



Caracterização de balanços sedimentares face a alimentações artificiais: Casos de estudo de Aveiro e Figueira da Foz

JOÃO BERNARDO LASCASAS SALGADO

maio de 2021

CARACTERIZAÇÃO DE BALANÇOS SEDIMENTARES FACE A ALIMENTAÇÕES ARTIFICIAIS: CASOS DE ESTUDO DE AVEIRO E FIGUEIRA DA FOZ

João Bernardo Lascasas Salgado
1171503

2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



CARACTERIZAÇÃO DE BALANÇOS SEDIMENTARES FACE A ALIMENTAÇÕES ARTIFICIAIS: CASOS DE ESTUDO DE AVEIRO E FIGUEIRA DA FOZ

João Bernardo Lascasas Salgado
1171503

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Energias Sustentáveis, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Tiago André Martins de Azevedo Abreu e coorientação do Doutor Paulo Renato Enes Baganha Baptista.

2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



JÚRI

Presidente

Doutor Manuel Carlos Malheiro de Carvalho Felgueiras
Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador

Doutor Tiago André Martins de Azevedo Abreu
Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Co-orientador

Doutor Paulo Renato Enes Baganha Baptista
Investigador Auxiliar, Centro Estudos do Ambiente e do Mar/Universidade de Aveiro

Arguente

Doutora Sandra Fernández-Fernández
Investigadora em Pós Doutoramento, Centro Estudos do Ambiente e do
Mar/Universidade de Aveiro

AGRADECIMENTOS

O meu primeiro agradecimento é dirigido aos meus pais, pelo esforço que desenvolveram para que eu tivesse a melhor educação e formação, tornando-se num exemplo e resultando na minha realização pessoal e académica.

Ao meu orientador, Professor Doutor Tiago André Martins de Azevedo Abreu o meu enorme agradecimento pelo apoio, ensinamentos e disponibilidade sempre manifestada ao longo da elaboração da dissertação.

Ao meu coorientador, Doutor Paulo Renato Enes Baganha Baptista o meu sincero agradecimento pela atenção e apoio demonstrado.

Ao Projeto SandTrack, PTDC/CTA-GEO/31779/2017, financiado pelo FEDER através do COMPETE2020 - Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (POCI), e por fundos nacionais (OE) através da FCT/MCTES que serviu de base para este trabalho.

PALAVRAS CHAVE

Erosão, Acreção, Balanço Sedimentar, Praia Emersa, Praia Submersa, Deriva Litoral, Evolução Morfodinâmica

RESUMO

Os processos erosivos, associados à pressão antrópica sobre o litoral, ao clima de agitação marítima altamente energético e à perda de sedimentos, são responsáveis pela caracterização da costa noroeste portuguesa, onde predomina uma elevada fragilidade geomorfológica. Estas variantes implicam ser desejável efetuar com regularidade uma monitorização da zona costeira, identificando os locais mais sensíveis à erosão e possibilitando uma gestão do litoral mais eficiente. As informações baseadas em dados de campo sobre a dinâmica sedimentar tornam-se, por isso, ainda mais relevantes para os gestores costeiros. O aumento do nível médio do mar e o aumento da frequência e intensidade das tempestades costeiras fazem com que os gestores costeiros necessitem, regularmente, de implementar soluções eficazes e sustentáveis para aumentar a resiliência da costa. Por exemplo, a recriação do perfil de praia com recurso a alimentações artificiais de areia procura restaurar o equilíbrio sedimentar, contribuindo para a sua dinâmica natural.

O presente estudo pretende caracterizar e quantificar o balanço sedimentar nos litorais de Aveiro e da Figueira da Foz, analisando e avaliando a variabilidade morfológica das praias emersas e submersas. A partir de levantamentos topo-batimétricos, criaram-se modelos digitais de terreno, calcularam-se balanços sedimentares, permitindo, ao mesmo tempo, compreender o comportamento da morfodinâmica local face a intervenções antrópicas e ao clima de agitação marítima. A metodologia implementada utilizou dados topográficos e batimétricos adquiridos em campanhas de monitorização realizadas entre 2012-2018 para Aveiro e 2014-2016 para a Figueira da Foz. Os resultados descrevem as principais mudanças morfológicas e tendências de evolução, recorrendo a técnicas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). A criação de modelos digitais de terreno permitiu a construção de mapas de diferenças de volume e a definição de indicadores de erosão e acreção utilizados para caracterizar as alterações morfológicas. Os dados obtidos contribuem para a gestão e ordenamento do litoral, tendo em conta que todo o troço é de exposição elevada aos processos que provocam erosão costeira.

KEYWORDS

Erosion, Accretion, Sedimentary Balance, Emerged Beach, Submerged Beach, Coastal Drift, Morphodynamic Evolution

ABSTRACT

Erosive processes, associated with anthropic pressure on the coast, the highly energetic wave climate and the loss of sediments, are responsible for the characterization of the Portuguese northwest coast, where a high geomorphological vulnerability predominates. These variants imply that it is desirable to carry out frequent monitoring of the coastal zone, identifying the most sensitive places to erosion and enabling more efficient coastal management. Information based on field data on sedimentary dynamics therefore becomes even more relevant for coastal managers. The increase in the mean sea level and the increase in the frequency and intensity of coastal storms entails that coastal managers regularly need to implement effective and sustainable solutions to increase the resilience of the coast. For example, the recreation of the beach profile using artificial sand feeds seeks to restore the sedimentary balance, contributing to its natural dynamics.

The present study intends to characterize and quantify the sedimentary balance in the coasts of Aveiro and Figueira da Foz, analyzing and evaluating the morphological variability of the emerged and submerged beaches. From topo-bathymetric surveys, digital terrain models were created, sedimentary balances were calculated, allowing, at the same time, to understand the behavior of local morphodynamics in the face of anthropic interventions and wave climate. The implemented methodology used topographic and bathymetric data acquired in monitoring field surveys carried out between 2012-2018 for Aveiro and 2014-2016 for Figueira da Foz. The results describe the main morphological changes and evolution trends, using Geographic Information Systems (GIS) techniques. The creation of digital terrain models allowed the construction of maps of volume differences and the definition of erosion and accretion indicators used to characterize the morphological changes. The data obtained contribute to the management and planning of the coast, taking into account that the entire section is highly exposed to the processes that cause coastal erosion.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

APA	Agência Portuguesa do Ambiente
BMmin	Nível da Maré Astronómica Mais Baixa
DGRM	Direção Geral de Recursos Naturais, Segurança e Serviços Marítimos
DirM	Direção Média de procedência da ondulação
MDT	Modelo Digital de Terreno
NMBM	Nível Médio da Baixa-Mar
NMM	Nível Médio do Mar
NMPM	Nível Médio da Preia-Mar
N	Norte
NNE	Norte Nordeste
NNO	Norte Noroeste
NO	Noroeste
O	Oeste
ONO	Oeste Noroeste
OSO	Oeste Sudoeste
S	Sul
SE	Sudeste
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SO	Sudoeste
SSO	Sul Sudoeste
TIN	<i>Triangulated Irregular Network</i>
ZH	Zero Hidrográfico

Lista de Unidades

cm	Centímetro
cm/s	Centímetro por segundo
J/m ²	Joule por metro quadrado
Km	Quilómetro
m	Metro
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico
s	Segundo

Lista de Símbolos

<i>f</i>	Frequência
<i>g</i>	Gravidade
<i>H</i>	Altura de onda

H_s	Altura significativa de onda
L	Comprimento de onda
ρ	Densidade
T	Período
T_m	Período médio
T_p	Período de pico
%	Porcentagem

