

REABILITAÇÃO E PROTECÇÃO DA PRAIA DE COLWYN BAY, REINO UNIDO

Filipa S. B. F. OLIVEIRA

Engenheira Civil, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, foliveira@lnec.pt

Paula FREIRE

Geóloga, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, pfreire@lnec.pt

Francisco SANCHO

Engenheiro Civil, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, fsancho@lnec.pt

Manuel CLÍMACO

Engenheiro Civil, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, mclimaco@lnec.pt

Claudino VICENTE

Engenheiro Civil, claudino.mvicente@gmail.com

RESUMO

O artigo descreve um estudo de dinâmica costeira que teve como objectivo a reabilitação e protecção da praia de Colwyn Bay, em estado de avançada erosão e degradação das suas funções recreativa e de protecção costeira. O estudo foi desenvolvido em duas partes: a caracterização da dinâmica da praia e o teste de soluções alternativas. Na primeira parte avaliou-se: a evolução tridimensional do topo e face de praia; a composição sedimentológica recente da mesma zona; a hidrodinâmica da praia, com base numa série de agitação marítima e numa série de nível do mar; e a distribuição do transporte longitudinal na zona activa submersa. Tendo em vista soluções alternativas baseadas numa estratégia de alimentação artificial, na segunda parte do estudo definiu-se o perfil de enchimento e testaram-se soluções de longo prazo, algumas com estruturas de retenção/protecção (esporões, esporões em Y e quebra-mares destacados). Definiu-se o perfil de enchimento com base: no método 2S-EBP, para a face e zona submersa activa; e no teste ao recuo de praia sob tempestade (modelação morfodinâmica), para a berma. O teste de soluções alternativas realizou-se com dois modelos de evolução de linha de costa. Na fase inicial, testaram-se duas soluções de alimentação sem estruturas de protecção: 3.3 milhões de m³ de areia com D50=0.25 mm e 2.2 milhões de m³ de areia com D50=0.45 mm. Posteriormente, testou-se o efeito das estruturas na retenção do enchimento. Os resultados, avaliados qualitativamente e quantitativamente, indicaram que as melhores soluções de retenção são baseadas em estruturas normais à praia.

Palavras-chave: erosão costeira, protecção costeira, alimentação artificial, modelação costeira, evolução da linha de costa.

1 INTRODUÇÃO

A praia de Colwyn Bay, localizada na costa norte do País de Gales no Reino Unido (Figura 1), é conhecida pelo seu valor histórico como estância balnear. Constitui um recurso turístico bastante importante para a economia local, através do desenvolvimento urbanístico da frente marítima e das infraestruturas relacionadas com o ambiente marítimo existentes ao longo de uma extensão de linha de costa com cerca de 3.5 km. Contudo, esta praia sofre actualmente de notável erosão que se traduz numa redução da largura de praia e num rebaixamento da berma e face de praia. Consequentemente, em situações de preia-mar, o Mar da Irlanda alcança o paredão (defesa longitudinal aderente) que limita a praia ao longo de toda a sua extensão longitudinal provocando a degradação desta estrutura centenária (já reforçada no passado). Em situações de tempestade marítima, quando ocorrem ventos fortes e baixas pressões atmosféricas, as elevadas alturas de onda e sobrelevação do nível do mar dão frequentemente origem a galgamentos que causam inundações da estrada marginal adjacente à defesa longitudinal aderente, pondo em perigo pessoas, bens e infraestruturas. Em suma, a praia encontra-se em avançado estado de degradação das suas funções recreativa (como zona de lazer e uso balnear) e de protecção costeira. Dada a situação, a autoridade local (Conwy County Borough Council) decidiu desenvolver um plano de defesa costeira baseado no redimensionamento da defesa longitudinal aderente e na reabilitação e protecção da praia. É o estudo desta segunda medida que se descreve neste artigo. O estudo foi desenvolvido em duas partes: a caracterização da dinâmica da praia e o teste de soluções alternativas baseadas em alimentação artificial.

A primeira parte do estudo consistiu na caracterização da dinâmica da praia e baseou-se num vasto conjunto de dados observados: levantamentos topográficos desde 1956, fotografias aéreas, informação sobre os sedimentos da face de praia, uma série temporal de 19 anos de parâmetros de agitação marítima e uma série temporal de 15 anos do nível do mar (maré e sobrelevação). Esta caracterização abrangeu a análise da evolução morfológica, a análise dos sedimentos da praia, a caracterização do clima de agitação marítima em três posições em frente à praia (Oeste, Central e Este), a análise dos níveis de maré e de sobrelevação meteorológica, a identificação da zona activa submersa da praia, e o cálculo do transporte longitudinal e sua distribuição transversal na zona activa submersa.

A segunda parte do estudo consistiu no teste do comportamento hidro-sedimentar da futura praia, baseada em soluções de alimentação artificial. Esta parte incluiu duas componentes: a estimativa do futuro perfil de praia e o teste da evolução da linha de costa a longo prazo para as soluções alternativas baseadas em alimentação artificial e estruturas de protecção.



Figura 1 - Localização da zona de estudo.

2 METODOLOGIA

2.1 Caracterização da dinâmica da praia

2.1.1 Evolução morfológica

Com vista a avaliar a evolução morfológica recente da zona em estudo foram analisados levantamentos topo-hidrográficos de diferentes datas, compreendidas no período entre 1956 e 2007. A análise incluiu os seguintes aspectos: 1) evolução da posição da linha de costa; 2) evolução tri-dimensional (3D) da face da praia; e 3) evolução do perfil transversal de praia.

A evolução da posição da linha de costa, considerada neste estudo como a linha correspondente à cota 0 m relativa ao *Ordinance Datum Newlyn* (ODN), foi avaliada através da extensão *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) (Thieler *et al.*, 2009) do software ArcGIS (ESRI). Esta extensão automatiza o cálculo da variação da posição da linha de costa, tendo como referência uma linha de base dividida em transeptos, neste caso distanciados entre si 75 m, onde se referenciam os pontos de intersecção das diferentes séries temporais de linha de costa. As datas analisadas foram 1956, 1980, 1990, 2002 e 2007 e utilizou-se o método designado por *end-point-rate* (EPR) que considera a distância entre duas linhas, medidas em cada transepto, dividida pelo intervalo de tempo decorrido entre as duas posições. Em cada transepto foi avaliada a evolução da linha de costa entre as datas mais antiga e mais recente e para cada par de datas consecutivas, tendo-se obtido para cada caso o deslocamento e taxa de evolução da linha de costa.

A evolução 3D da face da praia incluiu a totalidade da face de praia, desde o limite do paredão (2.5 m acima do ODN) até à cota aproximada de 1.5 m abaixo do ODN, e baseou-se na comparação dos modelos digitais de elevação construídos com base em levantamentos topográficos datados de Outubro 2001 a Novembro de 2007 (aproximadamente 2 levantamentos anuais). A área de análise consistiu na área comum dos levantamentos, correspondendo a uma área total de $433.8 \times 10^3 \text{ m}^2$, e obtiveram-se balanços volumétricos e taxas de erosão e assoreamento para cada período de comparação.

A evolução do perfil transversal de praia baseou-se em dois tipos de dados: levantamentos históricos de 103 perfis de praia datados entre 1956 e 1995; e levantamentos topográficos mais recentes, de Novembro de 1997 a Maio de 2009, incluindo perfis transversais à praia.

A análise prévia dos levantamentos históricos mostrou algumas incoerências nos dados, pelo que para a análise posterior só foram consideradas as seguintes datas: 1956, 1980, 1984, 1988, 1990 e 1995. Foram avaliados vários indicadores morfológicos sobre a evolução de cada perfil, designadamente a variação média, máxima e a taxa de variação da cota da face de praia na base da defesa longitudinal aderente.

Dos levantamentos mais recentes foram analisadas as datas de Outubro 2001 a Maio 2009 (2 levantamentos por ano), por apresentarem melhor consistência nas direcções, para 5 perfis transversais desde a defesa longitudinal até aproximadamente à cota -4 m ODN. Os parâmetros morfológicos analisados foram: largura da praia a diferentes níveis de referência (0, -2 e -3 m ODN); área da praia, estimada em cada perfil acima do 0 m ODN e entre 0 e -2 m ODN; e volume subaéreo da praia, considerando que cada perfil tem uma extensão lateral igual à soma de metade da distância entre dois perfis consecutivos.

2.1.2 Sedimentologia

A caracterização sedimentológica da praia foi efectuada com base em dois tipos de informação: 1) dados granulométricos de 27 amostras obtidas em sondagens curtas, efectuadas em Fevereiro e Março de 2007 (Celtest, 2007), ao longo de 9 perfis (3 sondagens por perfil e 3 amostras por sondagem recolhidas às cotas +1.5 m, 0.0 m e -2.6 m ODN; e 2) amostras superficiais recolhidas na face da praia em 9 locais, em 06/08/2009. Estas amostras foram sujeitas à análise granulométrica por peneiração a seco, tendo-se obtido os parâmetros diâmetro mediano, D50, e coeficiente de graduação, σ (definido como $\sigma = (D84/D16)^{0.5}$, em que D16 e D84 são os valores de diâmetro abaixo dos quais 16%

e 84% da distribuição têm, respectivamente, diâmetros inferiores). A densidade das partículas foi determinada para algumas amostras, assim como a composição mineralógica da fracção arenosa, que foi avaliada através de observação à lupa binocular.

2.1.3 Clima de agitação

Foram analisadas três séries de dados de agitação marítima, correspondentes a resultados de modelo de reconstituição (*hindcast*) da agitação marítima, em três pontos localizados aproximadamente sobre a batimétrica -9 m ODN, distribuídos ao largo do local de estudo. As séries de dados abrangem o período de 19½ anos, entre 1986/10/01 e 2006/03/31, e incluem valores horários de: altura significativa de onda, H_s , período médio da onda, T_z , e direcção média da onda, θ .

