

Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Ana Carolina Magalhães Gomes

**Contributos para a caracterização
da morfodinâmica de praias sob
influência de estruturas antrópicas**

Dissertação de Mestrado
Mestrado Integrado em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor José Luís da Silva Pinho

Novembro de 2017

*Às pessoas mais importantes da minha vida,
Por todo o amor e apoio incondicional*

*“O que faz andar o barco não é a vela enfunada,
mas o vento que não se vê.”*

Platão

AGRADECIMENTOS

A concretização desta etapa tão importante na minha vida não é apenas resultado de um empenho e esforço individual, mas também do apoio das pessoas que me acompanharam e sempre me incentivaram ao longo de todo o meu percurso enquanto estudante, sem os quais teria sido muito mais difícil chegar ao fim desta etapa. Cabe-me demonstrar os meus profundos e sinceros agradecimentos a todos eles.

Em primeiro lugar, ao meu orientador, o Professor Doutor José Luís Pinho, um especial agradecimento pela forma como me orientou, pela sua total disponibilidade e acompanhamento em todos os trabalhos de campo, pela partilha de conhecimento, apoio e confiança, os quais foram valiosos para a realização desta dissertação.

À Professora Doutora Helena Granja, à técnica Ana Luísa Costa bem como ao engenheiro Paulo Moutinho da ABB e a todas as pessoas envolvidas no trabalho realizado na praia de Esmoriz.

O meu agradecimento eterno à minha família, aos meus pais José e Angelina, por tudo o que fizeram por mim até aqui, por me incentivarem e orientarem, e por me terem dado a melhor educação possível, sem nunca deixarem que nada me faltasse. Ao meu irmão Miguel, que me orgulha imenso a pessoa que se está a tornar, agradeço pelo seu carinho e companheirismo.

A ti Carlos, já la vão 10 anos que caminhamos juntos, obrigada por estares sempre ao meu lado em todos os momentos da minha vida, pelo apoio, paciência e dedicação que tiveste ao longo deste percurso, e por toda a ajuda que sempre me deste quando precisei. Agradeço todos os dias te teres cruzado na minha vida e por me fazeres feliz.

Às minhas amigas Helena e Joana que sempre estiveram presentes quando mais precisei.

Não poderia deixar de agradecer à minha querida avó Conceição, que apesar de ter partido há 2 anos, permanece eternamente no meu coração. Seu amor e palavras de encorajamento ficarão para sempre marcados nas minhas melhores lembranças. Que me continue a guiar e olhar por mim todos os dias.

RESUMO

O fenómeno da erosão costeira afeta profundamente a costa portuguesa. O sistema praia-oceano não se pode considerar em situação de equilíbrio morfodinâmico porque as praias não se qualificam como sistemas fechados, sendo os seus sedimentos constantemente transportados naquele sistema. Os ventos, marés e agitação marinha são os principais agentes erosivos, mas existem outras causas de origem antropogénica que estão na origem de processos erosivos recentes. Com efeito, é fulcral a caracterização da hidrodinâmica, que constitui o primeiro passo em muitos estudos sobre a orla costeira.

Na presente dissertação foram realizados três trabalhos em três praias distintas, na Praia de Ofir, Praia do Belinho e Praia de Esmoriz, cada uma com um propósito diferente no âmbito da hidráulica marítima.

Na Praia de Ofir o trabalho consistiu na realização de levantamentos topográficos de alta precisão com auxílio de equipamento DGPS. O objetivo foi compreender e avaliar as alterações morfológicas em diferentes estados de agitação e tipologia de maré de muito curto termo, sofridas na zona intervencionada em 2015, com a colocação de cilindros geossintéticos como medida de defesa da costa. Para isso foi desenhado um programa de monitorização envolvendo diferentes secções selecionadas para o efeito. As campanhas tiveram início no dia 20 de março de 2017 e terminaram em 15 de maio de 2017.

Na Praia do Belinho, o objetivo consistiu em simular a resposta morfodinâmica de uma praia de seixos devido às ações do mar durante um ciclo de maré, tirando proveito das potencialidades do programa XBeach-G e comparar com os resultados obtidos por Silva (2014).

Por fim, na Praia de Esmoriz, foi realizada uma campanha de recolha e caracterização de sedimentos no “sítio” da Barrinha de Esmoriz, que durante o ano corrente foi sujeita a trabalhos de valorização e requalificação, tendo como objetivo específico a defesa deste trecho costeiro.

Palavras-chave: morfodinâmica costeira, levantamentos DGPS, modelação morfodinâmica

ABSTRACT

Erosion deeply affects the Portuguese coast. The ocean-beach system cannot be considered in morphodynamic equilibrium, because the beaches doesn't qualify as closed systems, being its sediments constantly transported along the coast. The winds, tides, and the sea waves are the main erosive agents, but other anthropogenic causes can be identified in the installed erosive processes. Indeed, coastal hydrodynamics studies constitute the first step to understand beach morphodynamics.

In this dissertation work, three different studies were carried out, at three beaches: Ofir beach, Belinho beach and Esmoriz beach. At each one of these locations different subjects related with maritime hydraulics were addressed.

At the Ofir beach, the work consisted on the execution of high precision topographical surveys, using advanced DGPS technologies (Differential Global Positioning System). The main objective was to understand and assess the morphological changes under different wave and tidal conditions for very short term time scales, suffered by coastal segments where geotextile cylinders were constructed as a coastal defense measure. A monitoring programme was defined for the selected locations. Field works start on 2017, March 20 and ended on 2017, May 15.

At Belinho beach, the main objective was to simulate the morphodynamics of pebble beaches, due to sea waves, during a tidal cycle time scale, applying XBeach-G software and comparing simulated results with field survey results obtained by Silva (2014).

Finally, at Esmoriz beach, a campaign for collecting sediment samples of “Barrinha de Esmoriz” lagoon was carried out. This task was included in the coastal defense works with geotextile cylinders that was at place during the dissertation work.

Keywords: coastal morphodynamics, DGPS surveys, morphodynamic modeling

ÍNDICE

Agradecimentos.....	i
Resumo.....	iii
Abstract	v
Índice.....	vii
Índice de figuras	xi
Índice de tabelas	xvii
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Objetivos do trabalho	2
1.3. Organização da dissertação	3
2. Estado da arte.....	5
2.1. Morfodinâmica de praias	5
2.1.1. Generalidades	5
2.1.2. Agentes hidrodinâmicos impulsionadores de alterações morfodinâmicas.....	6
2.1.2.1. Ondas.....	6
2.1.2.1.1. Transformação de ondas	7
2.1.2.1.2. Tipos de rebentação de ondas	8
2.1.2.2. Correntes	10
2.1.2.3. Marés.....	11
2.1.3. Morfologia de praias arenosas e praias de seixos	13
2.1.4. Estados morfodinâmicos de praias.....	16
2.2. Estruturas de defesa costeira.....	21
2.2.1. Esporões	22
2.2.2. Obras longitudinais aderentes	23

2.2.3.	Quebra-mares destacados	24
2.3.	Soluções de defesa costeira em alternativa às convencionais	25
2.3.1.	Alimentação artificial de praias.....	26
2.3.2.	Geossintéticos na Engenharia Costeira	27
2.3.2.1.	Considerações sobre o uso de geossintéticos	27
2.3.2.2.	Cilindros geossintéticos.....	31
2.3.2.2.1.	Enquadramento	31
2.3.2.2.2.	Procedimento de instalação	33
2.3.2.2.3.	Mecanismos de rotura.....	36
3.	Metodologias.....	38
3.1.	Praia arenosa de Ofir	38
3.1.1.	Metodologias de caracterização da morfodinâmica de praias arenosas	38
3.1.1.1.	Sistema de posicionamento global	38
3.1.1.2.	Programas de SIG.....	41
3.1.2.	Levantamento topográfico com DGPS e processamento de dados com o software QGis	43
3.2.	Praia de seixos de Belinho.....	48
3.2.1.	Modelação de praias de seixos com o programa XBeach-Gravel.....	48
3.3.	Laguna de Esmoriz	55
3.3.1.	Recolha e caracterização de sedimentos	55
3.3.1.1.	Âmbito do trabalho.....	55
3.3.1.2.	Antecedentes	57
3.3.1.3.	Campanha de recolha	58
4.	Casos de estudo.....	67
4.1.	Praia de Ofir.....	67
4.1.1.	Enquadramento.....	67
4.1.1.1.	Caracterização da área de estudo	67

4.1.1.2. Análise da evolução recente da Praia de Ofir	68
4.1.1.3. Intervenção realizada na praia de Ofir	72
4.1.2. Resultados	74
4.1.2.1. Perfis transversais.....	75
4.1.2.2. Perfis longitudinais.....	79
4.1.3. Discussão de resultados.....	80
4.2. Praia de Belinho	95
4.2.1. Enquadramento.....	95
4.2.1.1. Caracterização da área de estudo	95
4.2.1.2. Monitorização de praias de seixos	98
4.2.2. Resultados	103
4.2.3. Discussão de resultados.....	108
4.3. Laguna de Esmoriz	113
4.3.1. Enquadramento.....	113
4.3.1.1. Caracterização da área de estudo	113
4.3.2. Resultados	117
4.3.3. Discussão de resultados.....	118
5. Conclusões e sugestões para trabalhos futuros	120
5.1. Conclusões.....	120
5.2. Sugestões para trabalhos futuros	122
Referências bibliográficas	123
Recursos web.....	126
Anexos.....	128
Anexo 1 - Caracterização realizada em “in situ” aos trados recolhidos na Barrinha de Esmoriz.....	128

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Características das ondas (adaptado de http://www.aprh.pt/rgci/glossario/onda.html)	7
Figura 2 - Diferentes formas de rebentação de ondas	9
Figura 3 - Corrente de retorno (http://amigodeviagem.com.br/wp-content/uploads/2015/09/Corrente-de-Retorno-Foto-3.jpg)	11
Figura 4 - Níveis de maré (Tábuas de maré, 2017).....	12
Figura 5 - Efeito das forças gravitacionais sobre os astros (Hidrográfico, 2017).....	13
Figura 6 - Exemplo de praia refletiva de seixos.....	14
Figura 7 - Subdivisão de uma praia (Adaptado de Silva, 2014)	15
Figura 8 - Diferentes morfologias de praias (Granja e Pinho, 2011)	17
Figura 9 - Estados morfodinâmicos das praias segundo Wright et al. (1979, apud Muehe, 2001).....	18
Figura 10 - Planta e vista lateral de cúspides (adaptado de Holland e Holman, 1996).....	20
Figura 11 - Cúspides, Praia do Belinho.....	21
Figura 12 - Exemplo da ação dos esporões na acumulação de areia proveniente da deriva litoral (Velooso Gomes, 1991).....	22
Figura 13 - Esporão sul da Praia de Ofir, Esposende (Marinho, 2015)	23
Figura 14 - Exemplo de solução mista, com construção de obra aderente (Velooso Gomes, 1991).....	24
Figura 15 - Exemplo de quebra-mar destacado e campo de quebra-mares (Velooso Gomes, 1991).....	24
Figura 16 - Quebra-mar destacado, Foz do Douro (http://consulmar.pt/pt-pt/portfolio/molhes-da-barra-do-douro/)	25
Figura 17 - Exemplos de extração de areias e alimentação de praias (Velooso Gomes, 1991).....	26
Figura 18 - Primeira aplicação de tubos de geotêxtil para proteção costeira, Holanda, 1962 (Castro et al., 2008).....	28

Figura 19 - Típico Cilindro de geossintéticos (adaptado de Smith, 2008).....	32
Figura 20 - Aplicação de cilindros geossintéticos, Praia de Esmoriz	33
Figura 21 - Aspeto dos cilindros geossintéticos quando entregues em obra, Praia de Esmoriz	34
Figura 22 - Enchimento cilindros geossintéticos, Praia de Ofir 2015 (http://concelhodeesposende.blogspot.pt/)	34
Figura 23 - Enchimento do cilindro em geossintético (adaptado Bezuijen e Vastenburb, 2013)	35
Figura 24 - Recetor Trimble Geo XR.....	40
Figura 25 - Previsão de maré para o Porto de Leixões de 3 em 3 horas, no período de monitorização, 17.03.2017 a 17.05.2017	44
Figura 26 - Mapa da localização de perfis transversais	45
Figura 27 - Levantamento topográfico na praia de Ofir, recorrendo ao equipamento DGPS..	46
Figura 28 - Importação de dados para o QGis, referente à campanha de 30.03.2017	47
Figura 29 - Perfil transversal 1 obtido no dia 10.04.2017.....	48
Figura 30 - Interface do programa XBeach-G, representando o Input e o Output do programa	50
Figura 31 - Perfil transversal da praia do Belinho para uma dada simulação.....	51
Figura 32 - Condições de agitação para uma dada simulação.....	51
Figura 33 - Nível da maré entre duas baixa-mar sucessivas utilizada nas simulações da praia do Belinho para o dia 16.05.2014	52
Figura 34 - Parâmetros utilizados para uma dada simulação	53
Figura 35 - Visualização em Cross-shore para uma dada simulação.....	53
Figura 36 - Time series para uma dada simulação	54
Figura 37 - Run-up para uma dada simulação.....	55
Figura 38 - Intervenção realizada na Barrinha de Esmoriz (RECAPE, 2014).....	56
Figura 39 - Intervenção de dragagem na Barrinha de Esmoriz.....	57

Figura 40 - Localizações propostas para as estações de recolha de sedimentos no plano de amostragem de sedimentos.....	58
Figura 41 - Aspeto da barrinha de Esmoriz no dia da campanha.....	59
Figura 42 - Localizações das estações de recolha de sedimentos da campanha atual e da campanha anterior realizada em fase de projeto	60
Figura 43 - Medição e separação do material recolhido com trado	62
Figura 44 - Caracterização realizada em “in situ” no trado do ponto E.....	63
Figura 45 - Acondicionamento das amostras recolhidas com o trado no ponto E, para posterior análise em laboratório	63
Figura 46 - Material utilizado durante a recolha de sedimentos	65
Figura 47 - Localização da praia de Ofir.....	67
Figura 48 - Evolução recente da praia de Ofir (Google Earth)	69
Figura 49 - Evolução recente da praia de Ofir	70
Figura 50 - Danos provocados pelo avanço do mar na Praia de Ofir (http://lugar-pedrinhas.blogspot.pt/).....	71
Figura 51 - Danos provocados pelo avanço do mar nas infraestruturas da Praia de Ofir (https://www.dn.pt)	71
Figura 52 - Muro de proteção à habitação parcialmente destruído em junho de 2003 (Loureiro, 2006)	72
Figura 53 - Aspetos do sistema de reforço dunar na praia de Ofir durante a instalação em junho de 2015 à esquerda e à direita após a construção em novembro de 2015 (Lopes, 2016)	73
Figura 54 - Aspetos do sistema de reforço dunar na praia de Ofir em março de 2017.....	74
Figura 55 - Área de estudo dividida em trechos.....	75
Figura 56 - Perfis transversais 2,4 e 6 do dia 20.03.2017	76
Figura 57 - Perfis transversais 1,2,3,4,5 e 6 do dia 30.03.2017	77
Figura 58 - Perfis transversais 1,2,3,4,5 e 6 do dia 10.04.2017	78

Figura 59 - Perfis transversais 1,2,3,4,5 e 6 do dia 15.05.2017	79
Figura 60 - Perfil longitudinal da praia na proximidade dos cilindros geossintéticos, em cada umas das campanhas	80
Figura 61 - Altura significativa no primeiro trimestre do ano de 2017 (Hidrográfico, 2017)	81
Figura 62 - À esquerda, o trecho 3 e à direita o trecho 1 da praia de Ofir, na primeira campanha 20.03.2017.....	81
Figura 63 - Evolução da preia-mar entre os dias 20 de março de 2017 e 29 de março de 2017	82
Figura 64 - Comparação dos perfis longitudinais na base dos cilindros geossintéticos entre a primeira (20.03.2017) e a segunda campanha (30.03.2017)	83
Figura 65 - Acreção sofrida em PT4 PT2 entre as duas primeiras campanhas.....	83
Figura 66 - Exposição dos cilindros geossintéticos nos trechos 4 e 5 (30.03.2017).....	84
Figura 67 - Deformação dos cilindros geossintéticos como consequência da destruição da tela geotêxtil no trecho 5 (30.03.2017)	84
Figura 68 - Praia de Ofir na zona em estudo em 30.03.2017.....	85
Figura 69 - Evolução dos níveis de preia-mar entre os dias 30 de março de 2017 e 9 de abril de 2017	85
Figura 70 - Comparação dos perfis longitudinais na base dos cilindros geossintéticos em relação à segunda (30.03.2017) e terceira campanha (10.04.2017)	86
Figura 71 - Diferença entre PT5 e PT4 nas campanhas 2 e 3	86
Figura 72 - Aspeto da praia nos trechos 4 e 5	87
Figura 73 - Acreção sentida no trecho 5, junto dos cilindros geossintéticos	87
Figura 74 - Evolução dos níveis de preia-mar entre os dias 10 de abril de 2017 e 15 de maio de 2017	88
Figura 75 - Comparação dos perfis longitudinais na base dos cilindros geossintéticos em relação às duas últimas campanhas (10.04.2017 e 15.05.2017).....	88
Figura 76 - Diferença entre PT5 e PT4 nas campanhas 3 e 4	89

Figura 77 - Acumulação de resíduos verificada no ultimo dia de campanha, na base dos geossintéticos dos trechos 4 e 5 (15.05.2017)	89
Figura 78 - Acumulação de areia na base dos cilindros geossintéticos no trecho 1	90
Figura 79 - PT2 nas duas últimas campanhas	90
Figura 80 - Altura significativa no período de monitorização	91
Figura 81 - Período médio no período de monitorização	91
Figura 82 - Alturas significativas (Hidrográfico, 2017).....	92
Figura 83 - Perfis 2,3,4 e 5 referentes à segunda campanha (30.03.2017) com indicação do nível de preia-mar.....	92
Figura 84 - Perfis 2,3,4 e 5 referentes à terceira campanha (10.04.2017) com indicação do nível de preia-mar.....	93
Figura 85 - Perfis 2,3,4 e 5 referentes à quarta campanha (15.05.2017) com indicação do nível de preia-mar.....	93
Figura 86 - Zona em estudo.....	94
Figura 87 - Exposição da zona em estudo às condições de agitação visto junto às torres de Ofir (30.03.2017 às 16h)	95
Figura 88 - Localização da praia do Belinho	96
Figura 89 - Praia do Belinho em 1994, documentada por Loureiro e Granja (2001)	97
Figura 90 - Praia do Belinho, 2017	97
Figura 91 - Localização de perfis transversais considerados por Silva,2014 na sua dissertação de mestrado (Silva, 2014).....	99
Figura 92 - Evolução da praia ao longo de um período de maré em diferentes campanhas (Silva, 2014).....	100
Figura 93 - Simulação 1, referente ao perfil transversal 1 no dia 16.05.2014	103
Figura 94 - Experiências 1, 2, 3 e 4 referentes às primeiras quatro simulações para o perfil transversal 1.....	104
Figura 95 - Experiências 5, 6, 7 e 8 referentes às simulações para o perfil transversal 1	104

Figura 96 - Experiências 9, 10, 11 e 12 referentes às simulações para o perfil transversal 1	105
Figura 97 - Experiências 13, 14, 15 e referentes às quatro últimas simulações para realizadas para o perfil transversal 1	105
Figura 98 - Experiências 17, 18, 19 e 20 referentes às primeiras quatro simulações para o perfil transversal 3	106
Figura 99 - Experiências 21, 22, 23 e 24 referentes às simulações para o perfil transversal 3	106
Figura 100 - Experiência 25 referente à ultima simulação para o perfil transversal 3.....	107
Figura 101 - Experiências 26, 27 e 28 referentes às três simulações para realizadas para o perfil transversal 4.....	107
Figura 102 - Evolução da praia ao longo de um período de maré em PT1, chegada por Silva (2014)	108
Figura 103 - Alterações morfológicas no PT1 para Hs=1m e Tp=7s e 20s, respetivamente .	109
Figura 104 - Alterações morfológicas no PT1 para Hs=2m e Tp=7s e 20s, respetivamente .	109
Figura 105 - Alterações morfológicas no PT1 para Hs=3m e Tp=7s e 20s, respetivamente .	109
Figura 106 - Evolução da praia em PT3, chegada por Silva (2014)	110
Figura 107 - Simulações realizadas para PT3 que mais se aproximam da realidade.....	111
Figura 108 - Evolução da praia ao longo de um período de maré em PT4, chegada por Silva (2014)	112
Figura 109 - Simulação realizada para PT4 que mais se aproxima da realidade	113
Figura 110 - Localização da Barrinha de Esmoriz	114
Figura 111 - Vista aérea da Barrinha de Esmoriz (Polis Ria de Aveiro, 2016)	115
Figura 112 - Espelho de água do interior da Barrinha de Esmoriz em 2012 (cusquicesdeesmoriz.blogspot.pt)	116
Figura 113 - Barrinha de Esmoriz (cusquicesdeesmoriz.blogspot.pt)	117
Figura 114 - Diferenciação em zonas, após a análise realizada aos sedimentos da Barrinha de Esmoriz.....	119

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Localização das estações de recolha de sedimentos	61
Tabela 2 - Valores de altura significativa média.....	82
Tabela 3 - Valores que foram mantidos constantes ao longo das 28 simulações.....	102
Tabela 4 - Valores de Hs, Tp e D ₅₀ em cada uma das 28 simulações	102
Tabela 5 - Resultados de percentagens de areia, silte e argila presentes em cada local	118

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

As regiões litorais apresentam uma importância relevante para a vida humana e seu desenvolvimento, por serem locais onde estão presentes algumas das grandes cidades mundiais e onde se produz e explora a maior parte dos recursos marinhos utilizados pelo homem (Almeida, 2013).

O fenómeno da erosão costeira afeta profundamente a costa portuguesa. Esta temática tem suscitado preocupação, devido à sua severidade e aumento dos riscos para a população ao longo das últimas décadas, com o recuo da linha de costa, proliferando as notícias sobre galgamentos, desaparecimento de praias e destruição de infraestruturas ao longo da costa, essencialmente durante os meses de maior agitação marítima. É previsível que as zonas costeiras sejam cada vez mais afetadas por fenómenos extremos e pela dinâmica natural que entra em conflito com o edificado e com as atividades antrópicas que nelas se instalaram.

Deste modo é importante o estudo destas áreas, de forma a contribuir para a mitigação de potenciais impactos negativos, que possam advir de variados fatores como uma incorreta ocupação e uso do solo, adotando medidas eficientes de conservação destas áreas.

As intervenções com rocha e betão têm sido consideradas como uma boa opção para fazer face aos riscos, podendo comportar-se como soluções bastante resistentes e eficazes. Contudo, podem desconfigurar a paisagem natural costeira, acarretar custos elevados de investimento e manutenção, e em alguns casos, apesar de solucionarem o problema numa zona, transferem-no ou agravam-no nas zonas vizinhas.

Assim, há que procurar soluções que combatam eficazmente o problema originado pelos agentes erosivos e que ao mesmo tempo não sejam soluções temporárias.

As intervenções com elementos de geotêxtil na engenharia costeira são cada vez mais encaradas como soluções alternativas, contando já com várias intervenções tanto a nível internacional como nacional, podendo fornecer em alguns casos uma proteção eficaz,

duradoura e mais económica. Porém, alguma inexperience de aplicação ou a incerteza na estabilidade da estrutura face a agentes antropogénicos e face a costas altamente energéticas, como é o caso da costa noroeste portuguesa, podem por em causa a sua utilização como alternativa a estruturas convencionais.

Com efeito, é fulcral a caracterização da hidrodinâmica, que constitui o primeiro passo em estudos sobre zonas costeiras, dado que as correntes, nomeadamente diferentes estados de agitação e tipologia de maré, determinam o movimento dos sedimentos e as formas de praia resultantes, como refere Silva (2014).

Na zona costeira de Esposende (NO de Portugal) tem-se assistido nos últimos anos, à migração das praias arenosas para o interior, ao recuo do cordão dunar e à gradual substituição das praias arenosas por praias de seixos, cuja permanência é, atualmente, constante no segmento costeiro a norte do rio Cávado e a sul da foz do rio Neiva. A génese e as alterações morfodinâmicas associadas a estas praias ainda se apresentam com muitas interrogações (Loureiro, 2006).

A dinâmica das praias arenosas e de seixos tem sido estudada principalmente com recurso à observação de perfis transversais que se repetem periodicamente. Desta forma, foram realizados levantamentos topográficos numa praia arenosa intervencionada com cilindros geossintéticos, utilizando o equipamento DGPS Trimble Geo-XR para o levantamento topográfico e o processamento de dados foi realizado com o software Quantum Gis, de modo a perceber a influência de agentes hidrodinâmicos como a maré e agitação, no trecho sob influência destas estruturas de defesa costeira. A resposta morfodinâmica numa praia de seixos foi simulada através do software XBeach-G, procedendo-se assim à avaliação da sua capacidade de reproduzir diferentes cenários hidrodinâmicos.

1.2. Objetivos do trabalho

O objetivo específico desta dissertação consistiu na análise e compreensão da resposta de curto termo da morfodinâmica de praias sob influência de estruturas antrópicas devida às ações do mar, em diferentes estados de agitação e tipologia de maré, recorrendo a diferentes metodologias. Para isso, foram realizados três trabalhos distintos:

- Programa de monitorização numa praia arenosa intervencionada com cilindros geossintéticos: Praia de Ofir;
- Modelação de praia de seixos: Praia de Belinho;
- Contributo com recolha e caracterização de sedimentos na Barrinha de Esmoriz, intervencionada recentemente também com cilindros geossintéticos.

1.3. Organização da dissertação

Esta dissertação organiza-se em cinco capítulos fundamentais cujo conteúdo passa a ser descrito.

No primeiro capítulo é feita uma introdução ao tema abordado nesta dissertação. São apresentadas as motivações e objetivos do trabalho, bem como a organização do documento escrito.

No segundo capítulo caracterizam-se os fatores naturais considerados mais preponderantes para as alterações morfológicas das praias. Faz-se também uma abordagem a estruturas convencionais de defesa, e como alternativa às práticas comuns, introduz-se os geossintéticos como soluções “soft” na proteção da costa.

No terceiro capítulo, apresentam-se as diferentes metodologias utilizadas para o desenvolvimento desta dissertação onde se descrevem, de forma sintética, todos os processos efetuados para atingir os objetivos propostos. No que respeita ao trabalho realizado na praia de Ofir, é realizada a descrição da metodologia dos levantamentos topográficos e processamento de dados. Na praia do Belinho é feita a descrição da modelação que foi realizada nesta praia e na Barrinha de Esmoriz são descritos todos os passos realizados na campanha de recolha e caracterização de sedimentos.

O quarto capítulo é dedicado aos casos de estudo. Primeiro é feito um enquadramento geral em que se apresenta uma descrição das três áreas em estudo, depois são apresentados os resultados obtidos com o trabalho realizado em cada um dos casos em estudo e posteriormente é feita a discussão dos resultados. É feita a comparação e análise dos

diferentes perfis nas diversas campanhas na praia de Ofir, comparação dos resultados conseguidos através da modelação da praia de Belinho com os resultados obtidos por Silva (2014) e são apresentados os resultados da caracterização dos sedimentos realizada na Barrinha de Esmoriz.

No quinto e último capítulo, são apresentadas as principais conclusões retiradas do estudo desenvolvido, considerando os resultados obtidos e ainda algumas sugestões consideradas de interesse para futuros trabalhos.

2. ESTADO DA ARTE

2.1. Morfodinâmica de praias

2.1.1. Generalidades

A morfodinâmica de praias varia em função de parâmetros oceanográficos como as ondas, marés, correntes marinhas e também devido a parâmetros meteorológicos como ventos, chuvas, tempestades, entre outros (Silva,2014).

Segundo Wright e Short (1984) a hidrodinâmica verificada ao longo da praia é resultado da interação de ondas refletidas e incidentes de carácter oscilatório na face da praia e as de carácter quase-oscilatório (ondas estacionárias), na definição da morfologia das praias. Estes movimentos da água, exercem atrito sobre os sedimentos móveis da praia, causando gradientes espaciais e temporais no seu transporte.

Ao longo do ano e até mesmo ao longo da estação decorrente, a morfologia da praia vai-se alterando, sobretudo devido a dois processos de movimento das areias. Um é o processo de acumulação, onde se aglomeram os sedimentos e o outro é o processo de erosão (com um intuito mais destrutivo), responsável pela perda de sedimentos da praia. Quando existe um equilíbrio entre estes dois processos estamos perante um balanço sedimentar nulo (Neto, 2013).

Os fenómenos que originam a erosão costeira sempre existiram, assim como os fenómenos opostos de acreção (Neves, 2003), provocados pela ação do vento, marés, agitação e, portanto, a existência destes fenómenos faz parte do normal dinamismo da orla costeira. Todavia, as variações morfológicas não decorrem só de fatores naturais, existindo também uma componente antrópica resultante da ação humana, que está na base da rápida degradação que se tem vindo a assistir nas zonas costeiras. Exemplo disso são as alterações induzidas pela ocupação destas zonas e consequente destruição de sistemas naturais, o esgotamento das fontes sedimentares devido à extração de areias para a construção, a construção de estruturas marítimas que alteram o processo natural de transporte de sedimentos, e, inevitavelmente, a atual subida do nível das águas do mar.

Em conjunto, estes fatores estarão certamente na origem do elevado déficit sedimentar registado.

As áreas mais vulneráveis são as de litoral baixo e arenoso, de forte pressão humana. Porém, a situação atual parece ser mais uma consequência do desordenamento litoral, embora os perigos de erosão pareçam vir a acentuar-se e atingir maior magnitude com a subida do nível do mar (Pereira, 2004).

Desde do séc. XV que o desmatamento e cultivo de terras contribuíram positivamente para o balanço sedimentar na costa portuguesa, mas a partir do séc. XX, o represamento dos principais rios e a extração de areia e cascalho nos leitos dos rios tem levado à depleção de sedimentos na zona costeira (Dias, 1999).

2.1.2. Agentes hidrodinâmicos impulsionadores de alterações morfodinâmicas

2.1.2.1. Ondas

As ondas são perturbações de tipo oscilatório que se propagam através de um meio, correspondendo, por via de regra, à transferência de energia. Essa energia é transmitida ao oceano (ondas marinhas/oceânicas) e lagos, por ação dos ventos, pelas forças astronómicas no caso das marés e por processos que provoquem modificações bruscas no fundo marinho, como é o caso dos movimentos da crosta terrestre (terramotos e maremotos).

As ondas são descritas fisicamente através de três parâmetros básicos que têm como suporte modelos teóricos idealizados. Na figura 1, são apresentadas as características geométricas das ondas, descritos para ondas sinusoidais.

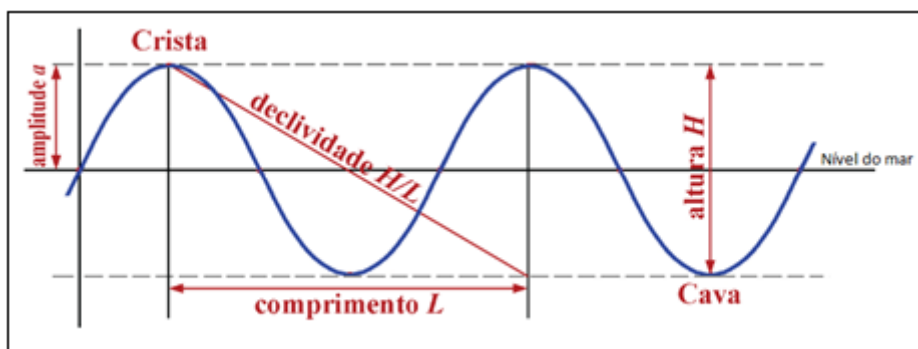


Figura 1 - Características das ondas (adaptado de <http://www.aprh.pt/rgci/glossario/onda.html>)

Uma onda ideal apresenta pontos mais elevados (cristas) e pontos menos elevados (cavas). A diferença vertical entre a crista da onda e a cava adjacente é a altura da onda (H). O comprimento de onda (L) define-se como a distância horizontal entre 2 pontos homólogos consecutivos (normalmente entre duas cristas ou duas cavas sucessivas) e a relação entre comprimento e altura chama-se declive da onda (H/L). A amplitude (a) é o deslocamento vertical medido a partir do nível basal do mar, ou seja, a partir do nível médio da superfície do mar na ausência de ondas. O período é intervalo de tempo, em segundos, que decorre entre a passagem de duas cristas (ou duas cavas) sucessivas por um dado ponto fixo e a velocidade de propagação é a velocidade com que uma onda passa por um ponto estacionário.

2.1.2.1.1. Transformação de ondas

Verificam-se cinco fenómenos principais que modificam as características das ondas quando estas se propagam desde o oceano aberto, que são:

Refração: Acontece quando uma onda passa de um meio para o outro (maior para menor profundidade) e a sua direção de propagação é desviada devido à diminuição da velocidade de onda, quando estas incidem obliquamente em relação às linhas batimétricas do fundo marinho. A frente da onda que atinge primeiro as águas pouco profundas diminui a sua velocidade e a restante que ainda se propaga em condições de águas profundas mantém-na (Silva,2014). Com este efeito, as ondas mudam a sua direção.

Difração: É um fenómeno que está ligado às variações súbitas das condições de propagação da onda provocadas por obstáculos. Permite que a ondulação penetre em portos, por detrás de barreiras ou que contorne obstáculos como por exemplo, ilhas ou quebra-mares, dando-se um encurvamento das ondas.

Empolamento: Consiste no aumento progressivo da altura da onda como resposta à diminuição da profundidade, sendo que é ligeiramente antes da rebentação que ela atinge a sua altura máxima.

Reflexão: Este fenómeno consiste na inversão da direção de propagação dos raios de onda ao incidirem numa superfície rígida.

Rebentação: Este fenómeno resulta da instabilidade da crista da onda dando origem à sua queda que ocorre devido à rápida diminuição da profundidade, quando a sua declividade atinge o valor limite. A profundidades muito baixas, a diferença de velocidade entre a crista da onda (onde a profundidade é maior) e a cava da onda (que se propaga a profundidade menor) é significativa e aumenta constantemente, de maneira a que a crista avance sobre a cava e, conseqüentemente a onda rebenta pela falta de sustentação.

2.1.2.1.2. Tipos de rebentação de ondas

Normalmente, as ondas quebram em ambientes de muito pouca profundidade, quando atingem uma profundidade equivalente a 1.3 vezes a sua altura, mas também em águas profundas esse fenómeno n Exemplo disso, são os círculos formados na superfície de uma massa de água quando atingida por uma rocha, ou as ondas geradas num meio aquático com a passagem de uma embarcação. As ondas que se propagam na retaguarda do objeto começam a aproximar-se e a distância entre elas diminui. Neste caso as ondas quebram quando a razão entre a sua altura e o seu comprimento ultrapassa 1/7 (Silva, 2014).

A rebentação das ondas em águas pouco profundas não ocorre sempre da mesma forma, dependendo essencialmente do pendor da praia e da declividade da onda, mas também do

período, comprimento e altura de onda. Existem quatro tipos principais de rebentação, como mostra a figura 2:

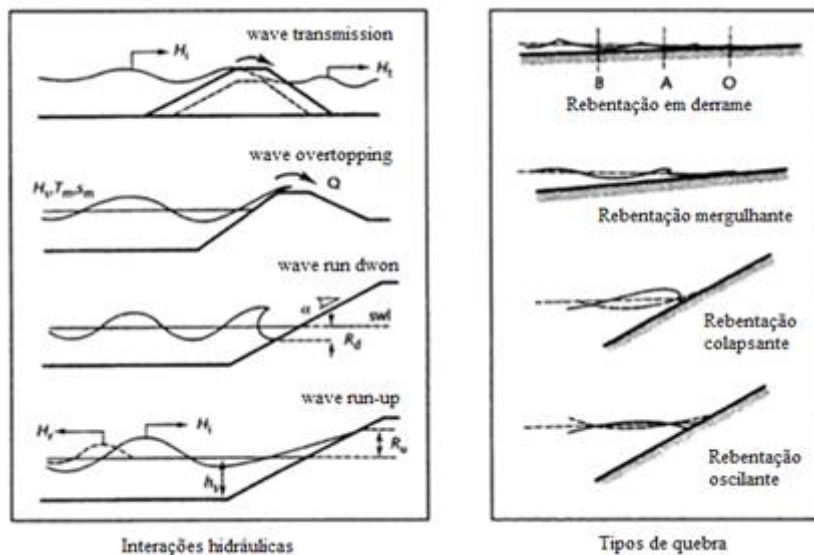


Figura 2 - Diferentes formas de rebentação de ondas

Rebentação em derrame: A onda começa a quebrar de um modo suave a uma distância relativamente grande da linha de costa, formando um longo rasto de espuma. Ocorre normalmente quando o declive da praia é reduzido e/ou a declividade da onda é acentuado.

Rebentação mergulhante: Ocorre quando a crista da onda tende a enrolar-se em espiral e cai de forma ruidosa sobre a cava, causando um impacto forte na superfície onde incide, gerando grande turbulência. Este tipo de rebentação ocorre normalmente em praias de estado intermédio.

Rebentação colapsante: É um tipo intermédio entre as rebentações mergulhante e oscilante, em que a crista da onda não chega a rebentar por completo, embora a face da onda se torne progressivamente mais inclinada, acabando por colapsar com grande produção de espuma. Ocorre normalmente quando o declive da praia é acentuado e/ou a declividade da onda é relativamente pequeno. A distância percorrida por este tipo de rebentação é pequena.

Rebentação oscilante: Este tipo de rebentação dá-se muito próximo da costa em praias de declive muito acentuado e/ou com pequena declividade da onda, em que a crista da onda não chega verdadeiramente a rebentar. Verifica-se apenas forte deformação, traduzindo-se principalmente numa grande oscilação do nível da água.

2.1.2.2. Correntes

As correntes marinhas transportam sedimentos quer em suspensão quer arrastados sobre o fundo. Estes sedimentos são continuamente removidos ou depositados de acordo com o padrão de correntes locais, induzidas por diferentes ações como vento, agitação entre outros.

As ondas estão na origem das correntes costeiras de maior amplitude, principais responsáveis pela movimentação de sedimentos nas praias (Neto, 2013). Poder-se-ão distinguir correntes de fluxo e refluxo (zig-zag), correntes de deriva litoral resultantes da incidência oblíqua das ondas em relação à praia (que transportam grandes quantidades de sedimentos) e correntes de retorno.