GLOSSÁRIO DE TERMOS

Águas profundas	Onda que se desloca em águas profundas quando a profundidade (d) é superior a metade do comprimento de onda (L): $d > L/2$.
Águas pouco profundas	Onda que se desloca em águas pouco profundas quando a profundidade (d) é inferior a vinte vezes o comprimento de onda (L): $d < L/20$.
Alta Praia ou Pós-Praia	Zona superior da praia, localizada em posição superior à da atuação das ondas e das marés ordinárias, e em que, por consequência, a areia está normalmente seca, e que, em geral, foi constituída na sequência da atuação de temporais. A maior parte das vezes é constituída por bermas de praia formadas em associação com grandes temporais.
Altimetria	Parte da geodesia que trata da medição das altitudes.
Altura da Onda	Diferença vertical entre a crista da onda e a cava adjacente. Representa-se, normalmente, por H (de <i>Height</i>).
Amplitude da Maré	Diferença vertical entre o nível atingido pela maior das marés cheias e a menor das marés vazias.
Assoreamento	Obstrução da barra de um rio ou de um porto, provocada pela acumulação de areias ou de terras, geralmente causada por enchentes, construções ou alterações na bacia hidrográfica.
Bacia Hidrográfica	Em função de um curso de água constitui a área em que as águas precipitadas são conduzidas para uma rede hidrográfica, ou seja, é a área total drenada por um rio e seus afluentes.
Barlamar	Lado ou sentido de proveniência dos sedimentos em relação a um ponto de referência, por oposição a sotamar.
Barra	Canal que estabelece a comunicação entre um corpo de água interior (estuário ou laguna) e o mar.
Barra Arenosa	Banco de areia formado pelo transporte dos sedimentos do fundo marinho até à costa ou pela diminuição da capacidade de transporte de sedimentos em sistemas fluviais, formando as chamadas “praias” fluviais e estuarinas.

Barra Submarina ou Submersa	Acumulação sedimentar submersa, com frequência longa e paralela ao litoral. Na maior parte dos casos as barras submarinas são constituídas por areia.
Batimetria	Medição das profundidades dos oceanos, mares, lagos, lagunas e rios, incluindo as informações derivadas de tais medidas.
Berma de Praia	Zona da praia quase horizontal, constituída pela deposição de sedimentos pelas ondas, e que, em geral, apresenta suave pendor em direção ao continente, e, pendor mais abrupto em direção ao mar. Correspondem a acidentes fisiográficos não permanentes, sendo normalmente destruídos/construídos durante ou após temporais. Algumas praias não têm bermas, enquanto que outras apresentam duas ou mais bermas.
Carta Hidrográfica	Representação cartográfica de uma área náutica, podendo representar em conjunto as regiões costeiras adjacentes à área náutica.
Carta Topográfica	Carta topográfica é a representação, em escala, sobre um plano dos acidentes naturais e artificiais da superfície terrestre de forma mensurável, mostrando as suas posições planimétricas e altimétricas.
Cava da Onda	Ponto mais deprimido (menos elevado) de uma onda.
Coluna de Água	Designação dada ao volume de água compreendido entre a superfície do mar, de um rio ou lago e o fundo.
Comprimento de Onda	Distância entre duas cristas ou duas cavas sucessivas. Representa-se, geralmente, pela letra <i>L</i> .
Costa	Faixa de terreno de largura indeterminada (podendo ir até vários quilómetros), que se estende desde a linha de costa interior até à primeira grande mudança nas características do terreno.
Crista da Onda	Ponto mais elevado de uma onda.
Declividade	Razão entre a altura da onda e o comprimento de onda, ou seja, H/L .
Deriva litoral	Quantidade de sedimentos que passam numa secção do litoral durante determinado período (normalmente utiliza-se um ano). A deriva litoral é induzida pela incidência da onda obliquamente à costa, em consequência da qual se geram correntes (ditas de deriva litoral) com resultante longitudinal. A deriva litoral anual é variável, dependendo da agitação marítima que ocorreu nesse ano.

Dispersão das Ondas	Separação das ondas devido a diferenças de velocidade e de direção, particularmente se essas diferenças decorrem de diferenças na frequência da onda.
Draga	Aparelho flutuante destinado a escavar o fundo do mar ou dos rios.
Dragagem	Execução da extração de areias, entulhos ou outros materiais depositados no fundo de um curso de água, através do uso de draga.
Duna	Acumulação ou monte de sedimentos (areias) nas regiões desérticas e nas regiões litorais, sob a ação do vento de direção quase constante.
Energia da Onda	Densidade de energia média da onda por unidade de área, equivalente à adição de energia cinética e da energia potencial.
Entremarés	Zona litoral situada entre o nível médio da maré alta e o nível médio da maré baixa.
Erosão	Fenómeno que implica a remoção do material de um lugar para o outro, com a intervenção de diversos agentes (agentes erosivos).
Erosão Basal	Ação das ondas do mar sobre a arriba desencadeando um processo erosivo na respetiva base (fenómeno de erosão basal), que geralmente conduz à formação de uma sapata, e, conseqüentemente, à perda da base de sustentação da arriba.
Frequência da Onda	Quantidade de cristas ou cavas que passa por um ponto fixo num segundo. Representa-se, geralmente, por f . É o inverso do período de onda: $f = 1/T$
Galgamento	Fenómeno de transporte de uma massa de água sobre um molhe, um dique, uma barragem ou outra estrutura similar. O termo galgamento pode também ser aplicado a morfologias costeiras como por exemplo as dunas frontais.
Geodesia	Ciência cujo objeto é a determinação da forma da Terra, medida das suas dimensões, incluindo a sua massa, densidade e o estabelecimento de cartas geográficas.
Longilitoral	Sinónimo utilizado para “ao longo da praia”.
Maré	Subida e descida periódicas dos níveis do mar e de outros corpos de água ligados ao oceano (estuários, lagunas, etc.), causadas, principalmente, pela interferência da Lua e do Sol sobre o campo gravítico da Terra (maré astronómica). Na realidade, a maré constitui

	uma onda com grande comprimento de onda, razão por que, por vezes, se utiliza a designação de onda de maré.
Maré Alta ou Preia-mar	Nível máximo de uma maré cheia.
Maré Baixa ou Baixa-mar	Nível mínimo de uma maré. Por vezes, quando há duas baixas-mares no mesmo dia, designa-se a de menor altura por “baixa-mar inferior”, e, a de maior altura, por “baixa-mar superior”.
Maré Semi-Diurna	Regime de maré com periodicidade de cerca de 12 horas e 42 minutos (meio dia lunar), caracterizado por duas preia-mares e duas baixa-mares em cada período ou ciclo de maré, ou seja, em cada dia lunar (24 horas e 50 minutos).
Maré Viva	Maré com maior amplitude que ocorre quando a Lua, a Terra e o Sol estão alinhados, isto é, durante as fases de Lua Nova e Lua Cheia.
Mitigação	Ação de minimizar ou de limitar danos ou efeitos negativos.
Molhe	Estrutura de engenharia costeira, normalmente, semelhante a um esporão, que tem como finalidade manter uma barra fixa e navegável, isto é que permaneça no mesmo local e livre de assoreamento.
<i>Nearshore</i>	Perto da costa, área próxima à zona costeira.
Ocupação antrópica	Ocupação, pelo Homem, de zonas terrestres – como, por exemplo, zonas fluviais, costeiras e de vertente – e a sua exploração, consoante as necessidades humanas.
Onda	Perturbação de tipo oscilatório que se propaga através de um meio (líquido, sólido ou gasoso), correspondendo, por via de regra, a transferência de energia.
Orla Costeira	Orla costeira ou faixa litoral corresponde à zona de transição entre o domínio continental e o domínio marinho. É uma faixa complexa, dinâmica, mutável e sujeita a vários processos geológicos.
Ondas Estacionárias	Tipo de ondas em que os pontos de interceção com a linha de base são fixos e as cristas e cavas (pontos antinodais) se vão alternando, isto é, corresponde a uma onda com velocidade nula.
Período de Onda	Intervalo de tempo medido em segundos, que decorre entre a passagem de duas cristas, ou, de duas cavas sucessivas por um dado ponto fixo. Representa-se, geralmente, pela letra <i>T</i> .
Praia	Acumulação de sedimentos não consolidados periféricos a um corpo hídrico, formada pela ação conjunta das