Os dados continham aproximadamente 13% de falhas, em resultado de falta de dados de vento (ou vento nulo) na reconstituição do clima de agitação. Os registos válidos são relativamente bem distribuídos ao longo do ano, com um desvio máximo do mês com menor/(maior) cobertura inferior a 10%.

A seguinte metodologia foi aplicada para a caracterização do clima de agitação marítima:

- i) re-amostragem das séries horárias de agitação marítima para valores tri-horários;
- ii) substituição de registos inválidos por valores interpolados se o intervalo de falha fosse inferior a um dia, ou pelos valores médios diários (de todos os registos naquele dia em outros anos) em caso de falhas com duração superior a um dia;
- iii) construção do regime médio de agitação marítima por classes de 0.25 m de altura de onda, 1 s para o período de onda e 10° para a direcção de onda.

2.1.4 Níveis de maré e sobrelevação

Caracterizaram-se os níveis de água, incluindo a maré e a sobrelevação meteorológica, com base na série temporal de dados do marégrafo de Llandudno (a cerca de 8 km a Oeste de Colwyn Bay), entre Maio de 1994 e Dezembro de 2008. Os dados contêm níveis de água medidos (referidos ao *Admiralty Chart Datum Reference* (ACD), em que $ACD = ODN - 3.85$ m), a cada 15 minutos, e os resíduos calculados pela diferença entre valores medidos e os níveis de maré previstos pelo BODC (*British Oceanographic Data Centre*).

As falhas encontradas nos registos, por ano, oscilam entre aproximadamente 45% (em 1994) e 0% (ano completo, em 2005). O período máximo com falhas é de 3.5 meses.

Tendo em vista a construção de uma série temporal de 50 anos de níveis de água, contínua, começando em 1987/01/01 (início do período considerado para a agitação marítima) a seguinte metodologia foi aplicada:

- i) cálculo das constituintes de maré utilizando o pacote "T_TIDE" (Pawlowicz *et al.*, 2002), com base nos dados do período entre 1995/01/01 e 2000/12/31 (6 anos);
- ii) reconstituição da série de níveis de maré para o período completo de 19 anos com início em 1987/01/01, a partir das constituintes de maré;
- iii) adição da sobrelevação registada na série original aos valores previstos para o nível de maré. Tal foi imediato para o período entre 1995 e 2005, tendo-se para o período entre 1987 e 1994 utilizados resíduos medidos em outros anos.

2.1.5 Transporte longitudinal

A caracterização da distribuição transversal do transporte longitudinal na zona submersa activa da praia foi executada com base na aplicação do modelo numérico Litdrift (DHI, 2008). Trata-se de um modelo 2D-vertical, determinístico, que inclui os principais processos determinantes no transporte sedimentar litoral (em modo de suspensão e arrastamento), inclusivamente a variação do diâmetro da partícula sedimentar na direcção transversal da praia.

Antecedeu-se a aplicação do modelo com uma análise de sensibilidade para avaliar o impacto da variabilidade das características sedimentológicas ao longo da praia no transporte longitudinal. Testou-se o modelo para um perfil representativo da geometria da praia (um perfil aproximadamente

central), considerando diferentes valores dos parâmetros D50 e σ ao longo de três sectores do perfil determinados pelos níveis correspondentes às amostras, que foram -2.6, 0 e 1.5 m ODN.

A aplicação do modelo foi realizada para os 18 anos completos dos dados de agitação marítima, de 1987 a 2005. Para o período de 10 anos de 1995 a 2005 utilizaram-se os dados de nível do mar registados. Para o período de oito anos de 1987 a 1994 utilizaram-se para níveis do mar o nível de maré prevista adicionado ao residual observado nos anos de 1995 a 2005. Fizeram-se incidir as condições de hidrodinâmica (onda e nível do mar) no ponto inicial do perfil representativo, o qual se discretizou com um espaçamento de 2 m. A cada nó associaram-se os respectivos parâmetros sedimentológicos (extrapolados com base nos resultados das amostras superficiais e nas conclusões da análise de sensibilidade realizada). Através da aplicação do modelo determinou-se o transporte sedimentar instantâneo, de 3 em 3 horas, em cada ponto do perfil, para os 18 anos em apreço. Com base neste resultado calculou-se a capacidade de transporte sedimentar em cada sentido longitudinal da praia (Este e Oeste) e a extensão da zona onde ocorre 90 e 95% do transporte (assim como a correspondente profundidade). A análise destas grandezas permitiu também deduzir sobre vários parâmetros estatísticos associados e de interesse para a caracterização da dinâmica sedimentar da praia. Os principais resultados obtidos são apresentados na secção 3.1.5.

2.2 Optimização do perfil de praia

2.2.1 Configuração do perfil

O dimensionamento do perfil de praia foi baseado no conceito de perfil de equilíbrio. Neste estudo, devido à grande amplitude de maré (entre 4 a 8 m), o efeito da maré não foi negligenciado e por isso usou-se um perfil de equilíbrio de dois-declives baseado no método “2S-EBP” (2 *Slope–Equilibrium Beach Profile*) de Bernabeu *et al.* (2003). Este método incorre na determinação de 4 coeficientes de forma da praia que são função do número de queda das partículas adimensional, $\Omega = H_s / wT$, que por sua vez contém a dependência da dimensão característica dos sedimentos através da velocidade de queda, w . Determinaram-se perfis de equilíbrio para 3 diâmetros característicos dos sedimentos: D50=0.25, 0.5 e 0.75 mm.

A cota do topo do perfil de praia foi dimensionada em função do nível máximo de água, ou do nível de água excedido somente uma pequena percentagem de tempo. A largura da berma foi estipulada tendo em conta: i) condicionamentos económicos (considerando que quanto mais estreita for a berma menor será o volume de recarga), ii) a necessidade de uma largura razoável para utilização balnear e de recreio (apesar de também vir a ser condicionada pelas alterações da forma plana a longo prazo) e iii) a manutenção de uma largura mínima de segurança para evitar acção directa da onda sobre o paredão em condições de tempestade.

2.2.2 Teste à erosão por tempestade

Considerou-se uma largura da berma de 50 m que se associou a diferentes configurações de perfil (de equilíbrio, conforme descrito na secção anterior, e de declive constante) correspondentes à dimensão das partículas sedimentares disponíveis (conforme resultado da prospecção da área de empréstimo) e estabeleceu-se um conjunto de casos a testar (Quadro 1). Testou-se a evolução do perfil de enchimento sob acção de severa tempestade marítima para estes casos. O objectivo desta metodologia foi garantir que fosse deixada intacta durante a tempestade uma largura de berma mínima, para evitar a acção directa da onda sobre a defesa longitudinal aderente, proporcionando a defesa natural da praia contra a erosão. Aplicou-se um modelo numérico 2D-vertical, determinístico, de morfodinâmica de curto prazo, o modelo Litprof (DHI, 2008). Testaram-se as tempestades marítimas ocorridas em Fev/1990 e Dez/1990 (Figura 2). A primeira correspondeu ao período mais longo de ondas consecutivas com H_s superior a 3 m da série de 19 anos de agitação marítima. A segunda correspondeu ao período em que o nível do mar alcançou valores mais elevados devido à sobrelevação (gerada por baixas pressões meteorológicas). Nos testes 1-5 a berma foi considerada

plana ao nível 4 m ODN. Nos testes 6-7 a berma foi considerada com declive 1:100, desde o nível 5 m ODN junto ao paredão até ao nível 4.5 m ODN.

Quadro 1 – Condições de geomorfologia e hidrodinâmica dos testes de morfodinâmica de curto prazo.

Teste n°	Condições sedimentológicas D_{50} (mm); σ (-)	Perfil de enchimento	Tempestade
1	D50=0.25 mm; σ =1.72	2S-EBP + berma horizontal	Dez/90
2	D50=0.75 mm; σ =5.01	2S-EBP + berma horizontal	Dez/90
3	D50=0.75 mm; σ =2.39	2S-EBP + berma horizontal	Dez/90
4	D50=0.25 mm; σ =1.72	2S-EBP + berma horizontal	Fev/90
5	D50=0.45 mm; σ =2.1	2S-EBP + berma horizontal	Fev/90
6	D50=0.25 mm; σ =1.72	Declive constante (1:35) + berma inclinada (1:100)	Fev/90
7	D50=0.45 mm; σ =2.1	Declive constante (1:30) + berma inclinada (1:100)	Fev/90

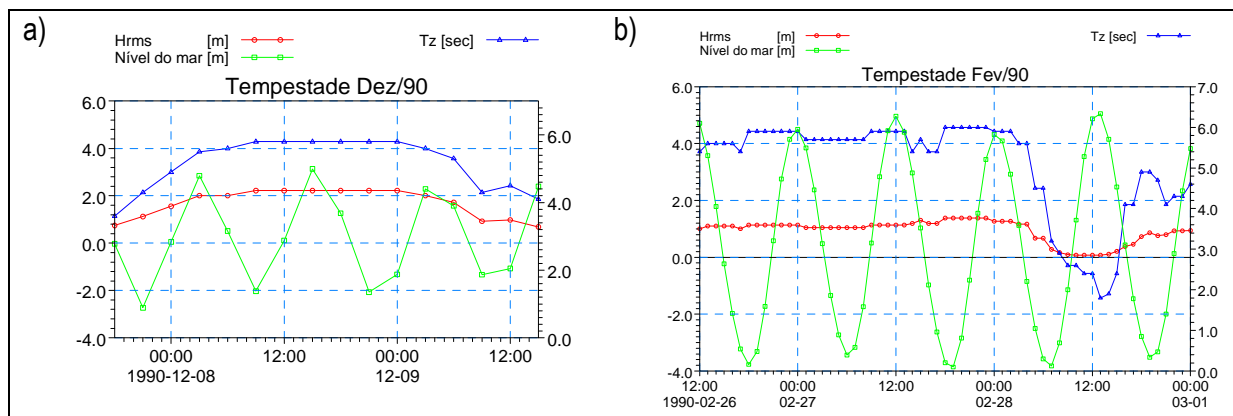


Figura 2 – Parâmetros do estado do mar Hrms, Tz e nível do mar durante a tempestade marítima de a) Dez/90 e b) Fev/90.