As correntes de retorno (figura 3) são correntes localizadas, geradas perpendicularmente ao longo da costa e que fluem da terra para o mar por ação das condições de agitação e da batimetria do fundo, criando uma “abertura” na zona de rebentação. Após a passagem da zona de rebentação abre-se em leque e divide-se em ramos que regressam à costa. É uma das formas de compensar o excesso de acumulação de água junto à costa provocada pela incidência das ondas, em virtude da força da gravitacional. Estas correntes podem aparecer junto de molhes, afloramentos rochosos ou ao longo das praias (a intervalos regulares). Apesar das correntes de retorno existirem independentemente de fenómenos de marés, estas podem intensificar o perigo das correntes de deriva, em especial durante a maré baixa. São caracterizadas por dimensão, forma e velocidade muito variável.



Figura 3 - Corrente de retorno (<http://amigodeviagem.com.br/wp-content/uploads/2015/09/Corrente-de-Retorno-Foto-3.jpg>)

2.1.2.3. Marés

Em termos absolutos todos os astros e em particular os do nosso sistema solar exercem influência sobre as águas do mar. Porém, as marés resultam essencialmente da ação das forças astronómicas devido à atracção gravitacional entre a Terra e a Lua e, de forma menos intensa, entre a Terra e o Sol. Isto acontece porque, apesar da massa do sol ser muito mais elevada que a da lua (cerca de 27 milhões de vezes), a lua é a principal geradora das ondas de maré pois é o objeto astronómico relevante mais próximo da Terra.

São estes os astros (Lua e Sol) que, de forma dominante, atraem todos os corpos situados sobre a Terra, provocando deformações gravíticas na superfície terrestre, principalmente nas superfícies hídricas devido à pequena viscosidade da água.

O movimento de rotação da Terra associada à força centrífuga, também apresenta uma resultante bastante importante nesta matéria. São as variações das posições respetivas do Sol e da Lua em relação à Terra, que comandam o ciclo das marés. Esta força influencia o ciclo das marés traduzindo-se em subidas e descidas periódicas do nível das águas cuja amplitude e periodicidade é influenciada por fatores locais.

De um modo geral, podemos dizer que a maré sobe quando das passagens meridianas superior e inferior da Lua, correspondendo à preia-mar (nível máximo de uma maré), caso contrário, quando a Lua passa sobre os pontos antipodais (pontos diametralmente opostos) dá-se a baixa-mar.

Normalmente, num dia, ocorrem duas preias-mar e duas baixas-mar. As preias-mar sucedem-se, regularmente, com um intervalo médio de meio-dia lunar (aprox. 12h 25m). Por sua vez, o intervalo de tempo entre uma preia-mar e a baixa-mar seguinte é, em média, 6h 13m. No entanto, o mar não reage instantaneamente à passagem da Lua, havendo, para cada local, um atraso maior ou menor das preias-mar e baixas-mar. Na figura 4, mostra-se um esquema representativo dos vários tipos de marés, segundo a altura de maré (preia-mar e baixa mar) e segundo a fase da lua (marés vivas e marés mortas).

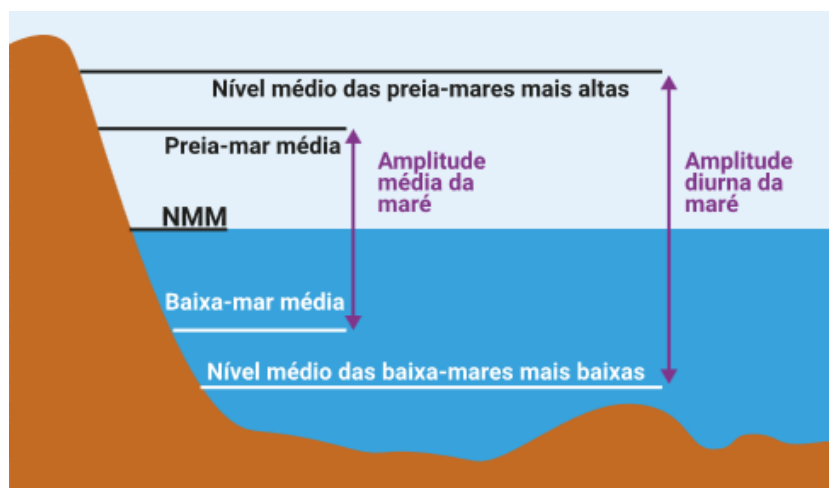


Figura 4 - Níveis de maré (Tábuas de maré, 2017)

Devido à translação da Lua em torno da Terra a maré lunar vai-se deslocando. No caso em que o Sol, a Lua e a Terra estão sobre o mesmo alinhamento (quer seja em conjugação Terra – Lua – Sol ou em oposição Lua – Terra – Sol), esta situação corresponde à ocorrência de Lua Nova ou Lua Cheia. Dá-se a coincidência entre a maré lunar e a solar, o que significa que se adicionam, originando marés de amplitude máxima, designadas por marés vivas ou de sizígia.

Na situação em que a Lua e o Sol estão em quadratura relativamente à Terra, corresponde à ocorrência de Quarto Crescente ou Quarto Minguante. Aqui, as marés têm posições ortogonais, provocando uma distribuição mais equilibrada das águas oceânicas pela

superfície terrestre, o que resulta em marés de mínima amplitude, designadas por marés mortas ou de quadratura. Tanto as marés vivas como as marés mortas ocorrem por norma quinzenalmente.

Estes dois fenómenos apresentam-se na figura 5.

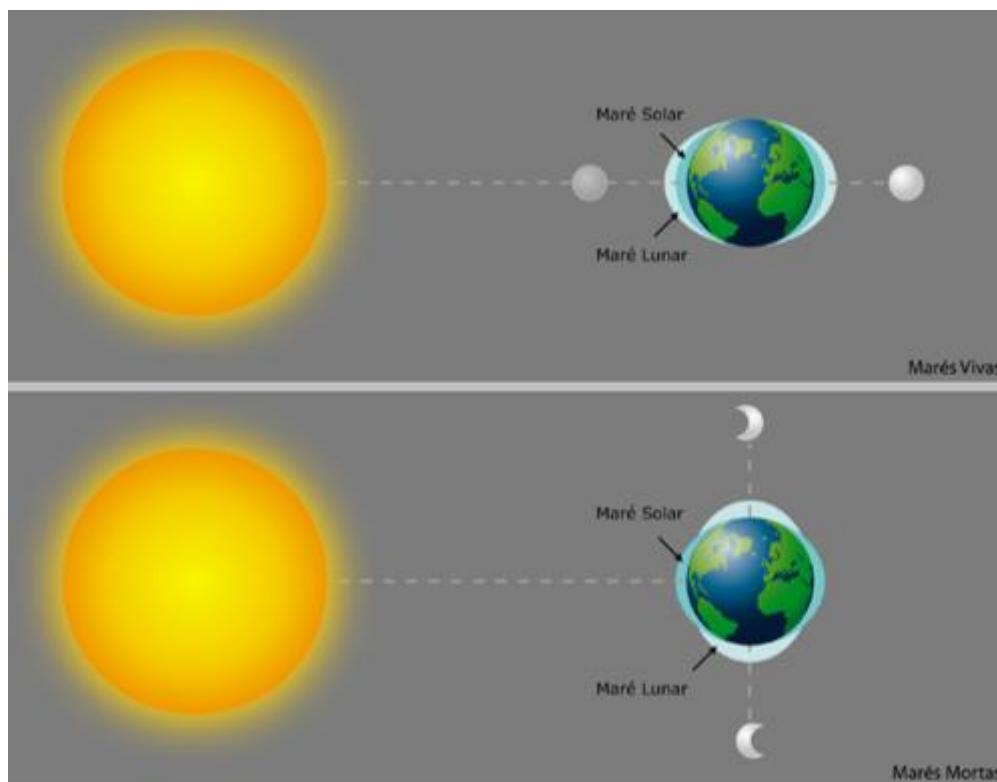


Figura 5 - Efeito das forças gravitacionais sobre os astros (Hidrográfico, 2017)

2.1.3. Morfologia de praias arenosas e praias de seixos

Podem reconhecer-se várias configurações possíveis da linha de costa, entre elas os tómbolos (quando uma ilha é unida ao continente por uma faixa estreita de areia), restinga (é um terreno arenoso próximo da foz dos rios), cabedelos (é um monte de areia próximo da foz dos rios), ilha-barreira (é uma faixa arenosa, estreita e comprida paralela à linha da costa), entre outras como, praias em ponta, praias em bolso e praias abertas (Granja e Pinho, 2011).

As praias mais frequentes são as arenosas, mas também existem praias de cascalho, seixo entre outros. Segundo Granja e Pinho (2011), o tamanho dos sedimentos das praias pode ir desde 0.125 mm até aos 2048 mm.

Muitos projetos de investigação têm sido desenvolvidos, em todo o mundo, sobre o comportamento da zona costeira, perante mudanças do nível do mar e tempestades, mas a maior parte dessa investigação diz respeito a sistemas costeiros arenosos. O conhecimento sobre sistemas costeiros de seixos e o seu comportamento perante os mesmos agentes forçadores ainda é muito rudimentar quando comparada com o das praias arenosas. Conforme citado por Silva (2014), os sistemas de seixos são também afetados pela subida do nível do mar mesmo em condições de elevadas taxas de acreção. A permanência de praias de seixos e blocos será também influenciada pelas tempestades, acontecimentos tectónicos e outros fatores que constroem e remodelam estas costas altamente dinâmicas.

Na figura 6 apresenta-se uma praia refletiva de seixos, podendo sofrer variações de estado, para diferentes estados de agitação e tipologia de maré.

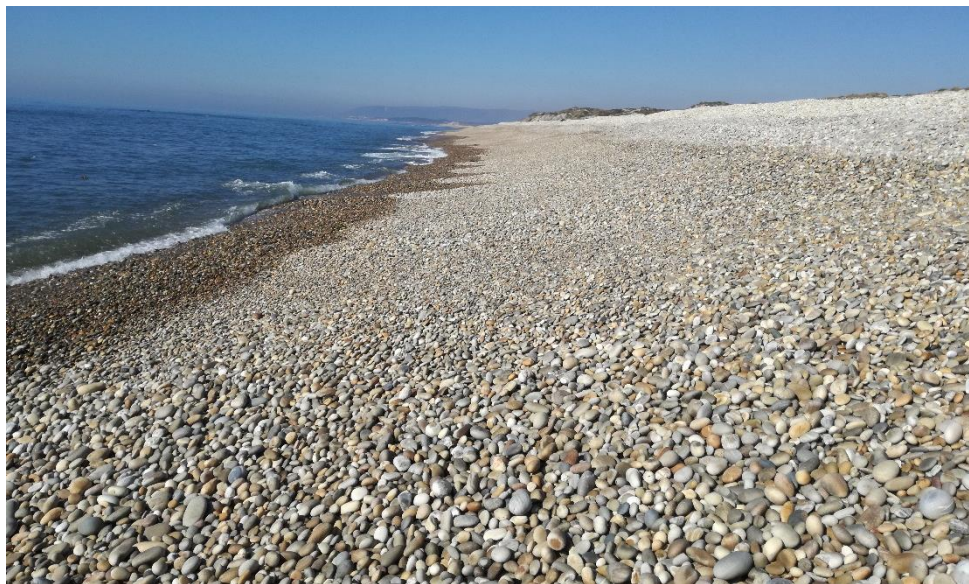


Figura 6 - Exemplo de praia refletiva de seixos

De modo a compreender melhor a morfologia, dinâmica e composição sedimentar de praias, é necessário perceber primeiro a sua constituição bem como os limites em que esta está inserida. Na figura 7, está representada as principais zonas de uma praia.

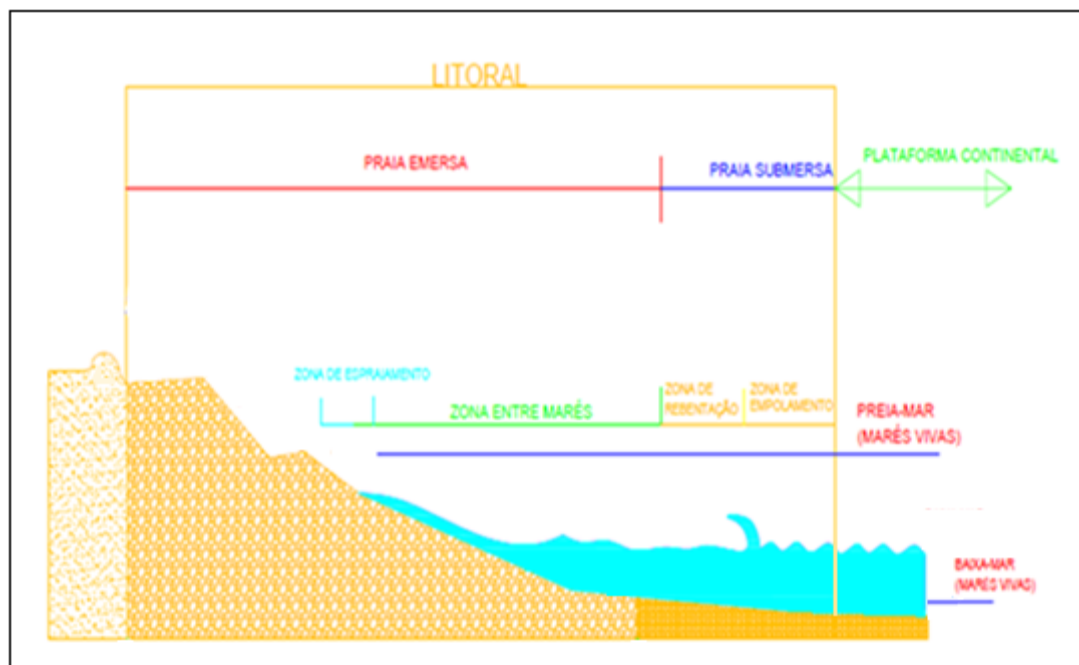


Figura 7 - Subdivisão de uma praia (Adaptado de Silva, 2014)

É importante referir que limite inferior (em direção ao mar) e superior (em direção a terra) de uma praia são determinados, respetivamente, pela profundidade a partir da qual as ondas passam a provocar movimento efetivo de sedimento sobre o fundo do mar (profundidade de fecho), e pelo limite superior que é marcado pela linha a partir da qual existe vegetação permanente ou onde se verificam mudanças morfológicas expressivas (dunas, arribas, etc.).

Sendo as praias ambientes tão variáveis no tempo e espaço, qualquer tentativa de delimitar seus subambientes deve levar em consideração os processos hidrodinâmicos dominantes que originam tais mudanças. Distinguem-se assim, as seguintes zonas principais duma praia: zona de rebentação, zona de surf e zona de espraimento.

Zona de rebentação: Corresponde à extensão do perfil de praia caracterizada pela ocorrência do processo de rebentação, que representa o modo de dissipação energética da onda sobre a praia.

Zona de surf: A caracterização da zona de surf, depende diretamente do modo de dissipação energética das ondas incidentes, isto é, do tipo de quebra da onda. Em praias de baixa declividade, as ondas que inicialmente quebraram, voltam a formar-se eventualmente com maiores dimensões, espalhando-se ao longo da zona de surf em decaimento exponencial de altura, até atingir a linha de praia. Durante este percurso, grande parte da energia é transferida para a geração de correntes longitudinais e transversais à praia. A menos que a rebentação seja pontual ou muito estreita numa praia, é impossível dissociá-la da zona de surf. De facto, em praias de inclinação muito suave (dissipativas) ou de bancos arenosos múltiplos os processos da zona de surf misturam-se aos de rebentação, formando uma zona única.

Zona de espraiamento: Pode ser identificada como aquela região da praia delimitada entre a máxima e a mínima excursão das ondas sobre a face da praia. Os processos do espraiamento têm importância fundamental para a engenharia costeira, por representarem as condições de contorno do ambiente da praia e por determinarem os níveis máximos de atuação dos agentes hidrodinâmicos sobre a praia. Através do espraiamento, a água atinge níveis superiores à da superfície de equilíbrio (nível médio do mar nesse momento), sendo a diferença entre esses níveis designada por “run-up”.

2.1.4. Estados morfodinâmicos de praias

Como já foi referido, os fatores naturais bem como fatores antropogénicos resultam em alterações morfodinâmicas em toda a orla costeira. Na figura seguinte pode observar-se um esquema simples dos diferentes tipos de praias ou estados morfodinâmicos, associados a diferentes regimes de ondas e marés. São caracterizados por dois estados extremos, o dissipativo e o refletivo, e o estado intermédio que exhibe simultaneamente características dissipativas e refletivas. (Muehe, 2001).

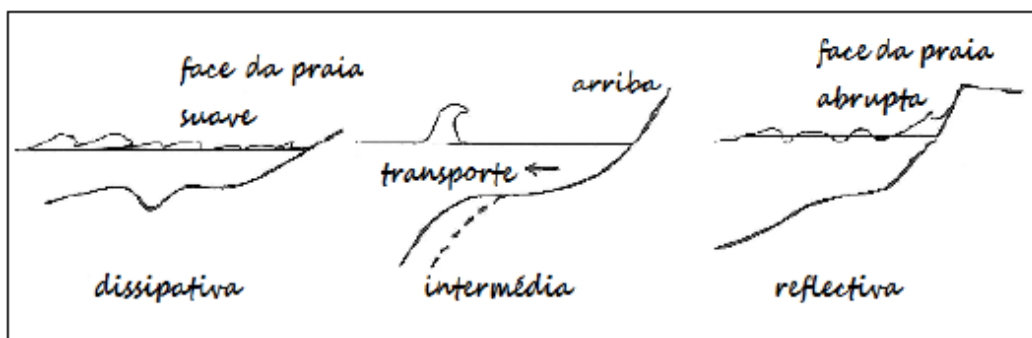


Figura 8 - Diferentes morfologias de praias (Granja e Pinho, 2011)

O estado intermédio está ainda subdividido em 4 estágios diferentes e para melhor compreensão das mudanças dos estados morfodinâmicos de praias, será feita uma abordagem detalhada.

Como foi dito os estados intermédios apresentam propriedades de ambos extremos, dissipativo e refletivo que podem ser analisados na figura 9 como sendo: o estado morfodinâmico com banco e canal longitudinal, com barra e praia rítmicos, com barra transversal e corrente de retorno e com terraço de baixa-mar.

Em conjunto, os quatro estados intermédios formam uma sequência cíclica de transferência sedimentar, da zona emersa para a zona submersa durante as fases de elevada energia da agitação e, da zona submersa para a zona emersa durante fases de menor energia da agitação.

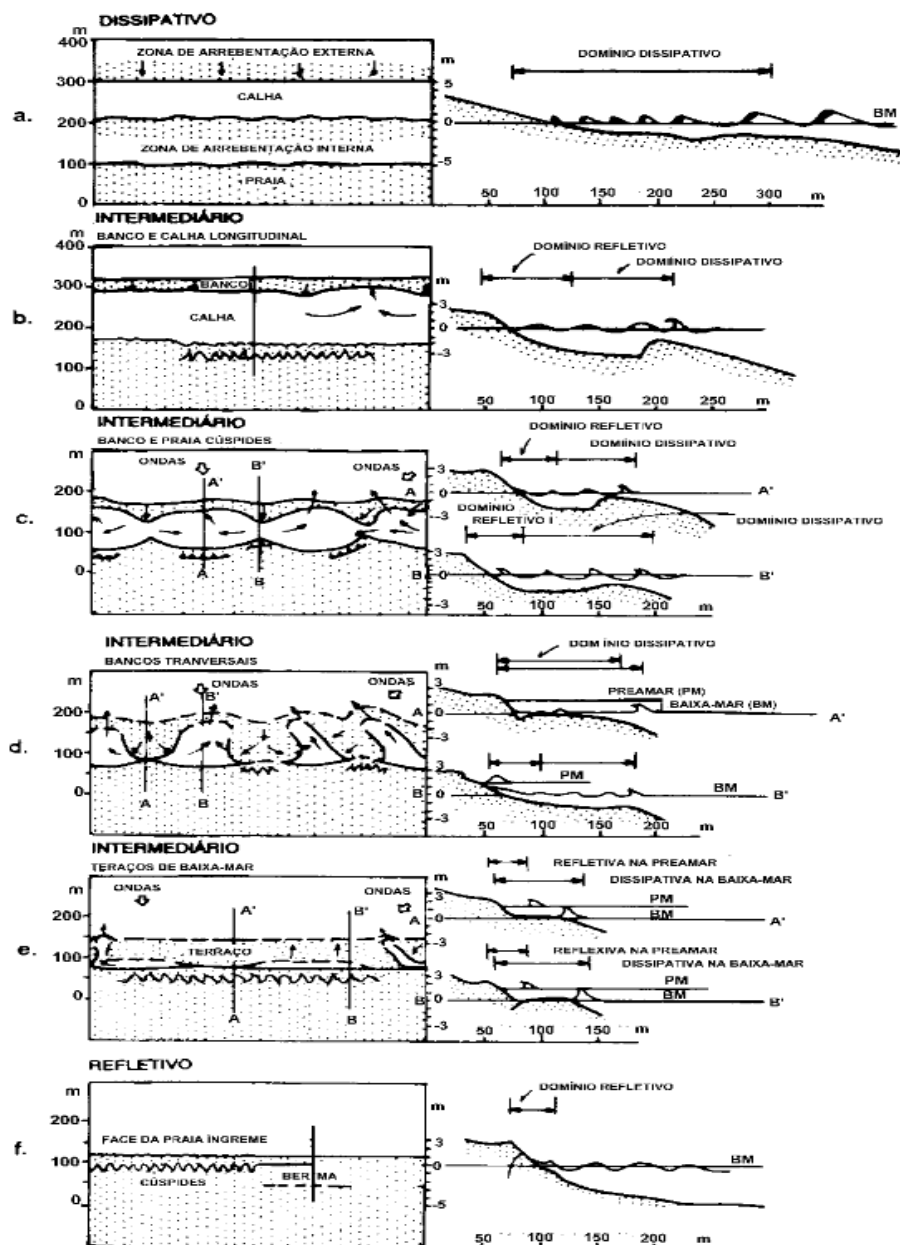


Figura 9 - Estados morfodinâmicos das praias segundo Wright et al. (1979, apud Muehe, 2001)

a. Dissipativo: é representado por praia emersa com zona de surf de baixa declividade e bem larga com sedimentos finos. Geralmente, em tais condições, as ondas rebentam longe da face da praia, diminuindo progressivamente a sua altura à medida que dissipam energia através da rebentação. A energia é transformada em "wave set-up" ou na subida do nível médio da água do mar e em fluxos de corrente de retorno, que podem ocorrer devido a variações espaciais na altura da rebentação. Ondas estacionárias e infra gravitacionais estão usualmente presentes (Muehe, 2001). Devido ao declive reduzido da face da praia,

o nível atingido pela água na praia após a rebentação (run-up) é baixo e o tipo de rebentação em derrame é predominante. Neste estado, são comuns os bancos longitudinais paralelos à praia e a reserva de areia encontra-se submersa.

b. Banco e canal longitudinal e c. barra e praia rítmicos e em cúspides: podem desenvolver-se a partir de um perfil dissipativo acumulando sedimentos na parte emersa da praia. A face da praia é mais íngreme do que no perfil dissipativo, todavia, diferente do estado dissipativo. As ondas apresentam duas zonas de rebentação, uma antes da barra e outra após o canal. A face da praia mais íngreme apresenta, localmente, características refletivas. Quando a diferença entre a altura e o comprimento de onda (H/L) é alto, estas espraiam-se na face da praia, ao passo que ondas onde esta relação é baixa, sofrem colapso nas proximidades da base da face da praia. É comum o desenvolvimento de cúspides na zona emersa.

d. Barra transversal e corrente de retorno: caracterizado por cúspides dispostas transversalmente à praia e fortes correntes de retorno. Desenvolve-se preferencialmente, em sequências de acumulação de sedimentos quando as barras se juntam à face da praia. A morfologia resultante é uma alternância lateral entre bancos transversais à praia em forma de cúspides, com características dissipativas e embaixamentos mais profundos com características refletivas. As correntes de retorno atingem maior desenvolvimento neste estado

e. Terraço de baixa-mar: é o tipo de praia intermediária com o menor nível de energia. Condições ideais para o seu desenvolvimento incluem as partes extremas mais protegidas de longas praias, em baías moderadamente abrigadas ou em regiões mais expostas, onde a areia é fina. É caracterizada por uma face de praia com declive relativamente acentuado, à qual é unida, no nível de baixa-mar ou um pouco abaixo, a uma acumulação normalmente plana de areia (terraço). O terraço prolonga-se em direção ao mar continuando ligado à praia ao longo da costa e por ocasião da baixa-mar.

f. Refletivo: ao contrário do estado dissipativo, o estado refletivo é caracterizado por perfil de praia e zona submersa adjacente acentuado, o que praticamente elimina a zona de surf, submetida a baixa energia da agitação. A berma é elevada, com sedimentos mais grossos e o depósito de areia na zona submersa é baixo. Tal facto faz com que mesmo em

condições de energia reduzida, haja erosão na zona da praia emersa. A rebentação predominante neste estado é do tipo oscilante e mergulhante. Ao contrário das praias dissipativas, o espriamento da onda na face da praia é máximo e o "wave set-up" é reduzido.

Na maioria dos estágios, podemos observar o desenvolvimento de cúspides. As cúspides (figura 10) representam uma das mais intrigantes geoformas observadas em praias. Estas estão possivelmente relacionadas com a ocorrência de ondas estacionárias (Guza e Inman, 1975), originadas pela interação da refração das ondas nos bancos submersos com as ondas anteriores refletidas, ou do cruzamento de dois "trens" de ondas diferentes resultantes da mudança dos ventos locais durante um ciclo de maré (Dalrymple e Lanan, 1976). Mostram melhor o desenvolvimento sobre praias de sedimentos grossos, de pequeno alcance de maré (Komar, 1998) e com grande declive, onde as ondas incidentes produzem uma substancial elevação do espriamento na face da praia.

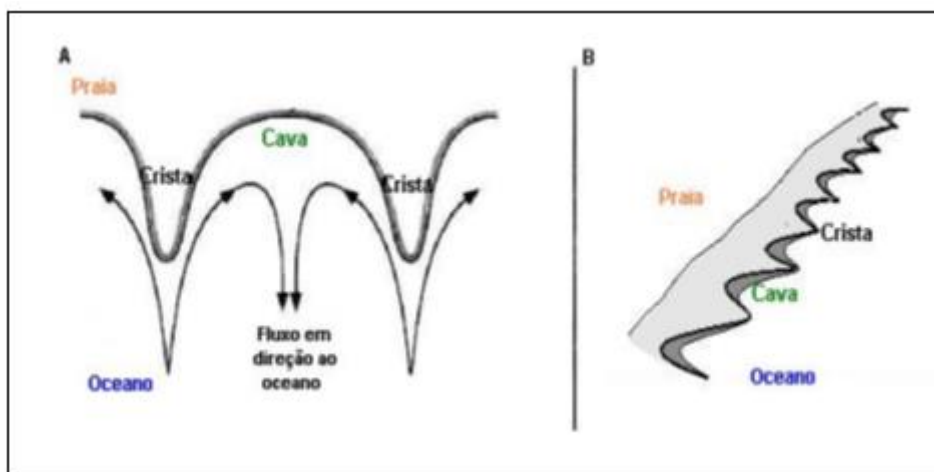


Figura 10 - Planta e vista lateral de cúspides (adaptado de Holland e Holman, 1996)

Em A (vista em planta) é observado o padrão de circulação de espriamento associado à morfologia da cúspide e em B, onde são mostradas as cristas e as cavas.

As cúspides podem ser geneticamente de dois tipos: aquelas formadas pelo sistema de circulação da antepraia inferior, chamadas de cúspides da "zona de surf" ou cúspides gigantes com escalas de centenas de metros e, aquelas formadas sobre a face da praia e berma pelo espriamento e refluxo, chamadas de cúspides de espriamento, com escala de poucos metros (Inman e Guza, 1982). Ambas mostram uma morfologia similar e são

essencialmente características subaéreas da praia, sem nenhum componente submaré (Komar, 1976 apud Davis, 1985).

A formação de cúspides (figura 11) têm relação com a agitação e o tipo de maré. São portanto relevantes, no que concerne ao estudo de processos dinâmicos de praias, incluindo a formação de cavas e saliências (Silva, 2014).

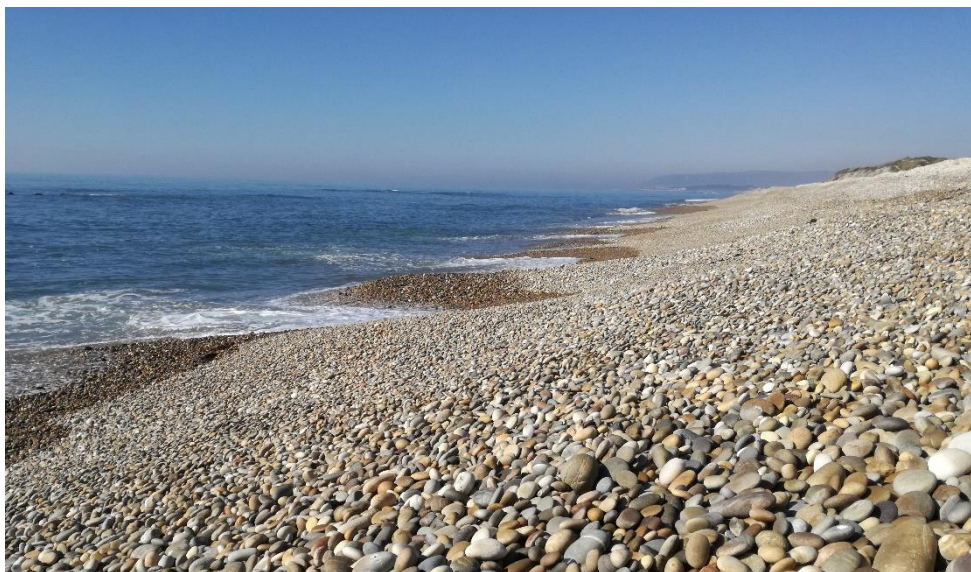


Figura 11 - Cúspides, Praia do Belinho

2.2. Estruturas de defesa costeira

A costa noroeste portuguesa é um dos exemplos, onde foi necessário recorrer a técnicas de engenharia costeira, devido à vulnerabilidade das frentes marítimas edificadas, com o objetivo de retardar o processo de erosão da costa instalado. Na maioria dos casos, utilizaram-se estruturas convencionais de defesa, onde são usados elementos como o betão e rocha. Tipologias tradicionais destas estruturas são por exemplo os esporões, estruturas longitudinais aderentes (paredões) e quebra-mares destacados.

2.2.1. Esporões

Estas estruturas têm como principal função impedir o transporte de sedimentos no sentido longitudinal, defendendo desta forma a erosão da costa. A eficácia deste tipo de estruturas pode ser determinada pela percentagem de material sólido que fica retido a barlamar dos esporões. Outra utilidade destas estruturas é o seu emprego para atenuar ou afastar fortes correntes de maré, além de poderem ser também utilizados para diminuir a reflexão das ondas.

Normalmente, a defesa com este tipo de estruturas desenvolve-se em grupos, designados por campos de esporões. Devido à sua disposição transversal, os esporões interrompem a deriva litoral, o que se traduz numa acumulação de sedimentos a barlamar e, conferindo uma defesa efetiva às construções aí existentes, como já foi referenciado. Mas por outro lado provocam erosão suplementar a sotamar, o que, normalmente, obriga à construção de outros esporões. Na figura que se segue pode-se verificar a ação de um único esporão à esquerda e de um campo de esporões à direita na acumulação de sedimentos.

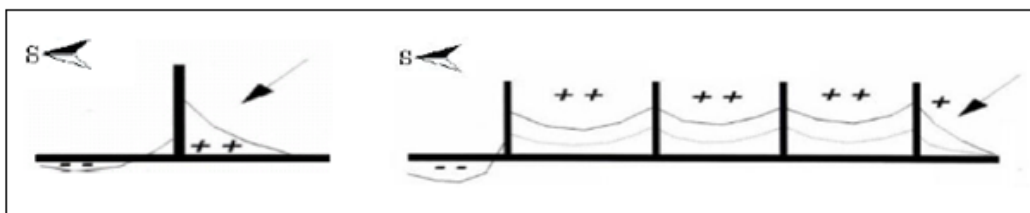


Figura 12 - Exemplo da ação dos esporões na acumulação de areia proveniente da deriva litoral (Velooso Gomes, 1991)

Apesar de constituírem as estruturas mais vulgarizadas de defesa costeira, devido aos impactos negativos que induzem a sotamar, bem como por razões estéticas, a sua construção é cada vez mais polémica, sendo preferível, com frequência, adotar outras técnicas de defesa ambientalmente menos agressivas. Na figura 13 é possível verificar um dos problemas que está relacionado com a construção de esporões na praia de Ofir, como forma de defesa costeira.



Figura 13 - Esporão sul da Praia de Ofir, Esposende (Marinho, 2015)

2.2.2. Obras longitudinais aderentes

Têm como principal função impedir o galgamento do mar e a inundação dos terrenos por si defendidos em decorrência da ação de grandes ondas de tempestade e marés vivas. Os perfis transversais destas estruturas longitudinais aderentes podem ser bastante diversificados, dependendo da função requerida, em que as estruturas mais simples correspondem aos muros verticais. No sentido de introduzir elementos dissipativos da energia da onda, estas estruturas de proteção são inclinadas ou apresentam vários degraus e em situações que se pretende que a energia da onda incidente seja deflectida para o mar, o perfil deve ser côncavo encurvado. Em alguns casos, quando a erosão é mais explícita e é possível implementar este tipo de obra, são utilizadas como complemento da construção de esporões, tornando a solução mista bastante mais eficaz. Além disso podem ser ainda complementadas com a alimentação artificial de areias como representa a figura 14.

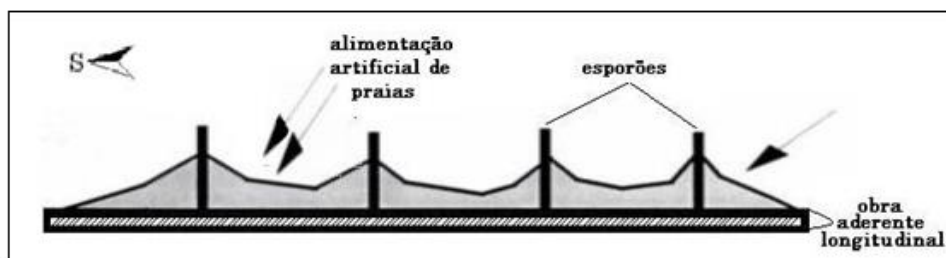


Figura 14 - Exemplo de solução mista, com construção de obra aderente (Veloso Gomes, 1991)

A sua grande desvantagem prende-se com as reflexões que originam. Este tipo de obras originam um acentuado perfil na base da estrutura, tornando-a assim um alvo do impacto da agitação, podendo induzir efeitos erosivos na orla arenosa subjacente e nas zonas contíguas adjacentes.

2.2.3. Quebra-mares destacados

Os quebra-mares destacados (figuras 15 e 16) têm como principal função reduzir a erosão provocada pelas ondas, interceptando primordialmente as ondas incidentes e as ondas refratadas que transportam sedimentos para fora da costa, além de serem eficazes na defesa de praias artificiais.

Os sedimentos existentes na praia depositam-se no tardoz dos quebra-mares, assentando numa zona em que a energia das ondas é menor. A construção destas obras ajuda ao transporte sedimentar convergente, formando assim uma praia em forma de tómbolo (figura 15):

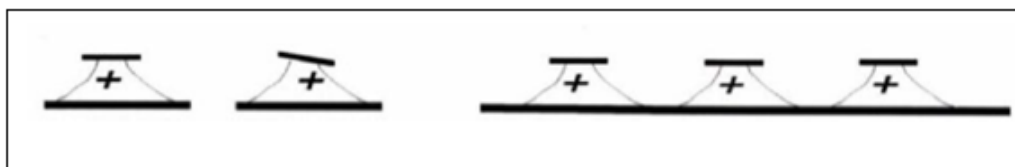


Figura 15 - Exemplo de quebra-mar destacado e campo de quebra-mares (Veloso Gomes, 1991)

Estas estruturas são, por vezes, imersas na sua totalidade, o que faz com que contribuam para o rebentamento precoce das ondas, além de permitirem que os sedimentos possam galgá-las mais facilmente. Em contrapartida, ao serem submersos, desde logo constituem um fator de risco tanto para os banhistas como para as embarcações.

Têm como desvantagem o facto de, em caso de deposição em excesso de sedimentos, criarem barreiras à livre circulação e renovação da água, podendo assim contribuir para o aumento da poluição junto à costa. Por questões económicas, estes quebra-mares não são aconselhados para zonas de muita profundidade e geralmente são aplicados em zonas onde a energia da agitação marítima é baixa.



Figura 16 - Quebra-mar destacado, Foz do Douro (<http://consulmar.pt/pt-pt/portfolio/molhes-da-barra-do-douro/>)

2.3. Soluções de defesa costeira em alternativa às convencionais

Os tipos de estruturas de defesa costeira apresentados anteriormente, apesar de acarretarem custos elevados de execução, normalmente têm um período de vida útil bastante alargado. Mas para que isso aconteça devem ser alvo de manutenção periódica, de maneira a que a sua deterioração não afete a sua eficiência, o que muitas vezes não acontece devido aos custos associados à manutenção. Nessa situação, a estrutura pode perder a sua utilidade, e até em casos mais extremos, dar-se o colapso da mesma. A

importância das estruturas costeiras é vital nalgumas zonas, existindo locais em que um hipotético colapso das mesmas poderia levar à exposição das edificações à ação direta ou indireta do mar (Jorge, 2010). Como foi visto, algumas estruturas de defesa costeira como é o caso dos esporões, apesar de solucionarem o problema numa zona, vão transferi-lo para as zonas adjacentes.

De modo a combater estas desvantagens, como se prevê a intensificação da atividade humana no litoral, e não é expectável que haja o desaparecimento das causas que levam à escassez de sedimentos (Neves, 2011), há que procurar soluções que defendam a costa, que não sejam temporárias e que combatam eficazmente o problema originado pelos agentes erosivos. Em alternativa, tem-se recorrido a estruturas “soft” para tentar alterar a prática comum no que diz respeito à defesa costeira. Estas técnicas são chamadas “soft”, uma vez que são em geral desenhadas a partir do conhecimento sobre processos costeiros naturais e utilizando materiais da própria praia a defender, como cilindros geossintéticos e a alimentação artificial.

2.3.1. Alimentação artificial de praias

Este tipo de intervenção consiste na colocação de grandes quantidades de areias numa determinada praia. As areias podem ser retiradas do alto mar figura 17 (I), ser dragadas de zonas portuárias ou canais de navegação figura 17 (II), ou então retiradas de uma zona onde não haja déficit sedimentar figura 17 (III) (Veloso Gomes, 1991).