	ondas, das correntes e das marés (ou, nas praias fluviais, por ação das correntes fluviais).
Praia Emersa ou Subaérea	Parte da praia que, normalmente, não está coberta por água, ou seja, está em contacto direto com a atmosfera.
Praia Submarina ou Submersa	Parte da praia que se localiza abaixo do nível médio do mar.
Rede Hidrográfica	Também designada por Sistema Hidrográfico ou de Drenagem, é formada pelo rio e por todos os cursos de água de uma determinada região que nele debitam as suas águas.
Robustecimento Altimétrico	Ato ou efeito de fortalecer o processo de medição de altitudes com aplicação de meios geodésicos ou barométricos.
Robustecimento Volumétrico	Ato ou efeito de fortalecer o que diz respeito à determinação de um volume.
Seicha	Onda estacionária que se desenvolve, por vezes, em corpos hídricos ou semi-confinados (bacias portuárias, estuários, lagos, baías, mares, albufeiras).
Sumidouro	Abertura ou canal por onde se escoa um líquido. Normalmente associado a perdas sedimentares não recuperáveis para a praia.
Tômbolo	Acumulação sedimentar induzida pela difração e refração da onda nas extremidades de um obstáculo (natural ou artificial) inicialmente destacado, isto é, sem conexão com a terra e que acaba por ficar ligado a esta pela acumulação aludida.
Velocidade de fase	Corresponde à velocidade de propagação da crista da onda.
Zero Hidrográfico	Plano de referência convencionado, situado abaixo do Nível da Maré Astronómica Mais Baixa (BMmin), ao qual estão referidas as sondas e as linhas isobatimétricas representadas nas cartas náuticas, bem como, as previsões de altura de maré publicadas nas Tabelas de Marés do Instituto Hidrográfico. O principal objetivo da sua implementação prende-se com a prática da navegação marítima tendo em vista a sua segurança.
Zona Costeira	Faixa de terra de largura variável, que se estende da linha de costa para o interior do continente até às primeiras mudanças significativas da fisiografia.

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - REPRESENTAÇÃO DO RECUO DA "LINHA DE COSTA", SENDO (A) O "ANTES" E (B) O "DEPOIS".	3
FIGURA 2 - EXEMPLIFICAÇÃO DE ESPORÕES.	3
FIGURA 3 - EXEMPLIFICAÇÃO DE QUEBRA-MARES DESTACADOS.	3
FIGURA 4 - EXEMPLIFICAÇÃO DE OBRAS TRANSVERSAIS.	4
FIGURA 5 - REPRESENTAÇÃO DAS ZONAS EM DÉFICE SEDIMENTAR. (A) ESTAÇÕES PORTUÁRIAS, (B) ESPORÕES, (C) QUEBRA-MARES DESTACADOS.	4
FIGURA 6 - REPRESENTAÇÃO DA ACUMULAÇÃO DE SEDIMENTOS A BARLAMAR E DA AÇÃO EROSIVA A SOTAMAR.	5
FIGURA 7 - DIFERENCIAÇÃO MORFODINÂMICA DA PRAIA.	6
FIGURA 8 - ILUSTRAÇÃO DA DIREÇÃO DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS.	13
FIGURA 9 - ILUSTRAÇÃO DA ZONA DE EMPOLAMENTO RODEADA POR UM CÍRCULO.	14
FIGURA 10 - REFRAÇÃO DA ONDA INDUZIDA PELA ALTERAÇÃO DA PROFUNDIDADE.	15
FIGURA 11 - ESQUEMA DE REFRAÇÃO DA ONDA QUE RESULTA DA CONCENTRAÇÃO DE ENERGIA NAS PARTES SALIENTES DA COSTA E DA DISPERSÃO NAS PARTES REENTRANTES.	15
FIGURA 12 - ESQUEMA DE DIFRAÇÃO DAS ONDAS NUM OBSTÁCULO (E.G. QUEBRA-MAR DESTACADO).	16
FIGURA 13 - ILUSTRAÇÃO DE CORRENTES DE RETORNO DE DIFERENTES DIMENSÕES.	17
FIGURA 14 - DISTRIBUIÇÃO DA VELOCIDADE DE ESCOAMENTO ASSOCIADA À PROPAGAÇÃO DE UMA ONDA REGULAR	18
FIGURA 15 - PADRÃO GERAL DE DISTRIBUIÇÃO DA VELOCIDADE DA CORRENTE LITORAL NA ZONA DE REBENTAÇÃO NUM PERFIL PLANO PARA ONDAS REGULARES SEM MISTURA LATERAL (LINHA RETA E LINHA DE REBENTAÇÃO) E DE ONDAS IRREGULARES (LINHA CURVA E ZONA DE REBENTAÇÃO DAS ONDAS).	19
FIGURA 16 - EVOLUÇÃO DA LINHA COSTEIRA.	21
FIGURA 17 - NÚMERO DE INTERVENÇÕES COSTEIRAS EM PORTUGAL CONTINENTAL, DESDE 1950 ATÉ 2017 (INFORMAÇÃO BASEADA EM ABECASIS, 2014 E PINTO <i>ET AL.</i> (2018)).	22
FIGURA 18 - PRAIA DA COVA REDONDA APÓS ALIMENTAÇÃO ARTIFICIAL EM 2014.	25
FIGURA 19 - PRAIA NOVA ANTES DA ALIMENTAÇÃO ARTIFICIAL DE PRAIA, EM 6 DE AGOSTO DE 2010 (A) E UM ANO APÓS A INTERVENÇÃO A 4 DE AGOSTO DE 2015 (B).	26
FIGURA 20 - PRAIA DA ROCHA NOS ANOS 60 E O SUCESSIVO CRESCIMENTO DESDE O FINAL DA DÉCADA DE 1990, MOSTRANDO O AUMENTO DO AREAL E CONSEQUENTE AUMENTO DA CAPACIDADE DE CARGA, DECORRENTE DAS OPERAÇÕES DE ALIMENTAÇÃO ARTIFICIAL DE PRAIA.	27
FIGURA 21 - ALIMENTAÇÃO ARTIFICIAL DA PRAIA D. ANA EM 2015.	28
FIGURA 22 - REQUALIFICAÇÃO DO SISTEMA LAGUNAR DA RIA FORMOSA, 1999/2000.	29
FIGURA 23 - ALIMENTAÇÃO ARTIFICIAL DAS PRAIAS, 2007-2014.	30
FIGURA 24 - ALIMENTAÇÃO ARTIFICIAL DAS PRAIAS 2005.	31
FIGURA 25 - ALIMENTAÇÃO ARTIFICIAL DAS RUÍNAS DE TRÓIA, 2007.	32