2.3 Modelação de alternativas de reabilitação

O teste das soluções alternativas de longo prazo foi baseado na aplicação de dois modelos numéricos de evolução da linha de costa, os modelos Litmod e Litline. A aplicação dos dois modelos deve-se ao facto deles terem diferentes abordagens metodológicas e consequentemente diferentes capacidades e limitações. Por exemplo, o Litline simula a variação do nível do mar devida à maré e o Litmod não; o Litmod simula o efeito de esporões em forma de Y e o Litline não. A aplicação de ambos permitiu testar um alargado conjunto de soluções de reabilitação.

O modelo LITMOD (Vicente, 1991; Vicente e Clímaco, 2003) permite a simulação das alterações da linha de costa sob acção da agitação marítima. É aplicável a situações onde coexistam praias e trechos rochosos, em condições naturais ou com obras ou intervenções de alimentação artificial. Dada a rapidez de cálculo, pode ser aplicado a trechos de grande comprimento e testar evoluções de longo prazo. O modelo considera batimetria paralela no cálculo da refracção entre a profundidade onde são fornecidos os dados de agitação e o ponto de rebentação. Quando existam obras ou saliências rochosas naturais pode considerar a influência da difracção na agitação incidente. No caso presente utilizou-se a fórmula de Kamphuis para o cálculo do transporte sólido litoral, um passo de cálculo de 0.01 dia e células com 40 m de comprimento.

O modelo Litline (DHI, 2008) é baseado nos conceitos modelo de 1-linha e modelo de perfil, ou seja, assume que o perfil transversal de praia (cuja geometria pode variar na direcção longitudinal e, dentro de cada sector longitudinal, pode variar ao longo do tempo) permanece constante durante o processo de erosão/acrecção, ou seja, a modificação da posição da linha de costa realiza-se admitindo que cada

perfil individual se desloca paralelamente (reco/avanço) a si próprio. Utilizaram-se os espaçamentos de células 40 e 2 m ao longo da linha de base e do perfil, respectivamente.

A primeira fase da metodologia para modelação de alternativas de reabilitação consistiu na calibração dos modelos. Foi realizada para o período Out/2001 – Jul/2005, porque o primeiro levantamento da zona completa foi realizado em Out/2001 e a série temporal de agitação marítima termina em 2005. As linhas de costa (nível 0 m ODN) utilizadas no processo de calibração foram: a linha de Out/2001, como linha inicial; e as quatro linhas Out/2002, Jul/2003, Maio/2004 e Jul/2005, como linhas de verificação. Foram considerados os perfis de praia de Out/2001 em consonância com a data da linha de costa inicial. Usou-se a mesma linha de base para ambos os modelos, baseada no critério de ser paralela ao principal alinhamento da praia, com orientação N115°, mas com diferentes origens, uma vez que para o modelo Litline foi necessária a inclusão do quebra-mar destacado na fronteira Oeste para simular a condição fronteira (prolongou-se para Oeste da linha de base usada no modelo Litmod). Considerou-se o gradiente de energia incidente na praia ao longo da direcção longitudinal através da utilização dos três climas de agitação (Oeste, Central e Este) em ambos os modelos. A variação instantânea do nível do mar foi considerada no modelo Litline enquanto no modelo Litmod foi considerada a evolução da linha de costa ao nível médio do mar. No modelo Litline consideraram-se as condições fronteira seguintes: zona activa bloqueada até ao quebra-mar destacado (com difracção) na fronteira Oeste, e zona activa totalmente aberta na fronteira Este. No modelo Litmod as condições fronteira consistiram: na taxa de transporte imposta na fronteira Este e na taxa de transporte a Oeste resultante do processo de evolução morfológica (erosão/acrecção) observado entre fronteiras.

A segunda fase da metodologia para modelação de alternativas de reabilitação consistiu no teste de duas soluções de alimentação artificial sem estruturas de protecção. Testou-se a evolução (para os 19 anos da série de agitação marítima) do enchimento da praia para dois tipos de sedimento e respectivos perfis (2S-EBP e berma com declive 1:100 entre os níveis 5 e 4.5 m ODN). Estas soluções corresponderam a: 3.3 milhões de m³ de areia com D50=0.25 mm (área de enchimento 1.6 milhões de m²); e 2.2 milhões de m³ de areia com D50=0.45 mm (área de enchimento 1.3 milhões de m²).

A terceira fase da metodologia para modelação de alternativas de reabilitação consistiu no teste de soluções de alimentação com estruturas de protecção, tais como esporões, esporões em forma de Y e quebra-mares destacados. O objectivo foi analisar o efeito das estruturas implementadas na retenção do volume de areia depositado na praia. Apresentam-se e discutem-se os resultados destes testes e a eficiência de cada solução na secção 3.3.

3 RESULTADOS

3.1 Caracterização da dinâmica da praia

3.1.1 Evolução morfológica

Entre 1956 e 2007 a praia de Colwyn Bay apresentou uma variabilidade considerável da posição da linha de costa, tendo o valor máximo residual de deslocamento sido de 50 e 20 m, respectivamente no sentido de reco e avanço (Figura 3A). O deslocamento médio da linha de costa foi de 13 m (reco), correspondendo a uma área de cerca de 51×10^3 m².

Entre 1956 e 1980 praticamente toda a praia mostrou uma progressiva acreção, mais evidente no sector central. No período entre 1980 e 1990 ocorreu uma situação de reco generalizado da linha de costa, com uma taxa média de erosão de 5 m.ano⁻¹ e máxima perto de 8 m.ano⁻¹, respectivamente (Figura 3B). Esta situação terá estado associada a eventos de agitação marítima mais energéticos, que ocorreram entre 1988 e 1990, mas também à construção nesse período de estruturas de defesa costeira (quebra-mares de Rhos-on-Sea e Penrhyn Bay) que terão alterado a contribuição sedimentar à praia. Após este período, a praia mostrou uma recuperação ligeira com taxas de acreção média e máxima entre 1990 e 2002 de 2 e 5 m.ano⁻¹, respectivamente. Após 2002, verifica-se a sua

estabilização com uma taxa de deslocamento inferior a 0.5 m.ano^{-1} . No período total de análise a praia perdeu em área cerca de $51 \times 10^3 \text{ m}^2$, da qual cerca de 50% foi recuperada após 1990 (Figura 4).

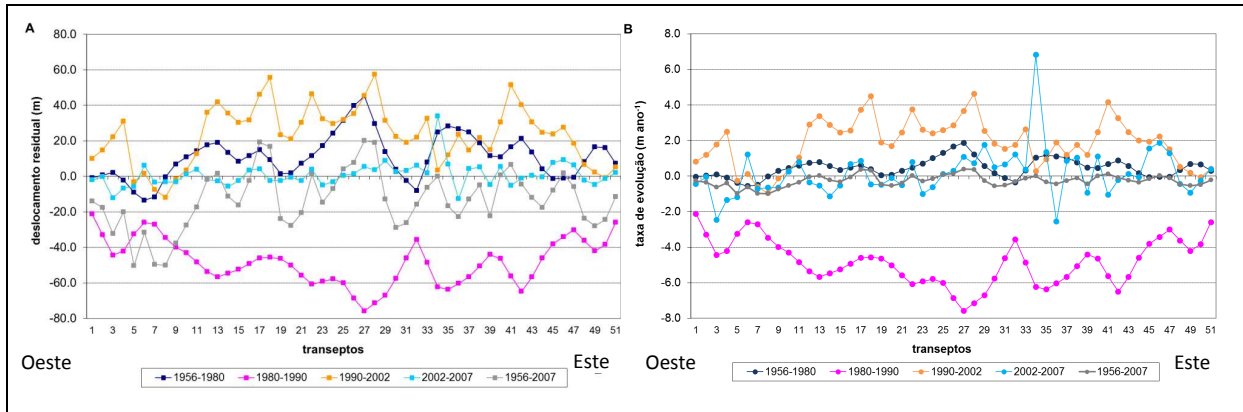


Figura 3 – Deslocamento da linha de costa (A) e taxa de evolução (B) entre 1956 e 2007.

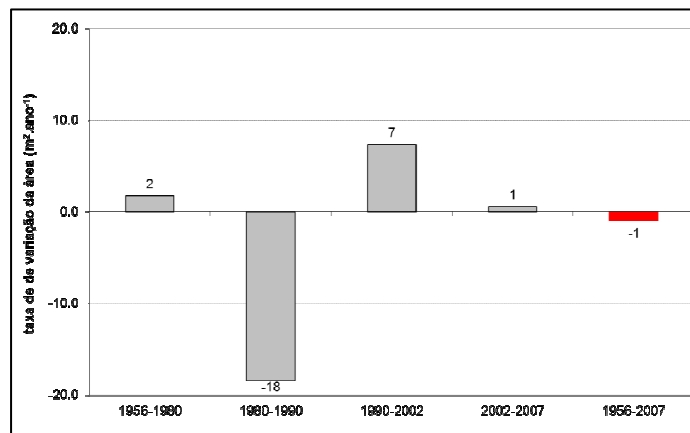


Figura 4 – Variação da área da praia entre 1956 e 2007.

A evolução topográfica da face da praia, entre Outubro 2001 e Novembro 2007, mostra a dominância do processo erosivo, com a perda de sedimento da ordem de $40 \times 10^3 \text{ m}^3$ a uma taxa de $7 \times 10^3 \text{ m}^3.\text{ano}^{-1}$, o que corresponde a um rebaixamento vertical médio de 15 mm.ano^{-1} (Figura 5). Entre Outubro de 2001 e Maio de 2002 a taxa de erosão foi a mais elevada observada, de $49 \times 10^3 \text{ m}^3.\text{ano}^{-1}$, seguindo-se a recuperação da praia na mesma ordem de magnitude (Figura 6). No entanto, as oscilações volumétricas subsequentes promoveram a erosão geral da mesma. Os resultados mostraram que o sentido da variação volumétrica nem sempre está associado à sazonalidade do clima de agitação (Figura 6).