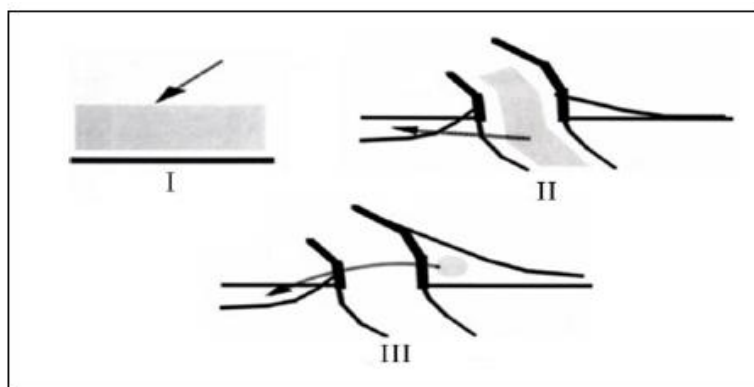


Figura 17 - Exemplos de extração de areias e alimentação de praias (Veloso Gomes, 1991)

É um sistema utilizado no alargamento de praias, na criação de praias artificiais ou quando o transporte sedimentar é reduzido. A grande desvantagem desta alternativa de defesa costeira é mais notória em costas altamente energéticas, em que é necessária a recarga periódica das praias tornando todo este processo muito dispendioso, afetando também a qualidade balnear.

2.3.2. Geossintéticos na Engenharia Costeira

Entre as estruturas “soft” existentes, destacam-se as estruturas construídas com base em geossintéticos. De notar que estas soluções apresentam ainda algumas fragilidades em relação às soluções convencionais em rocha ou em betão, como será visto ao longo deste subcapítulo.

2.3.2.1. Considerações sobre o uso de geossintéticos

Geossintético é um termo composto por “geo + sintético”, que significa “terra + um produto manufacturado pelo homem”. Pode-se designar como um produto plano fabricado a partir de materiais polímeros (sintéticos ou naturais) usado em contacto com solos, rochas, ou outro material geotécnico em obras de Engenharia (Gomes, 2001).

A utilização de elementos geotêxteis para o controlo de erosão já conta com um histórico iniciado em meados do século XX na Holanda, com um papel importante na manutenção de diques. A figura 18 mostra a primeira aplicação da tecnologia de tubos de geotêxtil no mundo, para proteção costeira.



Figura 18 - Primeira aplicação de tubos de geotêxtil para proteção costeira, Holanda, 1962 (Castro et al., 2008)

Atualmente, as estruturas com geotêxteis são cada vez mais encaradas como soluções alternativas às intervenções em rocha e betão. Antes, só se usava este tipo de solução para obras de carácter de emergência e temporário, onde não havia risco humano, em regimes de agitação de baixa energia e marés com baixa amplitude, como um filtro em revestimentos, ou então, como complemento de alguma outra estrutura de defesa costeira, como esporões, recifes artificiais ou obras aderentes.

Apesar de existirem elementos bibliográficos relativamente extensos sobre esta matéria, não só ao nível do estudo da estabilidade com Pilarczyk (2000) e Neves (2011), como ao nível da sua aplicação em obra, Bezuijen e Vastenburger (2013), ainda existem fatores que influenciam negativamente a escolha desta solução. Alguma inexperiência de aplicação, a carência de elementos de dimensionamento, a falta de critério em comparação com a aplicação de materiais pétreos ou de betão, a incerteza/ ineficácia na estabilidade da estrutura face às condições de agitação marítima severa, como é o caso da costa noroeste Portuguesa devido aos agentes naturais (ondas, dinâmicas sedimentares etc), são tudo factos que podem limitar o recurso a este tipo de intervenções (Ferreira, 2014).

Mas não só as questões de estabilidade e de incerteza comportamental são problema das estruturas com materiais geossintéticos. Aliados a isso, surgem as limitações do próprio material.

Os geossintéticos são compostos por materiais orgânicos, poliméricos sintéticos formados através de reações químicas, sendo o plástico a principal matéria prima. Na fabricação dos plásticos são vários os polímeros utilizados, em que os mais comuns indicados por Neves (2003) são: Poliésteres (PET), Polipropileno (PP), Polietileno (PE) principalmente Polietileno de Alta Densidade (PEAD) e Polietileno de Baixa Densidade (PEBD), Poliamidas (PA) e Polivinílico de Cloro (PVC).

O mecanismo de degradação predominante, para a maioria dos materiais poliméricos, é a quebra das ligações moleculares. Este mecanismo consiste na rotura das ligações químicas com conseqüente redução do comprimento das cadeias moleculares e diminuição do peso molecular. As alterações referidas provocam mudanças significativas na estrutura do polímero e nas propriedades do material, maioritariamente na sua resistência e extensão (Porto, 2013).

Deste modo, a possibilidade de estar sujeito a agentes antropogénicos é maior. O geossintético sendo perfurado/rasgado, leva a uma má retenção do material de preenchimento podendo colapsar a estrutura. Este tipo de ações pode ocorrer devido a descuidos inconscientes, atos de vandalismo, presença de elementos pétreos em contato direto, ou através de descuidos na altura da colocação do material em obra.

A degradação térmica, com o aumento da temperatura (que funciona como catalisador das reações químicas), em que o contacto com agentes como o oxigénio, iões metálicos, ácidos, bases e solventes da água pode provocar alterações nas estruturas moleculares dos polímeros. A exposição a agentes atmosféricos (como é o caso da luz solar, da chuva, da temperatura ou do oxigénio) bem como a foto-oxidação (degradação da superfície do polímero sobretudo devido ao efeito combinado da água e da radiação ultravioleta presente na luz solar), são tudo fatores que provocam a degradação do polímero limitando assim o tempo de vida útil da estrutura.

Note-se que a presença de aditivos na composição dos plásticos é fundamental para as questões de durabilidade podendo minimizar os efeitos degradantes, como é o caso dos estabilizantes térmicos, os anti-UV e os antioxidantes. Estes aditivos químicos são introduzidos no processo de polimerização, com o objetivo de modificar aspetos do comportamento do polímero básico e até mesmo melhorar os processos de fabricação.

Tomando em consideração os aspetos de caráter negativo destas estruturas, atualmente registam-se progressos no sentido de minimiza-los, nomeadamente, o aumento da resistência a abrasão, o uso de estabilizadores e aditivos para melhorar o material e um desenvolvimento significativo na avaliação da durabilidade e tempo de vida da estrutura (Neves, 2011), provocando um maior grau de eficiência dos geossintéticos na preservação e manutenção de praias, assim como na proteção da costa litoral, que se encontra em risco, graças a diversos fatores.

Este material não tem só desvantagens, também apresenta variadíssimas vantagens em relação a estruturas convencionais. O recurso a geossintéticos são consideradas soluções amigas do ambiente, visto que é uma tecnologia que permite que seja criada no próprio local com o recurso a areia como modo de enchimento, evitando assim a importação de material “estranho” àquele local como é o caso da pedra e do betão. Outro aspeto negativo com a implementação de estruturas de betão/pedra é a complexidade na hora do transporte até ao local da obra, que normalmente é de difícil acesso e principalmente em ambiente costeiro, que devido às grandes dimensões dos blocos utilizados, as forças envolvidas normalmente são elevadas. Com o uso dos geossintéticos é possível diminuir os problemas recorrentes de erosão com um impacto bastante limitado e não permanente nos processos costeiros naturais.

Outra das vantagens associada a estas estruturas é a sua facilidade de instalação, não necessitando de um elevado número de máquinas para a sua operação, se compararmos por exemplo, a um quebra-mar destacado, que necessita do recurso a batelões para deposição do material rochoso.

De referir que a areia é um dos materiais mais baratos na construção e pode ser facilmente encontrada. A areia é também mecânica e volumetricamente estável e as suas propriedades são facilmente previstas (Bezuijen e Vastenburg, 2013).

Dados os enormes potenciais que este tipo de solução apresenta, existem grandes oportunidades de apostar na sua introdução cautelosa em casos reais. Por forma a que se consiga adquirir a experiência essencial para a sua instalação e comportamento em condições de agitação mais elevadas é necessária uma investigação ainda mais profunda,

aliada à experimentação em diversas condições climáticas e hidrodinâmicas. Cada vez mais se recorre a este tipo de solução como estrutura permanente.

2.3.2.2. Cilindros geossintéticos

Existem diferentes técnicas do uso de geossintéticos na engenharia costeira, entre eles os geossintéticos como filtros em revestimentos e camadas de proteção, elementos em geotêxtil preenchidos com areia como é o caso dos sacos em geotêxtil, contentores em geotêxtil e os cilindros geossintéticos. Neste trabalho será dado destaque aos cilindros geossintéticos por constituírem o núcleo mais relevante no caso de estudo analisado na praia de Ofir.

2.3.2.2.1. Enquadramento

Como já foi referido, os geossintéticos são materiais fabricados a partir de polímeros. É preenchido com uma mistura de água e areia ou, por outro material granular. Porém, é mais frequente recorrer à areia por ser muito mais fácil de obter no local onde são construídos. Esta tecnologia permite que a água passe livremente através dos poros do tecido de uma forma relativamente controlada, mantendo retidos os sólidos graças à permeabilidade do material.

Podem ser utilizados numa única camada ou em várias sobrepostas, por forma a que seja atingida uma determinada altura de projeto. Quando isso é necessário há que considerar os pontos frágeis dos cilindros principalmente as zonas onde se encontram as costuras e as sobreposições. (Ferreira, 2014)

Segundo Bezuijen e Vastenburg (2013), é um tipo de estrutura longa e estável a ações adversas, como correntes e ondas, tendo cada cilindro um diâmetro variável, indo desde dos 0.5m aos 5m, altura máxima de cerca de 4m e um comprimento que varia dos 25m aos 100m, dependendo do projeto onde estes cilindros são instalados.

Os cilindros geossintéticos possuem uma ou mais aberturas de enchimento, localizadas na sua parte superior, de tal modo que o material possa ser bombeado ou mecanicamente colocado dentro do cilindro (Smith, 2008). Estas entradas têm um diâmetro aproximado de 0.5m, sendo espaçadas com uma distância aproximada de 15m. (Bezuijen e Vastenburg, 2013).

Esta técnica é a mais utilizada para a defesa costeira, sendo utilizados normalmente em zonas com águas pouco profundas ou em aplicações na costa, como reforço de um sistema dunar. Na figura 19 pode ser visualizado um perfil tipo de um cilindro em geossintéticos.

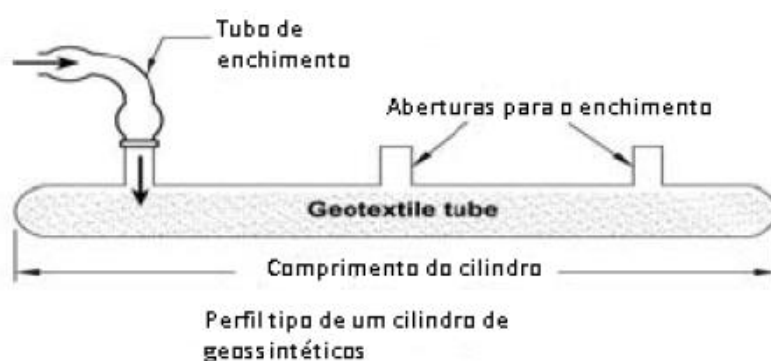


Figura 19 - Típico Cilindro de geossintéticos (adaptado de Smith, 2008)

Na figura 20 é apresentado um exemplo em fase de construção usando este tipo de tecnologia. Esta obra localiza-se na Praia de Esmoriz em que a utilização de cilindros geossintéticos tem como principal função reforçar o cordão dunar da praia. Neste exemplo são utilizados cilindros geossintéticos de 2.5m de diâmetro com um comprimento de 9.80m.



Figura 20 - Aplicação de cilindros geossintéticos, Praia de Esmoriz

Segundo Bezuijen e Vastenburg (2013), o material geossintético a utilizar em obras de defesa costeira, deve respeitar as seguintes exigências:

- Ser suficientemente permeável;
- Impedir saída de areia do seu interior;
- Resistir às pressões exercidas na fase de enchimento;
- Resistir às ações localizadas, como vandalismo e o rasgar em zonas críticas;
- Resistir à radiação UV.

2.3.2.2.2. Procedimento de instalação

O material é entregue no local de construção enrolado numa tubagem em aço (figura 21). Depois é desenrolado no local exato da obra com as respetivas entradas para o enchimento na face superior, devidamente centradas.



Figura 21 - Aspeto dos cilindros geossintéticos quando entregues em obra, Praia de Esmoriz

O processo de enchimento deste tipo de cilindro pode ser concretizado com recurso a uma bombagem hidráulica ou então recorrendo a uma tremonha e a uma colher como mostra a figura seguinte.



Figura 22 - Enchimento cilindros geossintéticos, Praia de Ofir 2015
(<http://concelhodeesposende.blogspot.pt/>)

Normalmente, a composição do enchimento é de 1 parte de areia para 4 de água ou então 1:5 baseando-se no volume do cilindro (Bezuijen e Vastenburg, 2013). Devido à permeabilidade do material geossintético, a água que entrou inicialmente durante a bombagem vai ser perdida pelo tecido, podendo ser também expulsa através das entradas do enchimento. Deve ter-se um cuidado especial nesta fase de instalação, pois existe uma certa possibilidade de ocorrer erosão no solo de fundação aquando da extração da água existente no cilindro, sendo que, para evitar este problema, se recorre à colocação de um lençol de plástico na base do mesmo (Ferreira, 2014).

A percentagem de preenchimento do cilindro em geossintético é usualmente entre 70% a 80% da área circular teórica, permitindo assim que a altura de enchimento seja cerca de metade da largura do cilindro (figura 23).

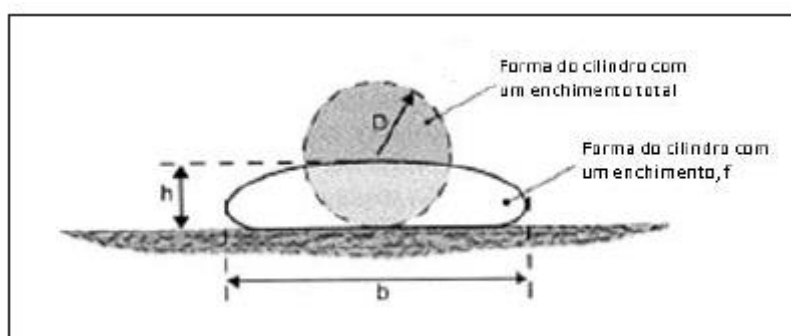


Figura 23 - Enchimento do cilindro em geossintético (adaptado Bezuijen e Vastenburg, 2013)

É fácil notar que um cilindro mais “achatado”, ou seja, com uma percentagem de enchimento inferior, tem uma tendência claramente inferior para que comece a rolar, o que leva a pensar que, com menores percentagens de enchimento se consegue um resultado claramente mais favorável. Contudo, menores percentagens de enchimento permitem que a areia se movimente mais facilmente dentro do cilindro levando a deformações (Kriel, 2012).

Em contrapartida, quando utilizada uma percentagem superior de enchimento, isto aumenta as forças de tensão ao longo do tecido do geotêxtil, fazendo com que haja uma probabilidade superior de ocorrer um rolamento da estrutura quando colocado numa fundação ligeiramente inclinada.

A criação de uma estrutura em cilindros está, portanto, dependente de todo o processo de enchimento. É fundamental encontrar uma percentagem de enchimento ideal para a estrutura, a fim de se garantirem os resultados pretendidos.

2.3.2.2.3. Mecanismos de rutura

Na conceção de uma aplicação deste tipo de estrutura, há que ter em consideração os diversos mecanismos de rutura que podem ocorrer ao longo da sua vida útil, graças a ações internas do geossintético ou devido a ações externas, exercidas por cargas que estão diretamente aplicadas. Segundo Neves (2011) e Bezuijen e Vastenburg (2013) as roturas que podem acontecer são as seguintes:

- Rutura do geotêxtil devido a um excesso de pressão aquando da altura do enchimento;
- Rutura do geotêxtil devido a uma insuficiência da capacidade de resistência das costuras;
- Rolamento do cilindro em geotêxtil, na altura do enchimento;
- Instabilidade do cilindro, quando sujeito a ação direta das ondas;
- Erosão da fundação do geotêxtil;
- Perda do material de enchimento pelo tecido geossintético;
- Migração da areia no interior do cilindro.

Estes modos de rutura são provocados pela ação de vários fatores, que põem em questão a estabilidade hidráulica destes sistemas. Alguns destes fatores, segundo Neves (2011) são:

- Modo de posicionamento (Sobreposição de elementos e orientação segundo a direção da onda);
- Percentagem de enchimento;
- Coeficiente de atrito;
- Inclinação do talude de fundação;
- Condições de ondas locais, que atuam diretamente sobre a estrutura.

Tendo em conta estes modos de rutura, há que garantir que a estrutura reúna todos os requisitos para durar o seu período de vida projetado e, portanto, diminuir a possibilidade de ocorrência destes fenómenos de debilidade. É crucial um dimensionamento cuidado e preciso, para se encontrar a melhor solução possível para as diferentes situações que podem surgir.

3. METODOLOGIAS

3.1. Praia arenosa de Ofir

3.1.1. Metodologias de caracterização da morfodinâmica de praias arenosas

3.1.1.1. Sistema de posicionamento global

O Sistema de Posicionamento Global (GPS – Global Positioning System) é um sistema de posicionamento por satélite, composto por um conjunto de satélites e estações terrestres de controlo e por recetores GPS detidos pelos utilizadores. Este sistema foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos EUA para ser utilizado na obtenção exata da posição. O sistema é composto por um conjunto mínimo de 24 satélites em órbita em torno da terra. Cada satélite possui um relógio atómico de elevada precisão e emite 2 sinais: um para uso civil e outro, inicialmente mais preciso, destinado apenas ao uso militar.

Os satélites, colocados em órbitas em redor da terra, fornecem sinais que são captados pelos recetores GPS. Deste modo, os recetores descodificam os sinais recebidos, calculam a posição e determinam a hora local. A posição é expressa pela latitude, longitude e altitude em coordenadas referentes ao sistema WGS84. O recetor para determinar a sua posição necessita de receber os sinais de pelo menos 4 satélites, sendo a posição determinada com base no tempo que os sinais demoram a percorrer a distância entre cada satélite emissor e o recetor.

Atualmente existem inúmeros tipos de recetores, alguns dos quais de aplicação específica, como os que se destinam exclusivamente ao uso militar ou os que foram desenvolvidos para a navegação marítima. Os recetores mais populares são aqueles que integram cartografia e software de navegação, permitindo localizar e orientar os utilizadores, mostrando a rota que devem percorrer para chegar a uma determinada localização. Este

tipo de recetor surge atualmente integrado em veículos ou em unidades portáteis. De forma a evitar que o sistema pudesse ser vantajoso para os inimigos, o Departamento de Defesa decidiu alterar o sinal emitido pelos satélites de forma a introduzir um erro de aproximadamente 100 metros. Dado que a precisão era importante para determinadas atividades, foi desenvolvido o DGPS – Diferencial GPS. Este sistema é baseado em estações terrestres que difundem a diferença entre a posição calculada através dos sinais recebidos de satélites e a posição exata dessas estações que é previamente determinada. Assim, os recetores ao saberem a diferença entre o sinal recebido do satélite e o sinal calculado com precisão podem determinar com maior exatidão a sua posição. O sistema GPS permite localizar uma pessoa ou objeto com um grau de precisão que é aceitável para a maioria das atividades. No entanto, este tipo de posicionamento é limitado a espaços abertos exteriores, dado que exige a existência de linha de vista entre a antena do recetor e os satélites, portanto, o sistema não funciona no interior de edifícios. De forma similar, em ambientes urbanos, com prédios elevados e/ou ruas estreitas o sistema poderá também não funcionar por dificuldades em estabelecer linha de vista entre o recetor e um número mínimo de satélites.

Equipamento DGPS Trimble Geo XR

O dispositivo utilizado para realizar os levantamentos topográficos na Praia de Ofir foi o GPS Trimble Geo XR (figura 24).

Com o objetivo de apresentar um rover de rede de alta precisão que seja rápido e com maior autonomia, o recetor Trimble Geo XR apresenta uma elevada produtividade no levantamento GNSS (Global Navigation Satellite System), ao combinar funcionalidade e alta precisão nos trabalhos de campo com flexibilidade de acordo com a conveniência de posicionamento. Este equipamento inclui um recetor GNSS de 220 canais com capacidade de rastreamento GPS e satélites GLONASS e uma antena GNSS de dupla frequência (L1/L2) integrada.

Trata-se de um instrumento portátil bastante funcional que pode ser usado de duas formas distintas. Uma delas permite instalar um bastão topográfico com uma antena externa para

um levantamento de precisão, que é ligado à tecnologia Trimble VRS, oferecendo um funcionamento como um telemóvel de rede avançado e muito eficiente. Retirando o equipamento do bastão, é possível ligar-se o recetor à antena integrada, convertendo-se assim numa solução ideal para a medição de pontos manual através de rover, podendo ainda aceder facilmente à câmara integrada de 5 megapixeis. A câmara é controlada pelo software Trimble Access, pelo que a captura de fotos e a correspondência de imagens aos dados topográficos é contínua e simples.

O modem integrado do Trimble GeoXR permite acesso contínuo à rede e à Internet para utilizar serviços baseados na web e acesso às correções Trimble VRS. Além disso, as opções de conectividade sem fios incluem as tecnologias celulares e Wi-Fi, asseguram a sincronização, envio de arquivos do campo para o gabinete através de Trimble AccessSync. Permite também um contacto permanente entre colaboradores mesmo a partir de locais remotos.



Figura 24 - Recetor Trimble Geo XR

Mais características deste equipamento poderão ser encontradas do site da própria marca (trimble.com).

3.1.1.2. Programas de SIG

Todas as atividades das sociedades organizadas têm necessidade de gerar e armazenar informações. No passado, o levantamento de dados era apenas recolhido em documentos e mapas em papel, encontrando-se na maioria das vezes, dispersos por vários sistemas, o que dificultava, ou até mesmo impedia, uma combinação de vários mapas e dados para uma análise mais apurada do que se queria estudar, limitando assim o seu potencial. Na segunda metade do século XX, com o desenvolvimento da tecnologia informática, tornou-se possível armazenar e representar tais informações em ambiente computacional, abrindo espaço para o aparecimento de Sistemas de Informações Geográficas.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) tornaram-se, numa ferramenta imprescindível para um número crescente de estudos em várias áreas. De facto, os SIG são a ferramenta ideal para isolar, descrever relações espaciais e elaborar modelos estatisticamente testáveis (Walker, 1990; Haslett, 1990).

É um sistema capaz de gerir informação respeitante aos objetos ou temas georreferenciados enfatizando três conceitos: o processamento de mapas, as bases de dados e a análise espacial. Este tipo de software combina várias camadas de informações, fornece aos utilizadores uma melhor perceção de uma determinada área e permite a maximização na obtenção da informação, que de outra forma só seria possível através de processos complexos de análise.

Integra dados de múltiplas fontes, ajudando os decisores em análises complexas, proporcionando uma comunicação rápida dos resultados através de gráficos, mapas e outros mecanismos de apresentação de informação, possibilitando que esta seja instantaneamente percebida por todos os colaboradores de uma organização (Silva, 2014).

Os SIG utilizados em Engenharia Civil incluem disciplinas como fotointerpretação, fotogrametria e processamento de imagem, cartografia, planificação urbana e regional, arquitetura paisagística, navegação e planeamento de transportes, cadastro, energia e serviços domiciliários, minas e geologia, estratégia militar e proteção civil, recursos hídricos e saneamento básico, construção civil e comunicações.

Existem várias soluções SIG, tais como: Arcgis, Mapinfo, Geomedia, Grass, Gv SIG, Mapwindow, Quantum GIS (opensource), Spring, Saga Gis, iSMART, Terra View, Transcad, VisualSIG, entre outros.

Software Quantum Gis

Entre as diversas tecnologias de disponibilização de informação geográfica, processamento e análise disponíveis no mercado para manipulação de dados espaciais, uma delas é o software Quantum Gis (QGIS). O QGIS é um programa de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de código aberto licenciado pela GNU (General Public License).

Projeto oficial da Open Source Geospatial Foundation (OSGeo) que teve início em fevereiro de 2002, lançada a primeira versão no mês de junho desse mesmo ano. Aquando da sua criação, tinha como objetivo conceber um visualizador gratuito para uma base de dados geográfica PostGIS, que funcionasse em Linux. Com o passar do tempo houve a necessidade de implementar este software noutros sistemas operativos tais como o Unix, Mac OsX e MS Windows e mais recentemente em Android, de forma a abranger um maior número de utilizadores, tornando-se assim mais prático, apelativo e funcional.

A interface do *software* é simples e de fácil manuseio e nos dias de hoje a sua funcionalidade é muito mais vasta. Contempla um número contínuo e crescente de recursos fornecidos por funções e *plugins*, e também oferece várias ferramentas que possibilitam visualizar, gerir, editar, analisar os dados, compor mapas impressos, obter impressão com determinadas *screenshots* e uma lista de recursos detalhada.

Este *software* permitiu consultas espaciais, exploração interativa de dados, identificação e seleção de geometrias, pesquisa, visualização e seleção de atributos e criação de simbologia vetorial e *raster* em inúmeros formatos. O QGis suporta as bases de dados geográficas PostGIS, SpatiaLite e SQL Anywhere, além de todos os formatos suportados pela biblioteca GDAL (Geospatial Data Abstraction Library).

O facto de possuir uma interface gráfica baseada nas bibliotecas Qt4, bastante moderna e intuitiva, faz do QGIS um *software* simples e intuitivo, sendo todas as funções claramente separadas. Possui uma barra de menu que permite o acesso às funções de QGIS de modo mais rápido, com ícones que aparecem na barra de ferramentas, totalmente configurável conforme as preferências do utilizador. A representação do mapa é fundamental no QGIS, sobre o qual é possível executar as operações necessárias ao mesmo, desde a georreferenciação, a inserção de legenda, construção de mosaicos, entre outros. Devido a todas as suas funcionalidades de fácil adaptação, o Quantum Gis foi o *software* utilizado no processamento de dados necessário para o trabalho realizado na Praia de Ofir.

Este programa possui um grande e crescente número de funções, incluindo:

- Visualização e correção “on the fly” de camadas vetoriais e *raster* em diferentes formatos. Estas correções permitem a mudança de *datum* a ser utilizado tal como as transformações referentes ao mesmo;
- Exploração interativa de dados, identificando seleção de geometrias, pesquisa, seleção por atributos, etiquetas, criação de simbologia, entre outros;
- Uma forma mais fácil e eficaz de fazer junções entre tabelas;
- Composição de layouts de impressão, com mapa, legenda, barra de escala, grelhas de referência, texto e tabelas de atributos.
- Criação, gestão e edição de camadas vetoriais e *raster*.
- Geoprocessamento das camadas incluindo *overlay*, *clip*, *buffer*, amostragem, interpolação e análise de parâmetros morfológicos.

3.1.2. Levantamento topográfico com DGPS e processamento de dados com o software QGis

O objetivo do trabalho realizado na praia de Ofir consistiu na realização de levantamentos topográficos, aferindo-se as alterações morfológicas em diferentes estados de agitação e tipologia de maré sofridas na zona intervencionada, de modo a perceber no curto prazo, a morfodinâmica da praia sob influência dos cilindros geossintéticos.

Em primeiro lugar foi fundamental definir um programa de monitorização para a realização deste trabalho. Foi necessário definir os dias mais favoráveis para a realização das campanhas bem como a localização dos perfis transversais onde era presumível a realização dos levantamentos.

Seria vantajoso que as campanhas fossem realizadas em dias de marés vivas, onde se dá a maior amplitude da maré e conseqüentemente uma maior exposição da praia, e em baixa-mar, onde ocorre o nível mínimo da maré, expondo assim uma maior área da praia.

Para o efeito, foi necessário recorrer aos dados fornecidos pelo Instituto Hidrográfico, relativos à previsões de maré (figura 25), com base em análises harmónicas de séries de observações maregráficas de duração variável.



Figura 25 - Previsão de maré para o Porto de Leixões de 3 em 3 horas, no período de monitorização, 17.03.2017 a 17.05.2017

No caso do Porto de Leixões, o Instituto Hidrográfico realiza previsões de alturas de maré de 15 em 15 minutos com aproximação ao milímetro, o que tornou a tarefa facilitada no momento de programar as campanhas ao longo do período de monitorização. No entanto, é de referir que o Instituto alerta que é frequente existirem desvios entre a altura de maré observada e a altura de maré prevista, podendo esse valor ultrapassar 0.1 m, devido à conjugação de efeitos meteorológicos, subida do nível médio do mar, variações do nível das águas, em consequência de cheias ou secas.

Assim, foram realizadas campanhas em quatro datas distintas, dia 20 de março, 30 de março, 10 de abril e 15 de maio, tendo sido efetuado um levantamento em cada um dos dias, em conformidade com as características de maré. A primeira campanha realizou-se

durante um período de maré morta, para se adquirir experiência no funcionamento do equipamento DGPS e as três seguintes, durante a baixa-mar em período de marés vivas.

Quanto à localização dos perfis transversais à praia ao longo da área em estudo, foram definidos no local, com base em pontos de referência em que era espectável que não se alterariam face às condições que se pudessem vir a sentir ao longo do período monitorizado (figura 26). No total foram definidos seis perfis transversais, entre o esporão norte e as torres de Ofir (zona de intervenção dos cilindros geossintéticos). No sentido Norte – Sul, o perfil 6 localiza-se no início da implantação dos cilindros geossintéticos, considerando este o ponto de origem. O perfil 5 localiza-se 104.5 m da origem, o perfil 4 a 276 m, o perfil 3 a 295 m, perfil 2 a 342.5 m e e por fim o perfil 1 a 416 m.



Figura 26 - Mapa da localização de perfis transversais

As coordenadas geográficas do trecho em estudo são: 41°31'23.6"N 8°47'22.4"W; 41°31'07.4"N 8°47'15.1"W.

Definidas as condições iniciais, procedeu-se ao levantamento topográfico através do equipamento DGPS Trimble Geo XR (figura 27), obtendo-se pontos devidamente

referenciados. O modo de medição escolhido foi em contínuo, usando-se equidistâncias de registo de pontos de um metro.

De lembrar que o GPS é na atualidade o sistema de posicionamento global mais difundido e utilizado a nível mundial. Pode ainda, para uma maior precisão do GPS utilizar-se a técnica de correção diferencial (DGPS) que consiste na suposição de que o erro na determinação de um ponto seja semelhante a todos os recetores situados num raio predefinido (Silva, 2014). Para permitir a correção diferencial destes erros, foi essencial o auxílio da rede militar (IGEOE) em tempo real.



Figura 27 - Levantamento topográfico na praia de Ofir, recorrendo ao equipamento DGPS

Após a realização das diferentes campanhas, todos os valores adquiridos através do DGPS foram convertidos para formato *shapefile* e devidamente processados no Quantum Gis. A título ilustrativo, na figura 28 apresenta-se a importação de dados referente a umas das campanhas, recorrendo ao QGis.

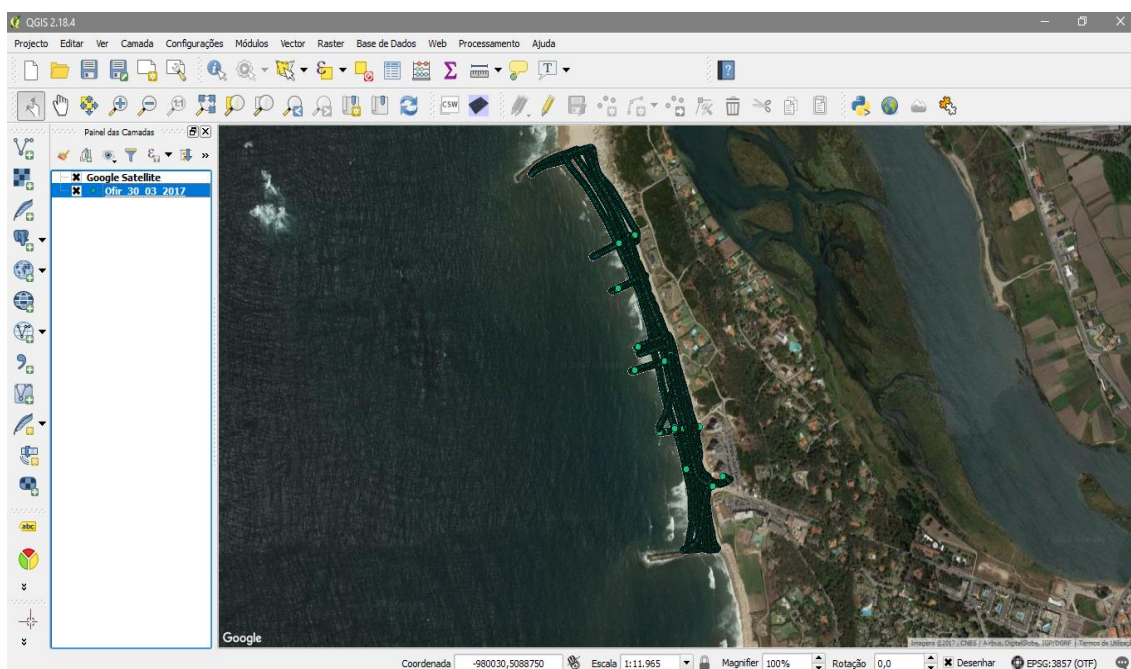


Figura 28 - Importação de dados para o QGis, referente à campanha de 30.03.2017

Procurou-se que os levantamentos em cada um dos perfis transversais fosse repetido sempre sobre o mesmo alinhamento, perpendicularmente aos cilindros geossintéticos. Assim, foram traçados seis alinhamentos no QGis, aproximadamente perpendiculares em relação à posição da base dos geocilindros. Os pontos levantados em cada uma das campanhas foram ajustados, deslocando-se transversalmente ao alinhamento do perfil.

O passo seguinte, consistiu no processamento das coordenadas dos pontos de cada um dos perfis transversais. Os resultados podem ser convertidos nos mais diversos formatos, como, DXF, XML, KML, GML, GPX, entre outros. Neste caso em particular, como se pretendia traçar os perfis em Excel, as coordenadas de cada ponto (latitude, longitude e altitude) foram convertidos em formato compatível com este programa.

Depois de realizado o tratamento à informação através do Excel, foi possível obter os perfis pretendidos em forma de gráfico (figura 29).

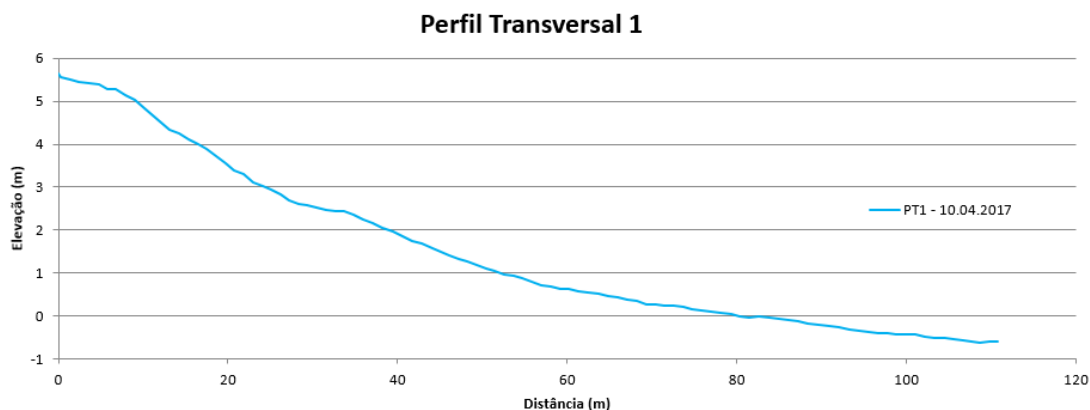


Figura 29 - Perfil transversal 1 obtido no dia 10.04.2017

Note-se que, neste caso de estudo, utilizou-se o referencial Datum 73 Hayford Gauss IPCC.

3.2. Praia de seixos de Belinho

Devido à capacidade natural de dissipar grandes quantidades de energia da agitação, as praias de seixos são amplamente consideradas como uma forma eficaz e sustentável de defesa costeira. No entanto, durante eventos extremos, com estados de agitação muito severos, pode dar-se o galgamento da praia, inundando toda a sua envolvente.

Apesar da sua importância social, pouca pesquisa foi direcionada para a compreensão dos mecanismos que levaram ao seu fracasso durante a ocorrência de tempestades extremas.

3.2.1. Modelação de praias de seixos com o programa XBeach-Gravel

Robert McCall abordou esta lacuna nos modelos de impacto de tempestade para as praias de seixos na sua pesquisa de doutoramento na Universidade de Plymouth (Reino Unido), em colaboração com Deltares e outros parceiros de projeto. Da sua pesquisa resultou no desenvolvimento de um novo modelo numérico de código aberto, designado de XBeach-Gravel (XBeach-G).

O programa XBeach-G tem como principal objetivo simular a resposta morfodinâmica de praias de seixos devido às ações do mar. Trata-se de um modelo hidrodinâmico bidimensional de propagação de ondas, transporte de sedimentos e alterações morfológicas da área costeira, como praias e dunas.

Baseado no modelo XBeach (Roelvink et al., 2009) desenvolvido para praias arenosas, o *software* XBeach-G resolve problemas de correntes e agitação em águas pouco profundas, considerando uma aproximação não hidrostática, semelhante ao modelo Swash. É particularmente importante para a aplicação em praias de seixos onde, devido aos acentuados declives, é frequente a existência de rebentação sobre a praia das ondas infragravíticas que desempenham um papel importante na agitação próxima da praia.

A infiltração constitui um processo importante na dinâmica numa praia quando $K > 1 \text{ cm/s}$ (condutividade hidráulica). Para contabilizar corretamente este efeito, o XBeach-G calcula o escoamento subterrâneo e a troca entre águas subterrâneas e águas superficiais usando um modelo de águas subterrâneas XBeach ($\text{gwflow}=1$). Comparativamente com praias arenosas, este processo é significativamente mais importante em praias de seixos.

Antes de mais, será dada uma breve explicação sobre o *software* XBeach-Gravel. O XBeach-Gravel é um programa bastante intuitivo e de fácil utilização. A construção de modelos faz-se a partir de um conjunto de ferramentas organizadas numa área de projeto que está dividida em quatro itens de dados (*Input*) *Profile*, *Waves*, *Tide* e *Parameters* e três itens de resultados (*Output*) *Cross-shore*, *Time series* e *Run-up* como mostra a figura 30.