FIGURA 26 - AMBIENTES DE COSTA ARENOSA E DE DOMÍNIOS MORFOLÓGICOS; RÓTULOS SUBLINHADOS REFEREM-SE A GEOINDICADORES COSTEIROS: CP - POSIÇÃO LITORAL; S_{BCREST} - LINHA COSTEIRA COM BASE NA CRISTA DA BERMA; S_{HWSL} - LINHA COSTEIRA COM BASE NA LINHA MAIS ALTA DO MAR; S_{MHW} - LINHA COSTEIRA COM BASE NO NÍVEL MÉDIO MÁXIMO DO MAR.	33
FIGURA 27 - SISTEMA GPS UTILIZADO NAS CAMPANHAS PARA AQUISIÇÃO DE DADOS.	38
FIGURA 28 - PROCESSO DE INTERPOLAÇÃO A PARTIR DE UMA REDE IRREGULAR DE TRIÂNGULOS.	39
FIGURA 29 - ASPETO DOS DADOS TOPOGRÁFICOS INSERIDOS NO QGIS: (A) GRELHA DE PONTOS E (B) POLÍGONO DELIMITADOR DA TIN.	40
FIGURA 30 - ASPETO ORIGINAL DA TIN (A) COM O POLÍGONO DELIMITADOR SOBREPOSTO (CONTORNO A PRETO) E (B) TIN DEPOIS DE SER RECORTADA.	40
FIGURA 31 - ESQUEMATIZAÇÃO DAS DUAS ZONAS COSTEIRAS EM ESTUDO.	46
FIGURA 32 - DEMONSTRAÇÃO DA ÁREA DA ZONA COSTEIRA EM ESTUDO.	47
FIGURA 33 - OBRAS DE PROTEÇÃO COSTEIRA (NESTE CASO, AS INFRAESTRUTURAS SÃO ESPORÕES) AO LONGO DE LINHA DE COSTA DA COSTA NOVA.	48
FIGURA 34 - PORTO DE AVEIRO.	48
FIGURA 35 - BARRA DE AVEIRO.	49
FIGURA 36 - TRECHO COSTEIRO ENTRE A PRAIA DA BARRA E A PRAIA DA VAGUEIRA.	50
FIGURA 37 - REPRESENTAÇÃO DO CORDÃO DUNAR QUE FAZ A SEPARAÇÃO DA RIA DE AVEIRO DO OCEANO ATLÂNTICO.	52
FIGURA 38 - MODELO DIGITAL DE TERRENO AO LONGO DA COSTA DE AVEIRO (BARRA-VAGUEIRA) A OUTUBRO DE 2013.	54
FIGURA 39 - MODELO DIGITAL DE TERRENO AO LONGO DA COSTA DE AVEIRO (BARRA-VAGUEIRA) A FEVEREIRO DE 2014.	55
FIGURA 40 - MODELO DIGITAL DE TERRENO AO LONGO DA COSTA DE AVEIRO (BARRA-VAGUEIRA) A OUTUBRO DE 2015.	55
FIGURA 41 - MODELO DIGITAL DE TERRENO AO LONGO DA COSTA DE AVEIRO (BARRA-VAGUEIRA) A JANEIRO DE 2016.	56
FIGURA 42 - MODELO DIGITAL DE TERRENO AO LONGO DA COSTA DE AVEIRO (BARRA-VAGUEIRA) A OUTUBRO DE 2017.	56
FIGURA 43 - MODELO DIGITAL DE TERRENO AO LONGO DA COSTA DE AVEIRO (BARRA-VAGUEIRA) A JANEIRO DE 2018.	57
FIGURA 44 - MODELO BATIMÉTRICO DIGITAL AO LONGO DA COSTA DE AVEIRO (VAGUEIRA-MIRA) A: (A) 2012, (B) 2013.	57
FIGURA 45 - MODELO BATIMÉTRICO DIGITAL AO LONGO DA COSTA DE AVEIRO (VAGUEIRA-MIRA) A: (A) 2015, (B) 2020.	58
FIGURA 46 - ILUSTRAÇÃO DO TRECHO COSTEIRO A SUL DO QUEBRA-MAR INFERIOR DA EMBOCADURA.	59
FIGURA 47 - REPRESENTAÇÃO DA COSTA SEMI-ENCASTRADA COMPREENDIDA ENTRE BUARCOS E FIGUEIRA DA FOZ.	62
FIGURA 48 - MODELO DIGITAL DE TERRENO AO LONGO DO SETOR FFOZ A: (A) NOVEMBRO DE 2014, (B) MAIO DE 2015, (C) NOVEMBRO DE 2016.	65
FIGURA 49 - MODELO DIGITAL DE TERRENO AO LONGO DO SETOR CGLL A MAIO DE 2015.	65
FIGURA 50 - MODELO DIGITAL DE TERRENO AO LONGO DO SETOR CGLL A DEZEMBRO DE 2016.	66

FIGURA 51 - MODELO BATIMÉTRICO DIGITAL AO LONGO DA COSTA DA FIGUEIRA DA FOZ A: (A) OUTUBRO DE 2014, (B) FEVEREIRO DE 2015.	66
FIGURA 52 - MODELO BATIMÉTRICO DIGITAL AO LONGO DA COSTA DA FIGUEIRA DA FOZ A: (A) OUTUBRO DE 2016, (B) JUNHO DE 2017	67
FIGURA 53 - MAPA DE DIFERENÇAS ENTRE MODELOS DIGITAIS DE TERRENO DESDE OUTUBRO DE 2013 A FEVEREIRO DE 2014.	73
FIGURA 54 - MAPA DE DIFERENÇAS ENTRE MODELOS DIGITAIS DE TERRENO DESDE FEVEREIRO DE 2014 A OUTUBRO DE 2015.	74
FIGURA 55 - MAPA DE DIFERENÇAS ENTRE MODELOS DIGITAIS DE TERRENO DESDE OUTUBRO DE 2015 A JANEIRO DE 2016.	75
FIGURA 56 - MAPA DE DIFERENÇAS ENTRE MODELOS DIGITAIS DE TERRENO DESDE JANEIRO DE 2016 A OUTUBRO DE 2017.	76
FIGURA 57 - MAPA DE DIFERENÇAS ENTRE MODELOS DIGITAIS DE TERRENO DESDE OUTUBRO DE 2017 A JANEIRO DE 2018.	77
FIGURA 58 - EVOLUÇÃO DA EROSIÃO, ACREÇÃO E DO BALANÇO SEDIMENTAR NA ÁREA DA PRAIA EMERSA DE AVEIRO.	79
FIGURA 59 - SÉRIES TEMPORAIS DE ALTURA DE ONDA SIGNIFICATIVA PARA 2013-2014 TENDO EM CONSIDERAÇÃO O VALOR LIMITE DE HS = 4,7M PARA DEFINIR UM EVENTO DE TEMPESTADE.	80
FIGURA 60 - SÉRIES TEMPORAIS DE ALTURA DE ONDA SIGNIFICATIVA PARA 2014-2015 TENDO EM CONSIDERAÇÃO O VALOR LIMITE DE HS = 4,7M PARA DEFINIR UM EVENTO DE TEMPESTADE.	80
FIGURA 61 - SÉRIES TEMPORAIS DE ALTURA DE ONDA SIGNIFICATIVA PARA 2015-2016 TENDO EM CONSIDERAÇÃO O VALOR LIMITE DE HS = 4,7M PARA DEFINIR UM EVENTO DE TEMPESTADE.	81
FIGURA 62 - SÉRIES TEMPORAIS DE ALTURA DE ONDA SIGNIFICATIVA PARA 2016-2017 TENDO EM CONSIDERAÇÃO O VALOR LIMITE DE HS = 4,7M PARA DEFINIR UM EVENTO DE TEMPESTADE.	81
FIGURA 63 - SÉRIES TEMPORAIS DE ALTURA DE ONDA SIGNIFICATIVA PARA 2017-2018 TENDO EM CONSIDERAÇÃO O VALOR LIMITE DE HS = 4,7M PARA DEFINIR UM EVENTO DE TEMPESTADE.	82
FIGURA 64 - MAPA DE DIFERENÇAS ENTRE MODELOS DIGITAIS DE TERRENO (BATIMÉTRICO) DESDE: (A) 2012 A 2013, (B) 2013 A 2015, (C) 2015 A 2020.	83
FIGURA 65 - EVOLUÇÃO DA EROSIÃO, ACREÇÃO E DO BALANÇO SEDIMENTAR NA ÁREA DA PRAIA SUBMERSA DE AVEIRO.	85
FIGURA 66 - SÉRIES TEMPORAIS DE ALTURA DE ONDA SIGNIFICATIVA PARA 2012-2013 TENDO EM CONSIDERAÇÃO O VALOR LIMITE DE HS = 4,7M PARA DEFINIR UM EVENTO DE TEMPESTADE.	86
FIGURA 67 - SÉRIES TEMPORAIS DE ALTURA DE ONDA SIGNIFICATIVA PARA 2013-2015 TENDO EM CONSIDERAÇÃO O VALOR LIMITE DE HS = 4,7M PARA DEFINIR UM EVENTO DE TEMPESTADE.	86
FIGURA 68 - SÉRIES TEMPORAIS DE ALTURA DE ONDA SIGNIFICATIVA PARA 2015-2020 TENDO EM CONSIDERAÇÃO O VALOR LIMITE DE HS = 4,7M PARA DEFINIR UM EVENTO DE TEMPESTADE.	87
FIGURA 69 - MAPA DE DIFERENÇAS ENTRE MODELOS DIGITAIS DE TERRENO DESDE: (A) NOVEMBRO DE 2014 A MAIO DE 2015, (B) MAIO DE 2015 A NOVEMBRO DE 2016.	89
FIGURA 70 - EVOLUÇÃO DA EROSIÃO, ACREÇÃO E DO BALANÇO SEDIMENTAR NA ÁREA DA PRAIA EMERSA DA FIGUEIRA DA FOZ NO SETOR FFOZ.	90
FIGURA 71 - SÉRIES TEMPORAIS DE ALTURA DE ONDA SIGNIFICATIVA PARA 2014-2015 TENDO EM CONSIDERAÇÃO O VALOR LIMITE DE HS =4,7M PARA DEFINIR UM EVENTO DE TEMPESTADE.	91