A evolução vertical da zona superior da face de praia (na base da defesa longitudinal aderente) mostra que houve um rebaixamento longitudinal praticamente constante, com variação máxima entre 1984 e 1990, no valor de 1.6 m e uma taxa de evolução de 0.2 m.ano^{-1} (Quadro 2). Os resultados para o período 1984 – 1988 reflectem acumulação observada no extremo Oeste da praia como consequência da construção do quebra-mar de Rhos-on-Sea.

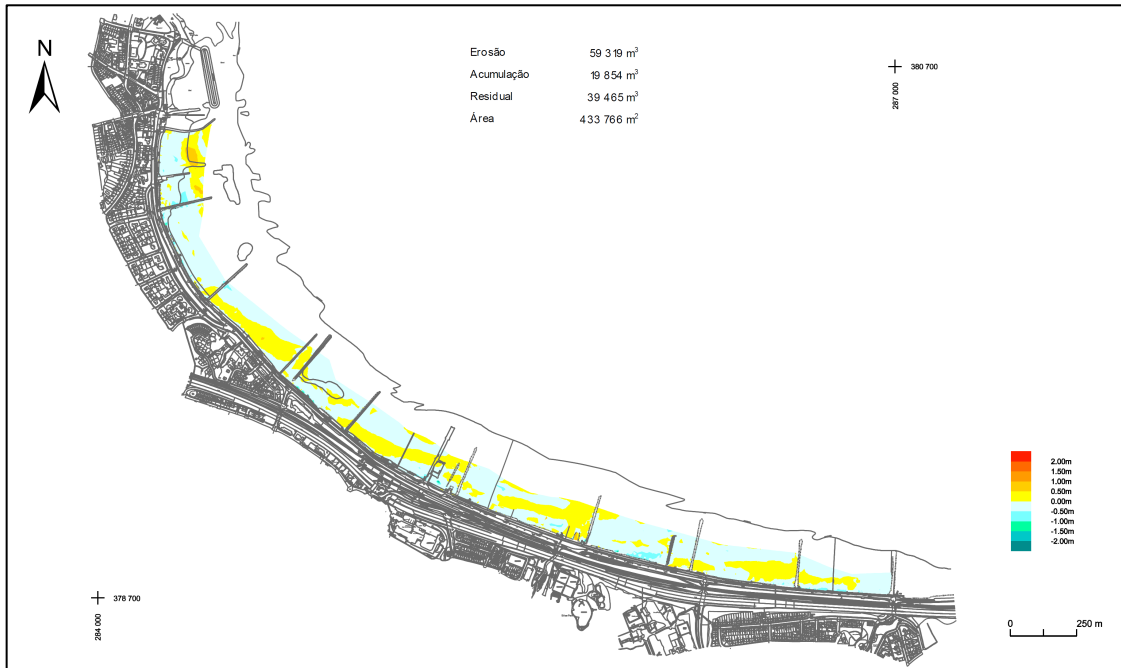


Figura 5 - Evolução da face da praia entre Outubro 2001 e Novembro 2007.

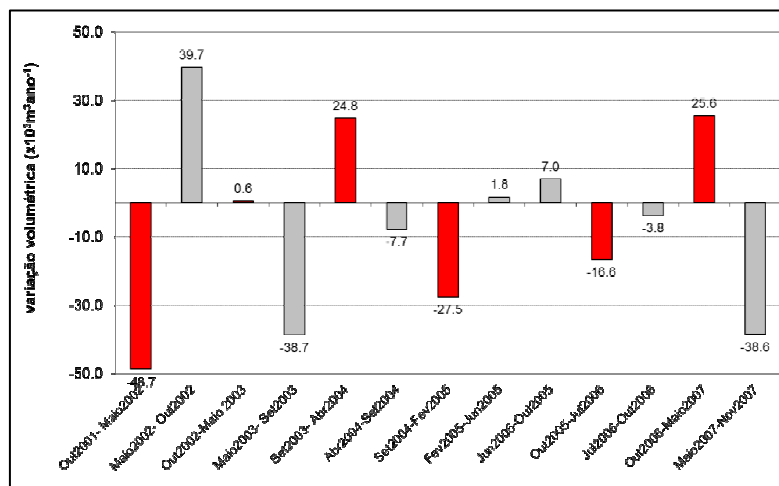


Figura 6 – Taxa de evolução volumétrica da face da praia entre Outubro 2001 e Novembro 2007. As barras vermelhas correspondem a situações de Inverno marítimo.

Quadro 2 – Variação vertical da cota da praia na base da defesa longitudinal.

	1956-1980	1980-1984	1984-1988	1988-1990	1956-1990
Média (m)	-0.19	-0.30	0.12	-0.37	-0.74
Rebaixamento máximo (m)	-0.84	-1.33	-1.64	-1.60	-1.78
Taxa (m.ano ⁻¹)	-0.01	-0.07	0.03	-0.19	-0.02

A evolução recente dos perfis de praia evidencia a acentuada variabilidade morfológica dos mesmos, quer longitudinal, quer transversal. Ao nível médio (0 m ODN) a largura da praia aumenta de um modo geral para Este, entre os perfis 30 e 33, decrescendo acentuadamente até ao perfil 37 no extremo Este (Figura 7A). Na zona inferior da face da praia esta variabilidade é expressa por um decréscimo acentuado da sua largura de Oeste para Este (Figura 7B-C). De um modo geral, os perfis que apresentam maior variabilidade morfológica são os dos extremos Oeste e Este, sendo a zona inferior

da face de praia o sector onde a variação volumétrica é mais evidente (Quadro 3). Não se observou uma correlação entre a variabilidade morfológica dos perfis e a sazonalidade do clima de agitação.

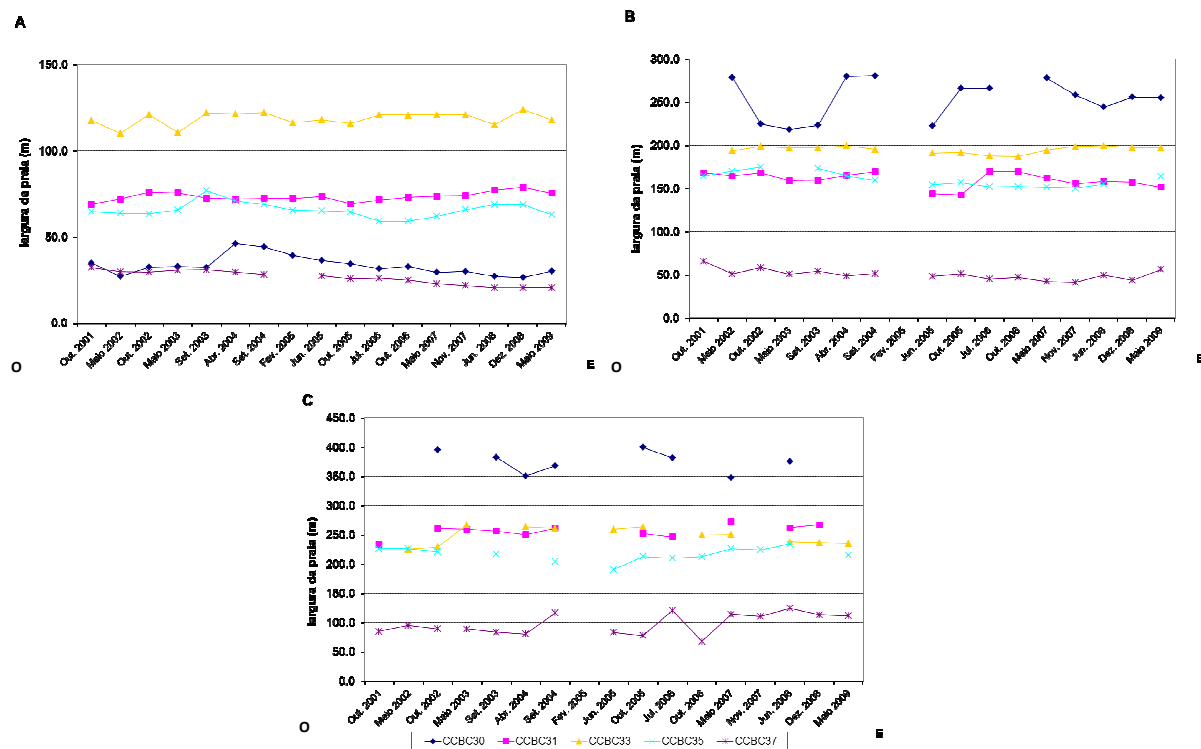


Figura 7 – Variação da largura da praia a diferentes níveis (0, -2 e -3 m ODN). A numeração dos perfis cresce de Oeste para Este.

Quadro 3 – Volume da Praia baseado nos perfis transversais.

Volume da praia ($\times 10^3 m^3$)	Outubro 2001	Mai 2009
Acima de 0 m ODN	416	417
Abaixo de 0 m ODN	996	965
Total	1412	1382

3.1.2 Sedimentologia

Os sedimentos da praia de Colwyn Bay são principalmente areias, no entanto encontra-se uma fracção importante de material mais grosseiro (cascalho e blocos) na parte superior da face de praia ou em pequenas depressões ao longo da zona inferior do perfil. No extremo Oeste, na zona protegida do quebra-mar de Rhos-on-Sea, sedimentos vasosos cobrem a zona inferior da face de praia. Níveis de argila compacta afloram na zona inferior da face de praia, principalmente no seu extremo Este.

Na zona superior da face da praia, as areias são grosseiras a cascalhentas, com D50 entre 0.6 e 3 mm, e mal calibradas ($\sigma > 3$). Em alguns locais o sedimento é praticamente todo constituído por bioclastos. Na zona inferior do perfil, as areias apresentam grão fino a médio (D50=0.2-0.3mm) e são bem calibradas ($\sigma \sim 1$).