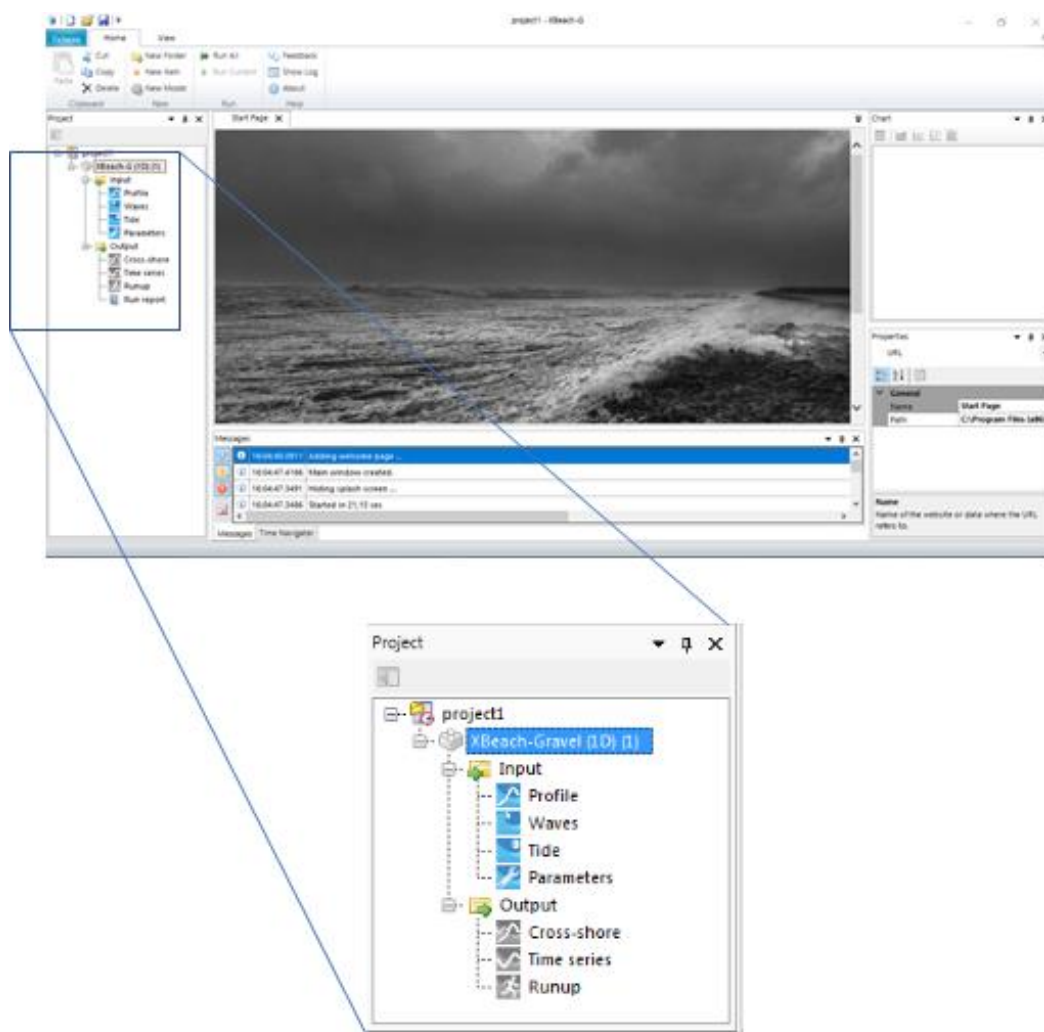


Figura 30 - Interface do programa XBeach-G, representando o *Input* e o *Output* do programa

Na área de *Input*, no item *Profile* são introduzidas as coordenadas X, Z do perfil transversal da praia (figura 31). O *software* permite que as coordenadas sejam introduzidas uma a uma ou pela importação de dados através de ficheiros do tipo *.csv. É de notar que, para que o programa corra, é necessário simular a parte da praia submersa.

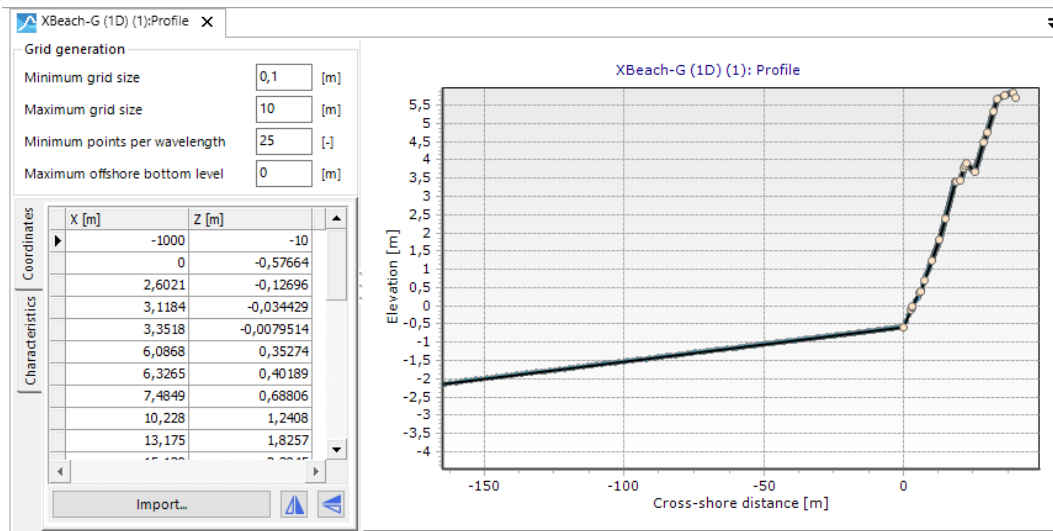


Figura 31 - Perfil transversal da praia do Belinho para uma dada simulação

No item *Waves* são solicitadas as condições de agitação para o período estudado (figura 32). Deverão ser definidos parâmetros como *Time* que representa o início da simulação, *Spectrum type* podendo a distribuição ser do tipo *Unimodal* ou *Bimodal*, o valor de *Gamma* que permite "aperfeiçoar" o pico do espectro de Jonswap ($\Gamma = 3.3$), *Hs* que representa o valor da altura significativa de onda, *Tp* representa período de onda e por fim *S*, que é um parâmetro que está relacionado com a propagação da agitação para direções distintas da direção do perfil definido. (quando se impõe condições de agitação sem propagação direcional $s > 1000$)

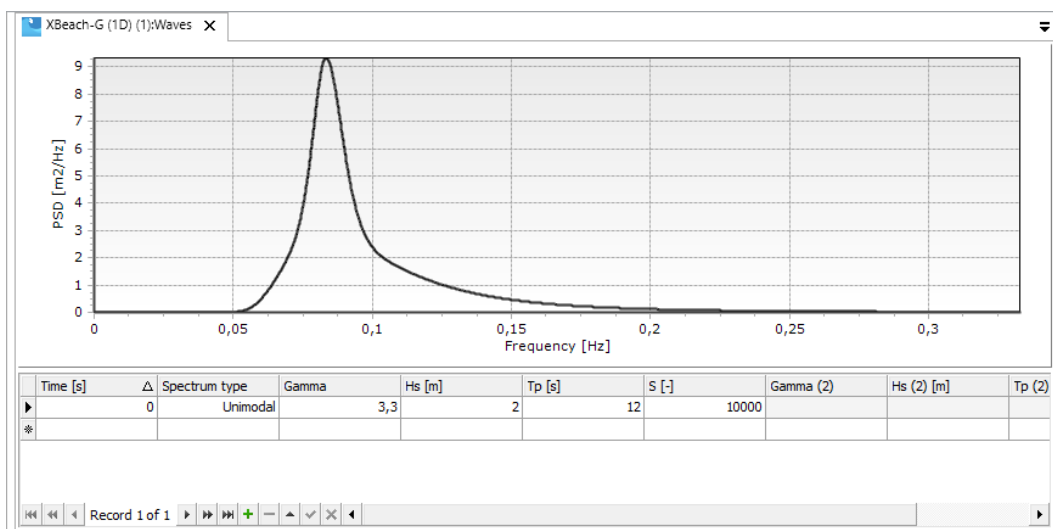


Figura 32 - Condições de agitação para uma dada simulação

No item *Tide* introduz-se o nível da maré em função do tempo de simulação (figura 33).

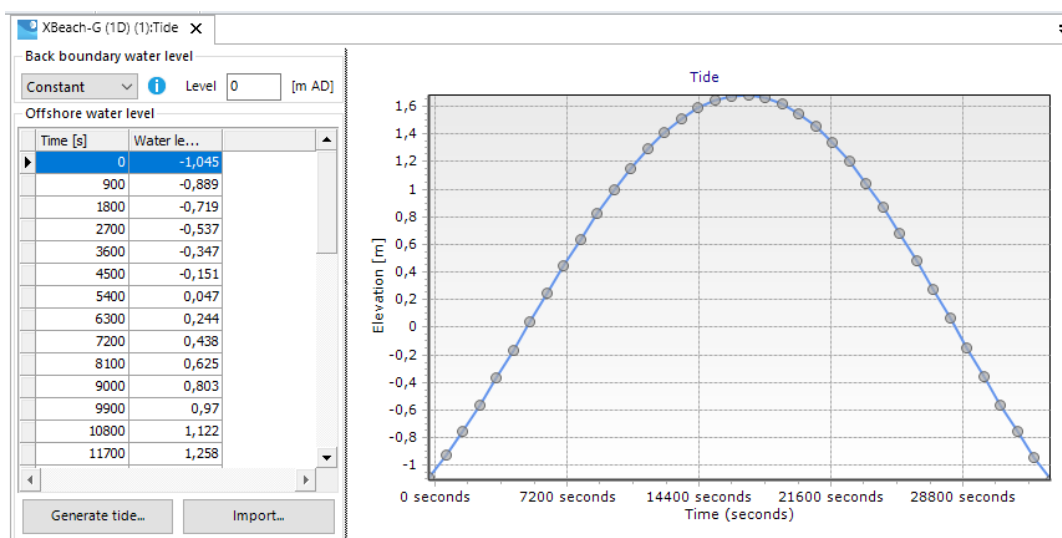


Figura 33 - Nível da maré entre duas baixa-mar sucessivas utilizada nas simulações da praia do Belinho para o dia 16.05.2014

No último item de dados *Parameters* (figura 34), são inseridos outros parâmetros importantes na caracterização da simulação. Em termos de *Time management* deverá ser definida a *Duration*, que representa a duração da simulação (deve-se garantir que este valor seja tão longo quanto o nível de maré entre duas baixa-mar sucessivas), e o *Output timestep*. Em seguida define-se as condições pedidas em *Initial conditions*, com *Groundwater level* que representa o nível da água subterrânea na praia de seixos e *Bottom aquifer* define a espessura da camada de seixo permeável, que afeta a dinâmica das águas subterrâneas no leito. Valores relativos a *Sediment characteristics* também são necessários, como o D_{50} que representa o diâmetro equivalente correspondente a 50% de seixos retidos, necessário para cálculo do transporte de sedimentos e a rugosidade do leito k , que representa a condutividade hidráulica da camada permeável de seixos. Por fim vem os parâmetros referentes a *Morphology* com *Sediment friction factor*, que é um fator de atrito, este valor está compreendido no intervalo [0,01;0,05], *Nielsen's boundary layer phase lag* representa o atraso de fase entre a velocidade de fluxo e a velocidade na camada limite, normalmente compreendido no intervalo de [20°;35°] e *Angle of repose* representa o ângulo de repouso dos seixos. Este ângulo influencia o transporte de sedimentos em taludes inclinados acima do nível da água.

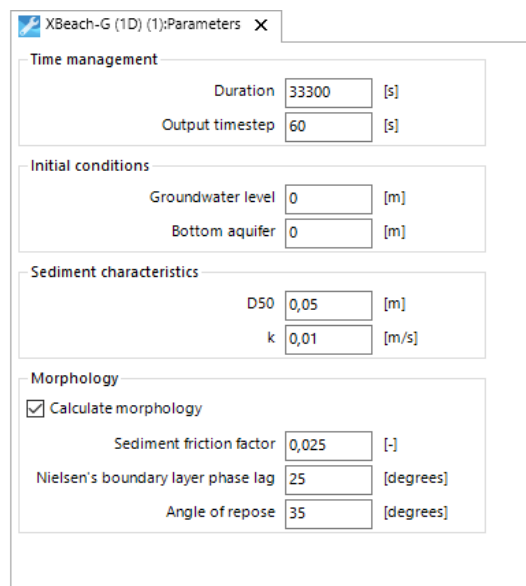


Figura 34 - Parâmetros utilizados para uma dada simulação

Após a simulação, é possível analisar os resultados através de diferentes modos. O *Cross-shore* apresenta-nos o perfil transversal da praia (figura 35) submetido às condições que o utilizador impõe nos dados. Com o comando *Time Navigator*, que exibe uma linha cronológica, é possível representar graficamente diferentes variáveis simuladas.

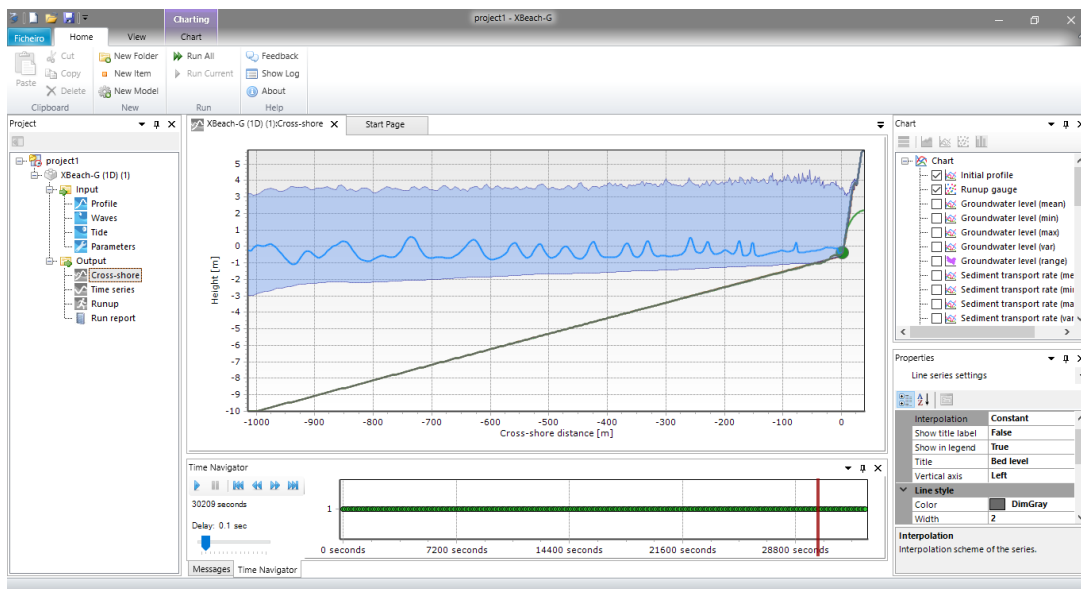


Figura 35 - Visualização em *Cross-shore* para uma dada simulação

Em qualquer um dos itens *output* é possível recorrer a uma ferramenta *chart*, localizada por norma no canto superior direito da janela, que apresenta uma lista de todas as séries

de dados que podem ser visualizadas no gráfico. Ao selecionar um item qualquer no *chart*, os dados podem ser adicionados ou removidos do gráfico. No caso do *chart* do *Cross-shore* é possível visualizar por exemplo: *water level*, *water level (range)*, *bed level*, *initial profile*, entre muitos outros.

No item *Time series* apresenta-se uma série temporal de resultados numa determinada localização do perfil simulado (figura 36). Normalmente está definido para que mostre resultados da série temporal como o *Water level*, *Water level (mean)* e o *Water level (statistic)*. Mais uma vez, a visualização destes dados pode ser alterada na janela *chart*.

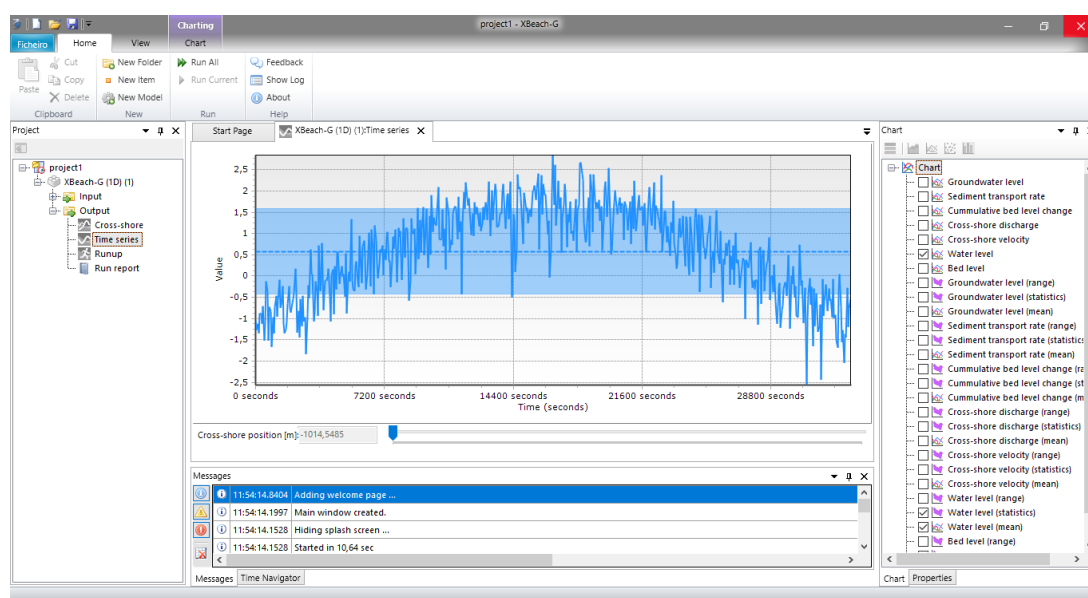


Figura 36 - *Time series* para uma dada simulação

Por ultimo, o *Runup* apresenta uma serie temporal do nível máximo atingido pela água na praia após a rebentação da onda (figura 37), ou seja, representa a posição vertical absoluta do ponto mais elevado atingido pelo espraio da onda (z) e o nível médio do mar nesse momento (r).

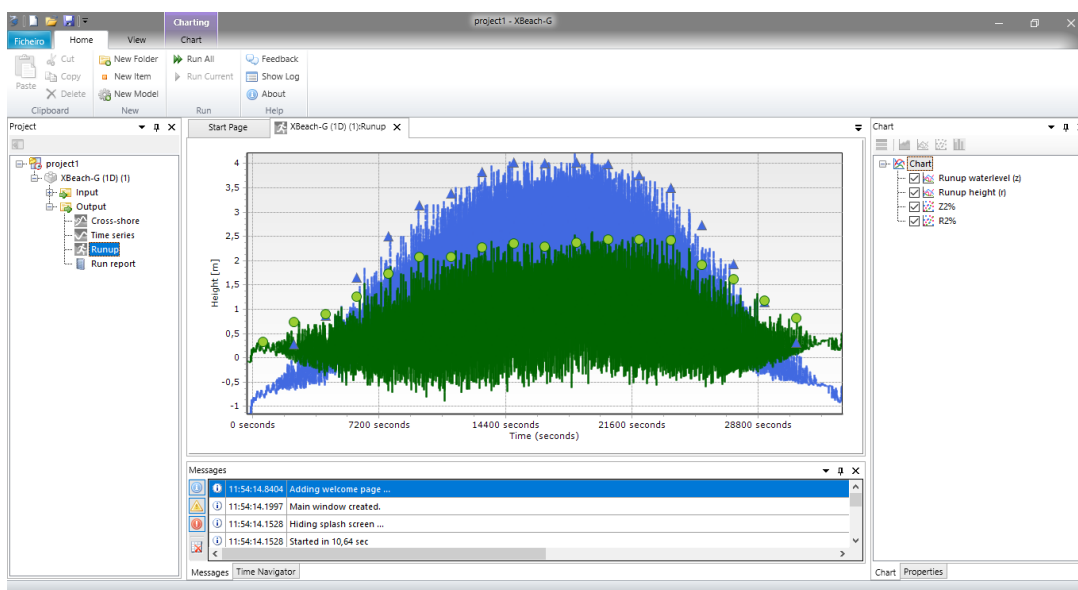


Figura 37 - Run-up para uma dada simulação

Note-se que, para o trabalho realizado para o caso de estudo em que é utilizado o software XBeach-G, apenas a análise dos resultados obtidos com o Cross-shore é importante.

3.3. Laguna de Esmoriz

3.3.1.Recolha e caracterização de sedimentos

3.3.1.1. Âmbito do trabalho

O Grupo empresarial ABB (entidade adjudicatária do projeto da Barrinha de Esmoriz) e o Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho (DEC-UMinho) identificaram diferentes domínios de colaboração relacionados com as intervenções em meios fluviais e marítimos, incluindo a investigação, formação e prestação de serviços especializados. A obra da Barrinha de Esmoriz que decorreu entre setembro de 2016 e junho de 2017, foi identificada como um caso de estudo com proveito para esta dissertação.

A obra de requalificação e valorização do “Sítio” da Barrinha de Esmoriz (figura 38) incluiu, entre outros, a execução de ações de dragagem na barrinha de modo a reverter a situação atual de assoreamento do meio lagunar, a consolidação dunar e a reabilitação do dique fusível instalado em 2004, visto que o antigo fusível tinha atingido um estado de degradação avançado e consequentemente a problemática ambiental.

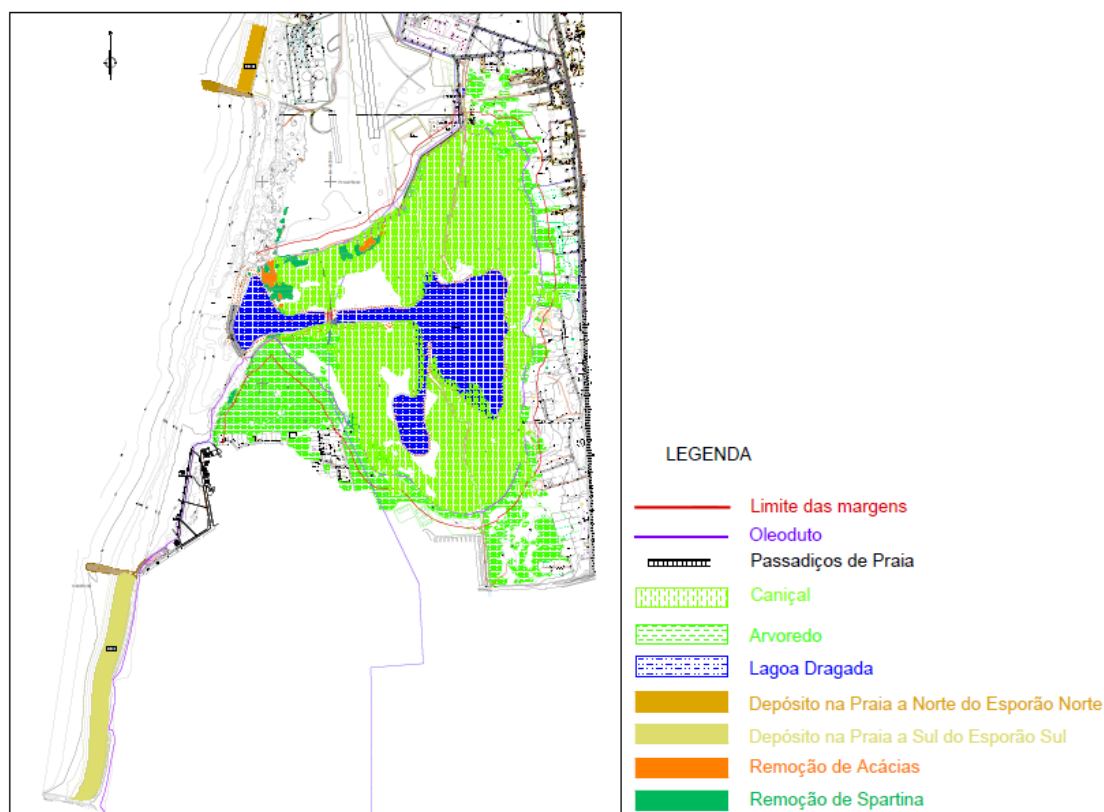


Figura 38 - Intervenção realizada na Barrinha de Esmoriz (RECAPE, 2014)

A ABB teve interesse na repetição da caracterização de sedimentos da Barrinha de Esmoriz, por forma a repetir o trabalho realizado em 2013 na fase de projeto. Ambas as entidades, acordaram na realização de uma campanha de recolha e posterior caracterização de sedimentos, sendo que, os subcapítulos seguintes (3.3.1.2. e 3.3.1.3.) apresentam esse mesmo trabalho.

3.3.1.2. Antecedentes

O desassoreamento da Barrinha de Esmoriz envolveu a dragagem de 272000 m³ de sedimentos, dos quais 264000 m³ do corpo central da lagoa e os restantes 8000 m³ das margens.

De acordo com o Relatório de Conformidade Ambiental do Projeto de Execução (RECAPE) os sedimentos a dragar eram constituídos em cerca de 85% por areias e teores de argila da ordem de 5%. Estes valores resultaram da caracterização de 46 amostras recolhidas em 12 estações de amostragem na fase de projeto, distribuídas ao longo da área a ser alvo de dragagem, como está representado na figura 39. Foram recolhidos carotes verticais contínuos em cada uma das estações (designadas de “A” a “L”, até um máximo de 2,0 m de profundidade) tendo cada um dos carotes sido divididos em amostras de 0,40 a 0,50 m.



Figura 39 - Intervenção de dragagem na Barrinha de Esmoriz

3.3.1.3. Campanha de recolha

A recolha de amostra de sedimentos foi realizada no dia 13 de abril de 2017 pela ABB, coordenada e acompanhada por uma equipa técnica da Universidade do Minho composta por:

- Prof. Doutora Helena Granja, Professora Catedrática da Universidade do Minho;
- Prof. Doutor José Luís da Silva Pinho, Professor Auxiliar da Universidade do Minho;
- MSc, Ana Luísa Costa, Mestre pela Universidade do Minho;
- Ana Carolina Gomes, aluna de Mestrado em Engenharia Civil da Universidade do Minho.

Amostragem realizada

Em março de 2017 foi realizado um plano de amostragem de sedimentos com o intuito de planificar o trabalho envolvente, que iria ser feito durante a campanha de recolha. Aí, foram propostas as localizações das estações de recolha (figura 40), em locais o mais próximo possível dos pontos de recolha realizada 2013. Além disso, por se achar relevante, foram planeadas mais quatro localizações adicionais, N, M, O e P.



Figura 40 - Localizações propostas para as estações de recolha de sedimentos no plano de amostragem de sedimentos

No dia da campanha de recolha de sedimentos, já em obra, à medida que o trabalho ia sendo realizado verificou-se não ser possível a recolha em todos os pontos como definido no plano de amostragem. Apesar de terem sido criadas condições de acessibilidade aos locais de recolha, através do esvaziamento prévio da lagoa, não foi possível aceder a alguns dos locais definidos. A quantidade de sedimentos finos no fundo da lagoa era visível, e previa que alguém pudesse ficar preso, pondo-se em causa a segurança das pessoas envolvidas nos trabalhos. Na figura seguinte é possível verificar o aspeto da barrinha de Esmoriz no dia da campanha de recolha de sedimentos.



Figura 41 - Aspeto da barrinha de Esmoriz no dia da campanha

Na zona interior da lagoa, excluiu-se o ponto O e foram alterados os pontos D e P para D1 e P1, em zonas próximas. Na zona próxima do dique fusível, como as condições dos pontos M e N eram praticamente idênticas, optou-se apenas pela recolha num único local, o M1. Os restantes pontos foram mantidos (figura 42), voltando a referir que se teve o cuidado de definir pontos de recolha o mais próximo possível das estações da recolha anteriormente realizadas em 2013.

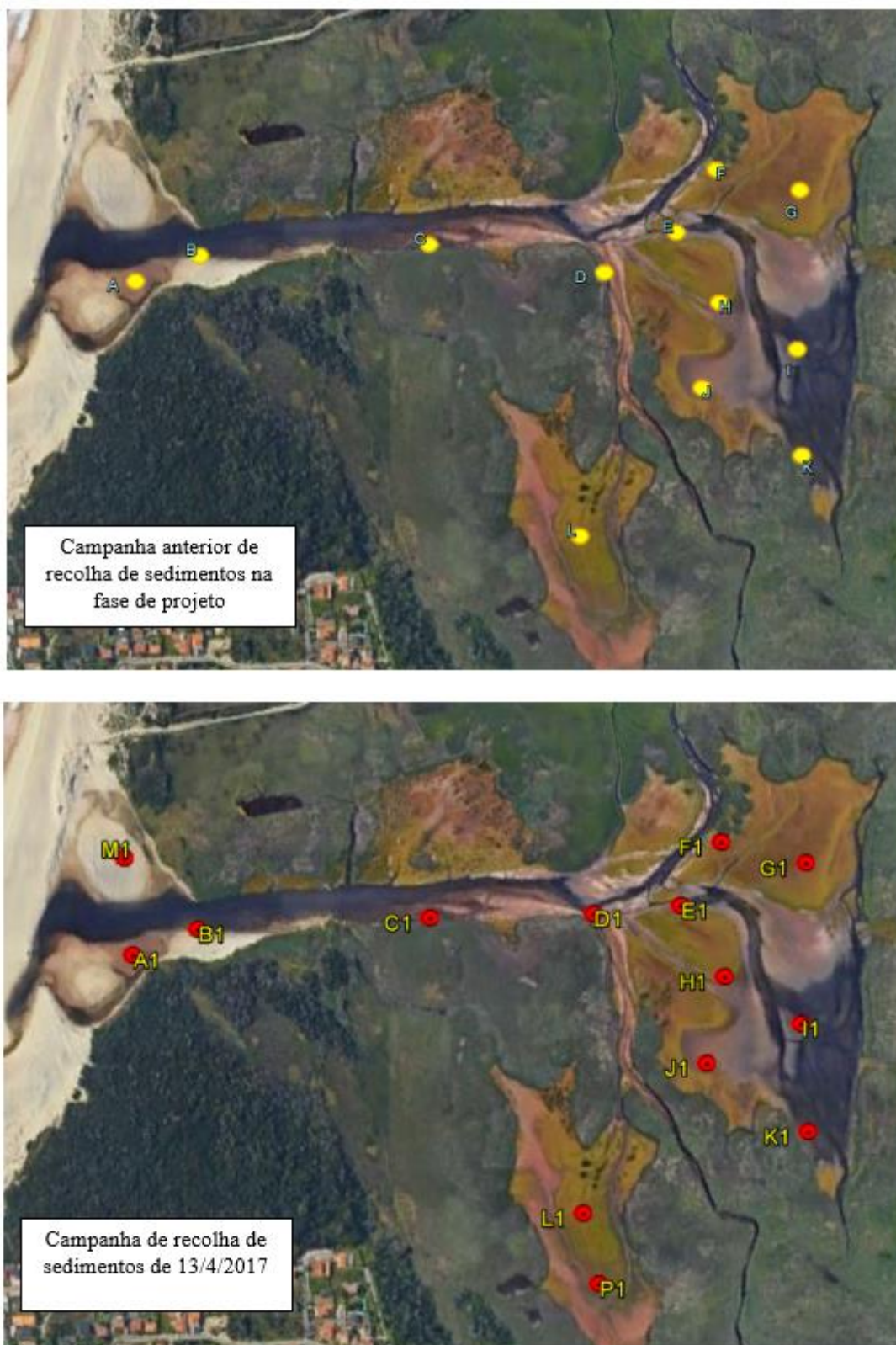


Figura 42 - Localizações das estações de recolha de sedimentos da campanha atual e da campanha anterior realizada em fase de projeto

Foram então considerados no total 14 locais de recolha, 3 amostras superficiais nos pontos A1, B1 e M1 e 11 amostras com trado nos restantes locais. Estas localizações foram medidas com recurso a um equipamento DGPS e as suas coordenadas representa-se na tabela 1.

Tabela 1 - Localização das estações de recolha de sedimentos

Estação	Coordenada X	Coordenada Y	Cota (NMM)
A1	-43493,999	144190,992	1,610
B1	-43413,998	144222,003	0,848
C1	-43130,000	144234,000	1,200
D1	-42930,470	144237,576	1,190
E1	-42823,982	144247,019	1,677
F1	-42774,020	144323,925	2,007
G1	-42670,984	144298,024	1,789
H1	-42770,991	144160,029	1,673
I1	-42677,891	144102,414	1,592
J1	-42793,008	144055,004	1,659
K1	-42669,994	143970,997	1,666
L1	-42944,986	143872,987	1,728
M1	-43503,372	144309,379	1,412

Metodologia adotada

Em primeiro lugar foi necessário localizar os pontos previamente estipulados. Esse trabalho foi feito por um técnico de topografia, utilizando o equipamento DGPS. Em seguida, com a ajuda de um trado manual com desenvolvimento aproximado de 1,0 m (idêntico à espessura da camada de sedimentos a dragar), foram retiradas as amostras na zona interior da lagoa. Já as amostras próximas da zona do dique fusível, ou seja, A1, B1 e M1, foram recolhidas com a ajuda de uma pá, visto que a recolha através do trado era impossível devido à quantidade de areia presente neste local.

Após a recolha, o trado era transportado para uma zona na margem da lagoa onde a equipa da Universidade do Minho, procedeu às necessárias medições e separação do material

recolhido, tendo por base a sua textura, cor, entre outros aspetos (figura 43). Foi ainda realizado o registo descritivo e fotográfico do material recolhido.



Figura 43 - Medição e separação do material recolhido com trado

Na figura que se segue, mostra-se como exemplo a caracterização que foi feita “in situ”, do material recolhido no trado no ponto E. Toda esta informação, referente a todos os outros pontos está disponível no anexo 1.

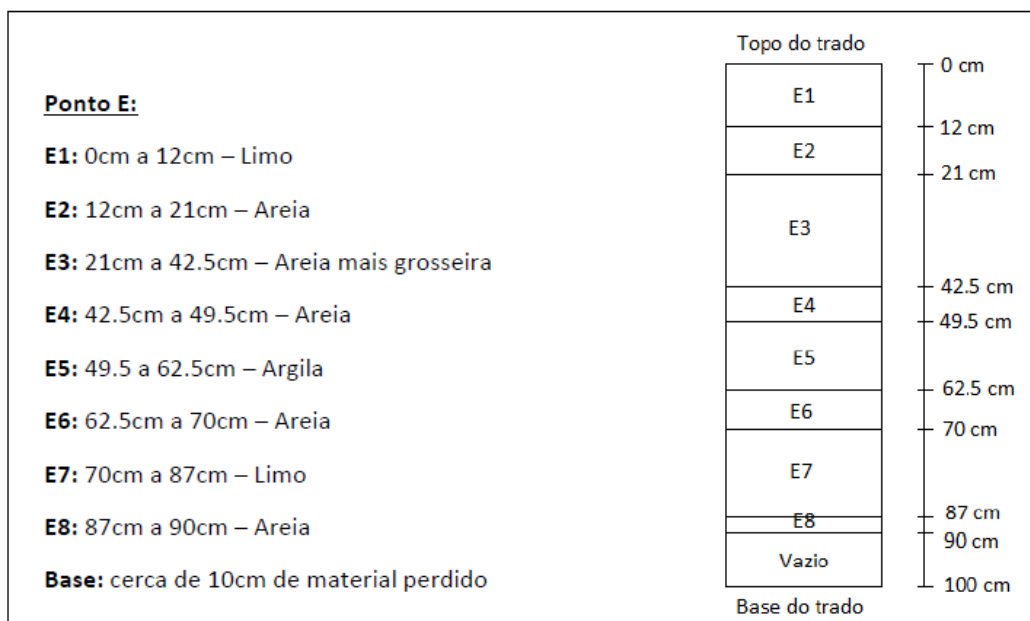


Figura 44 - Caracterização realizada em “in situ” no trado do ponto E

Depois desse trabalho, o material foi devidamente acondicionado, isolado e identificado em embalagens individuais (figura 45).



Figura 45 - Acondicionamento das amostras recolhidas com o trado no ponto E, para posterior análise em laboratório

Quanto às análises granulométricas, foram realizadas pelo Laboratório do Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro, que se encontra acreditado para a realização desse trabalho.

O material utilizado para efetuar a campanha de recolha de sedimentos (figura 46) foi o seguinte:

- Equipamento DGPS
- Trado, com comprimento aproximado de 1 metro
- Pá
- Caderno de apontamentos e lápis
- Material cortante
- Espátulas
- Fita métrica
- Máquina fotográfica
- Embalagens individuais



Figura 46 - Material utilizado durante a recolha de sedimentos

Na figura 46 apresentam-se imagens do material usado para efetuar a campanha de recolha de sedimentos: na imagem 1 temos o equipamento DGPS que foi utilizado para medir as localizações dos pontos de recolha. Na imagem 2 temos o trado utilizado na recolha das amostras, já na imagem 3 temos a pá que foi necessária na altura de recolher amostras, quando era impossível fazer-lo com o trado (amostras superficiais). Depois na imagem 4 temos o caderno usado para anotar as informações recolhidas, na imagem 5 e nas imagens 6 e 7 temos o material cortante e as espátulas, respetivamente, que foram utilizadas para separar as amostras. Na imagem 8 temos a fita métrica que foi usada para

fazer a medição do comprimento de sedimentos que era retirado em cada trado, e também para medir as amostras quando estas foram separadas. Na imagem 9 a máquina fotográfica que foi usada para obter os registos fotográficos e finalmente, na imagem 10 temos as embalagens individuais que acondicionaram todas as amostras.

A maior dificuldade deste trabalho de campo não foi propriamente a metodologia em si, mas sim as condições de trabalho, principalmente da equipa que recolhia as amostras, pois todas as recolhas feitas com o trado (no total 11) foram feitas dentro da própria lagoa. Estes também tinham que percorrer muitas das vezes grandes distâncias com o trado até alcançar o local onde estavam os técnicos da universidade para prosseguir com a caracterização “in situ” e acondicionamento do material, tornando assim o trabalho bastante demorado.

4. CASOS DE ESTUDO

4.1. Praia de Ofir

4.1.1. Enquadramento

4.1.1.1. Caracterização da área de estudo

A praia de Ofir, inserida no Parque Natural do Litoral Norte, situa-se na zona costeira NO de Portugal, no concelho de Esposende, distrito de Braga, a sul da foz do rio Cávado (cidade de Esposende) como mostra a figura 47, numa zona costeira densamente povoada.



Figura 47 - Localização da praia de Ofir

É uma praia dissipativa, caracterizada por dunas antigas, que é intercetada por afloramentos de quartzitos, designados por Cavalos de Fão, com orientação aproximada noroeste-sudeste.