FIGURA 72 - SÉRIES TEMPORAIS DE ALTURA DE ONDA SIGNIFICATIVA PARA 2015-2016 TENDO EM CONSIDERAÇÃO O VALOR LIMITE DE HS = 4,7M PARA DEFINIR UM EVENTO DE TEMPESTADE.	91
FIGURA 73 - MAPA DE DIFERENÇAS ENTRE MODELOS DIGITAIS DE TERRENO DESDE MAIO DE 2015 A DEZEMBRO DE 2016 (ESQUERDA: SETOR COVA GALA-LAVOS; DIREITA: SETOR LAVOS-LEIROSA).	92
FIGURA 74 - EVOLUÇÃO DA EROÇÃO, ACREÇÃO E DO BALANÇO SEDIMENTAR NA ÁREA DA PRAIA EMERSA DA FIGUEIRA DA FOZ NO SETOR CGLL.	93
FIGURA 75 - SÉRIES TEMPORAIS DE ALTURA DE ONDA SIGNIFICATIVA PARA 2015-2016 TENDO EM CONSIDERAÇÃO O VALOR LIMITE DE HS = 4,7M PARA DEFINIR UM EVENTO DE TEMPESTADE.	94
FIGURA 76 - MAPA DE DIFERENÇAS ENTRE MODELOS DIGITAIS DE TERRENO (BATIMÉTRICO) DESDE: (A) OUTUBRO DE 2014 A FEVEREIRO DE 2015, (B) FEVEREIRO DE 2015 A OUTUBRO DE 2016, (C) OUTUBRO DE 2016 A JUNHO DE 2017.	95
FIGURA 77 - EVOLUÇÃO DA EROÇÃO, ACREÇÃO E DO BALANÇO SEDIMENTAR NA ÁREA DA PRAIA SUBMERSA DA FIGUEIRA DA FOZ.	97
FIGURA 78 - MAPA DAS ÁREAS DE DRAGAGENS/DEPOSIÇÕES NA FIGUEIRA DA FOZ.	98

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - VISÃO GERAL DOS INDICADORES SOCIOECONÓMICOS DAS ZONAS COSTEIRAS.	20
TABELA 2 - OBJETIVOS DAS INTERVENÇÕES DE ALIMENTAÇÃO ARTIFICIAL.	24
TABELA 3 - ENUMERAÇÃO DOS GEOINDICADORES COSTEIROS PARA AMBIENTES DE COSTA ARENOSA (UNIDADES: ESCALA QUANTITATIVA - COMPRIMENTO (L) E TEMPO (T); ESCALA QUALITATIVA (Q)).	35
TABELA 4 – VOLUME, ÁREA E ALTURAS DA PRAIA EMERSA EM CADA ANO.	72
TABELA 5 - GRUPOS DE PERÍODOS ANUAIS PARA COMPARAÇÃO DE DADOS TOPOGRÁFICOS.	72
TABELA 6 – CÁLCULOS DE BALANÇOS SEDIMENTARES PARA A ÁREA DA PRAIA EMERSA DE AVEIRO.	78
TABELA 7 - CÁLCULOS DE BALANÇOS SEDIMENTARES PARA A ÁREA DA PRAIA SUBMERSA DE AVEIRO.	84
TABELA 8 – VOLUME, ÁREA E ALTURAS DA PRAIA EMERSA EM CADA ANO.	88
TABELA 9 - CÁLCULOS DE BALANÇOS SEDIMENTARES PARA A ÁREA DA PRAIA EMERSA DA FIGUEIRA DA FOZ NO SETOR FFOZ.	90
TABELA 10 - VOLUME, ÁREA E ALTURAS DA PRAIA EMERSA EM CADA ANO.	92
TABELA 11 - CÁLCULOS DE BALANÇOS SEDIMENTARES PARA A ÁREA DA PRAIA EMERSA DA FIGUEIRA DA FOZ SETOR CGLL.	93
TABELA 12 - CÁLCULOS DE BALANÇOS SEDIMENTARES PARA A ÁREA DA PRAIA SUBMERSA DA FIGUEIRA DA FOZ.	96
TABELA 13 - DADOS SOBRE OPERAÇÕES DE DRAGAGENS/DEPOSIÇÕES REALIZADAS DURANTE 2014- 2019.	97

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Enquadramento	1
1.2	Objetivos da investigação	7
1.3	Abordagem.....	8
1.4	Estrutura da dissertação	8
2	REVISÃO BIBILOGRÁFICA.....	13
2.1	Hidrodinâmica costeira	13
2.1.1	Propagação de onda.....	13
2.1.2	Processos de transformação de ondas.....	14
2.1.3	Corrente de retorno ou <i>rip current</i>	17
2.1.4	Corrente longilitoral	18
2.2	Panorama geral das zonas costeiras e a sua gestão em Portugal.....	20
2.3	Geo-indicador Costeiro	33
3	USO DE FERRAMENTAS <i>QGIS</i>	38
3.1	Métodos e Metodologias de interpolação.....	38
3.2	Cálculo de volumes	41
4	CASOS DE ESTUDO.....	45
4.1	Embocadura de Aveiro	47
4.1.1	Dinâmica sedimentar	50
4.1.1.1	Agitação Marítima	50
4.1.1.2	Caracterização Morfológica	51
4.1.2	Dados topográficos.....	53
4.1.3	Dados batimétricos	53

4.1.4	Modelos digitais de terreno	54
4.2	Embocadura da Figueira da Foz	59
4.2.1	Dinâmica sedimentar	60
4.2.1.1	Agitação Marítima	60
4.2.1.2	Caracterização Morfológica	61
4.2.2	Dados topográficos.....	63
4.2.3	Dados batimétricos	64
4.2.4	Modelos Digitais de Terreno	64
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	71
5.1	Embocadura de Aveiro	71
5.1.1	Evolução da praia emersa	71
5.1.2	Evolução da praia submersa.....	83
5.2	Embocadura da Figueira da Foz	88
5.2.1	Evolução da praia emersa	88
5.2.1.1	Setor Buarcos – Figueira da Foz (FFOZ).....	88
5.2.1.2	Setor Cova Gala – Lavos – Leirosa (CGLL)	92
5.2.2	Evolução da praia submersa.....	95
6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	101
6.1	CONCLUSÕES.....	101
6.2	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	103
7	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO.....	107
7.1	WEBSITES	110

INTRODUÇÃO

- 1.1 Enquadramento
- 1.2 Objetivos da investigação
- 1.3 Abordagem
- 1.4 Estrutura da dissertação