Para além da triagem granulométrica transversal, o diâmetro mediano dos sedimentos apresenta variabilidade longitudinal, com aumento do D50 nos extremos da praia, sectores com maior variabilidade morfológica, e particularmente em direcção a Este (Figura 8). A densidade média das partículas é de 2.7.

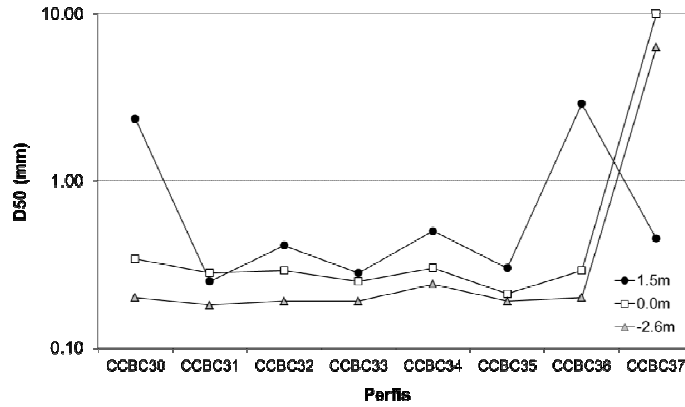


Figura 8 – Variação do diâmetro mediano dos sedimentos da face da praia.

3.1.3 Clima de agitação

Na Figura 9 apresentam-se as frequências de ocorrência dos parâmetros do clima de agitação (H_s , T_z e θ) no ponto central, em frente a Colwyn Bay. Os resultados mostram que predominam os períodos de calma ($H_s < 0.25m$) e períodos de onda compreendidos entre 2 e 4 s. As direcções de agitação mais frequentes (somando 65% das ocorrências) são as compreendidas entre $285^\circ < \theta < 345^\circ$, seguindo-se a agitação proveniente do quadrante Nordeste (totalizando 28% das ocorrências). A altura significativa máxima é inferior a 3.25m, oriunda da direcção $\theta = 0^\circ$, enquanto o valor médio de H_s é igual a 0.44 m ($T_z = 3$ s).

Analisaram-se ainda o número de temporais, para 3 diferentes limiares de altura de onda ($H_s > 2.0$, 2.5 e 3.0 m) e quatro intervalos de duração da tempestade ($t < 1$, 2 e 3 dias, e $t > 3$ dias). Esta análise permitiu concluir que ocorreram mais temporais no período entre 1987-1993 do que nos anos seguintes. A maior tempestade (H_s maior e mais longa duração) ocorreu de 7 a 12 de Dezembro de 1990, secundada por aquela ocorrida de 26 de Fevereiro a 2 de Março de 1990, e utilizada para o dimensionamento do perfil óptimo da praia, devido à sua conjugação com níveis de água extremos.

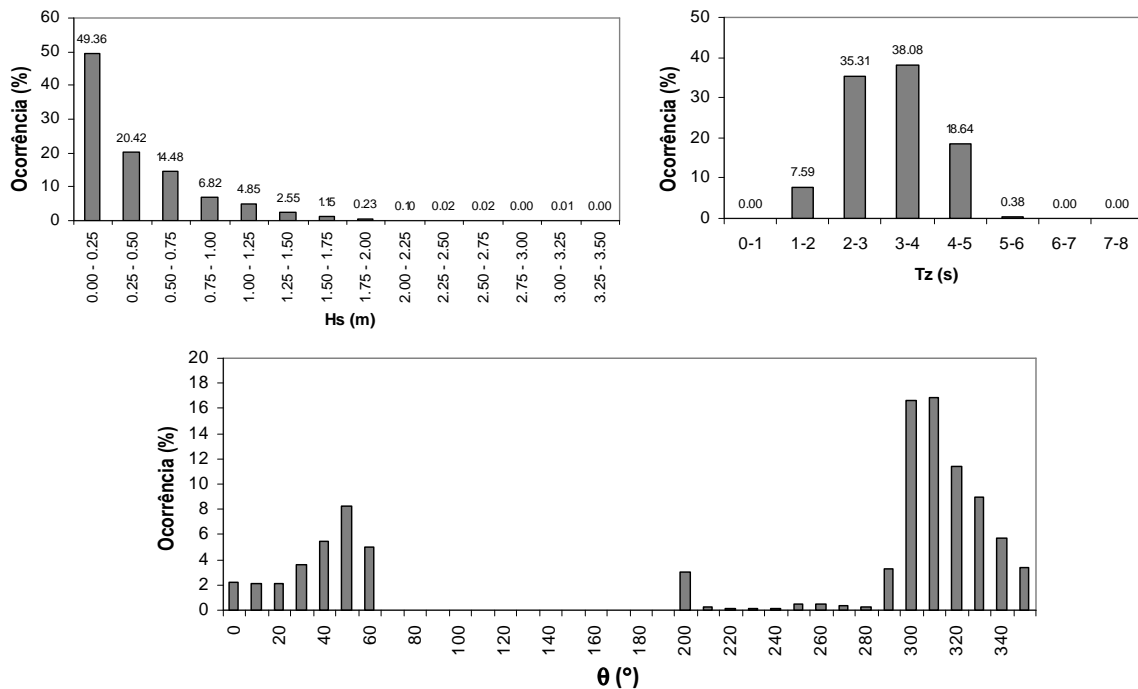


Figura 9 – Histogramas de ocorrências de H_s , T_z e θ .

3.1.4 Níveis de maré e sobrelevação

Releva aqui apresentar somente os níveis máximos ocorridos a partir da série temporal (reconstituída) de 19 anos de níveis de água. Efectivamente, o nível máximo estimado foi 5.2 m, e níveis de 4.0, 4.5 e 5.0 m ODN são somente excedidos, em média, 5 dias por ano, 1 dia por ano e 1 dia em 50 anos, respectivamente. Estes três níveis foram escolhidos para duas hipóteses de configuração da berma e perfil de enchimento. Determinou-se ainda a amplitude de maré modal (mais frequente), igual a 6.25 m.

3.1.5 Transporte longitudinal

Estudos antecedentes foram unânimes relativamente ao sentido da capacidade de transporte longitudinal resultante, de Oeste para Este, mas controversos relativamente à sua intensidade média. Valores bastante diferentes foram sugeridos: $260 \times 10^3 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ e $10 \times 10^3 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ (HR, 1988; HR, 1991). Presentemente a capacidade de transporte deverá ser superior ao transporte real devido à inexistência de sedimentos disponíveis para mobilizar em áreas onde é visível a presença de afloramentos argilosos na face de praia. No entanto, a estimativa deste parâmetro para a praia no seu estado actual também foi necessária para a aplicação do modelo de evolução da linha de costa, que foi calibrado para a evolução recente visando executar a previsão do comportamento da praia para as soluções alternativas, tendo em conta que nas futuras condições as taxas de transporte estarão de acordo com a capacidade de transporte da praia uma vez que haverá sedimento disponível.

A análise dos resultados para os 18 anos completos analisados, de 1987 a 2005, permitiu concluir que os valores médios do transporte para Oeste e Este foram 6.3×10^3 e $109.9 \times 10^3 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$, respectivamente (Figura 10a). Estes resultados são consentâneos com o conhecimento anterior a este estudo uma vez que indicam claramente uma predominância do transporte para Este, cerca de 95% do transporte total. O transporte resultante e total (diferença e soma entre as duas componentes) médios foram 103.5×10^3 e $116.3 \times 10^3 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$, respectivamente (Figura 10b). Constatou-se a existência de uma grande variação interanual do transporte durante o período analisado, entre 51.9×10^3 e $187.5 \times 10^3 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ para a resultante do transporte.

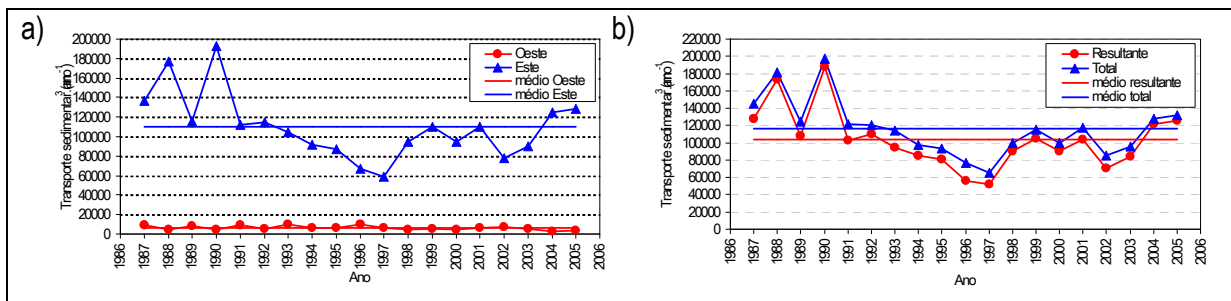


Figura 10 – Capacidade de transporte longitudinal durante 1987-2005: a) Oeste e Este; b) resultante e total.

Outra característica da praia associada ao transporte longitudinal é a zona submersa activa, onde ocorre o transporte predominante. Identificaram-se as zonas onde ocorre cerca de 90 e 95% do transporte total. Os parâmetros associados são a sua extensão e a profundidade limite. A análise destes parâmetros permitiu concluir que os valores médios da extensão horizontal onde ocorre 90 e 95% do transporte total são 218 e 249 m, respectivamente. As correspondentes profundidades são -3.0 e -3.6 m ODN, respectivamente. Conforme mostra a Figura 11a-b, estes parâmetros não variam anualmente tanto quanto a magnitude do transporte, pois dependem maioritariamente da ocorrência de ondas com maior capacidade de transporte, que são as ondas com maior altura.

