias da Gelfa e de Âncora, respetivamente, como também a barra submersa é deslocada para maior profundidade (Oliveira e Freire, 2011).

5. CONCLUSÕES

Aplicou-se uma metodologia que integra monitorização e modelação matemática para investigar a dinâmica costeira na baía de Vila Praia de Âncora e assim diagnosticar a causa e prever a futura evolução da tendência sedimentar observada à entrada do porto de pesca. Concluiu-se que:

- o processo de sedimentação ocorre predominantemente durante o inverno marítimo quando o transporte longitudinal, que se estende até aos -9 m ZH, é predominantemente para Norte e, simultaneamente, ocorre transferência de sedimentos da face de praia para maiores profundidades do que -5 m ZH na praia de Âncora (maior profundidade do que a entrada do porto).
- durante o verão marítimo, quando o transporte longitudinal é predominantemente para Sul e o perfil de praia tende a ser reconstruído (transporte sedimentar do mar para terra), o volume de areia que foi acumulado à entrada do porto no inverno antecedente não é mobilizado devido às condições de abrigo promovidas pelo molhe oeste, que, por efeito de difração, tende a encaminhar para o interior do porto a areia acumulada na entrada. Assim, concluiu-se que o processo de sedimentação não é reversível sem intervenção humana.

Agradecimentos

As autoras agradecem aos colegas do NPE-DHA-LNEC pela transferência do regime ao largo e ao IPTM por autorizar a publicação deste estudo.

REFERÊNCIAS

- Broker, I. (2007). The use of advanced numerical models to support the design of coastal structures. *Revue Européenne de Génie Civil, Special issue Génie Côtier*.
- DHI (2005). *Litpack: Noncohesive sediment transport in currents and waves – user guide*. Danish Hydraulic Institute. Denmark.
- Oliveira, F.S.B.F. e Freire, P. (2011). Coupling monitoring and mathematical modelling of beaches to analyse a problem of harbour sedimentation: case study. *Journal of Coastal Research*. Vol. 27, No. 6A:104-115.