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

O litoral é um dos ambientes naturais mais dinâmicos e frágeis, onde o equilíbrio natural pode ser facilmente alterado. Na história da Humanidade, as primeiras povoações instalaram-se nas zonas ribeirinhas e costeiras, pois o litoral possibilitava melhores condições de vida com acesso ilimitado a recursos naturais muito atrativos comparativamente ao interior do país, onde escasseavam as oportunidades de emprego e a qualidade de vida era mais baixa. Era nas zonas litorais que se procedia às grandes transações comerciais e, por conseguinte, a concentração de grandes riquezas, sendo por isso, estas zonas, alvo de conquista por parte de outros povos. As cidades costeiras, para além, do grande poderio económico também tinham muita atividade cultural, o que lhes granjeava prestígio mundial, o que por sua vez, atraía pessoas importantes, com poder económico para as cidades, criando novas rotas de comércio. Referente aos tempos que decorrem na atualidade, pode-se afirmar que muito do comércio ainda passa pelas zonas costeiras, bem como, a procura destes locais por pessoas “dos quatro cantos do mundo”. Por tais factos como os descritos e outros muito semelhantes, a faixa costeira ao longo dos tempos tem sido uma das zonas mais atrativas ao Homem e é, por vezes ainda, o único local que oferece condições para o Homem se fixar. Existe assim em Portugal um contraste entre as regiões do interior, com densidades abaixo dos 20 habitantes/km², e as zonas costeiras, com uma densidade média de 215 habitantes/km², bem acima da densidade média na União Europeia, que é de 114 habitantes/km² (European Environment Agency, 2006). Estima-se que cerca de 75% da população portuguesa viva atualmente na zona costeira e que este número tenha tendência a aumentar significativamente nos próximos anos (Pereira e Coelho, 2013). A faixa costeira mundial totaliza apenas cerca de 500.000 km e, todavia, 80% da população mundial habita nela, não obstante da sua largura ser reduzida (Borges *et al.*, 2004). Deste modo, é de esperar que a maioria dos centros de decisão política, económica e técnica estejam concentrados na faixa costeira, bem como, uma grande parte das indústrias e atividades económicas rentáveis de cada país. Tal situação exponencia a migração das populações do interior para o litoral, acentuando a pressão sobre esta estreita faixa dinâmica. Na esmagadora maioria dos casos, o rápido crescimento populacional e a expressão económica originaram conflitos entre a ocupação antrópica da faixa do litoral e os processos costeiros que se traduzem, nomeadamente, pela erosão, pelo assoreamento, pelas transformações sazonais do perfil de praia, pela mobilidade das dunas, pelo galgamento e inundação costeira durante eventos tempestuosos e que representam na realidade apenas estados transitórios de um

equilíbrio dinâmico (que decorre em escalas temporais diversas) entre os agentes modeladores do litoral, os sedimentos neles residentes e as formas resultantes. Esta forma excessiva de agir, influenciada pelos interesses político-económicos, permitiu chegar aos dias de hoje, com todas as comodidades atualmente disponíveis, mas também com as preocupações ambientais consequentes, que não deixam de se fazer sentir. De entre as diversas preocupações ambientais, sobre as quais, hoje, se reflete um pouco por todo o mundo, a erosão costeira revela-se como a mais alarmante e com um impacto direto no dia a dia da sociedade. A erosão costeira resulta de um conjunto de processos complexos que têm lugar na orla costeira cuja dinâmica envolve escalas temporais muito distantes entre si (Mendes e Pinho, 2008). O sistema praia-oceano não se pode considerar em situação de equilíbrio morfodinâmico porque as praias não se qualificam como sistemas fechados, sendo a areia constantemente transportada naquele sistema.

As atividades do ser humano, como já referido, são consideradas como as principais causadoras pelos efeitos erosivos decorrentes nas zonas costeiras, para além, das causas naturais como os ventos, marés e agitação marítima. As inúmeras intervenções realizadas pelo Homem no Planeta Terra, ao longo dos anos, têm influência direta nos acontecimentos observados e abaixo elencados:

- **Elevação do nível médio da superfície oceânica**

Aumento da produção de gases que contribuem para o efeito de estufa, elevando cada vez mais a temperatura da atmosfera, e, desta forma, aumentando significativamente de dia para dia o degelo dos glaciares e como consequência a expansão dos oceanos.

- **Diminuição da quantidade de sedimentos fornecidos ao litoral**

As construções de barragens nas redes fluviais retêm a montante os sedimentos que iriam alimentar as praias e a construção de estruturas portuárias e outras estruturas que implicam a extração de areia das dunas.

- **Degradação antropogénica das estruturas naturais**

A destruição de estruturas naturais deve-se à degradação antropogénica das formas costeiras naturais resultantes induzidas pela sua ocupação com construções.

Estas alterações ambientais têm como consequência o recuo da “linha de costa” (Figura 1) que representa um problema sério para a estrutura económica e logística do litoral, especialmente, nos casos em que as taxas de recuo começaram a ser alarmantes, os países afetados têm tentado encontrar variadíssimas formas de impedir a progressão deste processo – será, provavelmente, muito difícil parar a erosão e o recuo da “linha de costa”, pois trata-se de um processo natural, que apenas pode ser retardado ou minimizado.

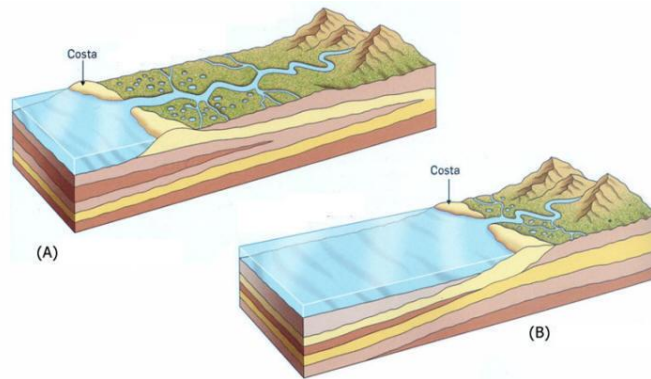


Figura 1 - Representação do recuo da "linha de costa", sendo (A) o "antes" e (B) o "depois".

Fonte: Adaptado do www.colegiovascodagama.pt.

Tradicionalmente, a resposta a este fenómeno consiste em “proteger” o perfil que ainda subsiste, recorrendo a um género de construção de infraestruturas conhecidas por obras pesadas de engenharia costeira. O intuito da construção destas infraestruturas, como por exemplo, esporões (Figura 2) e quebra-mares destacados (Figura 3) é promover uma acumulação local de sedimentos para preencher o défice sedimentar existente, e, de certa forma, atenuar a elevação do nível do mar, ou então, estruturas como obras transversais (Figura 4) que têm como função impedir inundações e/ou minimizar os galgamentos.



Figura 2 - Exemplificação de esporões.

Fonte: Adaptado de Jornal CRESCER.



Figura 3 - Exemplificação de quebra-mares destacados.

Fonte: Adaptado de Jornal ECTeTAL.

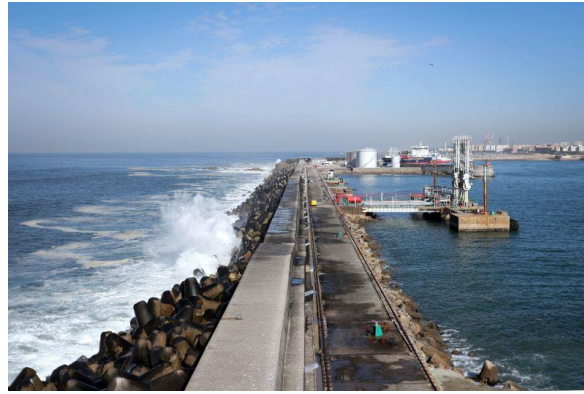


Figura 4 - Exemplificação de obras transversais.

Fonte: Jornal Notícias.

No entanto, nas últimas décadas do séc. XX, observou-se que a construção das infraestruturas não estavam, de forma geral, a solucionar o problema, aliás, em alguns casos, agravou e criou novas zonas de déficit sedimentar como é demonstrado na Figura 5. O aparecimento destas zonas deve-se à interrupção do transporte natural dos sedimentos ao longo da costa.

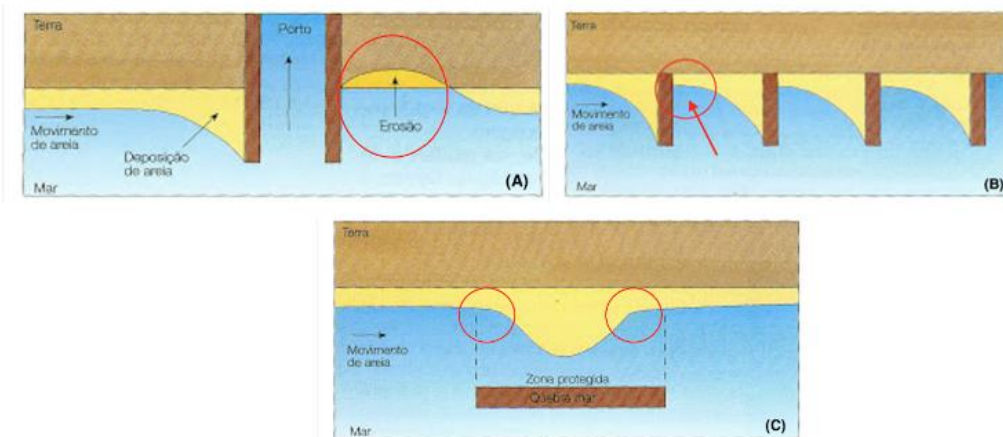


Figura 5 - Representação das zonas em déficit sedimentar. (A) Estações Portuárias, (B) Esporões, (C) Quebra-mares destacados.