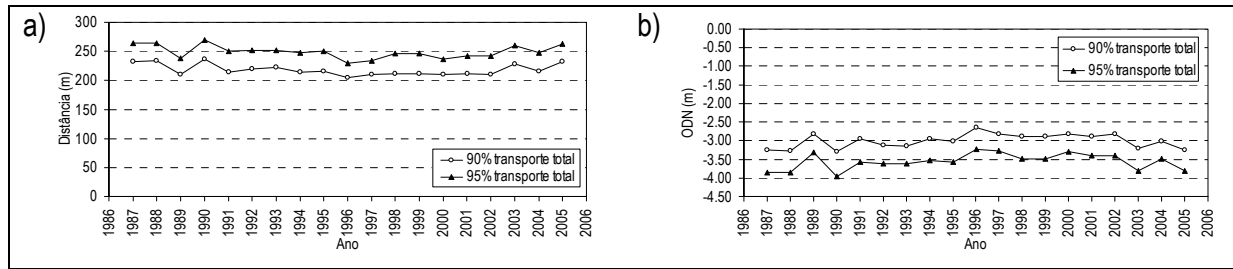


Figura 11 – Parâmetros da zona submersa activa da praia durante 1987-2005: a) extensão e b) profundidade limite.

3.2 Optimização do perfil de praia

3.2.1 Configuração do perfil

Em função do diâmetro mediano dos sedimentos, D_{50} , e da configuração da berma da praia, obtiveram-se os 5 perfis de equilíbrio ilustrados na Figura 12. Devido à indisponibilidade de sedimentos com $D_{50}=0.75$ mm, apesar de corresponder a um menor volume de enchimento, o perfil resultante não foi mais considerado. Note-se que se obtiveram valores dos coeficientes que definem cada perfil de dois-declives da praia dentro dos limites dos intervalos calculados em Bernabeu *et al.* (2003), dando maior confiança à metodologia e resultados aqui obtidos.

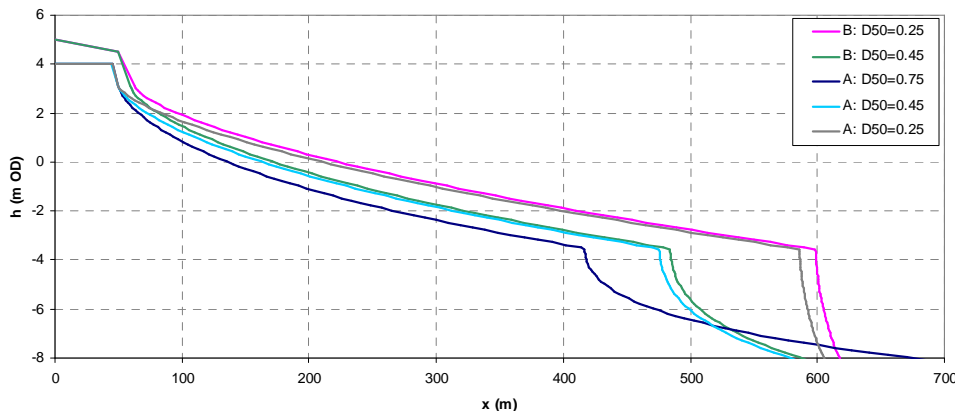


Figura 12 – Perfis de equilíbrio para duas configurações de berma (A e B) e 3 diâmetros característicos do sedimento.

3.2.2 Teste à erosão por tempestade

Realizaram-se os sete testes (Quadro 1) de evolução morfológica de curto prazo para estimar a erosão do perfil de enchimento da futura praia e conseqüente recuo da berma. A variação morfológica e os principais parâmetros de morfodinâmica são apresentados na Figura 13 e Quadro 4, respectivamente. A comparação dos resultados dos testes 1 e 4, com mesma geomorfologia (configuração do perfil e distribuição granulométrica) mostrou que a tempestade de Fevereiro 1990, em que os níveis do mar atingiram valores mais elevados, causou maior erosão (apesar das ondas terem cerca de metade da altura, conforme Figura 2).

A berma horizontal a 4 m ODN permaneceu inalterada sob acção da tempestade de Dez/90 para os três testes efectuados (testes 1-3), nos quais apenas ocorreu erosão da face de praia (Figura 13a e Quadro 4). Contudo, sob acção da tempestade de Fev/90, a mesma berma (testes 4-5) foi quase totalmente erodida (Figura 13b e Quadro 4). Constatou-se que a dispersão granulométrica, σ , é um parâmetro bastante influente na estabilidade do perfil de praia. Os resultados numéricos indicam que

este parâmetro pode ser mais relevante do que o diâmetro mediano, D50, no processo de erosão. Concluiu-se que uma berma horizontal com 50 m de largura ao nível 4 m ODN é insuficiente para evitar a acção directa das ondas sobre o paredão quando submetida à pior tempestade marítima conhecida. Para estas condições de estado do mar, apenas a berma de 50 m de largura e declive 1:100, implementada desde o nível 5 m ODN junto ao paredão até ao nível 4.5 m ODN, mostrou resiliência ao processo de erosão (Figura 13c e Quadro 4). Salienta-se que, mesmo para esta geometria de topo de praia, apenas um perfil com pequena dispersão granulométrica, de magnitude de ordem do valor aqui testado, $\sigma=1.72$, pode garantir uma largura mínima da berma de segurança.

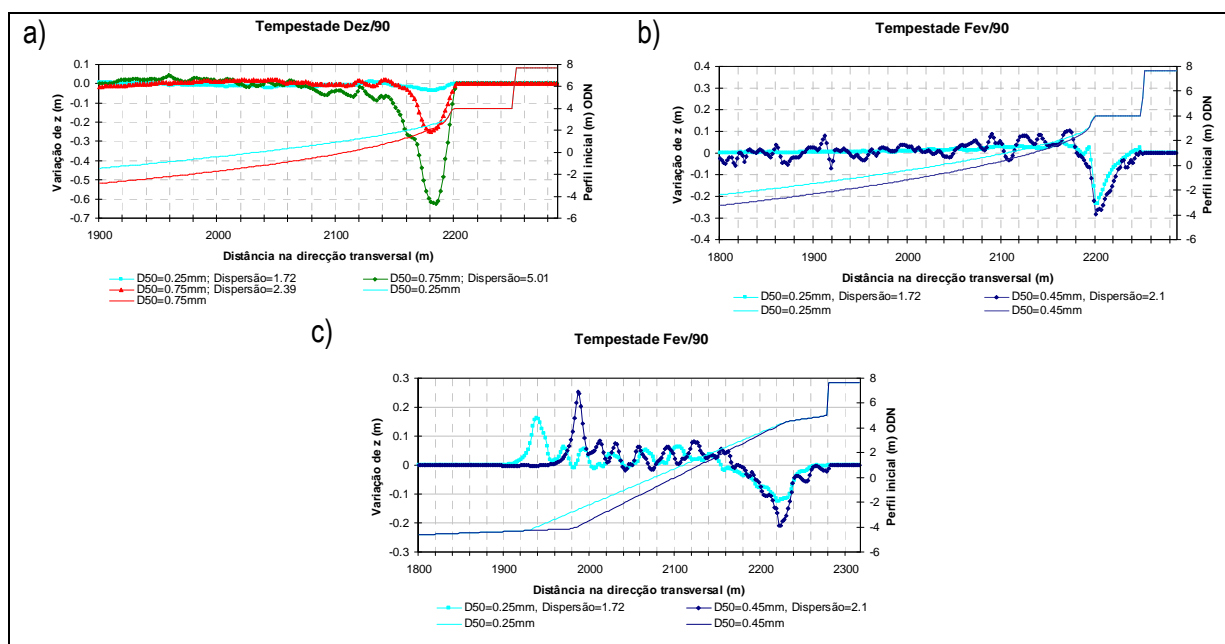


Figura 13 – Evolução do perfil de enchimento a curto prazo para duas tempestades marítimas. Resultados dos testes: a) 1 a 3; b) 4 e 5; e c) 6 e 7.

Quadro 4 – Parâmetros de morfodinâmica dos testes de evolução do perfil de enchimento a curto prazo.

Teste n°	Condições sedimentológicas D_{50} (mm); σ (-)	Máximo rebaixamento da face de praia (m)	Distância do máximo rebaixamento ao paredão (m)	Volume de erosão nos 1 ^{as} 350 m de largura de praia (m ³)	Recuo da berma (m)
1	D50=0.25 mm; σ =1.72	0.04	68	3	0
2	D50=0.75 mm; σ =5.01	0.62	66	20	0
3	D50=0.75 mm; σ =2.39	0.25	70	5	0
4	D50=0.25 mm; σ =1.72	0.23	50	4.0	40
5	D50=0.45 mm; σ =2.1	0.28	50	7.1	48
6	D50=0.25 mm; σ =1.72	0.13	58	6.0	30
7	D50=0.45 mm; σ =2.1	0.21	56	7.2	50

3.3 Modelação de alternativas de reabilitação

3.3.1 Calibração dos modelos

A presença de esporões baixos na face de praia, submersos ou emersos consoante o nível do mar, criou dificuldades no processo de calibração uma vez que os modelos apenas simulam a evolução da linha de costa considerando os esporões permanentemente emersos. Assim, a calibração foi realizada

considerando dois casos para o modelo Litline, a ausência e a presença dos esporões, e um caso para o modelo Litmod, a presença de esporões.

Na calibração do modelo Litline foram considerados os resultados do transporte longitudinal e respectivos parâmetros da zona activa da praia descritos na secção 3.1.5. Considerou-se a variabilidade transversal da granulometria dos sedimentos. No processo de calibração foi alcançado o balanço sedimentar de $-29.6 \times 10^3 \text{ m}^3$ (erosão) na ausência de esporões e $+13.7 \times 10^3 \text{ m}^3$ (acumulação) na presença de esporões totalmente emersos (Figura 14). A comparação destes resultados com os resultados da análise da evolução da praia para o mesmo período (secção 3.1.1) permitiu concluir que a melhor calibração do modelo Litline foi obtida considerando ausência de esporões, ou seja, que os esporões baixos existentes na face de praia não foram eficientes no processo de retenção de areia durante o período de calibração.