Inserida numa costa altamente energética, as ondas predominantes vêm de oeste-noroeste e noroeste, que segundo Vitorino et al. (2002), de junho a setembro, a altura significativa

de onda e o período de onda médio são consistentemente inferiores a 3 m e 8 s, respetivamente. Durante o inverno e períodos de transição, a altura significativa toma valores mais frequentes de 3 a 4m e o período médio com valores entre 8 e 9s.

A existência dos Cavalos de Fão e outros afloramentos rochosos nas áreas próximas da costa, influenciam as características de onda, através da refração e difração das ondas incidentes, contribuindo para uma diminuição da sua energia na chegada à praia, principalmente durante os temporais de SW. Desta forma, a área costeira é claramente influenciada por esses afloramentos, mas como será visto ao longo deste subcapítulo, não é suficiente para travar o avanço do mar nesta praia.

4.1.1.2. Análise da evolução recente da Praia de Ofir

As construções de infraestruturas na orla costeira, sejam elas habitações, estradas e até mesmo obras de defesa costeira, têm uma elevada influência na transformação do litoral. Isto porque se trata da implantação de estruturas físicas, fixas e pesadas, num meio que é naturalmente móvel e dinâmico, impedindo assim a troca de sedimentos constante que ocorre entre o mar e os areais das praias, ou mesmo até mesmo entre os areais e as dunas (Dias, 1993). O resultado acaba por ser a degradação daquela que é a melhor estrutura de defesa para o recuo da linha de costa, a praia.

Durante a década de 80, com o intuito de proteger a frente urbana de Ofir, foram construídos cinco esporões, dos quais só três estão preservados. O esporão curvo a norte da praia de Ofir, o esporão de Ofir e o esporão das Pedrinhas.

De maneira a analisar e quantificar a evolução recente da praia de Ofir, recorreu-se ao *software* Google Earth. Este programa permite-nos estudar de uma forma simples, as alterações presentes na linha de costa ao longo do tempo, recorrendo à ferramenta “*imagens históricas*”.

A sequência das imagens da figura 48 ilustra a evolução da praia de Ofir ao longo de 10 anos. As imagens são referentes às datas de setembro de 2003, outubro de 2006, agosto

de 2010 e maio de 2013. É perceptível o emagrecimento da praia de Ofir ao longo dos anos, como consequência do défice de sedimentos.



Figura 48 - Evolução recente da praia de Ofir (Google Earth)

Este sector costeiro tem vindo a demonstrar ao longo dos anos um desequilíbrio e uma evolução muito rápida, caracterizada principalmente pela migração de praias para o interior e galgamentos marinhos, que constituem uma ameaça constante para as populações. Além das mudanças morfológicas periódicas, as praias mostram uma crescente erosão localizada. Segundo a análise quantitativa realizada (figura 49), é possível afirmar que a orla corteira teve uma taxa recuo na ordem dos 3m, entre os anos de 2003 e 2013.



Figura 49 - Evolução recente da praia de Ofir

Admite-se que as fontes aluvionares de alimentação situadas na plataforma continental têm vindo a esgotar as suas reservas e a alimentação a partir do rio Cávado também diminuiu devido à extração de areias para a construção e diminuição da capacidade de transporte do rio (devido ao controlo de cheias em barragens). A acrescentar a este fator está também o efeito de retenção das areias pelas barragens. Ao longo deste processo, a vulnerabilidade das frentes marítimas edificadas suscitou a construção de estruturas de defesa costeira (esporões e defesas frontais de proteção de edificações) com o objetivo de travar a erosão da costa. Contudo, estas obras apesar das variadas vantagens, transferem os seus efeitos negativos para as praias adjacentes como foi visto no subcapítulo 2.2.

Segundo autores como Loureiro (2006) e Porto (2013), não só a praia de Ofir mas também as praias arenosas da zona costeira de Esposende localizadas a sul do rio Cávado, apresentam um desequilíbrio morfodinâmico onde se registaram os valores mais elevados do índice de vulnerabilidade e constituindo uma área de risco elevado devido à sua exposição a fenómenos climáticos extremos, como os galgamentos e inundações marítimas, que podem destruir as infraestruturas mais próximas do mar.

Nas figuras 50 e 51 podemos observar os estragos provocados pelo avanço do mar na Praia de Ofir em fevereiro de 2014, destruindo o muro de defesa costeira, as infraestruturas situadas no areal como os apoios de praia, colocando em risco as construções mais próximas, neste caso as Torres de Ofir.

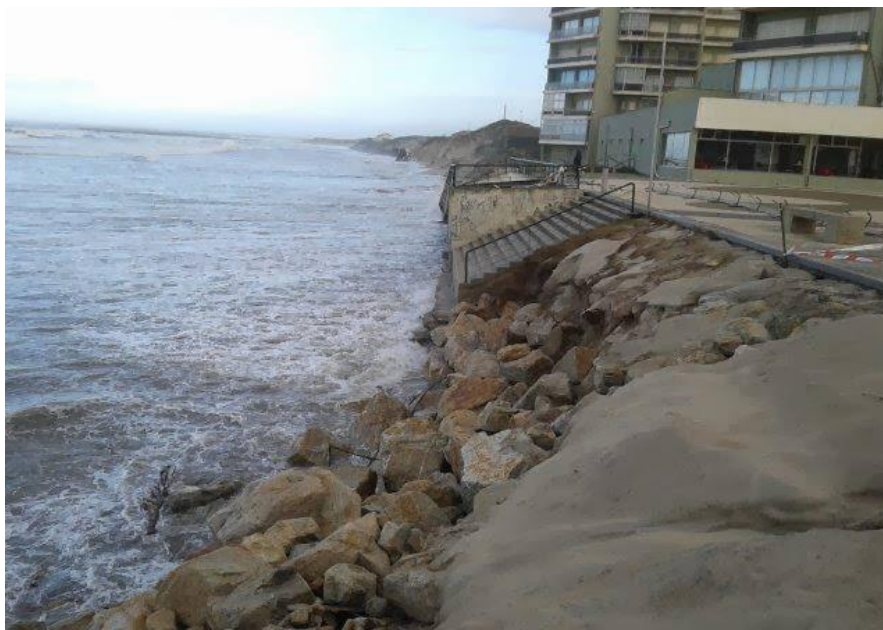


Figura 50 - Danos provocados pelo avanço do mar na Praia de Ofir (<http://lugar-pedrinhas.blogspot.pt/>)

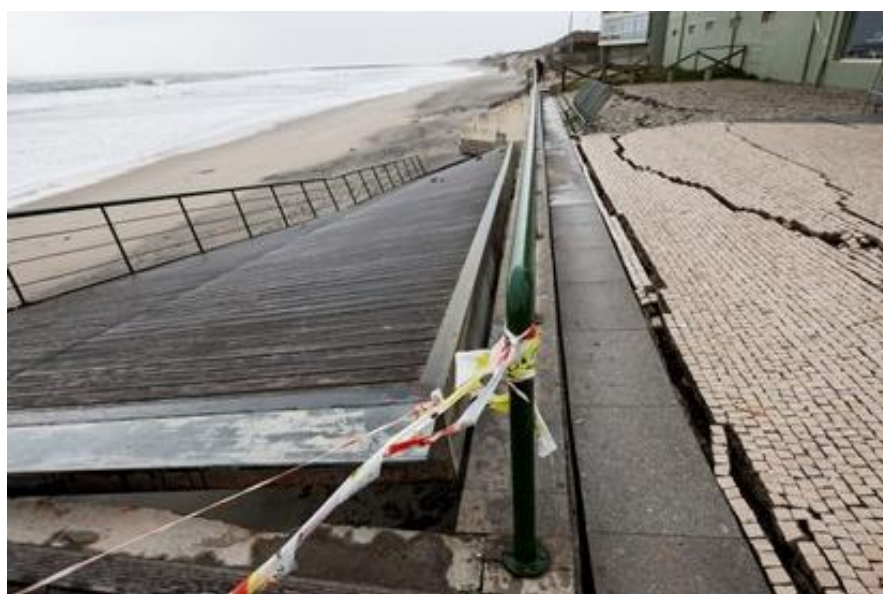


Figura 51 - Danos provocados pelo avanço do mar nas infraestruturas da Praia de Ofir (<https://www.dn.pt>)

Na zona norte da Praia de Ofir, todas as habitações construídas sobre as dunas até ao esporão curvo, eram defendidas por enrocamentos. Ao longo dos anos, durante os períodos de maior agitação marítima, também esta estrutura de defesa foi sendo destruída, como mostra a figura 52.



Figura 52 - Muro de proteção à habitação parcialmente destruído em junho de 2003
(Loureiro, 2006)

De modo a mitigar os efeitos da erosão da praia, consequência do avanço do mar, foi então necessário tomar medidas, não só para evitar o desaparecimento da praia, mas também pela segurança de pessoas e bens.

4.1.1.3. Intervenção realizada na praia de Ofir

A empreitada de reforço e proteção do sistema dunar e proteção da praia de Ofir foi concluída no verão de 2015. Esta obra esteve enquadrada numa estratégia de reforço dos sistemas dunares e de outros elementos da costa, de modo a travar o avanço do mar. Com isto, o principal objetivo foi evitar a erosão marítima e consequentemente a preservação dos ecossistemas naturais, a proteção de pessoas e também das habitações construídas na zona costeira.

A intervenção realizada sobre a área costeira compreendida entre o esporão sul e a praceta das Torres de Ofir, incluiu dois tipos de ações. Por um lado, uma ação corretiva de erosão superficial, através do reperfilamento da praia, e, por outro, uma ação de reordenamento

de áreas construídas em zonas de risco e consequente reposição das condições de ambiente natural, através da reposição da estrutura de defesa, reforço da escada de acesso à praia, reconstrução da rampa de acesso à praia, construção de um novo muro de defesa costeira e repavimentação das áreas danificadas na praçeta. Na zona entre as torres de Ofir e o esporão norte, que constitui a área de estudo deste trabalho, a opção implementada como defesa do litoral, foi a instalação de cilindros geossintéticos, na base do cordão dunar.

Após a instalação, os geossintéticos foram recobertos de areia e a praia frontal reperfilada. Além dos geossistemas de confinamento de areias, foi instalada, do lado do mar em frente dos geossintéticos, uma tela de proteção contra as erosões localizadas, com tubo de ancoragem (scour apron) (Lopes, 2016). Foi ainda instalada uma tela de geotêxtil não-tecido, como proteção mecânica aos geossintéticos. O resultado final constou num cordão dunar mais resistente ao avanço do mar.

A figura 53 mostra uma imagem obtida durante a construção em junho de 2015 e após a construção, em novembro do mesmo ano.

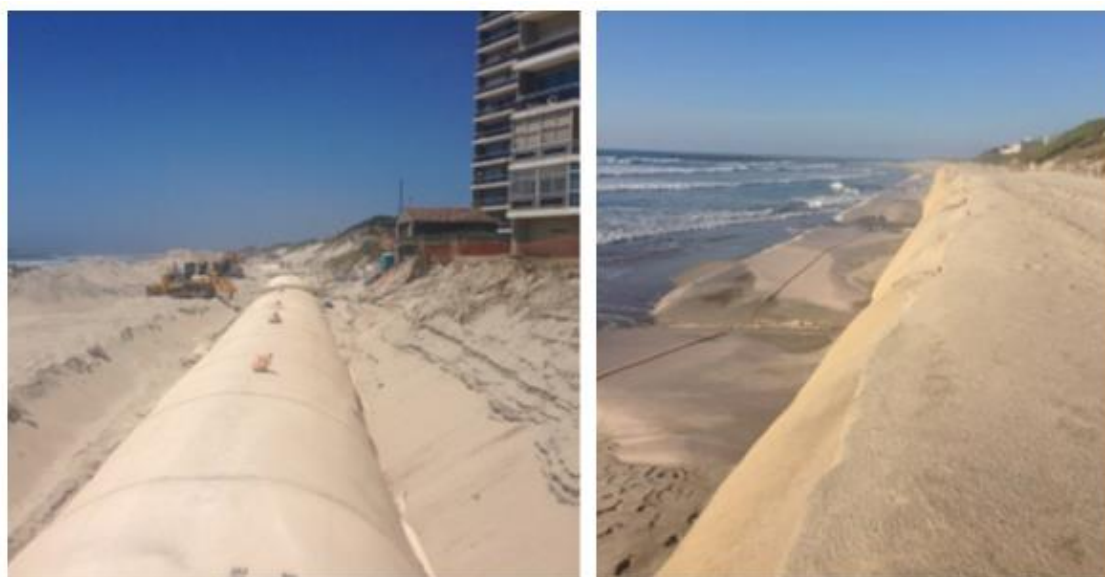


Figura 53 - Aspectos do sistema de reforço dunar na praia de Ofir durante a instalação em junho de 2015 à esquerda e à direita após a construção em novembro de 2015

(Lopes, 2016)

Hoje em dia, o aspeto da praia na zona intervencionada já não é o mesmo como se pode ver na figura seguinte.



Figura 54 - Aspetos do sistema de reforço dunar na praia de Ofir em março de 2017

4.1.2. Resultados

Antes de mais, e para facilitar a interpretação e discussão dos resultados, existem dois pontos a referir. O primeiro diz respeito à divisão em trechos da praia, realizada para efeito de análise dos resultados. Como a praia em estudo tem 416 metros de desenvolvimento, desde o limite das torres de Ofir até ao final da zona intervencionada com cilindros geossintéticos, a praia foi dividida em cinco trechos diferentes, formando assim pequenas áreas delimitadas por cada um dos perfis transversais como mostra a figura 55.



Figura 55 - Área de estudo dividida em trechos

O segundo aspeto está relacionado com as alterações na morfologia da praia. Durante a realização do trabalho de campo, a praia de Ofir sofreu alterações significativas ao longo das quatro campanhas realizadas, como será visto no a seguir. Assim, existiram campanhas onde foi visualizada uma única fiada de cilindros geossintéticos, e noutras, com duas fiadas à vista, uma abaixo da outra. De modo a diferenciar as duas fiadas, a de cota inferior será chamada de “cilindros geossintéticos do nível inferior” e a de cota superior “cilindros geossintéticos do nível superior”.

4.1.2.1. Perfis transversais

1ª Campanha - 20.03.2017

Os resultados subsequentes são alusivos ao primeiro dia de levantamentos (20 de março de 2017). Esta campanha foi realizada da parte da tarde durante a segunda baixa-mar do dia (baixa-mar mais baixa), em dia de maré morta (Quarto Minguante). De referir que,

apenas foram levantados 3 perfis transversais, correspondentes às localizações 2, 4 e 6. Na figura 56, apresentam-se os perfis de praia medidos.

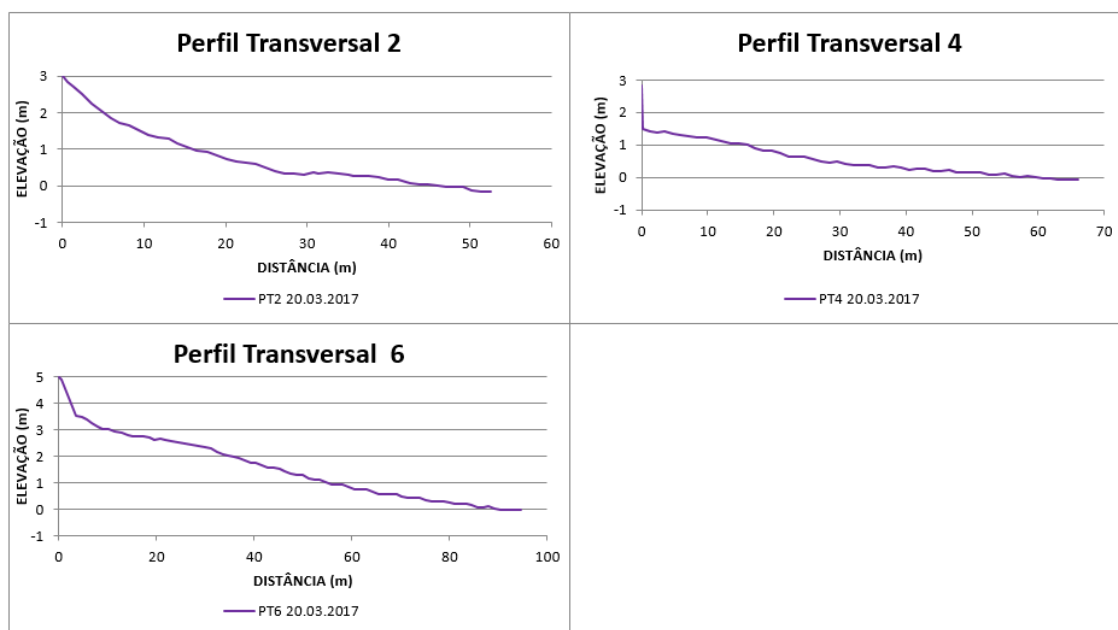


Figura 56 - Perfis transversais 2,4 e 6 do dia 20.03.2017

Os perfis transversais precedentes e subsequentes foram obtidos através de processamento de resultados com o programa Quantum Gis e exportados para Excel.

2ª Campanha - 30.03.2017

A partir da segunda campanha, mediram-se todos os seis perfis transversais definidos. Neste dia (30.03.2017), os levantamentos foram realizados na parte da manhã durante a baixa-mar. Era esperado que a exposição fosse maior que a encontrada no primeiro dia de levantamentos, pois este levantamento foi realizado durante marés vivas (maré de amplitude máxima). Relembrando que, esta situação corresponde à ocorrência de Lua Nova ou Lua Cheia, quando esta está sobre o mesmo alinhamento da Terra e do Sol. Neste caso a fase da lua correspondia à Lua Nova. Os resultados obtidos são apresentados na figura 57.

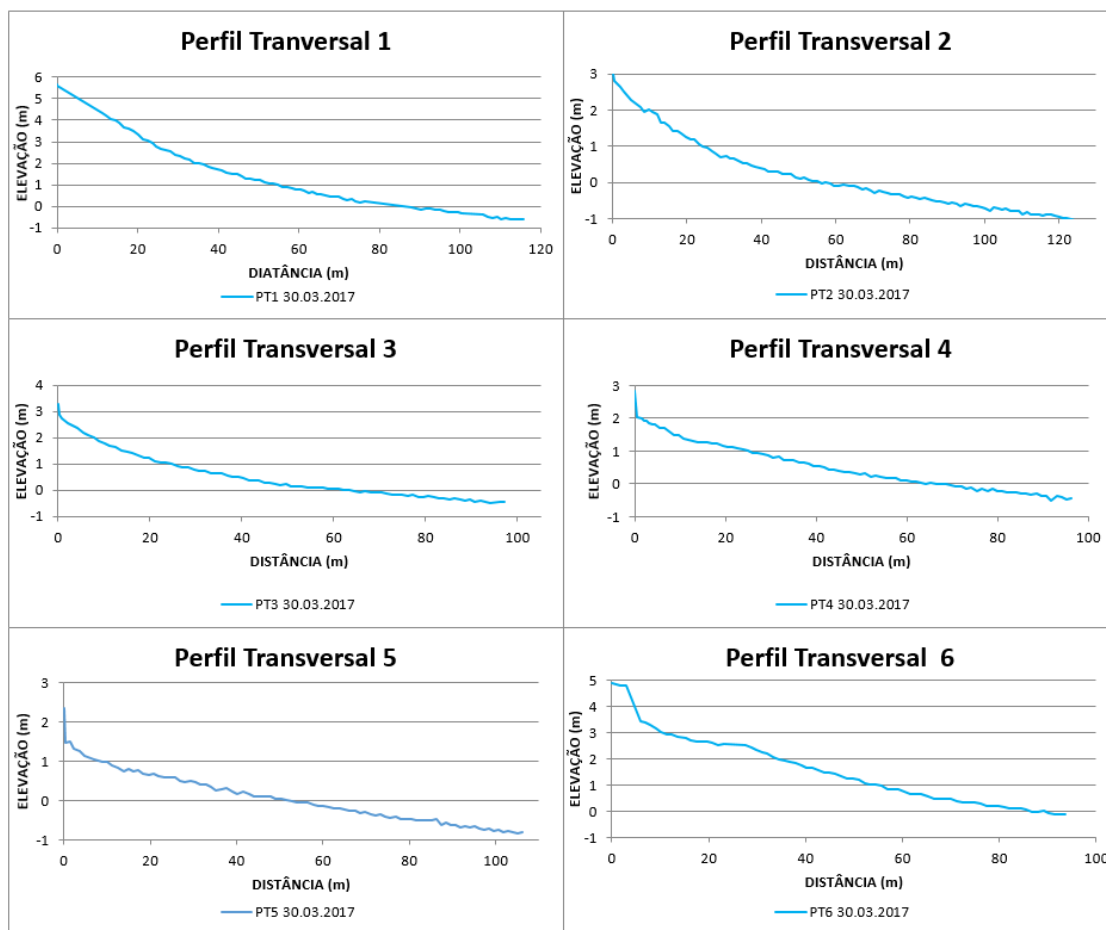


Figura 57 - Perfis transversais 1,2,3,4,5 e 6 do dia 30.03.2017

3ª Campanha - 10.04.2017

O terceiro dia de levantamentos, analogamente ao segundo, foi realizado durante o mesmo período (parte da manhã durante a baixa-mar), com a ocorrência de marés vivas. Neste caso a fase da lua correspondia à Lua Cheia. Aqui a exposição da praia também era bastante significativa. Os resultados obtidos são apresentados na figura 58.

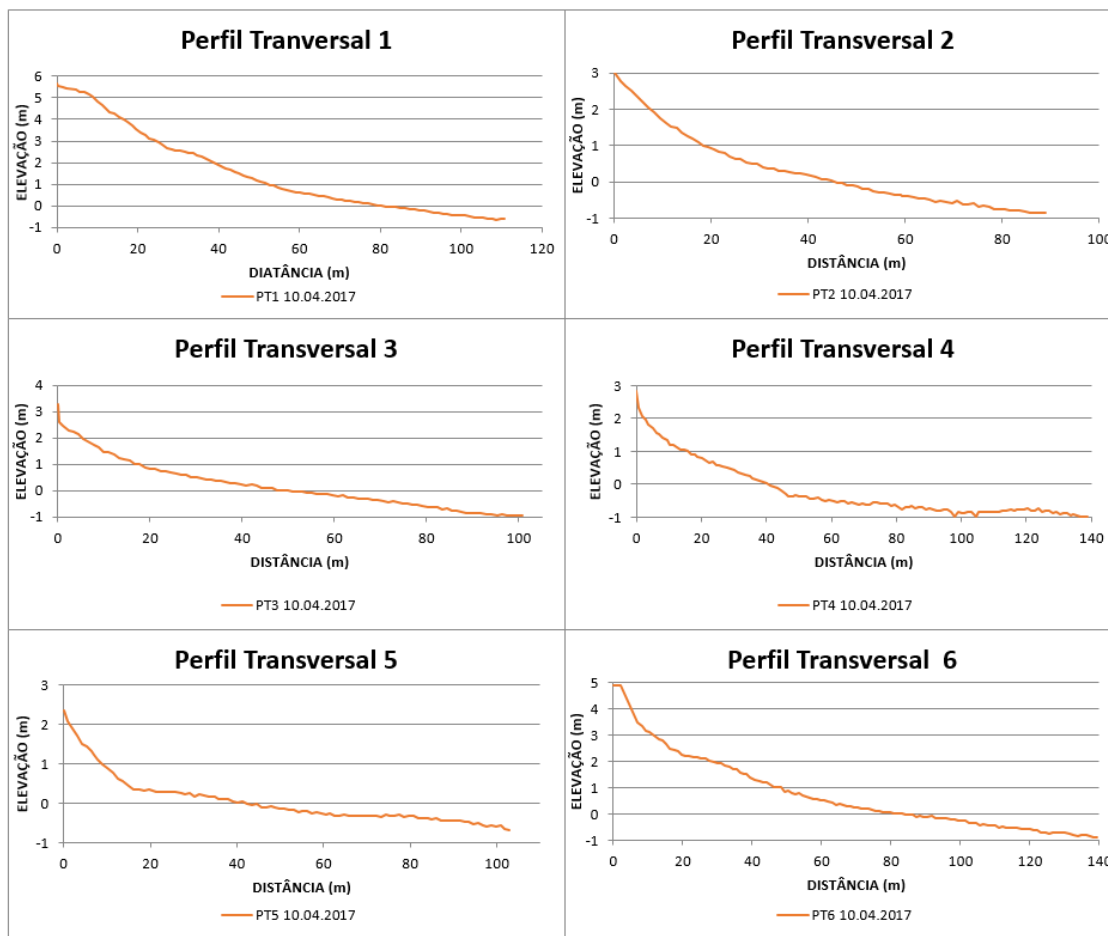


Figura 58 - Perfis transversais 1,2,3,4,5 e 6 do dia 10.04.2017

4ª Campanha - 15.05.2017

Por fim apresentam-se na figura 59, os resultados obtidos na manhã do dia 15 de maio de 2017. A campanha ocorreu na transição da Lua cheia para o Quarto Minguante.

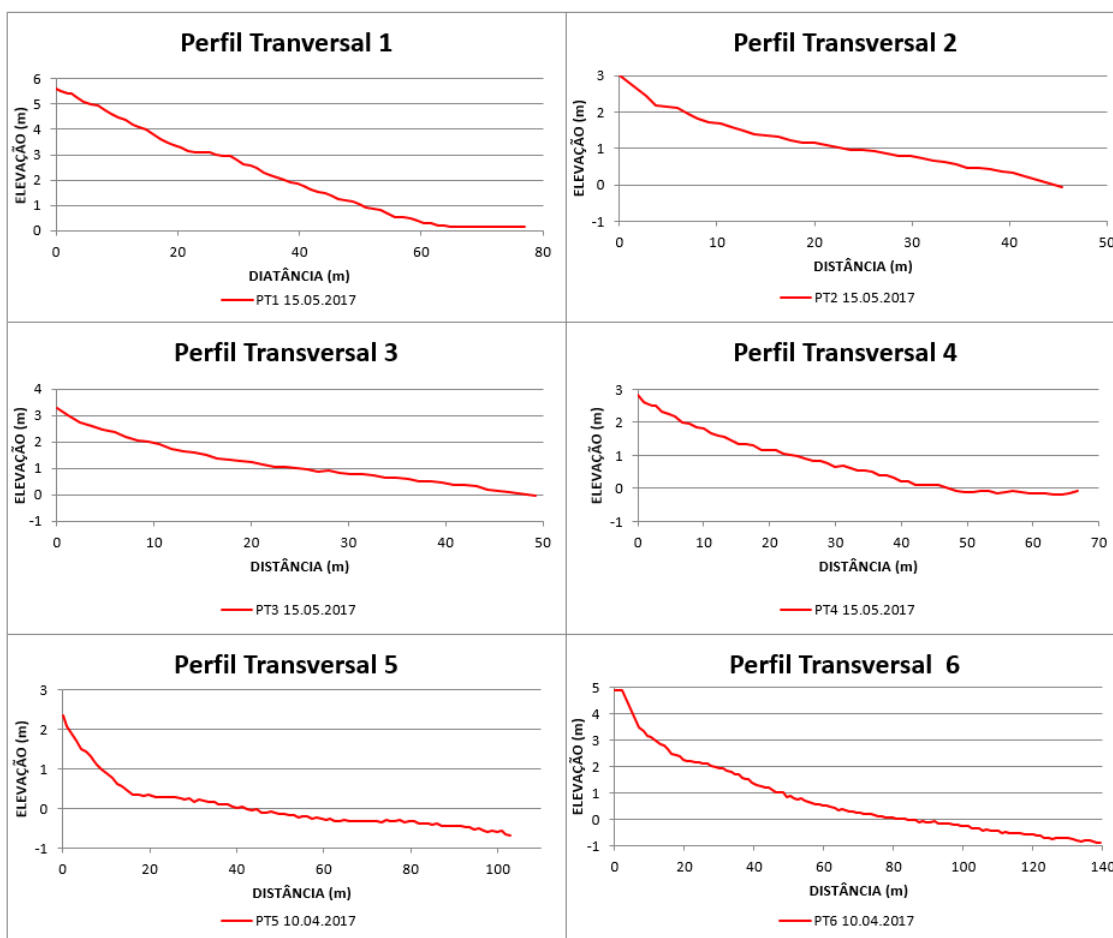


Figura 59 - Perfis transversais 1,2,3,4,5 e 6 do dia 15.05.2017

4.1.2.2. Perfis longitudinais

Na figura que se segue é apresentado o perfil longitudinal da praia, na área em estudo, durante as quatro campanhas de levantamento. Note-se que os pontos levantados, são referentes ao trajeto realizado paralelamente e o mais próximo possível dos cilindros geossintéticos que se encontravam descobertos em cada um dos dias.

É apresentado também o perfil do coroamento dos cilindros geossintéticos do nível superior até ao limite visível, durante o período de trabalho.

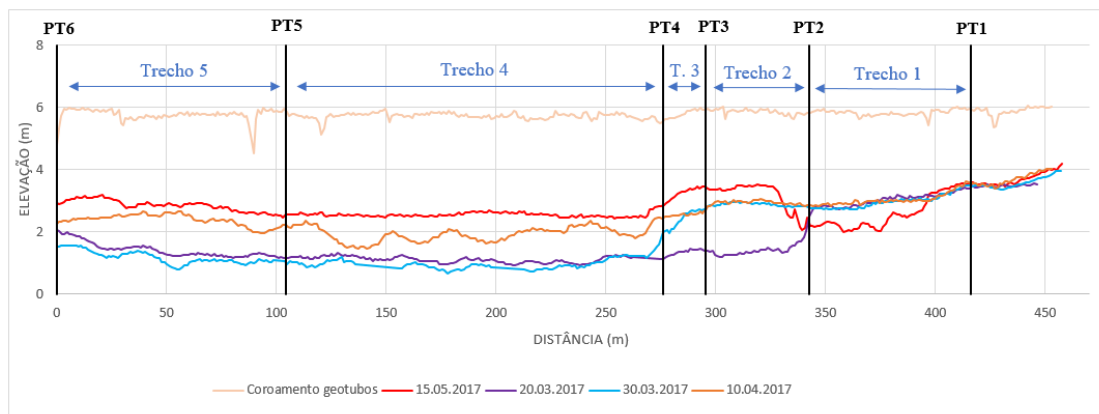


Figura 60 - Perfil longitudinal da praia na proximidade dos cilindros geossintéticos, em cada umas das campanhas

4.1.3. Discussão de resultados

Nesta secção será verificada a influência que a maré e a agitação têm na morfodinâmica da praia de Ofir. Será analisado o estado da praia para as diferentes campanhas, assim como os dados relativos à altura da maré (preia-mar), representados nas figuras 63, 69 e 74 durante o período estudado.

Na primeira campanha, o cenário encontrado foi de uma praia exposta às condições meteorológicas e condições de agitação. Os cilindros geossintéticos do nível inferior encontravam-se expostos à atuação da agitação e insolação numa distância de 342.5m até próximo do perfil transversal 2 (sentido norte-sul). Este facto pode estar relacionado com a forte agitação que se fez sentir no primeiro trimestre do ano, como é possível verificar na figura 61, assim como parâmetros meteorológicos, tais como ventos e chuva intensa, conforme presenciamos nesse período. Estas condições provocaram um abaixamento da praia na zona dos cilindros geossintéticos tornando-os bastante expostos.

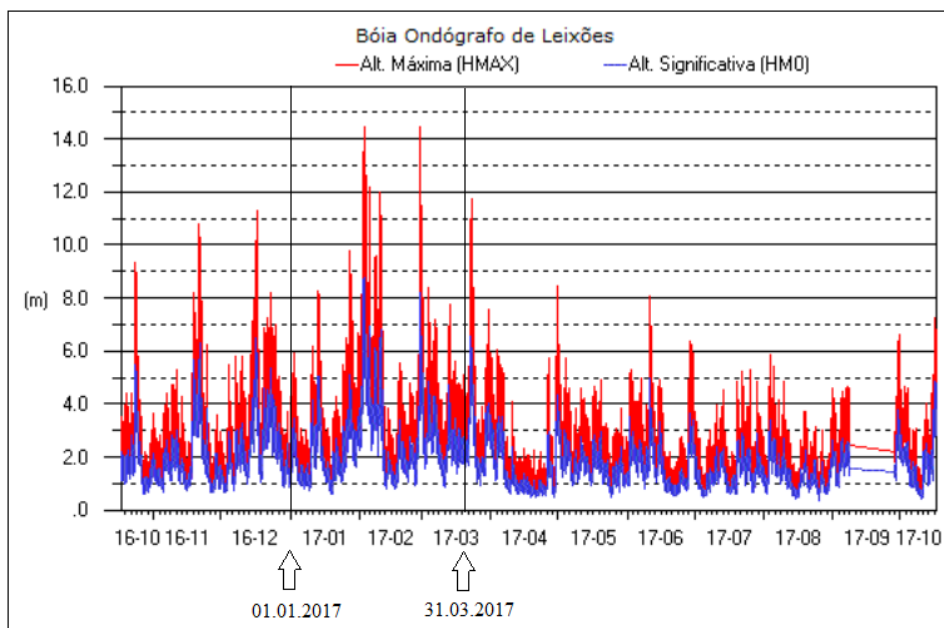


Figura 61 - Altura significativa no primeiro trimestre do ano de 2017 (Hidrográfico, 2017)

Os registos fotográficos obtidos no dia da primeira campanha (figura 62), não são os melhores para ter a perceção do cenário encontrado, mas como será exposto, não é um cenário muito diferente do que foi observado na campanha seguinte de dia 30.03.2017.



Figura 62 - À esquerda, o trecho 3 e à direita o trecho 1 da praia de Ofir, na primeira campanha 20.03.2017

Na figura 63, é possível visualizar a evolução dos níveis de preia-mar entre a primeira e segunda campanha.

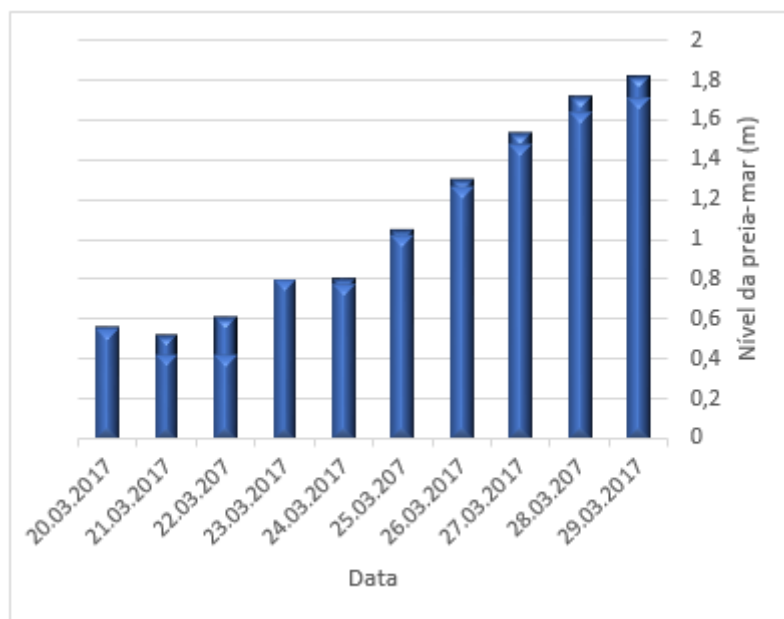


Figura 63 - Evolução da preia-mar entre os dias 20 de março de 2017 e 29 de março de 2017

O nível de preia-mar subiu consideravelmente de 0.565m no dia 20 de março para 1.81m no dia 29 de março (figura 63), em que este correspondeu a dia de marés vivas e a altura significativa de onda que foi a maior registada entre os quatro dias de campanha como mostra a tabela 2 (ver também na figura 80).

Tabela 2 - Valores de altura significativa média

Campanhas	Altura significativa média - Hs (m)
20 de março	2,76
30 de março	3,66
10 de abril	1,15
15 de maio	1,7

Nos trechos 4 e 5, sensivelmente numa extensão de 250m, verifica-se uma erosão pouco significativa na base dos cilindros geossintéticos, mantendo mais ou menos o aspeto visual da primeira campanha. Já nos trechos 2 e 3, (incluindo perfil 2, 3 e 4) a acreção foi substancial provocando o cobrimento do nível inferior dos cilindros geossintéticos (figura

64). É possível observar também a acreção ao longo dos perfis transversais PT4 e PT2 na figura 85.

A erosão verificada nos trechos 4 e 5 deverá ter ocorrido porque o nível de preia mar verificado neste dia, atingiu a base dos cilindros geossintéticos nesta zona, ao contrário do que aconteceu no restante desenvolvimento como será possível comprovar através da figura 103 mais à frente.

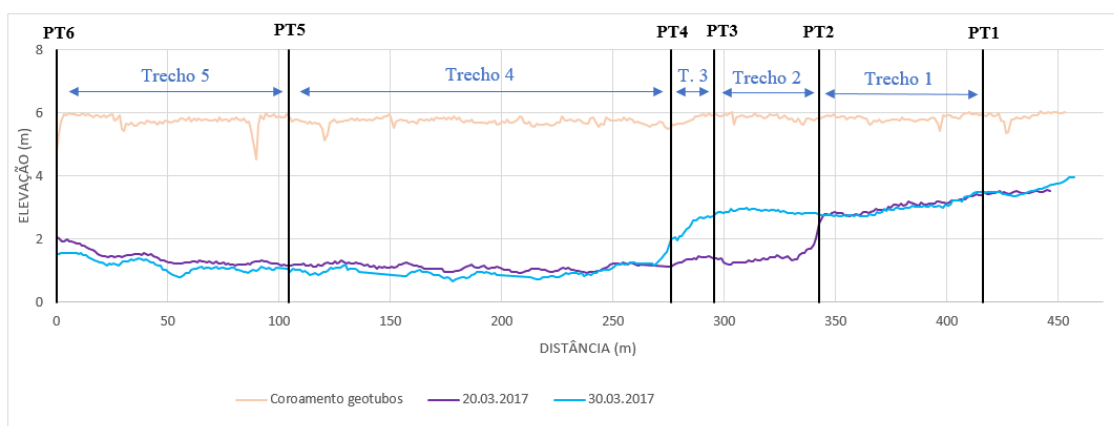


Figura 64 - Comparação dos perfis longitudinais na base dos cilindros geossintéticos entre a primeira (20.03.2017) e a segunda campanha (30.03.2017)

Quanto à acresção sofrida ao longo dos peris transversais 2 e 4 (figura 65) no período entre a 1ª e a 2ª campanha (na 1ª campanha apenas foram realizados os perfis PT2, PT4 e PT6), deverá ter ocorrido devido ao aumento do valor da altura significativa de onda do dia 30 de março.