Fonte: Adaptado de e-portfolio.

A construção das infraestruturas de obras pesadas de engenharia costeira provoca a alteração dos processos naturais do transporte sedimentar, que é originado pela ação das ondas, correntes e marés, sendo que desta forma, no caso das obras longitudinais a troca entre as dunas e as praias é inibida e, no caso dos esporões e quebra-mares destacados, a areia é retida a barlamar da obra. Com a retenção dos sedimentos a barlamar da estrutura, as praias a sotamar começam a sofrer processos de erosão (Figura 6), originando um desequilíbrio no balanço de massas, e, correspondente, recuo da “linha de costa”.



Figura 6 - Representação da acumulação de sedimentos a barlamar e da ação erosiva a sotamar.

Fonte: Adaptado do Google.

Face à situação, desenvolveram-se processos que tentam restabelecer o equilíbrio natural de massas. Como tal, começou a ganhar expressão e popularidade uma técnica nova de defesa costeira que envolve a regeneração de praias, sendo utilizada em situações de emergência e de curto prazo (i.e., mitigação de erosão induzida por temporais), ou como estratégia de gestão à escala regional e de longo prazo (i.e., mitigação de tendência erosiva instalada e vulnerabilidade à subida do nível médio do mar) (Egmond, van *et al.*, 2018; USAID, 2009). A nova técnica denomina-se “alimentação artificial de areias” e consiste na extração de grandes quantidades de sedimentos de boa qualidade de um local de empréstimo para posterior depósito, por exemplo, na zona da berma da praia emersa que apresenta déficit (ver Figura 7). Desta forma, torna-se possível a promoção do seu alargamento no sentido do mar, na duna adjacente, e favorecer o seu robustecimento volumétrico e altimétrico, ou na praia submarina, nos fundos proximais (i.e., *nearshore*), ou no domínio imerso do perfil de praia de modo a proporcionar a dissipação da energia das ondas antes de atingir a praia emersa. A introdução de sedimentos no sistema praia-duna (i.e., dentro do perfil ativo da praia), através das alimentações artificiais, concorre para a reposição parcial ou total do balanço sedimentar litoral num determinado local, para além de proporcionar proteção a parcelas valiosas do território do ponto de vista ambiental e estratégico, e ainda, permitir preservar o estado natural das praias, potenciando as suas capacidades recreativas e balneares.

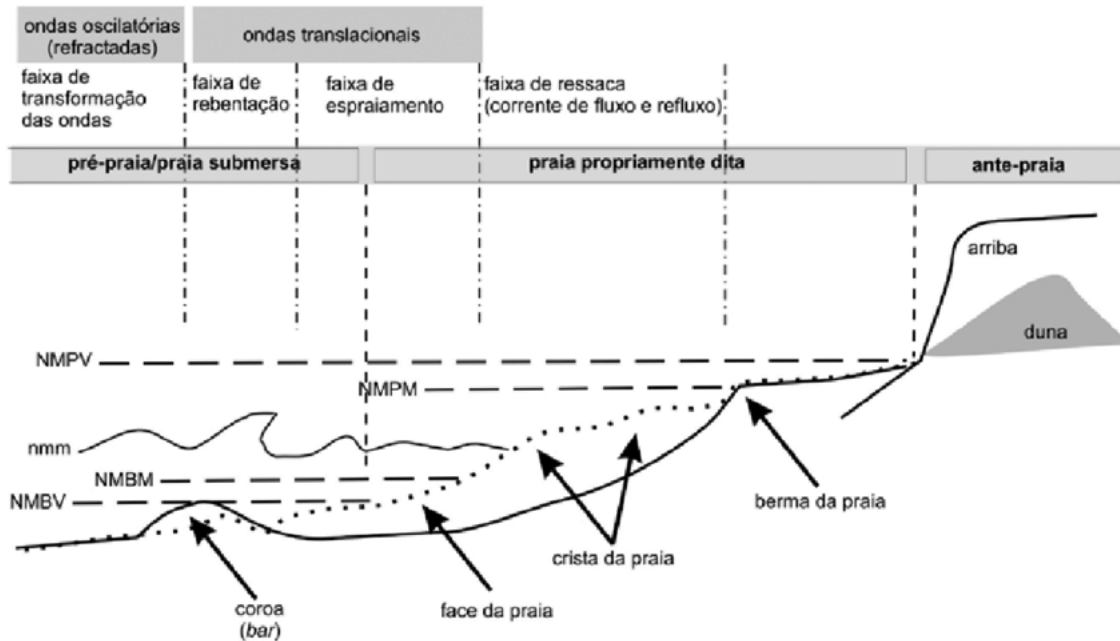


Figura 7 - Diferenciação morfo-dinâmica da praia.

Fonte: Ramos-Pereira (2008).

Existem inúmeras formas de executar a alimentação artificial de areias, porém, sempre associadas a sistemas que permitem uma certa mobilidade. A aplicação está dependente das condições locais (e.g. tendência erosiva de longo prazo, grau de exposição e encaixe da praia, comprimento, taxas de transporte sedimentar transversal e longitudinal) e respetivas condições de forçamento meteorológico e oceanográfico. O comportamento e evolução de um enchimento são influenciados pelo padrão regional de transporte sedimentar, magnitude da energia das ondas, características granulométricas da areia colocada, variabilidade local do transporte longilitoral, presença de obras de “engenharia costeira pesada”, existência de alimentação artificial de praias adjacentes e variações na orientação da linha de costa (Davis *et al.*, 2000). De entre estas condições resulta o grau de sucesso que pode atingir uma alimentação artificial de areias, sendo muito variável e específico, de local para local, podendo até um enchimento ter uma duração de apenas alguns meses ou de várias décadas. Contudo, é uma técnica fundamental e de extrema importância utilizada em muitos países.

As alimentações de praia devem assentar numa estratégia concentrada de índole nacional de mitigação da erosão costeira e de recuperação/valorização de áreas de praia consideradas estratégicas por razões ambientais, sociais e económicas (turismo). Deve ter em consideração o balanço sedimentar alargado, no tempo e no espaço, procurando alcançar uma gestão integrada dos sedimentos litorais, desde as suas fontes até aos sumidouros.

No entanto, a ação a que esta solução está sujeita, obrigam a que seja bem equacionada e, acima de tudo, acompanhada por outras operações e decisões estruturantes que

ajudem a minimizar os problemas antrópicos que, em muitos casos, estão na origem do aumento das taxas de erosão, bem como, definir uma estratégia coerente de monitorização e manutenção dos novos perfis. Esta situação mundial instigou uma demanda geral por trabalhar com soluções da natureza, ou seja, abordagens sustentáveis de manutenção costeira capazes de não apenas lidar com o crescimento económico nas áreas urbanas, mas também de preservar/manter o ecossistema em que opera, protegendo assim as gerações futuras.

1.2 Objetivos da investigação

Esta dissertação visa estudar balanços sedimentares nas proximidades de duas embocaduras, mais especificamente, as zonas das embocaduras de Aveiro e da Figueira da Foz. Nestes troços os fenómenos de erosão costeira têm-se vindo a agravar devido, sobretudo, à retenção de sedimentos nos molhes de acesso aos portos, que são transportados pela deriva litoral e à extração de areias das praias. Ao longo dos anos tem-se feito sentir o acentuado recuo da linha de costa, havendo notícias de galgamentos e de destruição de bens e serviços com a ocorrência de eventos de temporal. As elevadas pressões demográficas sobre estas zonas levaram a uma artificialização do litoral e a profundas alterações na dinâmica costeira. Por estes motivos é necessária uma monitorização regular destas zonas e o foco deste estudo procura caracterizar os balanços sedimentares nos setores litorais destas embocaduras face ao impacto das intervenções humanas e, também, de fenómenos naturais sobre os sistemas costeiros.