Na calibração do modelo Litmod foi imposta a taxa de transporte $80 \times 10^3 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ na fronteira Este e do balanço sedimentar ocorrido resultou a taxa de transporte de $50 \times 10^3 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ na fronteira Oeste. Foi considerado um sedimento uniforme para toda a praia $D_{50}=0.25 \text{ mm}$ (uma vez que o modelo não considera a variabilidade granulométrica) e uma profundidade de fecho -3.8 m ODN . Foi incluído o processo de difracção dos esporões ao longo da praia e não foi considerado o efeito de difracção do quebra-mar existente na fronteira Oeste.

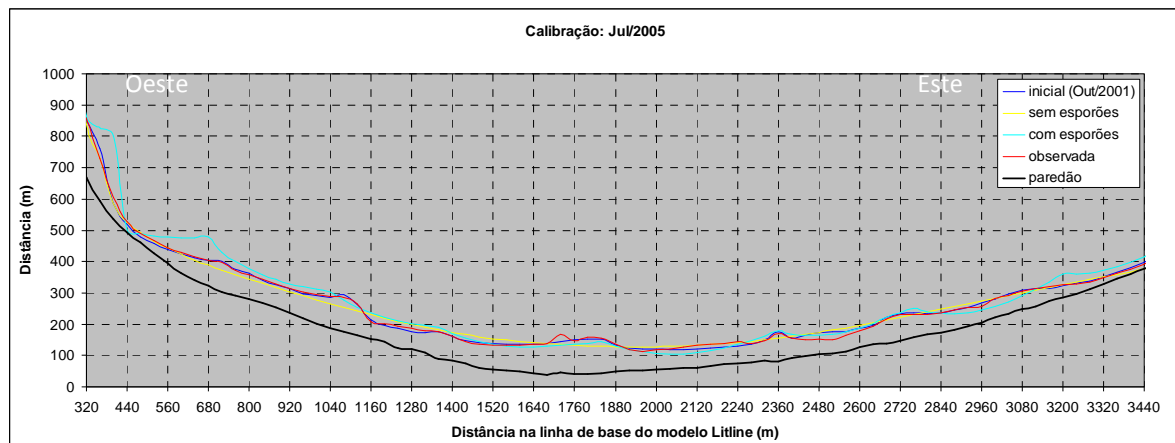


Figura 14 - Resultados da calibração para o modelo Litline.

3.3.2 Soluções de alimentação artificial

A segunda fase da metodologia para modelação de alternativas de reabilitação consistiu no teste de duas soluções de alimentação artificial sem estruturas de protecção. Testou-se a evolução (para os 19 anos da série de agitação marítima) do enchimento da praia para dois tipos de sedimento e respectivos perfis (2S-EBP e berma com declive 1:100 entre os níveis 5 e 4.5 m ODN). Estas soluções corresponderam a: 3.3 milhões de m^3 de areia com $D_{50}=0.25 \text{ mm}$ (área de enchimento 1.6 milhões de m^2); e 2.2 milhões de m^3 de areia com $D_{50}=0.45 \text{ mm}$ (área de enchimento 1.3 milhões de m^2).

Os resultados dos testes de evolução da linha de costa mostraram uma boa concordância entre os dois modelos na previsão das perdas de sedimento durante os primeiros 10 anos. Estimou-se uma perda de 17% com o modelo Litline e 20% com o modelo Litmod, para ambos os casos. Ambos os modelos identificaram os extremos dos enchimentos como locais críticos de erosão (recoo da linha de costa) e o sector central como a zona mais estável. O extremo Este do enchimento foi o que mostrou maior recoo, 79 m com o modelo Litline para a solução de enchimento com $D_{50}=0.25 \text{ mm}$ (Figura 15). Uma vez que o volume de enchimento para o caso com $D_{50}=0.25 \text{ mm}$ é superior ao volume para o caso com $D_{50}=0.45 \text{ mm}$, a perda de sedimento é superior, logo, o enchimento com $D_{50}=0.45 \text{ mm}$ seria potencialmente mais económico.

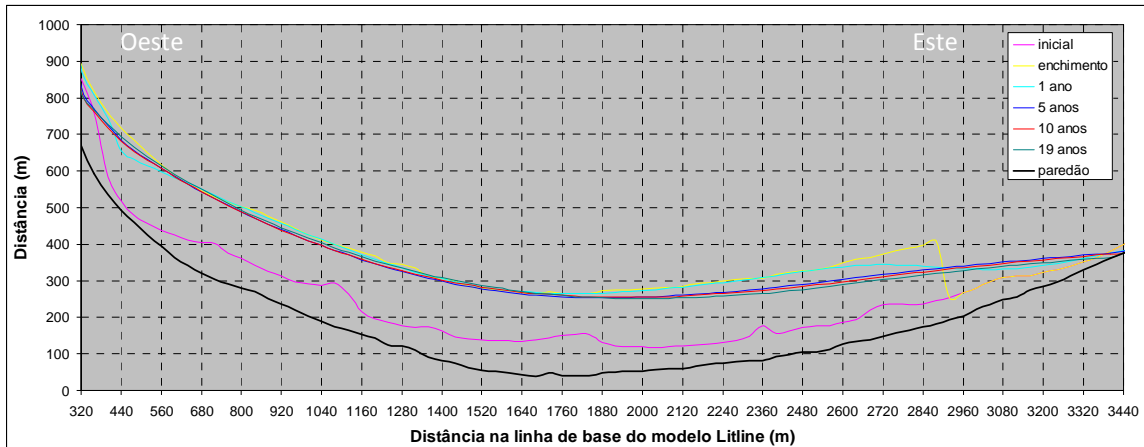


Figura 15 - Evolução da linha de costa com o modelo Litline para solução de enchimento com $D_{50}=0.25$ mm.

3.3.3 Soluções com obras complementares de contenção

Para diminuir as perdas de areia ao longo do tempo, que se verificavam na solução de alimentação artificial isolada, simularam-se as alternativas de obras fixas de contenção que se discutem seguidamente:

- Alternativa 1: Um esporão em Y com 250 m de comprimento
 - O enchimento artificial apresentou uma boa durabilidade resultante do baixo défice de transporte sólido litoral do trecho;
 - A maior parte da praia permaneceu estável mas verificou-se alguma erosão progressiva da linha de costa no extremo Oeste do trecho;
 - Após 10 anos de simulação o trecho de 1300 m da parte Este do comprimento alimentado manteve ainda uma faixa emersa de praia, mesmo nas condições desfavoráveis de preia-mar de águas vivas.
 - Foi estimada uma perda de areia de 18% do volume total de enchimento durante os primeiros 10 anos após o enchimento.
- Alternativa 2: Dois esporões em Y com 250 m de comprimento, distanciados de 1000 m (Figura 16)
 - Comportamento semelhante ao da alternativa anterior;
 - O segundo esporão em Y, localizado a Oeste, apresentou apenas um efeito de acumulação localizado sem contribuir para uma significativa melhoria da estabilidade do enchimento;
 - Foi estimada uma perda de areia de 18% do volume total de enchimento durante os primeiros 10 anos após o enchimento.
- Alternativa 3: Dois esporões com 250 m de comprimento, distanciados de 1000 m (Figura 17)
 - Comportamento muito semelhante ao da alternativa anterior;
 - Menor largura da praia nos trechos localizados imediatamente a Este das obras;
 - Foi estimada uma perda de areia de 17% do volume total de enchimento durante os primeiros 10 anos após o enchimento.
- Alternativa 4: Três quebra-mares destacados com 280 m de comprimento (Figura 18)
 - Os quebra-mares destacados induzem uma maior irregularidade na largura da praia;
 - O enchimento artificial apresentou uma boa durabilidade resultante do baixo défice de transporte sólido litoral do trecho;
 - Após 10 anos de simulação mantinha-se ainda um total de 1100 m de faixa emersa no trecho de praia alimentado, mesmo nas condições desfavoráveis de preia-mar de águas vivas;
 - Foi estimada uma perda de areia de 20% do volume total de enchimento durante os primeiros 10 anos após o enchimento.

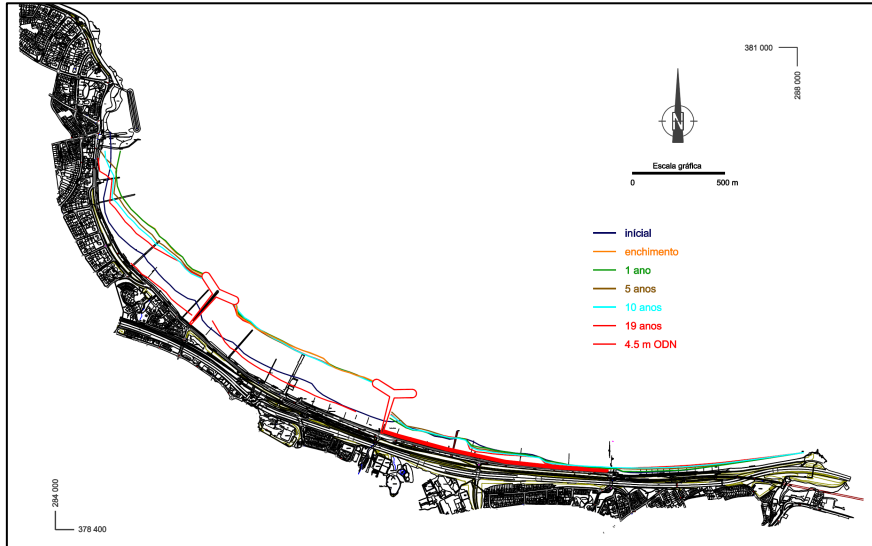


Figura 16 - Simulação da evolução da linha de costa com o modelo Litmod na Alternativa 2.