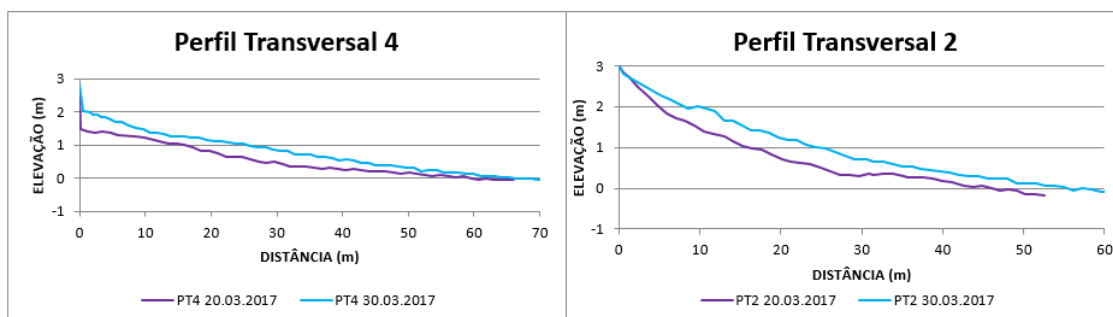


Figura 65 - Acresção sofrida em PT4 PT2 entre as duas primeiras campanhas

Nas figuras subsequentes, poderá observar-se a exposição dos trechos 4 e 5 na 2ª campanha. É de salientar que a tela de geotêxtil não-tecido, instalada como proteção mecânica aos geossintéticos do nível superior, encontra-se destruída no trecho 5 e em parte do trecho 4.



Figura 66 - Exposição dos cilindros geossintéticos nos trechos 4 e 5 (30.03.2017)



Figura 67 - Deformação dos cilindros geossintéticos como consequência da destruição da tela geotêxtil no trecho 5 (30.03.2017)

É notório na figura 68, o abaixamento existente na praia trechos 4 e 5, com os cilindros geossintéticos do nível inferior bastante expostos.



Figura 68 - Praia de Ofir na zona em estudo em 30.03.2017

Durante a terceira campanha, foi perceptível uma mudança morfológica na praia. Os cilindros geossintéticos do nível inferior que se encontravam bastantes expostos nos trechos 4 e 5 na campanha anterior, pouco ou nada se viam.

A evolução dos níveis de preia-mar entre a segunda e a terceira campanha de levantamentos, é apresentado na figura 69.

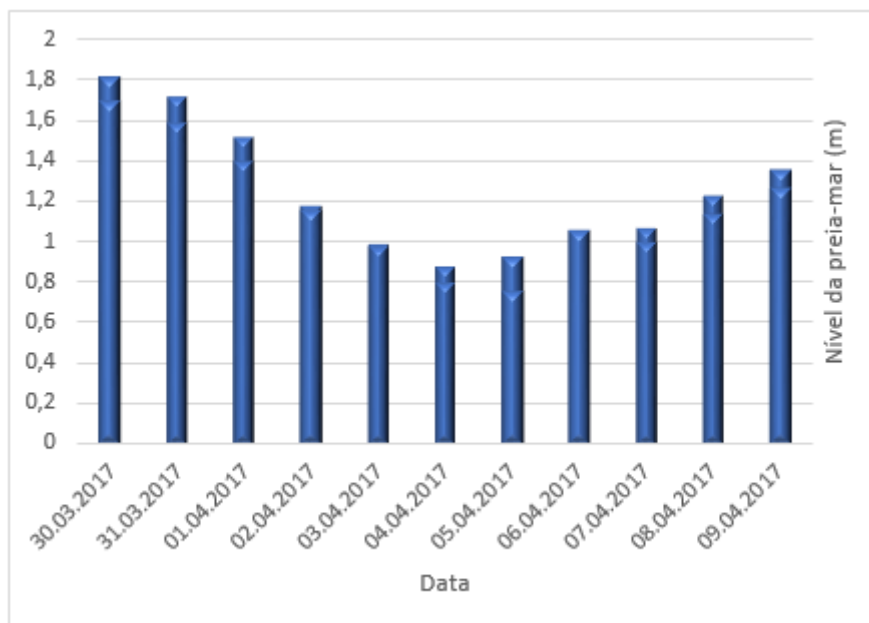


Figura 69 - Evolução dos níveis de preia-mar entre os dias 30 de março de 2017 e 9 de abril de 2017

A partir da figura anterior é possível verificar a descida dos níveis de preia-mar entre a segunda e a terceira campanha e a altura significativa também diminuiu claramente (figura 80). Tal cenário provocou uma acreção bastante considerável num desenvolvimento de 287m (incluindo parte do trecho 3 e nos trechos 4 e 5), mantendo as condições da campanha anterior de PT3 até ao final da área em estudo (sentido norte-sul) como se pode observar através da figura 70.

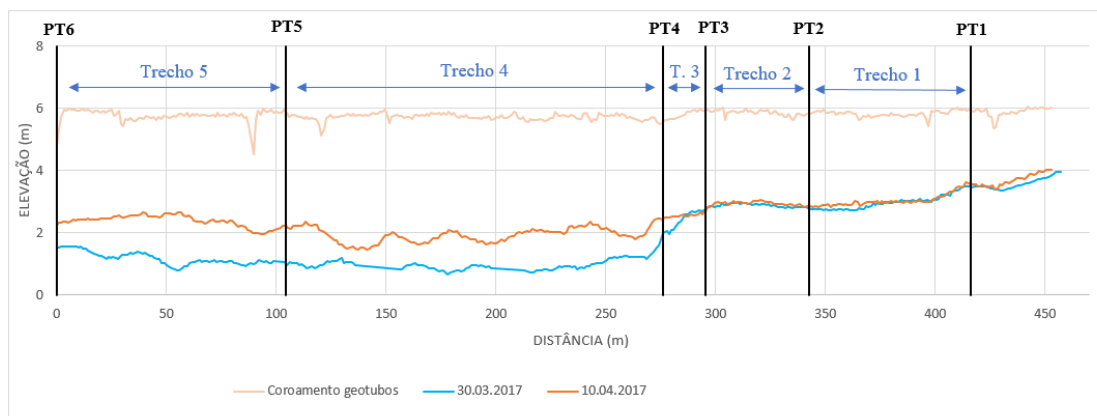


Figura 70 - Comparação dos perfis longitudinais na base dos cilindros geossintéticos em relação à segunda (30.03.2017) e terceira campanha (10.04.2017)

Como o nível da maré não foi suficiente para atingir a base dos cilindros geossintéticos e a agitação foi pouco intensa, verificou-se uma erosão ao longo dos perfis transversais 4 e 5 (figura 71).

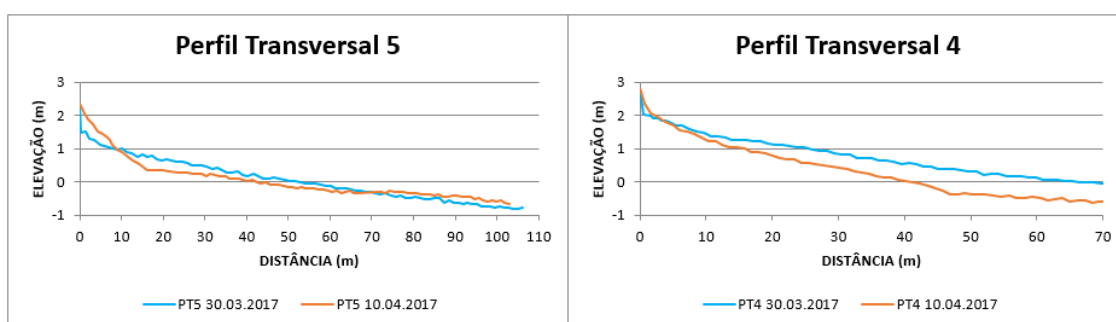


Figura 71 - Diferença entre PT5 e PT4 nas campanhas 2 e 3

As figuras 72 e 73 são representativas do aspeto da praia de Ofir nos trechos 4 e 5 e a acreção sofrida no trecho 5, respetivamente.



Figura 72 - Aspeto da praia nos trechos 4 e 5



Figura 73 - Acreção sentida no trecho 5, junto dos cilindros geossintéticos

Finalmente, analisa-se o último período de monitorização. Entre as duas últimas campanhas o nível de preia-mar apresentou a evolução mostrada na figura 74. A altura significativa na última campanha foi de 1.70m como se pode analisar na tabela 2.

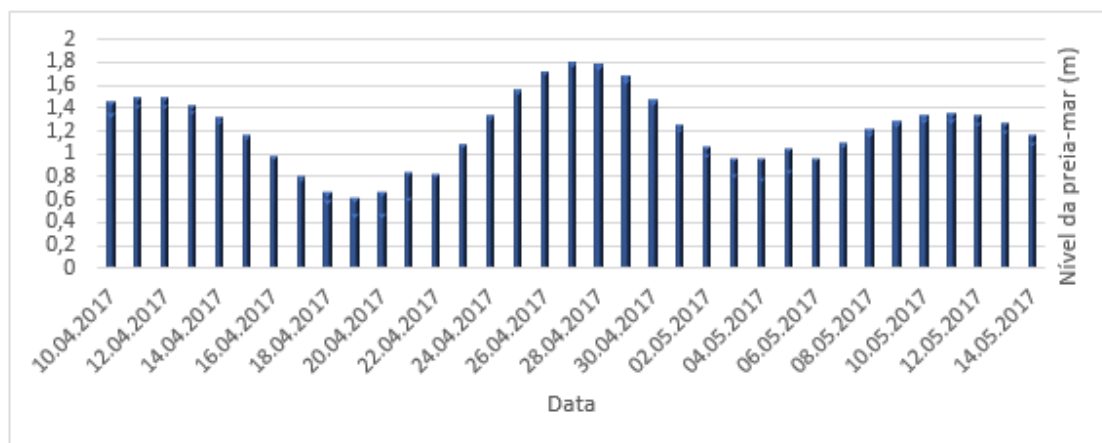


Figura 74 - Evolução dos níveis de praia-mar entre os dias 10 de abril de 2017 e 15 de maio de 2017

Continua a observar-se uma acreção predominante ao longo da base dos cilindros geossintéticos do nível superior exceto no trecho 1 (figura 75).

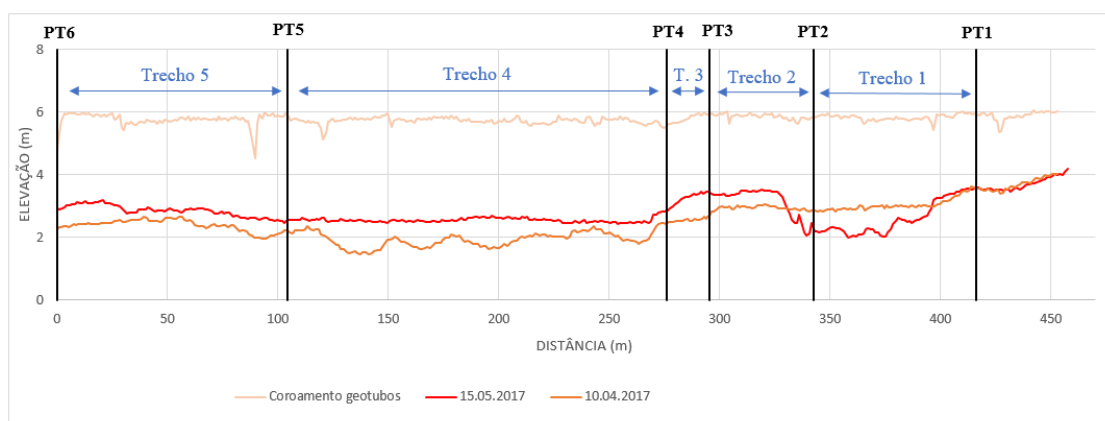


Figura 75 - Comparação dos perfis longitudinais na base dos cilindros geossintéticos em relação às duas últimas campanhas (10.04.2017 e 15.05.2017)

Na figura 76 observa-se a diferença entre PT5 e PT4 nas campanhas 3 e 4.

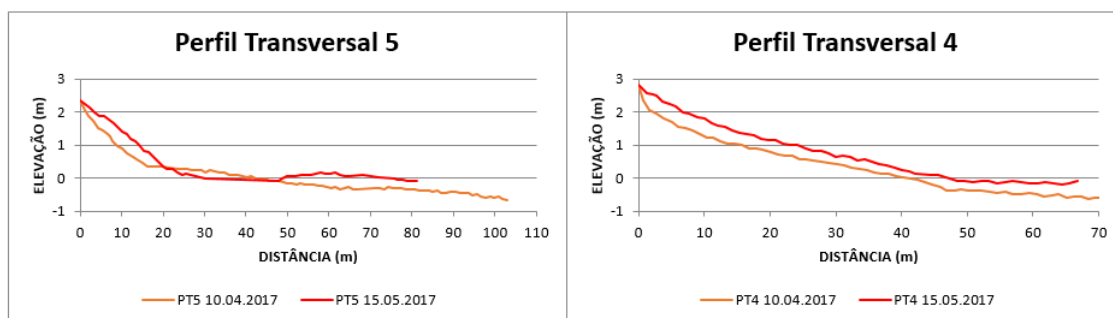


Figura 76 - Diferença entre PT5 e PT4 nas campanhas 3 e 4

Ao longo dos trechos a norte foi possível observar não só a acreção sofrida mas também uma acumulação de resíduos na base dos geossintéticos (figura 77), principalmente nos trechos 4 e 5.



Figura 77 - Acumulação de resíduos verificada no ultimo dia de campanha, na base dos geossintéticos dos trechos 4 e 5 (15.05.2017)

Ao analisar a figura 75, é possível verificar uma erosão na envolvente do PT2, numa extensão de 65m para sul. Isto deve-se à formação de uma micro-arriba de erosão na base dos cilindros geossintéticos, depois de ter havido uma acumulação (figura 78). É provável que este facto tenha ocorrido com as condições sentidas nas últimas marés vivas.



Figura 78 - Acumulação de areia na base dos cilindros geossintéticos no trecho 1

Apesar do nível da maré não ter sido suficiente para atingir a base dos cilindros geossintéticos (figura 85), o espraiamento de onda afetou a zona próxima, provocando o aspeto do PT2 apresentado na figura 79.

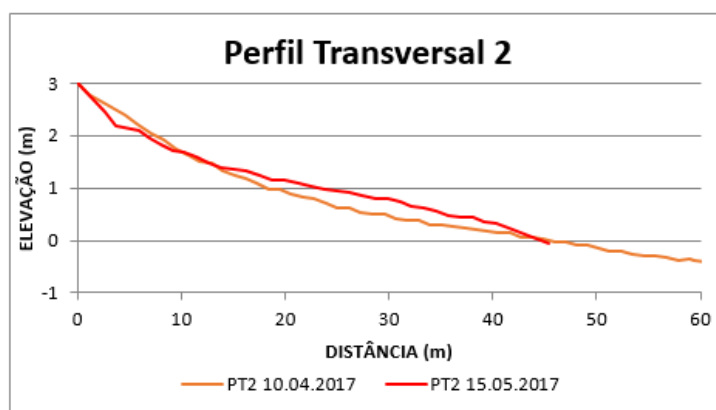


Figura 79 - PT2 nas duas últimas campanhas

Nas figuras que se seguem podemos ver os parâmetros de agitação durante o período monitorizado, conforme já havia referido. Os parâmetros são referentes à altura significativa e ao período médio, cedidos pelo instituto hidrográfico.



Figura 80 - Altura significativa no período de monitorização

Comprova-se que no período referente entre duas primeiras campanhas, a altura significativa (figura 80) foi bastante mais elevada nos dias 23 e 24 de março, comparativamente ao resto dos dias. Desta forma presenciou-se a erosão sofrida na segunda campanha, comprovando que a altura significativa de onda influência na morfologia de praias.

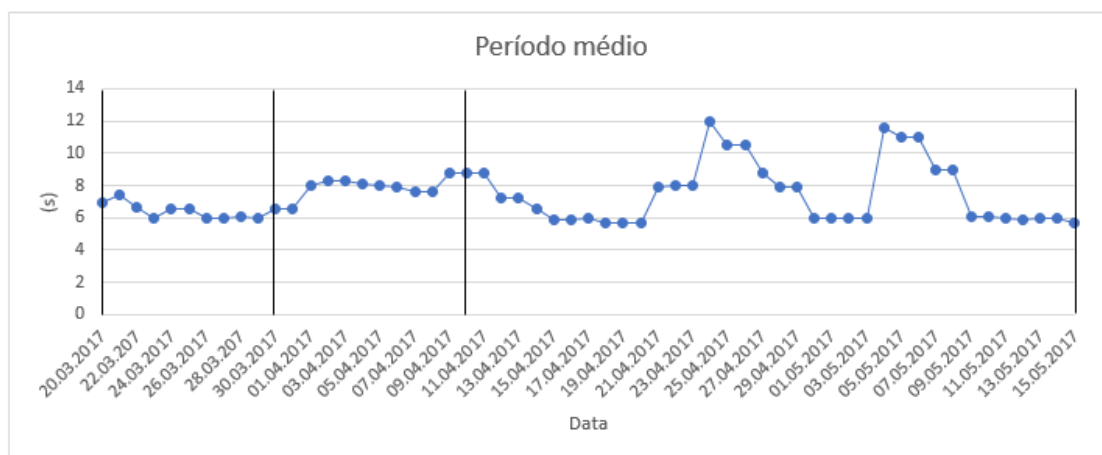


Figura 81 - Período médio no período de monitorização

Pode ainda retirar-se através da figura 82 que, os parâmetros são mais expressivos no primeiro trimestre, sofrendo um abrandamento significativo no segundo. Pode concluir-se que as diferenças morfológicas no segundo trimestre, conforme a secção 4.1.2.2, foram inequivocamente menos perturbadoras analogamente ao primeiro trimestre. Daí a

exposição dos cilindros geossintéticos nas duas primeiras campanhas ser muito mais intensa que nas restantes.

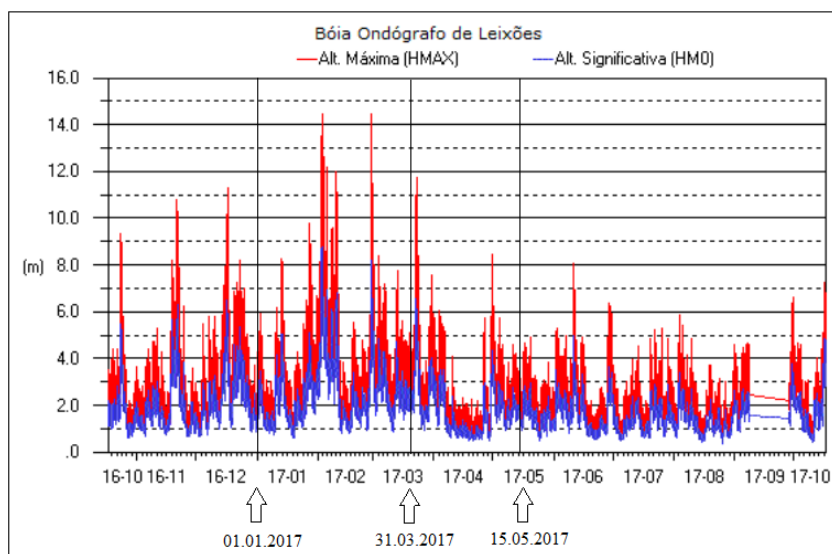


Figura 82 - Alturas significativas (Hidrográfico, 2017)

Nas três figuras seguintes (83, 84 e 85) são apresentados os perfis de praia em cada uma das campanhas, incluindo os níveis de preia-mar. É possível observar que apenas na 2ª campanha, a maré atinge a cota referente à base dos cilindros geossintéticos, daí a erosão verificada naquele local.

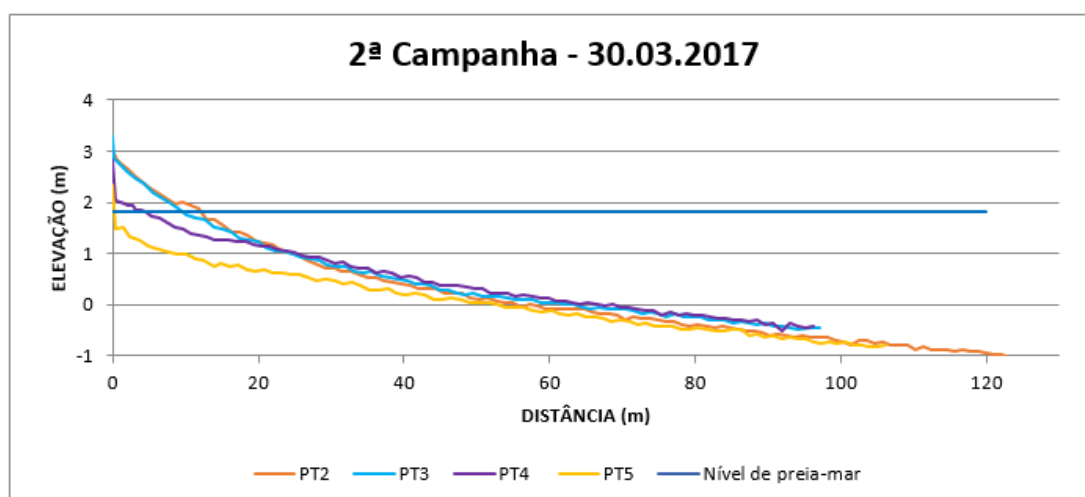


Figura 83 - Perfis 2,3,4 e 5 referentes à segunda campanha (30.03.2017) com indicação do nível de preia-mar

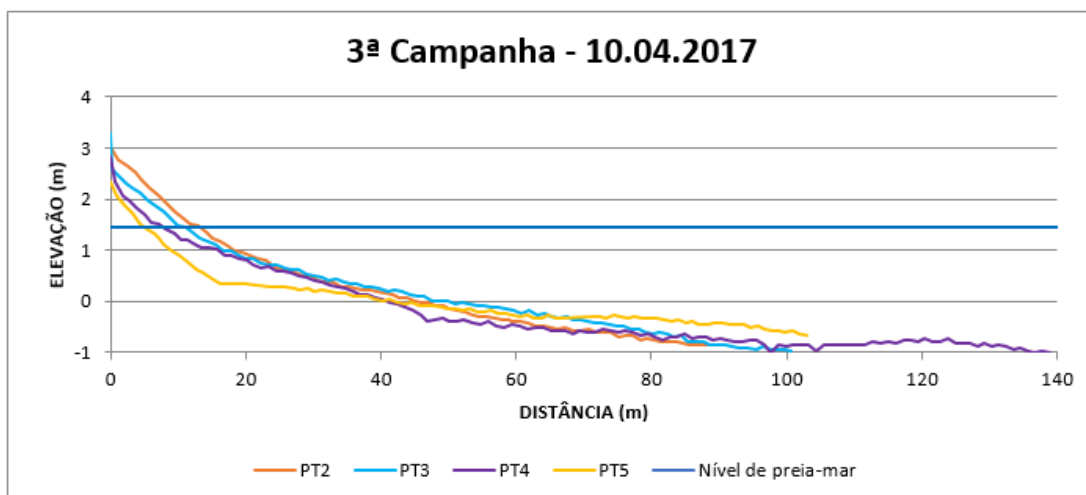


Figura 84 - Perfis 2,3,4 e 5 referentes à terceira campanha (10.04.2017) com indicação do nível de preia-mar

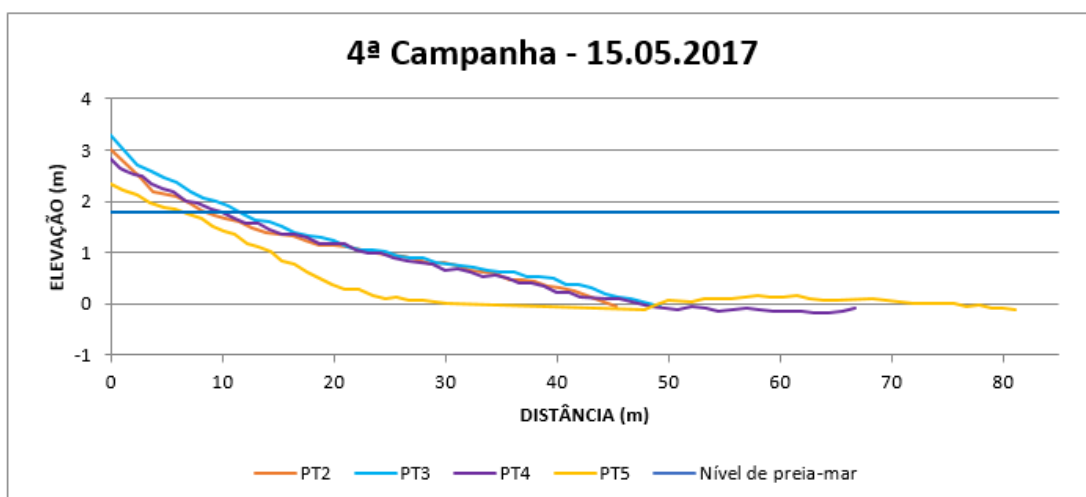


Figura 85 - Perfis 2,3,4 e 5 referentes à quarta campanha (15.05.2017) com indicação do nível de preia-mar

Com o trabalho realizado, é possível afirmar que a evolução morfológica ao longo da área em estudo não é igual em todos os trechos, podendo distinguir-se 3 zonas: a zona 1 compreendida entre PT1 e PT2 (trecho 1), a zona 2 compreendida entre PT2 e PT4 (trecho 2 e 3) e a zona 3 compreendida entre PT4 e PT6 (trechos 4 e 5).

Na zona 1, correspondente ao trecho 1, as alterações na morfologia da praia ao longo do período monitorizado são pouco relevantes. As variações na base dos cilindros geossintéticos do nível superior são mínimas, exceto da última campanha. Na zona 2,

correspondente aos trechos 2 e 3, observou-se uma acumulação sistemática de sedimentos na base dos geossintéticos, com grande expressão principalmente entre a campanhas 1 e 2 e campanhas 3 e 4. Já a zona 3, correspondente aos trechos 4 e 5, considera-se que são os tramos mais expostos tanto às condições de maré como às condições de agitação devido à configuração da praia, provocada pela presença do esporão norte (figura 86).



Figura 86 - Zona em estudo

A presença do esporão curvo a norte da praia de Ofir, ao promover a difração das ondas, contribui para a formação de diferentes células de circulação e de correntes de retorno, as quais serão responsáveis pela diferente distribuição sedimentar verificada ao longo da zona em estudo (zona de implantação dos cilindros geossintéticos). Este facto provoca nas zonas a sotamar do esporão um maior défice sedimentar e na praia frontal em zonas mais próximas das torres de Ofir menor défice sedimentar. (como é possível comprovar com o perfil longitudinal da praia).

Na figura seguinte é possível observar a exposição da praia às condições de agitação (H_s médio=3.65m) num dia de marés vivas, com a subida do nível médio das águas do mar (elevação=1.235m).



Figura 87 - Exposição da zona em estudo às condições de agitação visto junto às torres de Ofir (30.03.2017 às 16h)

4.2. Praia de Belinho

4.2.1. Enquadramento

4.2.1.1. Caracterização da área de estudo

A praia de Belinho situa-se na zona costeira NO de Portugal, no concelho de Esposende, a norte da foz do rio Cávado, como mostrado na figura 88. A sua extensão é de cerca de 2,5 Km e ocupa toda a faixa litoral da freguesia de Belinho. É uma praia remota e os vários acessos são feitos por caminhos de terra e empedrados.

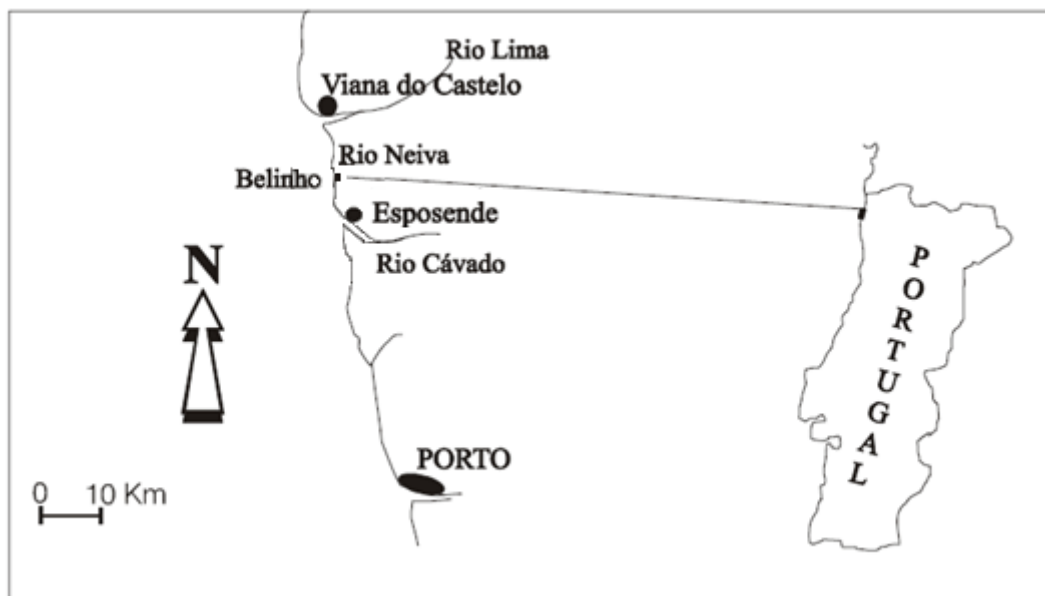


Figura 88 - Localização da praia do Belinho

O clima de agitação desta zona costeira é de energia mista, dominado pelas ondas e marés. As marés são mesotidais, semi-diurnas, com amplitude média de 1m em maré morta e 2.8m em maré viva. A amplitude máxima da maré pode atingir 3.9m. As ondas caracterizam-se por altura média de 2m, período de 9s e direção dominante de aproximação de NO em 79% dos casos (Granja e Loureiro, 2007). A deriva sedimentar dominante faz-se de norte para sul, embora em alguns pontos se inverta devido à presença de obstáculos como quebra-mares, esporões, afloramentos rochosos e bancos de areia, que difratam a ondulação incidente (Granja et al., 2015).

A Praia do Belinho apresenta-se como um exemplo de praia que sofreu de perto as mudanças morfo-sedimentares, sentidas no trecho entre os rios Lima e Cávado, a partir dos finais do século XX. Praia até então arenosa e dissipativa como era o caso da praia do Belinho, ao longo dos anos foi mudando para um tipo intermédio com cúspides, mistas de areia e seixos, até progressivamente se tornar refletiva, inteiramente composta por seixos, mantendo as dunas herdadas do estado morfodinâmico anterior (Granja et al., 2015). Hoje em dia, a praia do Belinho é caracterizada pela plataforma rochosa cada vez mais exposta, com crista, berma, dunas e declive muito abrupto, que segundo Silva (2014) é de 20%. Por vezes, é possível observar pequenos leques de areia na base da face da praia.

Nas figuras 89 e 90, é notória a alteração morfológica da praia num período de vinte e três anos.



Figura 89 - Praia do Belinho em 1994, documentada por Loureiro e Granja (2001)

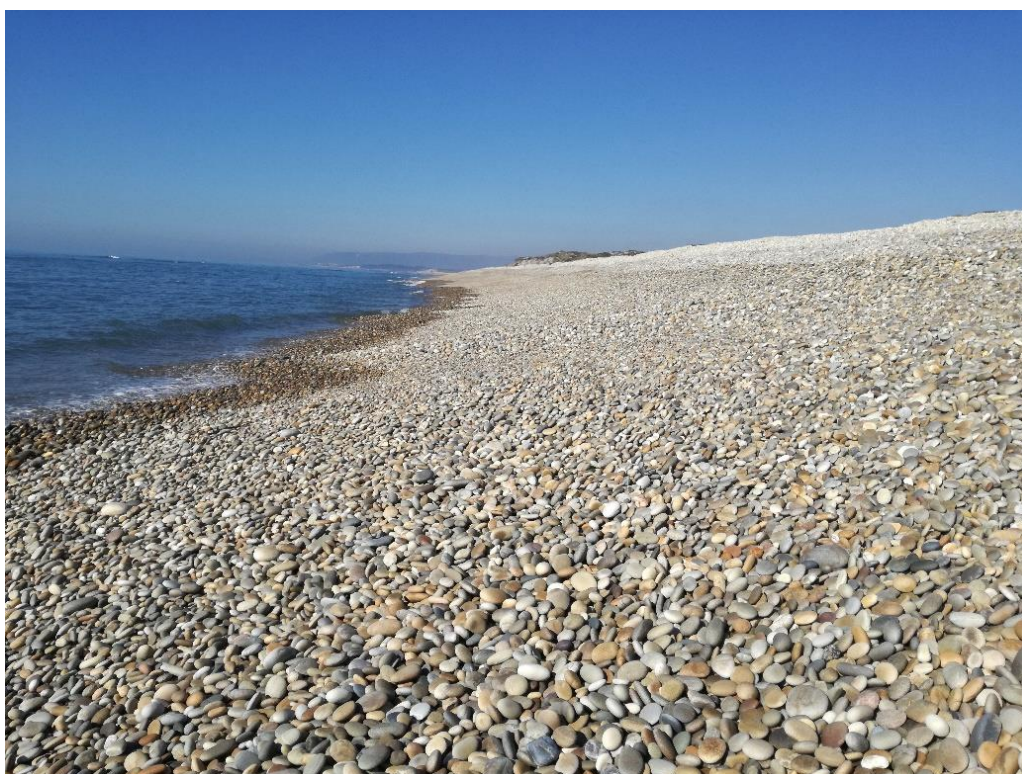


Figura 90 - Praia do Belinho, 2017

(Granja et al., 2015) admitem que a mudança brusca das características morfo-sedimentares de uma praia, está certamente relacionada com variações da energia hidrodinâmica (tipos de maré e estados de agitação marinha) e/ou abastecimento sedimentar. Segundo os mesmos autores, as condições hidrodinâmicas de alta energia podem dispersar e esgotar fontes de sedimentos arenosos favorecendo a concentração de sedimentos mais grosseiros disponíveis na plataforma continental interna, a qual está a ser retrabalhada nas atuais condições energéticas.

4.2.1.2. Monitorização de praias de seixos

A praia de Belinho tem sido objeto de diversos trabalhos de monitorização devido às suas mudanças notórias de carácter morfo-sedimentar num curto espaço de tempo. Conforme citado por Silva (2014), já foi objeto de estudos, nomeadamente de morfodinâmica por Granja (1990), Loureiro (1994), Loureiro e Granja (2001), Granja e Loureiro (2007), da sua relação com a dissipação da energia das ondas (Farrel et al., 2008), trajetórias dos sedimentos, a recorrência de sistemas alternantes de praias de areias e de seixos (Granja, 1999; Carvalho et al., 2006; Almeida, 1979, 2005).

Na sua dissertação de mestrado, Silva (2014) procurou compreender o comportamento morfo-sedimentar de muito curto-termo e os processos envolvidos na atual dinâmica desta praia, através de estudos de monitorização, de maneira a caracterizar padrões morfodinâmicos.

Com isto, o objetivo geral do seu trabalho consistiu na realização de levantamentos topográficos com recurso a um DGPS aferindo-se as alterações morfológicas em diferentes estados de agitação e tipologia de maré.

Silva (2014) realizou um programa de monitorização que se estendeu desde 31.01.2014 até 16.05.2014. Realizou cinco campanhas em datas diferentes em que os levantamentos foram repetidos em duas baixa-mares sucessivas. Os levantamentos foram realizados seguindo percursos irregulares aproximadamente paralelos à costa registando-se pontos com espaçamento de 1m. A partir do conjunto de pontos levantados, procedeu à geração de uma superfície por triangulação através de processamento de dados, com recurso a um

software SIG. Utilizando a superfície gerada, obteve perfis com orientação perpendicular à costa (figura 91). Entre outros trabalhos, comparou os resultados obtidos com os dados referentes à agitação e maré no período de monitorização, permitindo-lhe assim, analisar a influência destes agentes hidrodinâmicos na morfologia da praia.

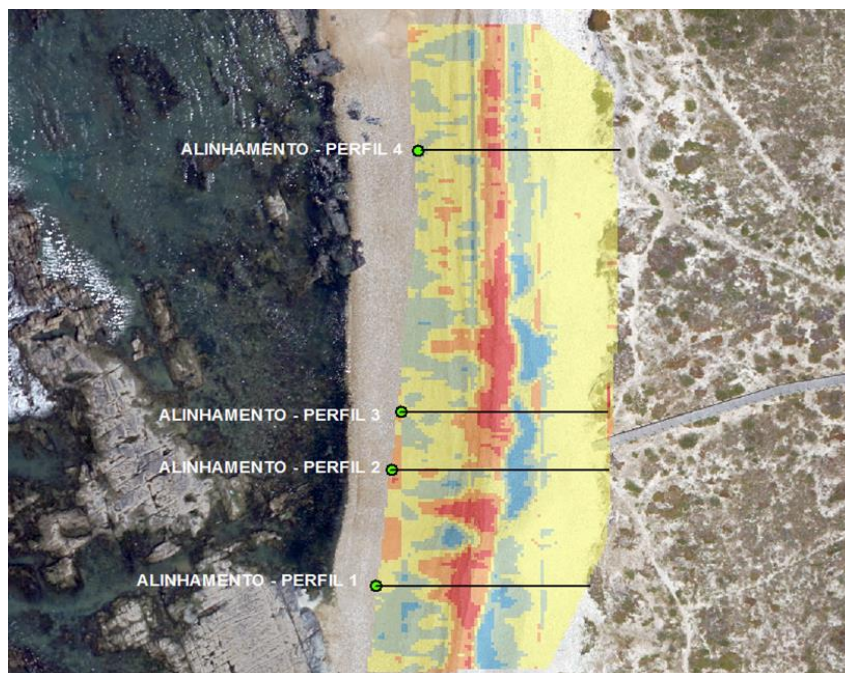


Figura 91 - Localização de perfis transversais considerados por Silva,2014 na sua dissertação de mestrado (Silva, 2014)

Na figura 92 é apresentada a evolução morfológica da praia do Belinho obtida por Silva (2014), para os diferentes dias de campanha, em que foi possível a sua repetição em baixas-mar sucessivas, em vários perfis transversais.