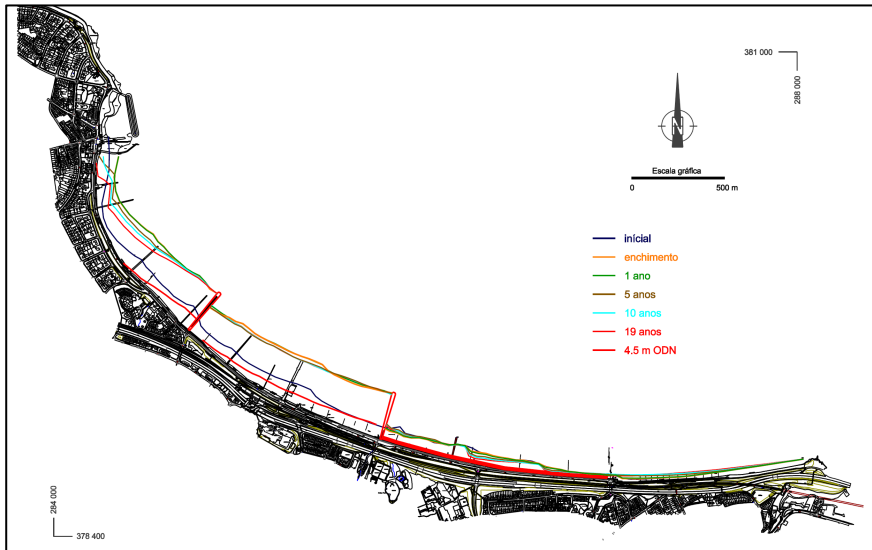


Figura 17 - Simulação da evolução da linha de costa com o modelo Litmod na Alternativa 3.

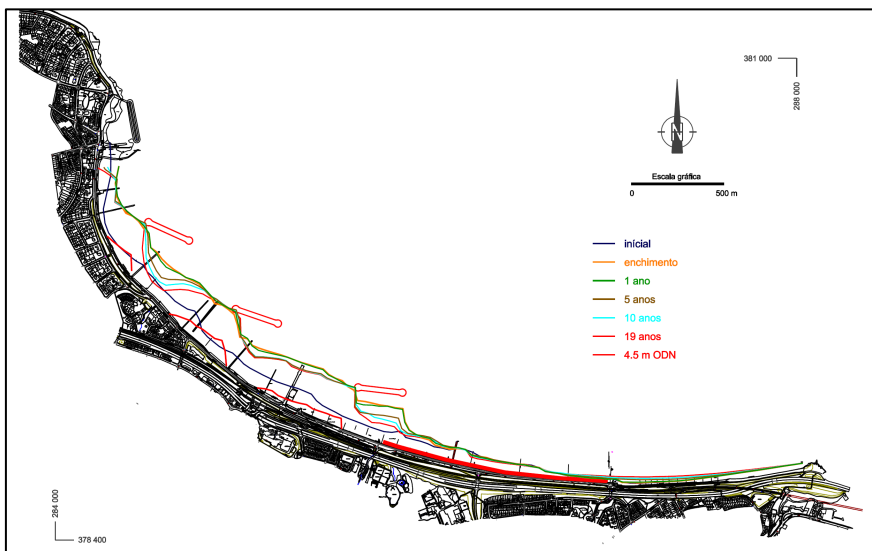


Figura 18 - Simulação da evolução da linha de costa com o modelo Litmod na Alternativa 4.

- Alternativa 5: Dois esporões em Y com 250 m de comprimento, distanciados de 1600 m
 - Comportamento semelhante ao da Alternativa 2;
 - Maior recuo do enchimento no extremo Oeste do trecho confinado pelas obras;
 - Foi estimada uma perda de areia de 18% do volume total de enchimento durante os primeiros 10 anos após o enchimento.

As soluções acima foram avaliadas e comparadas qualitativamente e quantitativamente. Os parâmetros qualitativos foram: partição da praia, uniformidade da largura de praia, aproveitamento de estruturas existentes, segurança para uso recreativo, vista para o mar e provável ocorrência de problemas associados a sedimentação (incluindo de salubridade). A solução minimalista (em termos de implementação de estruturas), que consistiu na implementação de esporões, alternativa 3, é a que oferece condições mais compatíveis com a futura utilização da praia, que será balnear, para prática de desportos náuticos, passeios e caminhadas com vista para o mar e outros tipos de uso recreativo.

Os parâmetros quantitativos usados para avaliar e comparar as soluções alternativas foram: a posição da linha de costa após 1, 5, 10 e 19 anos de simulação, a posição do topo do 2S-EBP (linha ao nível +4.5 m ODN) após 10 anos, e a perda de sedimento do trecho de enchimento após 10 anos. Os principais resultados foram:

- Ao fim de 10 anos a perda de sedimento correspondente ao enchimento variou apenas 3% entre as soluções alternativas (entre 17 e 20%);
- A pior solução foi a alternativa 4, com 20% do enchimento perdido ao fim de 10 anos. A linha de costa, que ao fim de 5 anos já se apresentava bastante irregular, continuou a recuar na parte central e extremo Este de cada quebra-mar destacado até ao final da simulação. O elevado recuo do perfil de praia nestas localizações poderá causar erosão se for exercida acção directa da onda sobre o paredão devido à ausência de berma;
- O esporão em forma de Y é mais eficiente em reter areia na sua área adjacente, particularmente na zona de abrigo da estrutura, o lado Este, do que o esporão com o mesmo comprimento (comparando alternativas 2 e 3);
- O deslocamento para Oeste do esporão em Y localizado a Oeste reduz a uniformidade da largura de praia no trecho entre os esporões em Y, em particular no lado Este desse esporão (comparando alternativas 2 e 5).

Também foram testadas as três primeiras alternativas considerando um aumento de 50 m no comprimento das estruturas transversais. Os resultados mostraram que a perda de areia ao fim de 10 anos foi reduzida para 12% do volume de enchimento, para os três casos. Este melhoramento deve-se ao facto da profundidade de fecho ser maior (situar-se mais ao largo) do que a profundidade a que se localizam os extremos destas estruturas, e conseqüentemente o seu prolongamento causar aumento significativo da capacidade de retenção.

4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente estudo teve como objectivo o desenvolvimento de soluções alternativas de reabilitação e protecção da praia de Colwyn Bay e foi dividido em duas partes: a caracterização da dinâmica da praia e o teste de soluções alternativas. Esta última parte consistiu na optimização do perfil de enchimento e na modelação da evolução da linha de costa a longo prazo para as soluções alternativas. No âmbito da caracterização da dinâmica da praia foram processados, produzidos e analisados dados que também foram usados como dados iniciais e de verificação/controlo para os modelos numéricos aplicados quer na optimização do perfil de enchimento quer no teste de longo prazo das soluções alternativas.

As principais conclusões e recomendações do estudo foram:

- O enchimento da praia deve contemplar um volume que garanta uma largura de berma de segurança que evite a acção directa das ondas sobre a defesa longitudinal aderente durante

tempestades marítimas. Por isso, recomendou-se a implementação de uma berma com declive 1:100 entre o nível 5 e 4.5 m ODN, seguida de um perfil do tipo 2S-EBP.

- Das soluções alternativas baseadas em alimentação com estruturas de retenção testadas, as que tiveram melhor desempenho na retenção do enchimento foram as baseadas em estruturas normais à praia, e, entre estas, a que oferece maior garantia de retenção do volume de enchimento e simultaneamente oferece condições compatíveis com o futuro uso da praia é a alternativa 2, dois esporões em Y com 250 m de comprimento, distanciados de 1000 m.
- O aumento de 50 m do comprimento dos esporões das alternativas 1, 2 e 3 beneficiaria a redução da perda de sedimentos, que ao fim de 10 anos passaria de 18 para 12% do enchimento total.
- A monitorização da morfologia da praia, desde a defesa longitudinal aderente até ao limite da futura zona activa da praia submersa (aproximadamente -5 m ODN), deve ser realizada durante e depois do projecto, pois não só permitirá a avaliação do seu desempenho, como também permitirá a quantificação das transferências transversais e longitudinais de sedimento, e assim, alertar no caso de ocorrerem situações atípicas ou fora do esperado.
- A comparação de soluções alternativas foi realizada com base numa análise estritamente técnica. Por isso, recomendou-se a realização de uma análise custo – benefício para então seleccionar a melhor solução sustentável.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos técnicos Dr. Lourival Trovisco, Sr. Luís Simões Pedro, Sr. Victor Pisco e Sr. Fernando Brito, pela contribuição dada neste estudo, ao *Conwy County Borough Council*, pelo financiamento do estudo e autorização de publicação, e à Royal Haskoning, UK, pelo consórcio estabelecido.

BIBLIOGRAFIA

- BERNABEU, A.M.; MEDINA, R.; VIDAL, C. – “A morphological model of the beach profile integrating wave and tidal influences”. *Marine Geology*, 197, 2003, pp. 95-116.
- CELTEST – *Colwyn Coastal Strategy. Site Investigation*. Report STR83440, 2007, Celtest UK, 32 pp.
- DHI - *Litpack. Noncohesive Sediment Transport in Currents and Waves. User Guide*. Danish Hydraulic Institute, Denmark, 2008.
- PAWLOWICZ, R.; BEARDSLEY, B; LENTZ, S. – “Classical Tidal Harmonic Analysis Including Error Estimates in MATLAB using T_TIDE”. *Computers and Geosciences*, 28, 2002, pp. 929-937.
- THIELER, E.R.; HIMMELSTOSS, E.A.; ZICHICHI, J.L.; ERGUL, A. - *Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0—An ArcGIS extension for calculating shoreline change: U.S. Geological Survey Open-File*. Report 2008-1278, 2009.
- VICENTE, C. M. - *Aperfeiçoamento de Métodos de Modelação Matemática e Física Aplicáveis a Problemas de Dinâmica Costeira*. Programa de Investigação. LNEC, Lisboa, Portugal, 1991.
- VICENTE C. M.; CÍMACO, M. - *Evolução de Linhas de Costa. Desenvolvimento e Aplicação de um Modelo Numérico*. ICT/ITH-42, LNEC, Lisboa, Portugal, 2003.