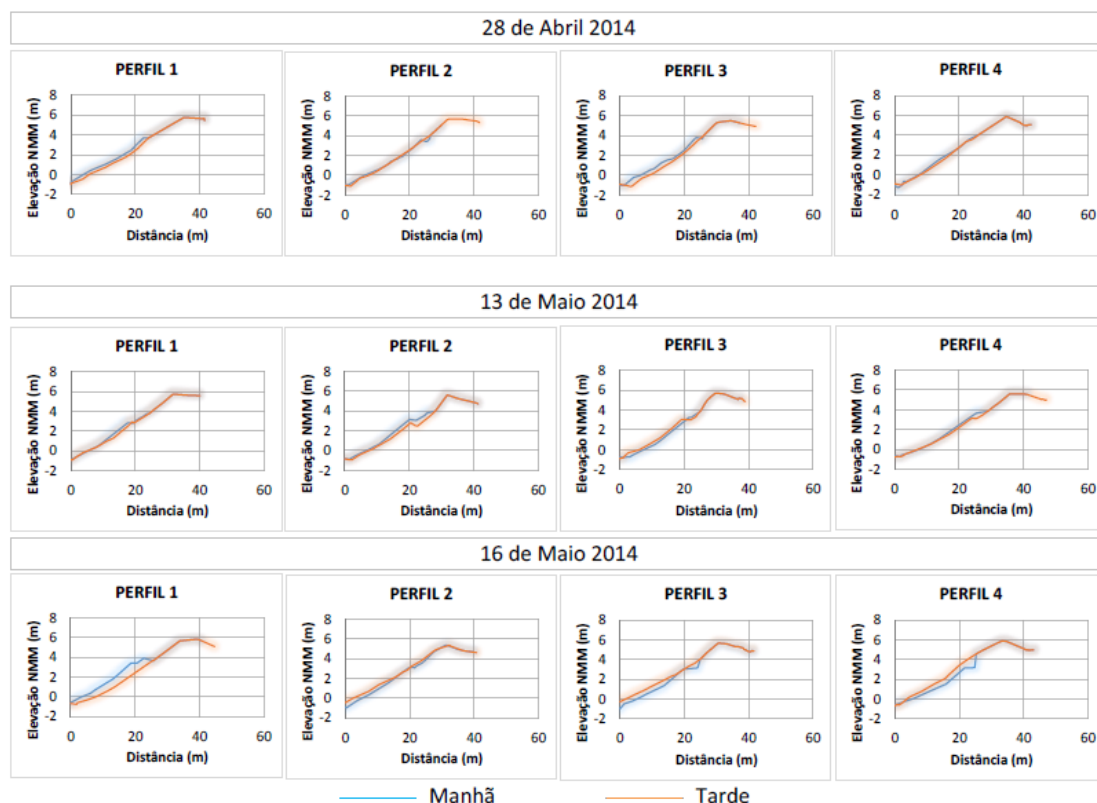


Figura 92 - Evolução da praia ao longo de um período de maré em diferentes campanhas (Silva, 2014)

No âmbito desta dissertação procedeu-se à simulação da resposta morfodinâmica na praia de seixos de Belinho, devido às ações da agitação durante um período de maré, tirando proveito das potencialidades do programa XBeach-G e comparou-se os resultados simulados com os valores observados obtidos por Silva (2014).

Das cinco campanhas realizadas por Silva (2014), foi selecionada para objeto de simulação a campanha realizada no dia 16.05.2014, por ser aquela em que se observaram as maiores variações no perfil de praia entre as medições realizadas (manhã e tarde). Segundo o autor, essas variações poderão explicar-se pelo facto de durante todo o período de monitorização, a realizada no dia 16 de maio corresponder à de maior amplitude de maré viva. Todos os perfis de praia deste dia foram simulados exceto o perfil transversal 2.

Assim, a tarefa de definição das simulações no XBeach-G, iniciou-se com uma pesquisa prévia de todos os parâmetros solicitados no *Input* do programa. Os dados de *Profile* para

cada um dos perfis transversais realizados no dia 16.05.2014, foram disponibilizados por Silva (2014) e os dados de *Tide* foram obtidos para o local e para o mesmo período.

A agitação local durante as campanhas era desconhecida, pelo que se considerou como um elemento a determinar no processo de calibração do modelo. Assim, foram consideradas 28 simulações, 16 para o perfil transversal 1, 9 para o perfil transversal 3 e 3 para o perfil transversal 4. É certo que parâmetros como por exemplo a altura significativa da agitação (H_s) para aquele dia, podiam ser estimadas recorrendo-se a outras ferramentas de modelação, mas o objetivo foi analisar a sensibilidade dos resultados às principais variáveis relacionadas com a dinâmica da praia de seixos.

Nas 28 simulações consideradas os valores de H_s , T_p e D_{50} foram modificados, a partir de valores apresentados por defeito. A altura significativa de onda tomou valores de 1, 2 e 3m, o período de onda de 7s, 12s e 20s e dimensão média dos seixos de 0.05m. É importante salientar que o valor de período de onda de 20s é um valor bastante elevado para as condições de agitação que caracterizam a praia do Belinho.

Desta forma, tentou-se aproximar os valores simulados dos valores observados por alteração das variáveis H_s , T_p e D_{50} , conforme se apresenta na tabela 3. Os *parameters* foram arbitrados dentro do intervalo de valores recomendado exibidos no subcapítulo 3.2 assim como o *spectrum type* e mantidos constantes ao longo das 28 simulações como mostra a tabela 4.

Tabela 3 - Valores que foram mantidos constantes ao longo das 28 simulações

	Hs [m]	Tp [s]	D ₅₀ [m]
Perfil Transversal 1			
Experiência 1	3	12	0,05
Experiência 2	2	12	0,05
Experiência 3	1	12	0,05
Experiência 4	1	7	0,05
Experiência 5	2	7	0,05
Experiência 6	3	7	0,05
Experiência 7	3	20	0,05
Experiência 8	2	20	0,05
Experiência 9	1	20	0,05
Experiência 10	6	15	0,05
Experiência 11	3	12	0,025
Experiência 12	3	5	0,025
Experiência 13	1	10	0,025
Experiência 14	3	20	0,025
Experiência 15	2	20	0,025
Experiência 16	1	20	0,025
Perfil Transversal 3			
Experiência 17	3	20	0,05
Experiência 18	3	12	0,05
Experiência 19	3	7	0,05
Experiência 20	1	20	0,05
Experiência 21	1	12	0,05
Experiência 22	1	7	0,05
Experiência 23	2	20	0,05
Experiência 24	2	12	0,05
Experiência 25	2	7	0,05
Perfil Transversal 4			
Experiência 26	1	20	0,05
Experiência 27	3	12	0,05
Experiência 28	3	20	0,05

Tabela 4 - Valores de Hs, Tp e D₅₀ em cada uma das 28 simulações

Waves	Spectrum type	Unimodal
	Gamma	3,3
	S [-]	10000
Parameters	Duration [s]	33300
	Output timestep [s]	60
	Groundwater level [m]	0
	Bottom aquifer [m]	0
	k [m/s]	0,01
	Sediment friction factor [-]	0,025
	Nielsen's boundary layer phase lag [°]	25
	Angle of repose [°]	35

Após cada simulação, os resultados foram convertidos para Excel, possibilitando o tratamento da informação de maneira a obter os perfis transversais da praia após um período de maré, que no caso do dia 16.05.2014 foi de 9,25 horas (33300 s). Desta forma foi possível comparar os perfis simulados com os perfis disponibilizados por Silva (2014), como mostra na figura seguinte.

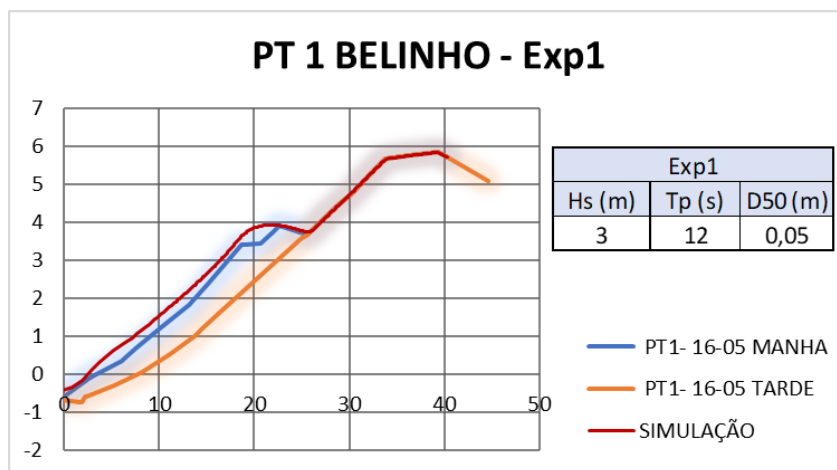


Figura 93 - Simulação 1, referente ao perfil transversal 1 no dia 16.05.2014

No exemplo da figura 93, para o perfil transversal 1 era esperado que o banco de seixos erodisse da manhã para a tarde. Com os valores de Hs, Tp e D₅₀ testados, o que aconteceu na simulação foi exatamente o contrário, houve uma acreção ao longo do perfil. Posto isto, sucessivas experiências tiveram que ser realizadas até que os resultados da simulação se aproximassem da situação observada.

4.2.2. Resultados

Nesta secção da dissertação, serão apresentados os resultados obtidos através do programa XBeach-G para as diferentes simulações realizadas.

Perfil transversal 1

Para o perfil transversal 1, foram realizadas 16 simulações, cujos resultados são apresentados nas figuras 94, 95, 96 e 97:

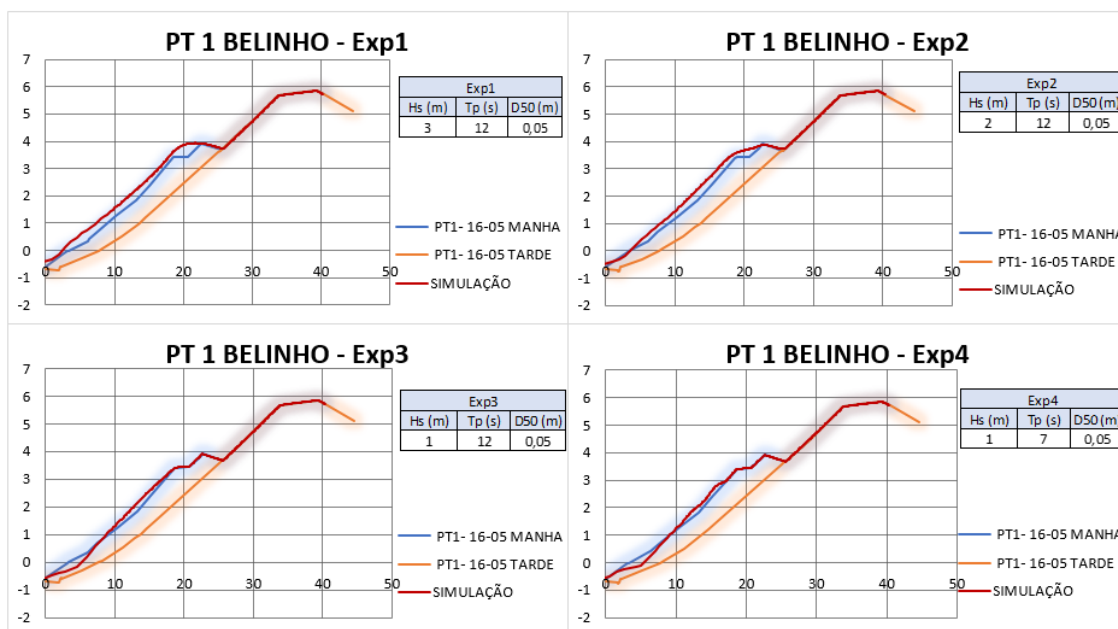


Figura 94 - Experiências 1, 2, 3 e 4 referentes às primeiras quatro simulações para o perfil transversal 1

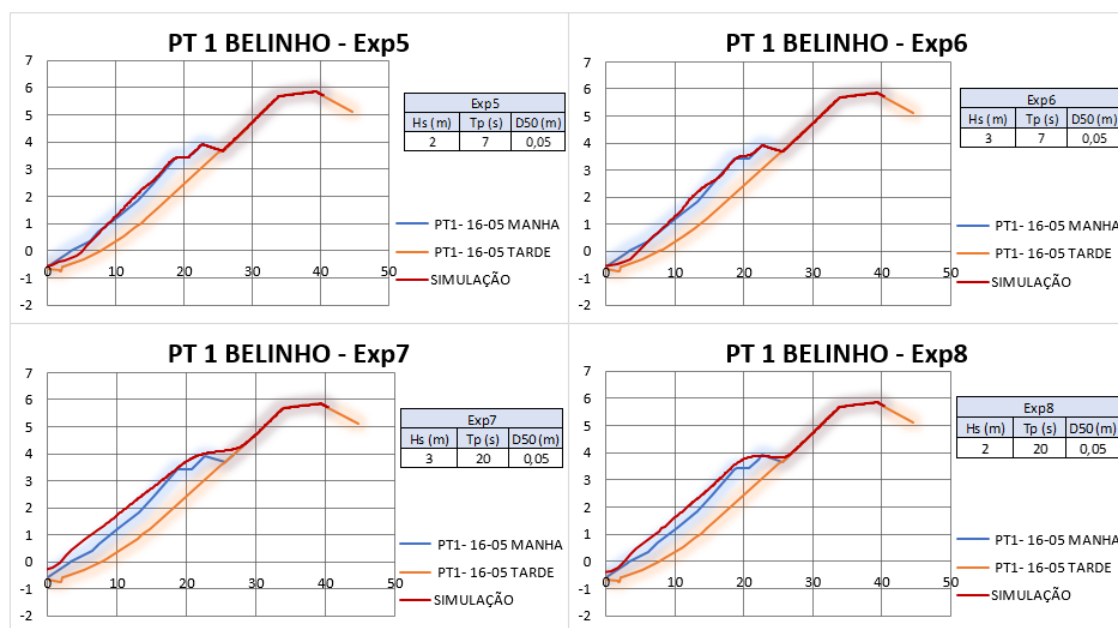


Figura 95 - Experiências 5, 6, 7 e 8 referentes às simulações para o perfil transversal 1

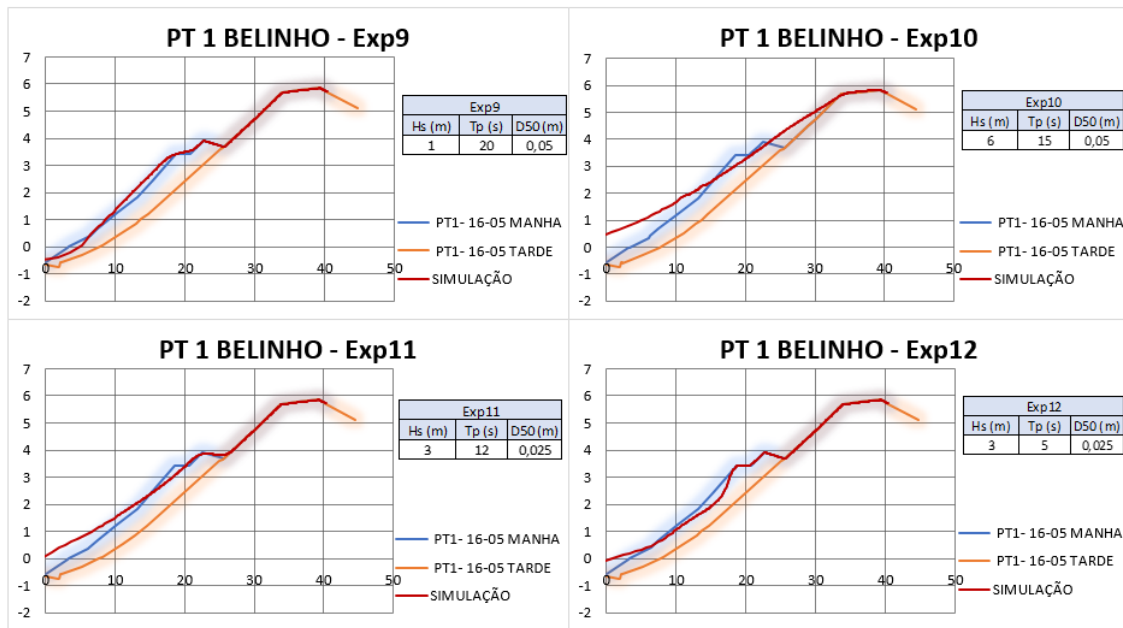


Figura 96 - Experiências 9, 10, 11 e 12 referentes às simulações para o perfil transversal

1

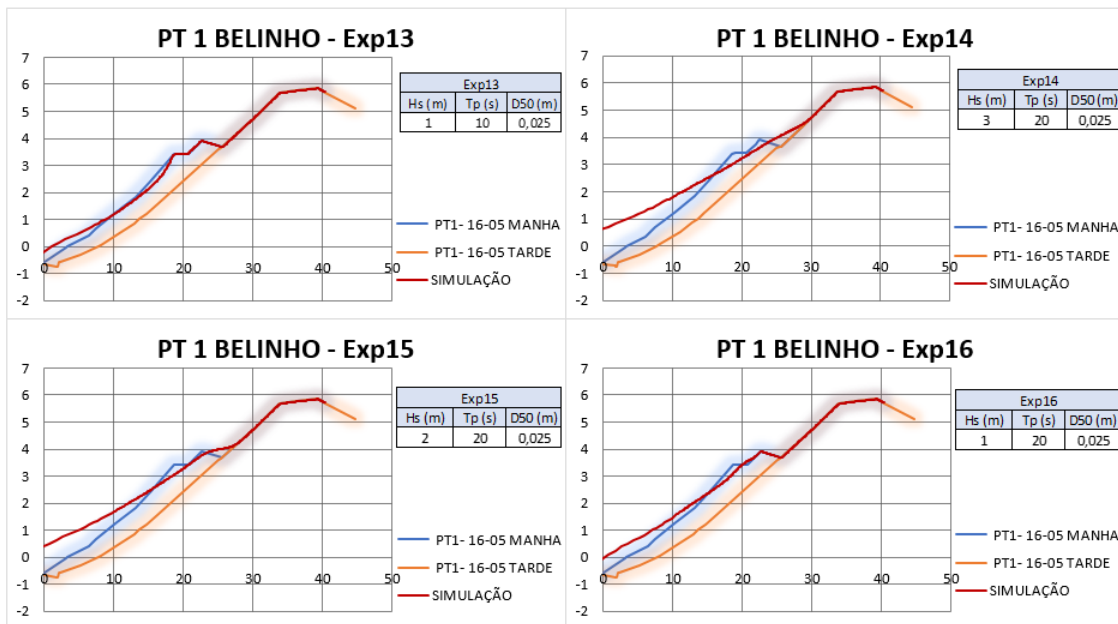


Figura 97 - Experiências 13, 14, 15 e referentes às quatro últimas simulações para realizadas para o perfil transversal 1

Perfil transversal 3

No que toca ao perfil transversal 2, foram realizadas 8 simulações e os resultados estão representados nas figuras 98, 99 e 100:

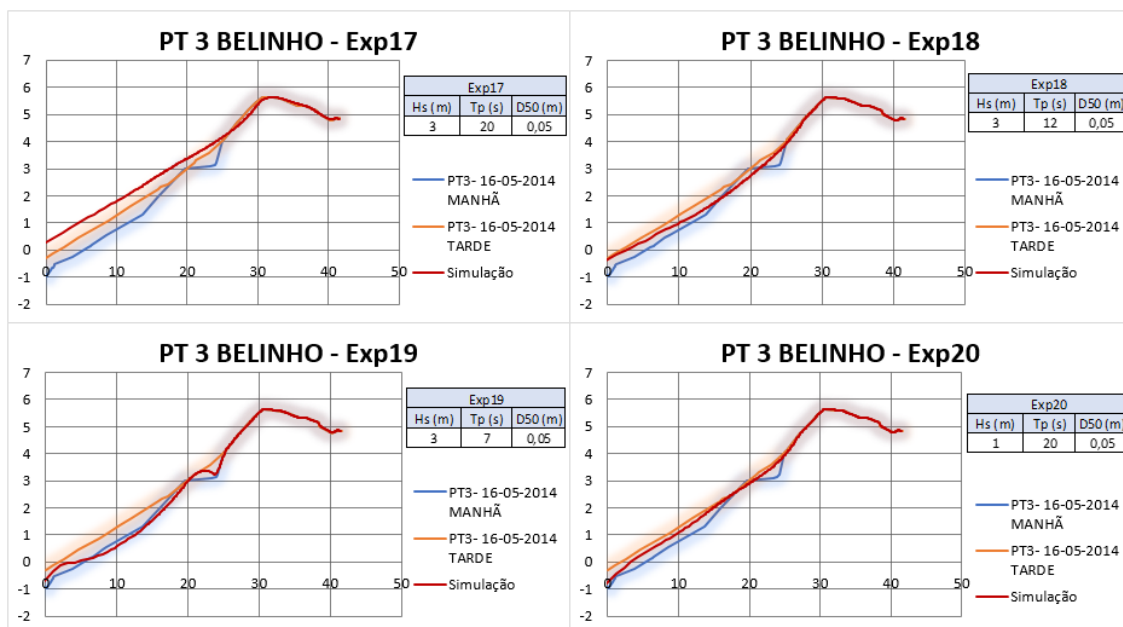


Figura 98 - Experiências 17, 18, 19 e 20 referentes às primeiras quatro simulações para o perfil transversal 3

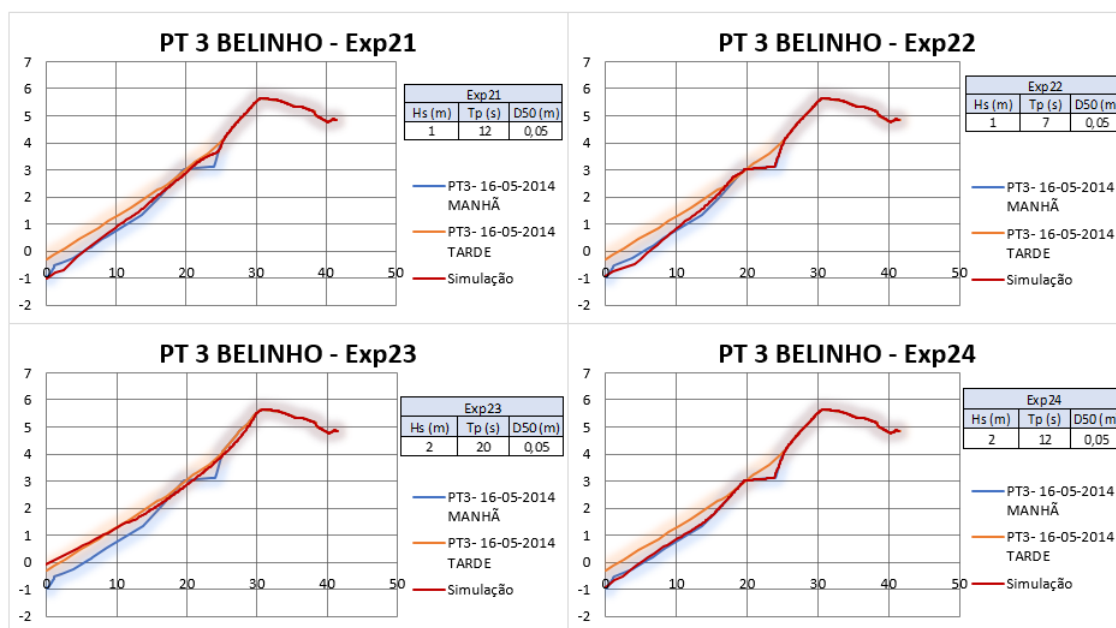


Figura 99 - Experiências 21, 22, 23 e 24 referentes às simulações para o perfil transversal 3

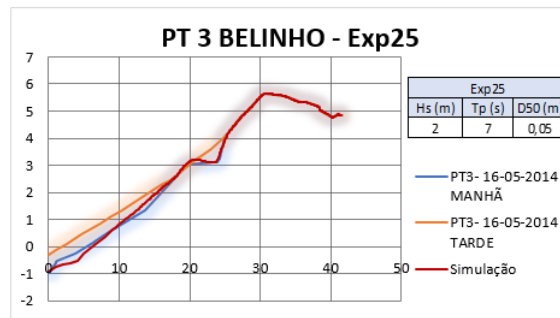


Figura 100 - Experiência 25 referente à última simulação para o perfil transversal 3

Perfil transversal 4

Por fim, os resultados das 3 simulações referentes ao perfil transversal 4, apresentam-se na figura 101:

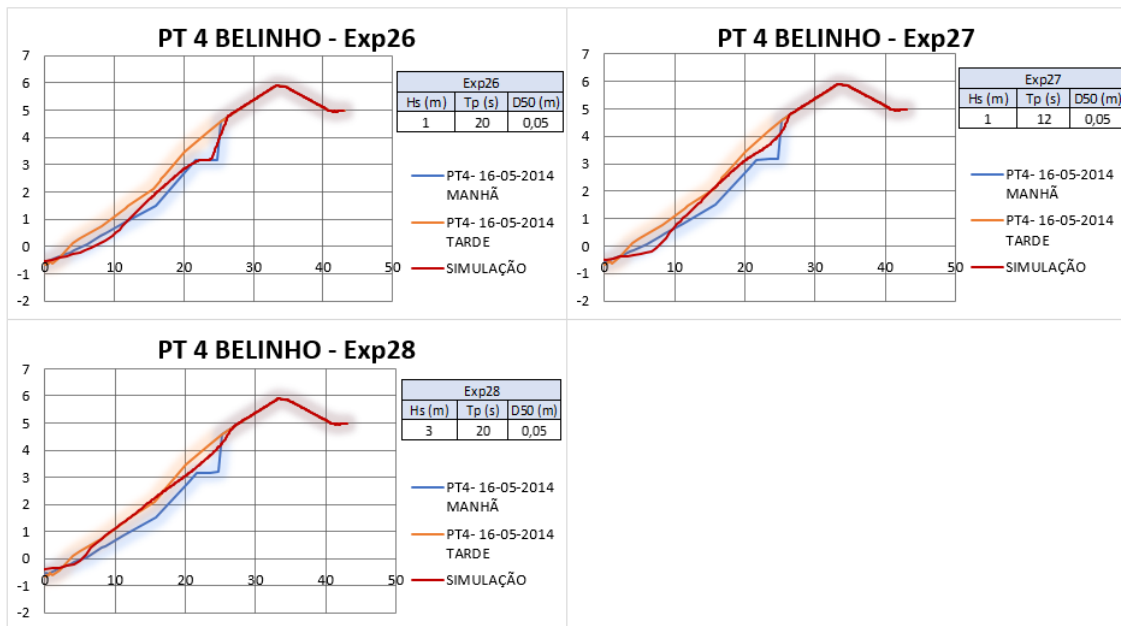


Figura 101 - Experiências 26, 27 e 28 referentes às três simulações para realizadas para o perfil transversal 4

4.2.3. Discussão de resultados

Perfil transversal 1

A evolução da praia ao longo de um período de maré para o perfil transversal 1 no dia 16.05.2014 chegada por Silva, 2014 através de levantamentos topográficos encontra-se representada na figura 102. Consequência das condições de agitação e maré sofridas naquele dia, a berma situada entre as cotas 3 e 4m foi destruída, provocando um abaixamento significativo na morfologia da praia ao longo deste perfil transversal, numa distância de sensivelmente 25m.

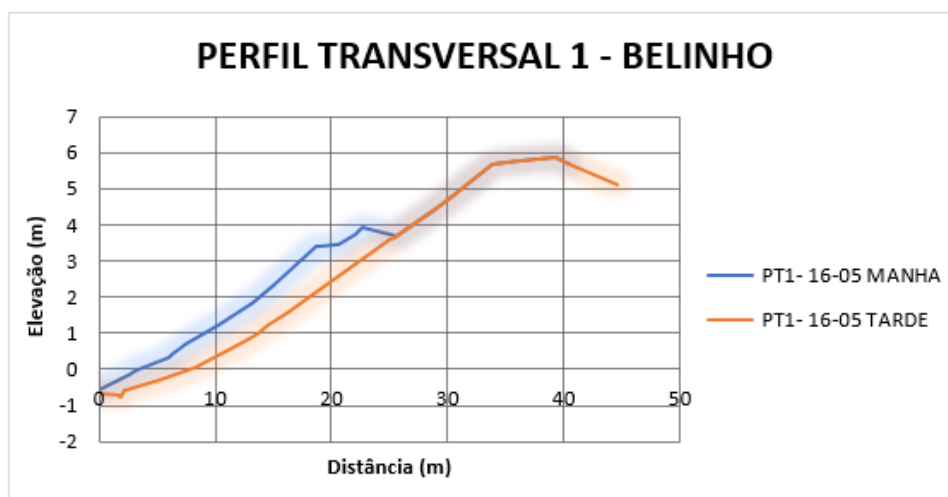


Figura 102 - Evolução da praia ao longo de um período de maré em PT1, chegada por Silva (2014)

Analisando os resultados obtidos com a simulação do perfil transversal 1 no software XBeach-G, conclui-se que, para $H_s=1m$, tanto com para períodos de onda de 7s, 12s e 20s, as condições implementadas não eram suficientemente elevadas de maneira a atingir a berma, como se pode observar na figura 103. As alterações morfológicas mostram-se pouco significativas, salientando apenas a erosão sofrida na base do talude.

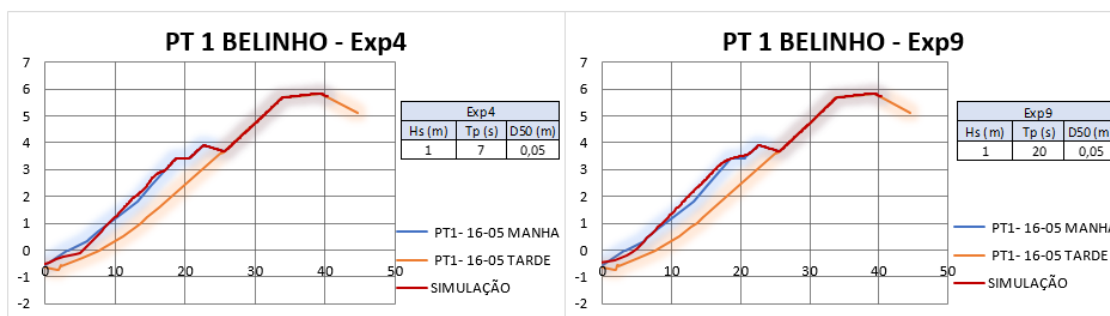


Figura 103 - Alterações morfológicas no PT1 para $H_s=1m$ e $T_p=7s$ e $20s$, respetivamente

Aumentando o valor da altura significativa de onda, aumenta a acreção sofrida ao longo do talude, com maior expressão em períodos de onda mais baixos (figuras 104 e 105). Mesmo assim não era o que se pretendia.

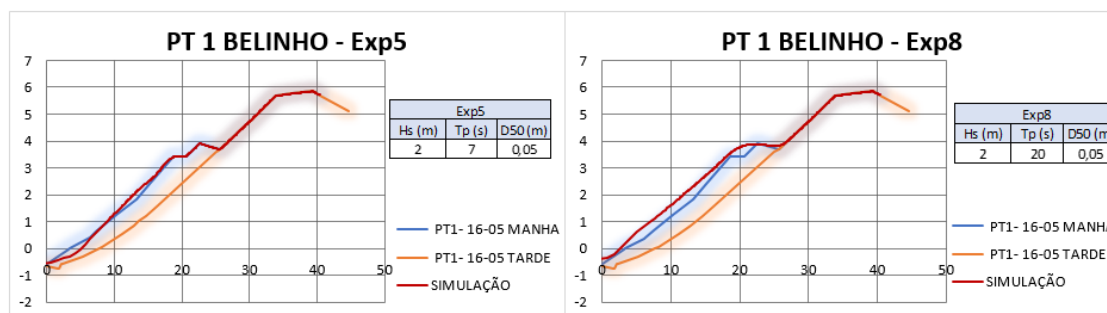


Figura 104 - Alterações morfológicas no PT1 para $H_s=2m$ e $T_p=7s$ e $20s$, respetivamente

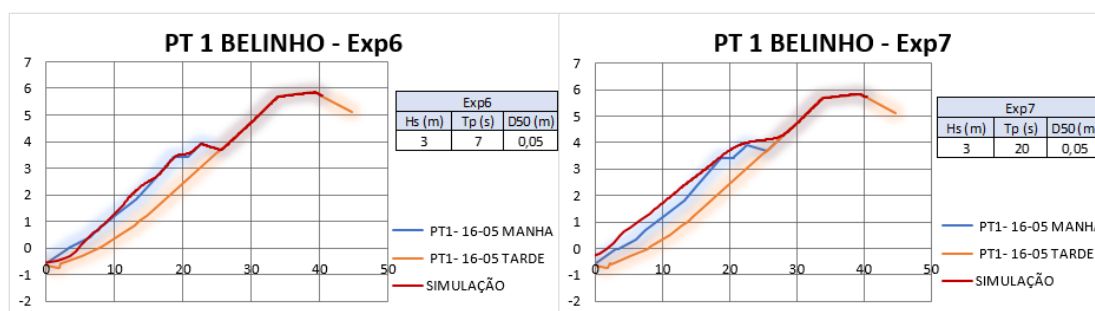


Figura 105 - Alterações morfológicas no PT1 para $H_s=3m$ e $T_p=7s$ e $20s$, respetivamente

Em nenhuma das 16 simulações realizadas foi possível obter o perfil observado. Em todas as simulações o processo de acumulação de sedimentos foi predominante.

Sendo a praia do Belinho uma praia refletiva, em que a formação de cúspides é frequente, a impossibilidade de simular a evolução neste perfil poderá estar relacionada com a formação de uma cúspide na localização do perfil. É muito provável que o levantamento topográfico realizado para o perfil transversal 1, tenha atravessado uma cúspide formada durante o período observado. De salientar que a formação de cúspides tem uma relação com a agitação, maré eventualmente, ondas infra-gravíticas. Não sendo o programa XBeach-G capaz de simular este tipo de cavas e saliências, admite-se válida esta justificação.

Perfil transversal 3

Na figura 106, está representada a evolução do perfil da praia 3.

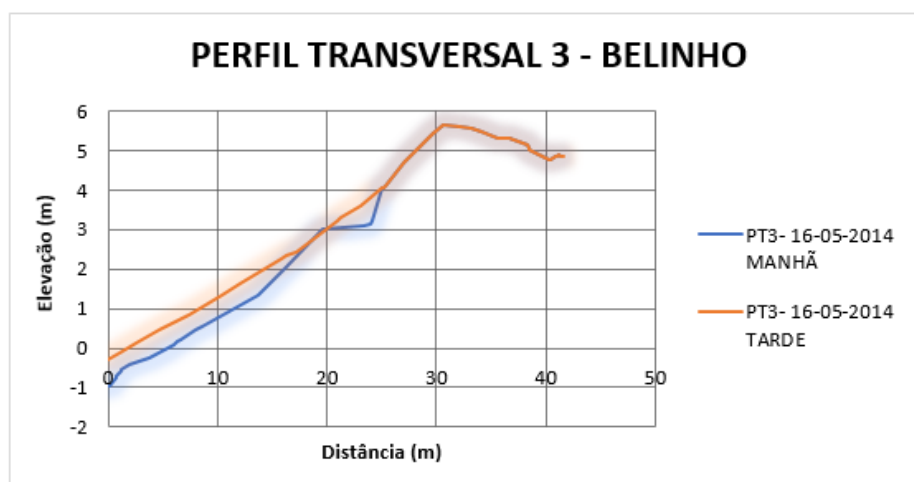


Figura 106 - Evolução da praia em PT3, chegada por Silva (2014)

Contrariamente ao que aconteceu no perfil transversal 1, neste perfil verifica-se uma acreção ao longo de todo o perfil até à cota de 4m cobrindo por completo a berma situada à cota de 3m. Obteram-se resultados com aproximação razoável ao que aconteceu no perfil transversal 3. Como foi visto anteriormente, realizou-se 9 simulações para este perfil.

Analisando primeiro a figura 106, foi necessário simular uma altura significativa de onda que conjugado com um período de onda, fosse capaz de depositar os sedimentos até à cota de 4m. Através das conclusões chegadas com as 16 simulações realizadas para o PT1, admitiu-se para o PT3 que:

- Para condições de agitação baixa (ex. $H_s=1\text{m}$ e $T_p=7\text{s}$), à partida pouco ou nada influenciavam o talude representado no PT3, e a prova disso é a simulação 22. Nesta simulação apenas apresenta uma pequena erosão na base do talude;
- Outro aspeto que se percebeu nas simulações com o PT1, que pouco influenciava a morfologia do talude, era quando se utilizavam valores de período de onda de 7s para qualquer valor da altura significativa (incluindo $H_s=2\text{m}$ e $H_s=3\text{m}$). Demonstra-se este facto com as simulações 19 e 25;
- Para condições de agitação mais alta (ex. $H_s=3\text{m}$ e $T_p=20\text{s}$), era provável que a acreção sofrida fosse substancial, podendo tornar-se bastante superior ao esperado. Através da simulação 17 é possível comprová-lo.

Assim, das simulações que sobram analisar do TP3 (18, 20, 21, 23 e 24), as experiências que mais se aproximam à realidade sem qualquer dúvida são as simulações 20 e 23, principalmente a simulação 23 com $H_s=2\text{m}$, $T_p=20\text{s}$ e $D_{50}=0.05\text{m}$ (figura 107).

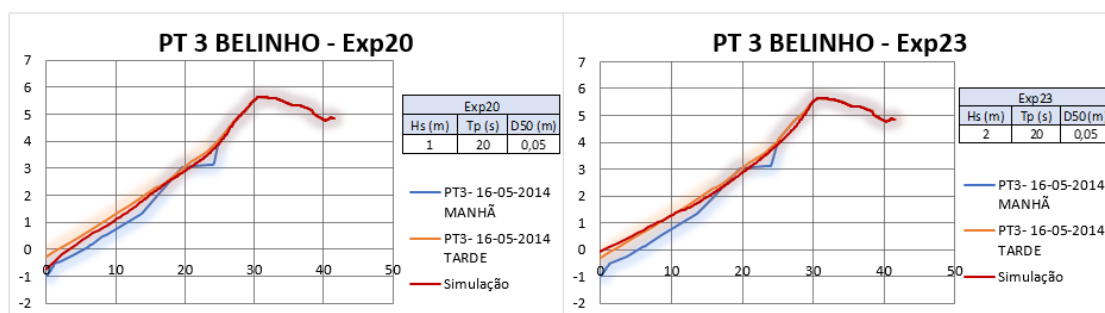


Figura 107 - Simulações realizadas para PT3 que mais se aproximam da realidade

De salientar que a plataforma rochosa (praia submersa) foi simplificada para um talude de inclinação constante na simulação realizada com o XBeach-G, uma vez que eram desconhecidos dados sobre este aspeto. Porém, na situação real, certamente que a morfologia da praia após um ciclo de maré é bem diferente, pelo que a correta modelação da batimetria poderá introduzir mudanças significativas nos resultados obtidos. Esta

poderá ser uma das razões possíveis que leva a obtenção dos resultados o mais próximo da realidade apenas com valores de $T_p=20s$. Volta-se a referir que este valor de período de onda é um valor bastante elevado para as condições de agitação que caracterizam a praia do Belinho.

Perfil transversal 4

Por fim, na figura 108 está representada a evolução da praia ao longo de um período de maré para o perfil transversal 4.

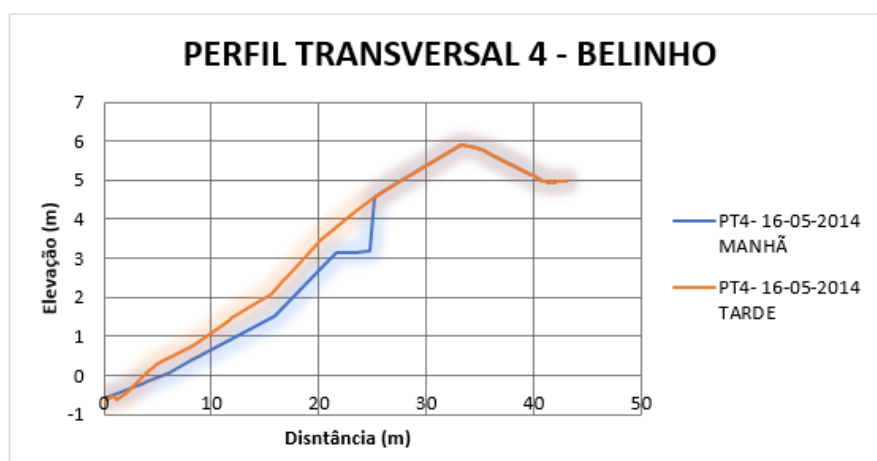


Figura 108 - Evolução da praia ao longo de um período de maré em PT4, chegada por Silva (2014)

Analogamente ao que aconteceu no perfil transversal 3, foi predominante a acreção no talude até à cota aproximada de 4.60m (cerca de 60cm a mais que no perfil transversal anterior). As condições iniciais levadas a cabo no perfil 3, consideraram-se válidas para as simulações realizadas para este perfil, sendo que foram realizadas apenas 3 simulações.

A simulação que mais se aproxima da realidade é a simulação 28, com $H_s= 3m$, e $T_p=20s$ (figura 109).

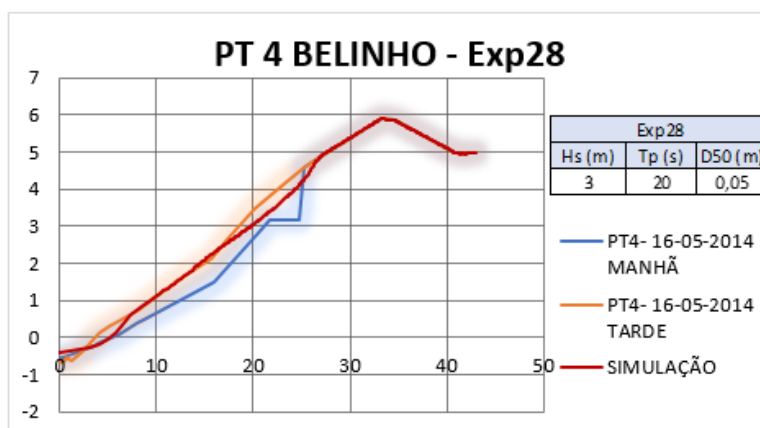


Figura 109 - Simulação realizada para PT4 que mais se aproxima da realidade

4.3. Laguna de Esmoriz

4.3.1. Enquadramento

4.3.1.1. Caracterização da área de estudo

A Barrinha de Esmoriz, também designada por Lagoa de Paramos, está localizada no distrito de Aveiro, nos concelhos de Espinho (freguesia de Paramos) e de Ovar (freguesia de Esmoriz), como mostra a figura 110.

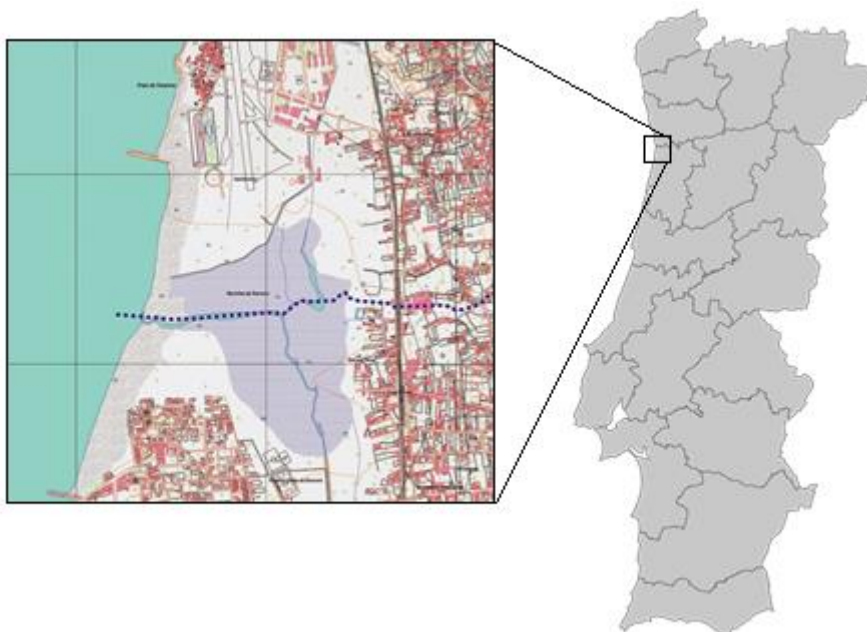


Figura 110 - Localização da Barrinha de Esmoriz

De acordo com o Instituto de Conservação da Natureza e Biodiversidade, o local é caracterizado como uma lagoa costeira de água salobra, um habitat prioritário, originado pela deposição de areia junto à foz de uma pequena linha de água, com a formação de um cordão dunar que é aberto sazonalmente para renovação de água. A Barrinha de Esmoriz apresenta a sua maior dimensão paralela à linha de costa, com uma extensão de 1,5 km face a uma extensão de 1 km na perpendicular e a área do plano de água é variável é cerca de 0,8 km² (ECOSSISTEMA, 2010).

A laguna tem ainda associada uma área de floresta sub-higrófila de árvores caducifólias, habitat que em Portugal se distribui de forma pontual e maioritariamente na Beira Litoral. Tratando-se de uma zona muito específica de transição entre o domínio terrestre e o oceânico, compreende vários ecossistemas diferentes, como mostra a figura 111.



Figura 111 - Vista aérea da Barrinha de Esmoriz (Polis Ria de Aveiro, 2016)

Como já foi referido, a laguna comunica com o mar de forma intermitente. Este facto resulta da abertura periódica da sua barra artificializada através de um dique fusível criado em 2004. A abertura é efetuada por ação antrópica, recorrendo a meios mecânicos. Depois de aberta, a barra tende a fechar ao fim de algum tempo, principalmente devido ao efeito das correntes oceânicas, predominantemente de norte (ECOSSISTEMA, 2010).

Esta laguna encontra-se localizada numa zona costeira densamente povoada, a cerca de 2,5 km a sul da área urbana da cidade de Espinho e imediatamente a norte da zona balnear de Esmoriz. O enorme desenvolvimento urbano e sobretudo industrial dos concelhos limítrofes da Barrinha, teve consequências nefastas para o ecossistema deste local. Além da pressão urbanística nas áreas adjacentes à laguna, as descargas de águas residuais industriais feitas nos seus afluentes sempre foram motivo de preocupação local. Assim, é possível afirmar-se que a evolução da poluição na Barrinha de Esmoriz é proporcional à evolução da indústria transformadora nas margens dos seus afluentes. (Teixeira, 2017)

A notória má qualidade da água (figura 112) tem sido alvo de grande discussão não só a nível local, mas também a nível nacional. No entanto, esta atenção mediática nunca culminou numa ação efetiva de base que pusesse termo ao problema. A poluição aquática,

que é inequivocamente o fator de degradação mais grave, fez desaparecer grande parte das espécies piscícolas, bem como, répteis, anfíbios e aves.



Figura 112 - Espelho de água do interior da Barrinha de Esmoriz em 2012
(cusquicesdeesmoriz.blogspot.pt)

Também as formações dunares se apresentam muito desgastadas. É consequência da forte intervenção antrópica, ocorrida principalmente nas últimas décadas e também pelo trecho litoral onde a laguna está inserida que é particularmente débil face ao fenómeno de erosão, caracterizando-se por uma forte taxa de recuo. Várias vezes o dique-fusível que sustenta a massa de água foi rompido não só pela ação do homem, mas também pela dinâmica oceânica, resultando na descarga da água acumulada na laguna para as praias e também na alteração brusca do nível e salinidade da água na barrinha. O descuido continuado que tem existido no controlo da qualidade da água no troço balnear Paramos- Esmoriz, tem tido consequências sociais negativas, quer para banhistas, quer para comerciantes. No passado, as formações dunares chegaram a ter mais de 30 metros de altura (ECOSSISTEMA, 2010). Sendo outrora um local que atraía turistas não só pela sua beleza e magnificência, mas também por ser um local que era excelente para a toma de banhos (figura 113).



Figura 113 - Barrinha de Esmoriz (cusquicesdeesmoriz.blogspot.pt)

Deste modo foi necessário intervir. Em 2013, por iniciativa da Polis Litoral da Ria de Aveiro, surgiu o projeto de requalificação e valorização do “Sítio” da Barrinha de Esmoriz. Segundo a mesma entidade, a operação visa a “redução da erosão costeira do «Sítio» da Barrinha de Esmoriz e zona envolvente” tendo como objetivo específico a proteção do litoral, através da execução de dragagens na barrinha e utilização dos dragados para minimização dos efeitos da erosão costeira e reposição do equilíbrio na dinâmica sedimentar ao longo da costa, através do restabelecimento do fornecimento de sedimento ao litoral”.

4.3.2. Resultados

As amostras recolhidas de acordo com a metodologia apresentadas no capítulo anterior, foram enviadas para o laboratório de análise de materiais, do Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro, em Coimbra, que se encontra acreditado para a realização das referidas análises. Os resultados das análises granulométricas realizadas no laboratório são apresentados no anexo 1.

Tendo por base o volume de cada uma das amostras recolhidas em cada estação foi estimada a percentagem de areia, silte e argila presentes em cada local. Os resultados obtidos estão representados na tabela 5.

Tabela 5 - Resultados de percentagens de areia, silte e argila presentes em cada local

	A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1	H1	I1	J1	K1	L1	M1	P1
Fração Arenosa (> 63µm)	99,4	72,0	57,6	58,8	72,8	30,6	25,2	30,2	19,5	46,2	41,7	29,0	95,7	34,9
Fração Siltosa (2-63µm)	0,6	23,1	36,0	37,3	19,4	60,8	58,3	61,5	63,0	48,2	46,1	62,6	4,3	54,8
Argila (< 2µm)	0,0	4,9	6,3	3,1	6,7	8,6	16,5	8,3	17,6	5,7	12,3	8,4	0,0	10,3

4.3.3. Discussão de resultados

O objetivo deste trabalho é perceber se realmente os sedimentos a dragar no interior da barrinha são constituídos em cerca de 85% por areias e teores de argila da ordem de 5%.

As conclusões principais a que se chega depois da análise feita aos sedimentos é que se identificam duas zonas (figura 114) com sedimentos de características distintas:

- A primeira é a zona próxima do dique fusível (estações A1, B1 e M1) com sedimentos essencialmente arenosos. A zona caracterizada pelas estações A1 e M1 apresentam percentagens de areia superiores a 95% e na estação B1 da ordem de 72% (amostra superficial recolhida no canal principal).
- A segunda, é a zona interior em que a quantidade de sedimentos finos (siltes e argila) é importante (estações C1, D1 e E1) ou mesmo preponderante (estações F1, G1, H1, I1, J1, K1, L1 e P1). Na zona interior a média das percentagens de areia nas diversas estações é de 40,6%, a média das percentagens de silte é de 49,8% e a média das percentagens de argila é de 9,4%.



Figura 114 - Diferenciação em zonas, após a análise realizada aos sedimentos da Barrinha de Esmoriz

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1. Conclusões

O trabalho desenvolvido no âmbito desta dissertação permitiu estudar a morfodinâmica de praias de areia e praias de seixos, como consequência das condições de agitação e maré, contribuindo para o conhecimento da mobilidade associada a estes sistemas costeiros e avaliando alguns dos fatores que os condicionam.

Após análise dos resultados obtidos, foi possível retirar as seguintes conclusões:

- A metodologia de levantamentos baseada em equipamento DGPS revelou-se eficiente, considerando-se o seu uso fundamental na obtenção de resultados. Com este equipamento foi possível realizar medições com a exatidão, tanto na realização de levantamentos topográficos na praia de Ofir, como na localização dos pontos de recolha de sedimentos na barrinha de Esmoriz.
- A utilização de *software* específico para processamento de dados Quantum Gis, utilizado do trabalho realizado na praia de Ofir, permitiu uma análise pormenorizada da área em estudo. Foi possível detalhar todos os pontos notáveis da praia considerados em levantamento para posteriormente proceder à análise com maior detalhe das variações morfológicas da área em estudo. Teve-se em linha de conta nas campanhas o estado da maré.
- Quanto ao XBeach-Gravel, permitiu uma simulação razoável da morfodinâmica de praia de seixos.
- Tanto na praia de seixos como na praia arenosa, foi possível concluir que as condições de agitação e de maré são preponderantes na morfodinâmica da praia. Comprovou-se que em condições mais energéticas de agitação, as alterações sofridas são maiores. Também se dá uma maior amplitude de praia exposta em dias de sizígia. Volta-se a referir que devido à capacidade natural de dissipar

grandes quantidades de energia da agitação, as praias de seixos são amplamente consideradas como uma forma eficaz e sustentável de defesa costeira.

- Apesar de não ser o objetivo principal desta dissertação, também foi possível ter a perceção exata dos impactos negativos que os esporões induzem a sotamar, pois aí, os cilindros geossintéticos encontram-se sempre visíveis com maior ou menor nível de exposição (zona em estudo). É importante evidenciar que na zona em frente às torres de Ofir, que também foi intervencionada com cilindros geossintéticos, estes ainda não serem visíveis, pelo facto de neste setor se fazer sentir o efeito de acreção associado ao esporão sul.
- No que respeita à aplicação de cilindros geossintéticos na praia de Ofir como obra de defesa costeira, face às condições de agitação e maré estudadas e nas condições em que está aplicada (à cota que estes estão implementados) têm-se mantido estáveis. Fenómenos climáticos extremos (ventos e chuva intensa) conjugado com condições de agitação altamente energéticas, como as que se fazem sentir principalmente nos meses de inverno na costa portuguesa, acredita-se que o comportamento a longo prazo destas estruturas não será o mesmo, devido ao carácter imprevisível deste tipo de soluções, ainda pouco conhecidas.
- Também o trabalho de recolha e caracterização de sedimentos na barrinha de Esmoriz, foi realizado com sucesso. Permitiu concluir que as percentagens de sedimentos finos (siltes e argila) recolhidos durante a campanha, principalmente na zona interior da barrinha, foram bastante significativos, pois a percentagem de sedimentos finos nessa zona foi de cerca de 50%. Desta forma, a percentagem de sedimentos apresentados no RECAPE não se verificaram.
- Este trabalho de campo possibilitou também um acompanhamento contínuo de todas as fases deste trabalho relacionado com a instalação de geotubos, sendo fundamental para o meu percurso a partilha de conhecimentos por parte de todos os intervenientes, tanto a nível de obra, como também na análise e caracterização de solos em sistemas lagunares costeiros.

5.2. Sugestões para trabalhos futuros

Como sugestão para futuros trabalhos, saliento os seguintes pontos:

Na Praia de Ofir:

- Importância de alargar o período de monitorização, principalmente em cenários de tempestade, com maiores alturas de agitação, de maneira a compreender o impacto nos cilindros geossintéticos implementados no local, em condições mais severas do que aquelas que se fizeram sentir durante o período de monitorização;
- Realização de modelação morfodinâmica na praia de Ofir.

Praia de Belinho:

- Proceder ao levantamento da batimetria da zona estudada. Como foi referido anteriormente, ao realizar a modelação da praia de seis no software XBeach-G, a parte submersa da praia foi simplificada para um talude de inclinação constante, uma vez que era desconhecida a batimetria local. Na situação real, certamente que a situação é bem diferente da simulada, pelo que a correta modelação da batimetria poderá introduzir mudanças significativas nos resultados obtidos.

Praia de Esmoriz:

- Realizar um programa de monitorização na Praia de Esmoriz semelhante ao trabalho realizado em Ofir através de levantamentos topográficos, com o objetivo de avaliar o desempenho do funcionamento do dique fusível depois da intervenção realizada na zona envolvente da barrinha de Esmoriz, através de cilindros geossintéticos para a consolidação do cordão dunar, analisando a viabilidade da sua utilização na fixação da embocadura de sistemas lagunares costeiros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agência Portuguesa do Ambiente, 2014.** *RECAPE do Projeto de Requalificação e Valorização do “Sítio” da Barrinha de Esmoriz. Volume I – Resumo não Técnico*
- Almeida, J., 2013.** *Modelação da hidrodinâmica e da morfodinâmica do estuário do Douro*
- Antunes do Carmo, J. C., 2013.** *Experiência de Recuperação de um Sistema Dunar e Proposta de Instrumentos Complementares de Proteção, Atração e Valorização Ambiental, Revista de Gestão Costeira Integrada, Vol. 13(3).*
- Calliari, L. J., Muehc, D., Hoefel, F. G., & Toldo Jr, E., 2003.** *Morfodinâmica praias: uma breve revisão. Revista brasileira de oceanografia, 51(unico), 63-78.*
- Castro, N. P. B., Escobar, C. L. G. B., de Mello Martins, D. P., & Geotécnica, E., 2008.** *O uso da tecnologia de tubos geotêxtil para controle de erosão marinha e fluvial.*
- Bezuijen A., Vastenburg E.W., 2013.** *Geosystems Design Rules and Applications, Laiden, Holanda, CRC Press.*
- Dalrymple, R. A., Lanan, G. A., 1976.** *Beach cusps formed by intersecting waves. Geology Society American Bulletin, 87, 57-60.*
- Davis Jr, R. A., 1985.** *Coastal Sedimentary Environments. 2. ed. New York: Springer-Verlag*
- Dias, J. M. A., 1993.** *Estudo de Avaliação da Situação Ambiental e Proposta de Medidas de Salvaguarda para a Faixa Costeira Portuguesa.*
- Dias, J. M. A. 1999.** *Coast line evolution in Portugal since the Last Glacial Maximum.*
- ECOSSISTEMA, 2010.** *Estudo para a Requalificação e Valorização da Barrinha de Esmoriz – Relatório.*
- Fernández-Fernández, S., Baptista, P., Martins, V. A., Silva, P. A., Abreu, T., Pais-Barbosa, J., Bernabeu, A., 2015.** *Longshore Transport Estimation on Ofir Beach in Northwest Portugal: Sand-Tracer Experiment. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, 142(2), 04015017.*
- Ferreira, D. J. S., 2014.** *Modelação laboratorial de uma estrutura aderente em cilindros de geossintéticos. Dissertação de Mestrado, FEUP, Porto.*
- Gomes, L. M. F., 2001.** *Geotêxteis e suas aplicações. Seminário UBITEX sobre Geotêxteis: A Indústria Têxtil nos Caminhos da Inovação, 10-20.*

Granja H. M., Loureiro E., 2007. *Why are shingle beaches replacing sandy beaches (coastal zone of NW Portugal) Coastal Sediments '07.* ASCE, Ed. Kraus N., Rosati J. vol 1: 545-560

Granja H. M., Pinho J. L. S., 2011. *Estudo do risco de erosão do litoral do concelho de Vila Nova de Gaia.*

Granja H., Pinho J. L. S., Silva A., 2015. *Pebble Beaches of NW Portuguese Coast: Genesis and Short – Term Morphodynamics, VII Congresso Nacional de Geomorfologia, pp. 91-97, 978-989-96462-6-1*

Guza, R. T., Inman, D. L., 1975. *Edge waves and beach cusps. Journal of Geophysical Research 80: 22997-3012.*

Haslett, J.R., 1990. Geographic information systems: a new approach to habitat definition and the study of distributions. *TREE*, 5, 214-218.

Holland, K. T., Holman, R. A., 1996. Field observations of beach cusps and swash motions. *Marine Geology*, v. 134, p. 77-93

Inman, D. L., Guza, R. T., 1982. *The origin of swash cusps on beaches. Marine Geology, v 49(1-2), p. 133-148.*

Jorge, A. D. R. F., 2010. *Análises de incidências ambientais e de custo-benefício no estudo de alternativas de intervenções de defesa costeira versus retirada planeada de aglomerados urbanos em risco: Caso de estudo Esmoriz/Cortegeça. Dissertação de Mestrado, FEUP, Porto.*

Kriel, H. J., 2012. *Hydraulic stability of multi-layered sand-filled geotextile tube breakwaters under wave attack. Dissertação de Mestrado, Stellenbosch Univ., Stellenbosch, África do Sul.*

Lopes, J. M. M. S. A., 2015. *Fotogrametria e Detecção remota aplicada à prospeção mineira. Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto.*

Lopes, M., das Neves, L., Gomes, F. V., Pinto, F. T., 2016. *A Utilização de Sistemas de Confinamento de Areias em Material Geossintético para Proteção Costeira em Portugal.*

Loureiro, E., 2007. *Indicadores geomorfológicos e sedimentológicos na avaliação da tendência evolutiva da zona costeira: aplicação ao concelho de Esposende. Tese de Doutoramento, Universidade do Minho, Braga.*

Loureiro, E., Granja, H. M., 2001. *Short-term morphodynamics of a shingle beach (Esposende, northwest Portugal). Ecology and geomorphology of coastal shingle. Westbury Academic and Scientific Publishing, 148-159.*

Marinho, R. D. L., 2015. *Gestão de Zonas Costeiras: caso de estudo Caminha-Espinho. Dissertação de Mestrado, ISEP, Porto.*

Meneses, F., 2008. *Gestão do contexto em sistemas ubíquos. Tese de Doutoramento, Universidade do Minho, Braga.*

- McCall, R.T., Masselink, G., Poate, T., Roelvink, J.A., Almeida, L.P., Davidson, M., Russel, P.E., 2014.** *Modelling storm hydrodynamics on gravel beaches with XBeach-G*, Coastal Engineering. Author's Accepted Manuscript. Full paper (open access).
- Muehe, D., 2001.** *Geomorfologia costeira*. In GUERRA, A.J.T. e CUNHA, S.B. da (orgs). *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos (capítulo 6)*. Bertrand Brasil, RJ. p.253-308.
- Neto, P. E. M., 2014.** *Morfodinâmica de cordões dunares intervencionados com paliçadas*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Braga.
- Neves, L., 2003.** *Geossintéticos e Geossistemas em Engenharia Costeira*. Dissertação de Mestrado, FEUP, Porto.
- Neves L., 2011.** *Experimental Stability Analysis of Geotextile Encapsulated-Sand Systems Under Wave- Loading*. Tese de Doutoramento, FEUP, Porto.
- Pereira, A. R., 2004.** *O espaço litoral e a sua vulnerabilidade*. Geoinova, 9, 33-43.
- Pilarczyk K., 2000.** *Geosynthetics and geosystems in hydraulics and coastal engineering*, Roterdão, A.A Balkema Publications 913 páginas.
- Porto A., 2013.** *Estudo Laboratorial do Comportamento de uma Restinga Móvel Confinada por Cilindros de geossintéticos*. Dissertação de Mestrado, FEUP, Porto.
- Roelvink, J.A., Reniers, A., van Dongeren, A.R., van Thiel de Vries, J.S.M., McCall, R., Lescinski, J., 2009.** *Modeling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands*. *Coast. Eng.* 56, 1133–1152.
- Segurado, P., & Jesus, B., 1999.** *Aplicação de Sistemas de Informação Geográfica nas Diferentes Fases de um Estudo Ecológico*. ESIG99, Lisboa.
- Silva, A. P. D., 2014.** *Estudo da morfodinâmica da praia de seixos de Belinho sob a influência de diferentes estados de agitação e tipos de maré*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Braga.
- Smith M., 2008.** *Geotextile tubes in Environmental Applications*, Global Synthetics Pty Ltd, Smithfield, Austrália.
- Sousa, N. M. B. D., 2011.** *Obras marítimas de acostagem: o caso do porto de abrigo da Ilha do Porto Santo*. Dissertação de Mestrado, Universidade da Madeira.
- Teixeira, C. F. S., 2017.** *Estudo e intervenções numa laguna. A barrinha de Esmoriz*. Dissertação de Mestrado, FEUP, Porto.
- Torchetto, N. L., de Queiroz, R., Peyrot, C., Patatt, E. R., & Henrique, C., 2014.** *O uso do Quantum Gis (QGIS) para caracterização e delimitação de área degradada por atividade de mineração de basalto no município de Tentente Portela (RS)*. *Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas–UFMS, Santa Maria*. REGET, 18(2), 710-717.

Veloso Gomes, F., 1991. *Algumas reflexões sobre a problemática das obras de proteção costeira, 2º simpósio sobre a proteção e revalorização da faixa costeira do Minho ao Liz, Porto, 128-138*

Vitorino, J., Oliveira, A., Jouanneau, J., and Drago, T., 2002. *Winter dynamics on the northern Portuguese shelf. Part 1: Physical processes. Progress in Oceanography, 52(2), 129-153.*

Walker, P.A., 1990. *Modelling wildlife distributions using a geographic information system: Kangaroos in relation to climate. Journal of Biogeography, 17, 279-289.*

Wright, L. D., Short, A. D., 1983. *Morphodynamics of beaches and surf zones in Australia. In: KOMAR, P. D. Handbook of Coastal Process and Erosion. CRC Press, p. 35- 64.*

Wright, L. D., & Short, A. D., 1984. *Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. Marine geology, 56(1-4), 93-118.*

RECURSOS WEB

<http://www.hidrografico.pt/> (Consultado em janeiro de 2017)

<http://www.aprh.pt/> (Consultado em janeiro de 2017)

<https://pt.slideshare.net/christerra/tese-doutorado-moura-mr-protogada/> (Consultado em março de 2017)

<https://EngenhariaCivil.com/> (Consultado em março de 2017)

<https://oss.deltares.nl/web/xbeach/> (Consultado em fevereiro de 2017)

<http://www.tabuademaes.com/mares/tipos-mares> (Consultado em março de 2017)

<http://consulmar.pt/portfolio/douros-river-mouth-jetties/> (Consultado em maio de 2017)

<http://concelhodeesposende.blogspot.pt/2015/06/obras-em-curso-no-litoral.html>
(Consultado em maio de 2017)

<http://lugar-pedrinhas.blogspot.pt/2016/01/depois-da-restinga-agora-o-molhe-de.html>
(Consultado em maio de 2017)

<https://www.dn.pt/portugal/norte/interior/avanco-do-mar-ameaca-torres-de-ofir-3672369.html> (Consultado em maio de 2017)

<http://www.polisriadeaveiro.pt/obras/index.php?w=1>(Consultado em fevereiro de 2017)

<http://www.cusquicesdeesmoriz.blogspot.pt> (Consultado em maio de 2017)

<http://www.pt.wisuki.com/> (Consultado em janeiro de 2017)

http://www.coastalwiki.org/wiki/Main_Page (Consultado em janeiro de 2017)

ANEXOS

Anexo 1 - Caracterização realizada em “in situ” aos trados recolhidos na Barrinha de Esmoriz

Ponto A (Asup.): O trado não trouxe nada. Foi recolhida uma amostra superficial de areia.

Ponto B (Bsup): Ponto situado na água, não deu amostra no trado. Foi recolhida uma amostra superficial de areia.

Ponto C:

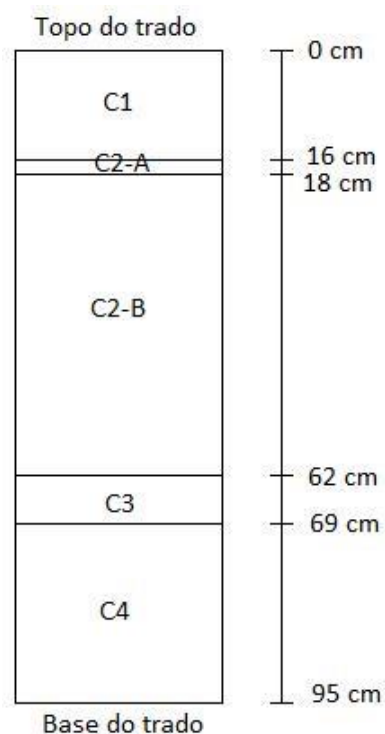
C1: 0 cm a 16 cm – Areia

C2-A: 16 cm a 18 cm – Limo

C2-B: 18 cm a 62 cm - Limo

C3: dos 62 cm aos 69 cm – Areia fina

C4: dos 69 cm aos 95 cm – Limo



Ponto D1:

No topo: Camada de areia perdida entre 15 a 20 cm

D1-1: 8 cm – Areia

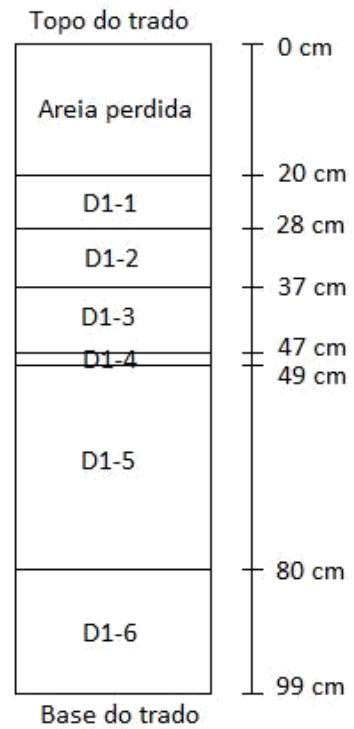
D1-2: dos 8 cm aos 17 cm – Areia para limo

D1-3: dos 17 cm aos 27 cm – Limo

D1-4: dos 27 aos 29 cm – Lentícula, Areia

D1-5: dos 26 cm aos 60 cm – Limo

D1-6: dos 60 cm aos 76 cm - Limo



Ponto F:

F1: 0cm a 22cm – Superficial (raízes)

F2: 22cm a 34cm – Areia

F3: 34cm a 39.5cm – Areia com argila

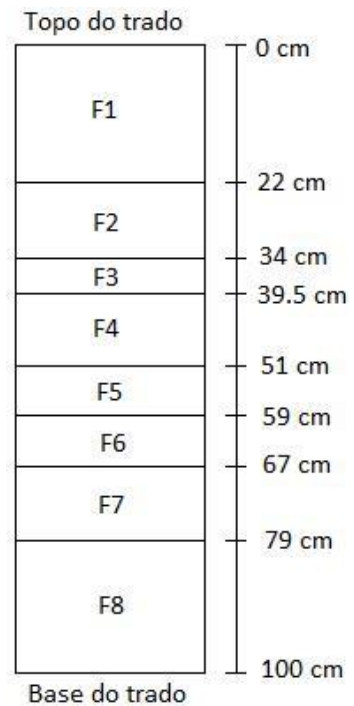
F4: 39.5cm a 51cm – Limo

F5: 51cm a 59cm – Limo argiloso

F6: 59cm a 67cm – Limo arenoso

F7: 67cm a 79cm – Argila com madeira no topo

F8: 79cm a 100cm – Limo argiloso



Ponto G:

G1: 0cm a 10cm

G2: 10cm a 30cm

G3: 30cm a 48cm

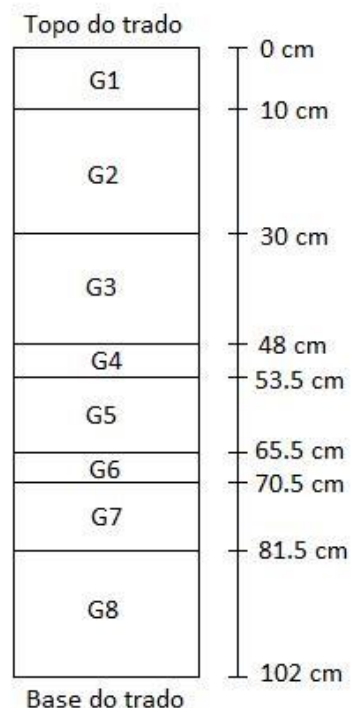
G4: 48cm a 53.5cm

G5: 53.5cm a 65.5cm

G6: 65.5cm a 70.5cm

G7: 70.5cm a 81.5cm

G8: 81.5 a 102cm – Argila com veios acastanhado



Ponto H:

H1: 0cm a 12.5cm

H2: 12.5cm a 21cm

H3: 21cm a 29.5cm

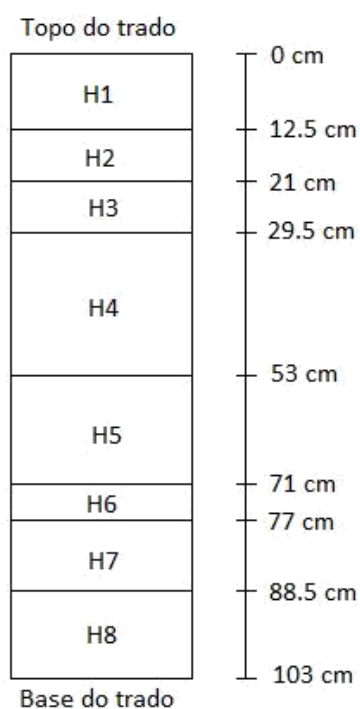
H4: 29.5cm a 53cm

H5: 53cm a 71cm

H6: 71cm a 77cm – Areia limosa

H7: 77cm a 88.5cm – Limo arenoso

H8: 88.5 a 103cm – Argila com veios acastanhados



Ponto I:

I1: 0cm a 14cm

I2: 14cm a 38cm

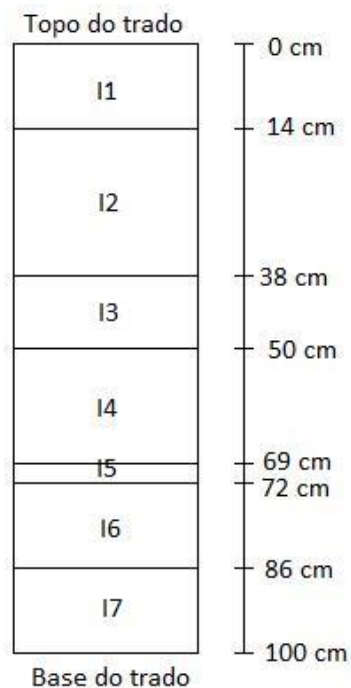
I3: 38cm a 50cm – Aos 40cm foi encontrado um seixo angular

I4: 50cm a 69cm

I5: 69cm a 72cm

I6: 72cm a 86cm

I7: 86cm a 100cm – Parte substancial perdido



Ponto J:

J1: 0cm a 6cm

J2: 6cm a 18cm

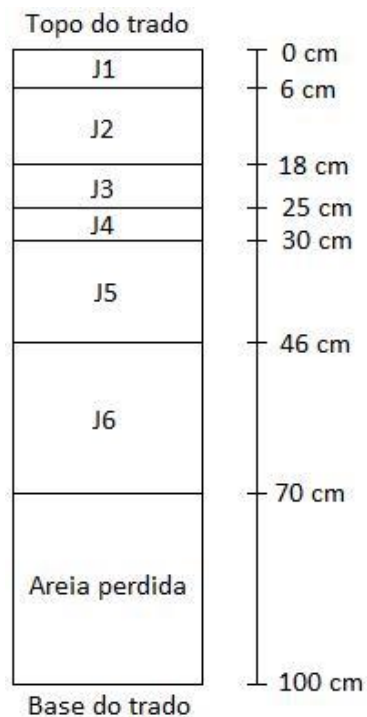
J3: 18cm a 25cm

J4: 25cm a 30cm – Vegetação

J5: 30cm a 46cm

J6: 46cm a 70cm – Areia com vegetação

Base: 70 a 100cm – Areia perdida



Ponto K:

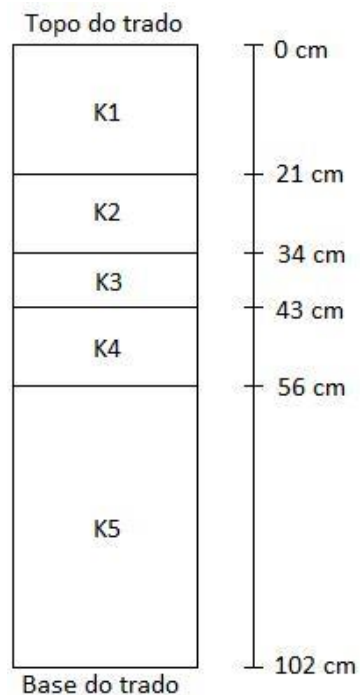
K1: 0cm a 21cm

K2: 21cm a 34cm – Areia limosa

K3: 34cm a 43cm – Limo

K4: 43cm a 56cm – Areia limosa acinzentada

K5: 56cm a 102cm – Argila com veios acastanhado



Ponto L:

L1: 0cm a 15cm

L2: 15cm a 24.5cm

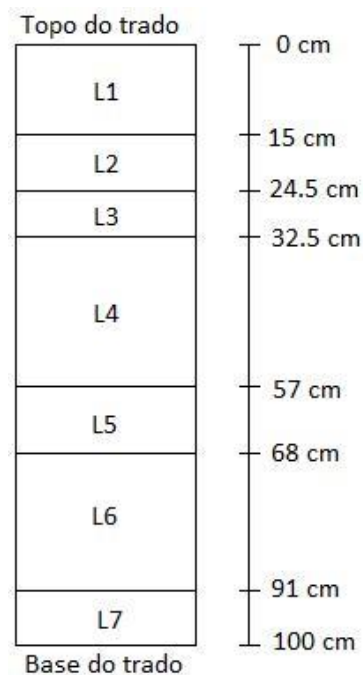
L3: 24.5cm a 32cm

L4: 32cm a 57cm

L5: 57cm a 68cm

L6: 68cm a 91cm

L7: 91cm a 100cm



Ponto M: Amostra superficial com pá

Ponto M1: Amostra superficial com pá

Ponto P1:

P1-1: 0cm a 4cm – Superficial (matéria orgânica)

P1-2: 4cm a 21cm

P1-3: 21cm a 37cm

P1-4: 37cm a 44cm

P1-5: 44cm a 55cm

P1-6: 55cm a 87cm

P1-7: 87cm a 100cm