Nesse sentido, a caracterização dos balanços sedimentares efetuada a partir da análise da variabilidade morfológica da praia emersa e submersa do ponto de vista da variabilidade interanual observada. Procura-se relacionar com eventuais impactos de intervenções de alimentação artificial, dragagens e ocorrências de eventos de temporal durante o período de análise, visando uma caracterização de implicações ao nível da gestão litoral.

Os principais objetivos da elaboração desta dissertação passam por:

- Caracterizar morfológicamente a praia emersa e submersa e os balanços sedimentares dos setores estudados;
- Caracterizar o clima de agitação marítima nos períodos analisados;
- Realizar Modelos Digitais de Terreno com os dados topográficos e batimétricos obtidos em campanhas de campo;
- Calcular volumes sedimentares para estes setores;

- Relacionar as alterações morfológicas com recurso a séries temporais de dados de agitação marítima.

1.3 Abordagem

Para alcançar os objetivos estabelecidos para este trabalho, diferentes abordagens foram adotadas para atender a todos os tópicos, conforme descrito:

- Revisão de literatura para recolha de informações relevantes sobre conceitos de hidrodinâmica e de geo-indicador costeiro, por forma a auxiliar uma compreensão das dinâmicas sedimentares nas embocaduras dos portos de Aveiro e Figueira da Foz e seus efeitos nas zonas costeiras;
- Geração de Modelos Digitais de Terreno com recurso a dados topográficos e batimétricos obtidos em campanhas de campo;
- Análise e tratamento de dados através do uso da ferramenta QGIS para através de Modelos Digitais de Terreno poder estimar volumes e determinar balanços sedimentares;
- Desenvolvimento de Mapas de Diferenças de Volumes através dos modelos digitais de terreno para análise de locais de erosão e acreção sedimentar.

1.4 Estrutura da dissertação

A dissertação está dividida em seis capítulos.

O primeiro capítulo começa com o enquadramento do trabalho, descrevendo de uma forma genérica o panorama histórico na ocupação de zonas litorais e respetivas repercussões que nela se fizeram sentir, bem como, algumas soluções adotadas. O capítulo encerra com a apresentação dos objetivos, da metodologia utilizada e a descrição da estrutura da dissertação.

O segundo capítulo apresenta a revisão bibliográfica, onde se encontra assuntos relacionados sobre a temática da alimentação artificial das praias, bem como, a grande maioria das variáveis envolvidas. Os assuntos passam desde conceitos de hidrodinâmica costeira e de geo-indicadores costeiros a um apanhado geral das intervenções de alimentação artificial realizadas em Portugal.

O terceiro capítulo é representado pela metodologia a ser utilizada ao longo do desenvolvimento do trabalho, consistindo no tratamento de dados com o recurso a ferramentas do *software QGIS* para a interpolação de dados para cálculos de balanços sedimentares e cálculos de volumes.

O quarto capítulo é constituído pelo desenvolvimento do estudo, que consiste, primeiramente, numa abordagem às dinâmicas sedimentares das embocaduras em análise, e de seguida, à exploração e familiarização das ferramentas do *software QGIS* tanto para a geração de modelos digitais de terreno como para a preparação para determinação de balanços sedimentares.

O quinto capítulo faz referência à apresentação dos dados obtidos pelo programa *QGIS*, e conseqüentemente, a sua análise e discussão, tendo como ponto de partida a tendência evolutiva da praia emersa e da praia submersa.

Por fim, o sexto capítulo apresenta as conclusões e reflexões retiradas do trabalho desenvolvido, assim como as sugestões de melhoria necessárias para futuros trabalhos.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- 2.1 Hidrodinâmica costeira
- 2.2 Panorama geral das zonas costeiras e a sua gestão em Portugal
- 2.3 Geo-indicador Costeiro

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Hidrodinâmica costeira

2.1.1 Propagação de onda

A formação de ondas deve-se a uma manifestação de forças verticais que atuam na água com tendência a deformá-la contra a ação da gravidade e contra a sua tensão superficial. Assim que a deformação ocorre, a força gravítica e a tensão superficial atuam de modo a restabelecer a superfície da água para a sua posição de equilíbrio. Durante este processo, a inércia subjacente à massa de água faz com que a sua superfície ultrapasse a posição de equilíbrio estabelecendo, deste modo, um movimento oscilatório a nível superficial. Esta oscilação perturba as massas de água adjacentes, implicando a propagação frontal de uma onda. À medida que as ondas se propagam para a costa, os seus movimentos oscilatórios permanecem devido à interação da força gravítica com a inércia das massas de água, e, interagem com o fundo oceânico sofrendo, no entanto, modificações devido a diferentes processos que levam à alteração da altura e comprimento de onda, bem como, forma, velocidade e direção da onda (Figura 8). Os principais processos que levam à transformação das ondas são o empolamento, refração, difração e rebentação (e.g., Kamphuis, 2020; Reeve *et al.*, 2018).

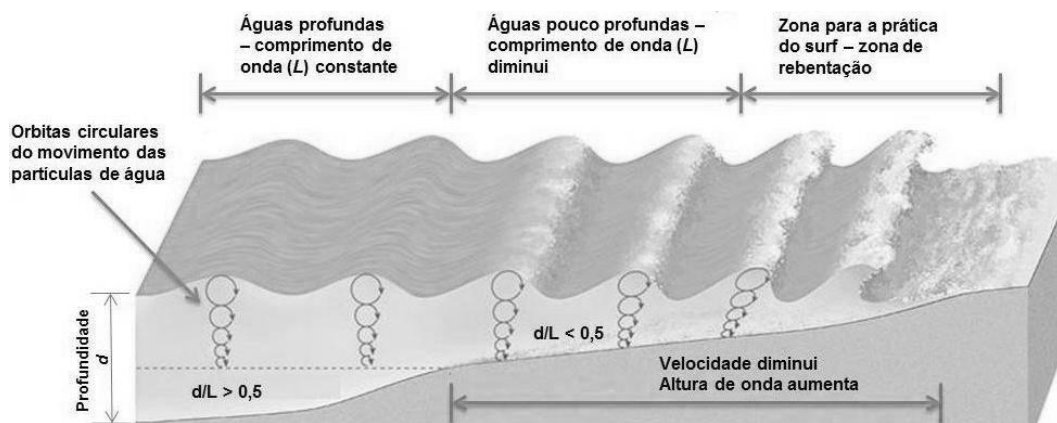


Figura 8 - Ilustração da Direção de Propagação de Ondas.

Fonte: Adaptado de Google.

2.1.2 Processos de transformação de ondas

Empolamento: O empolamento das ondas consiste na modificação da altura da onda provocada pela aproximação da onda à costa (redução da profundidade) e consequente redução do comprimento de onda e velocidade de propagação. Nas águas pouco profundas a energia é transportada pelo grupo de ondas e não pelas ondas individuais, porém, a velocidade do grupo de ondas e a velocidade das ondas individuais é a mesma. Apesar de em águas pouco profundas a velocidade de onda não depender da profundidade, à medida que esta diminui a velocidade da onda decresce em sua função, logo, para manter o fluxo de energia constante a onda sofre transformações, por forma a que a energia por unidade de área aumente. Portanto, se a quantidade de ondas num dado período é o mesmo, mas a velocidade diminui, cada onda terá que transportar mais energia. Atendendo a que a energia de onda é em função da altura da onda, para se adaptar a estas condições as ondas vão progressivamente aumentando de altura (Figura 9). O período da onda, todavia, mantém-se constante pelo que se verifica, também, a diminuição do comprimento de onda. Tal significa, que o declive de onda vai aumentando progressivamente, atingindo a muito pequenas profundidades, o valor limite e acaba por ocorrer a rebentação da onda (Kamphuis, 2020; Reeve *et al.*, 2018).

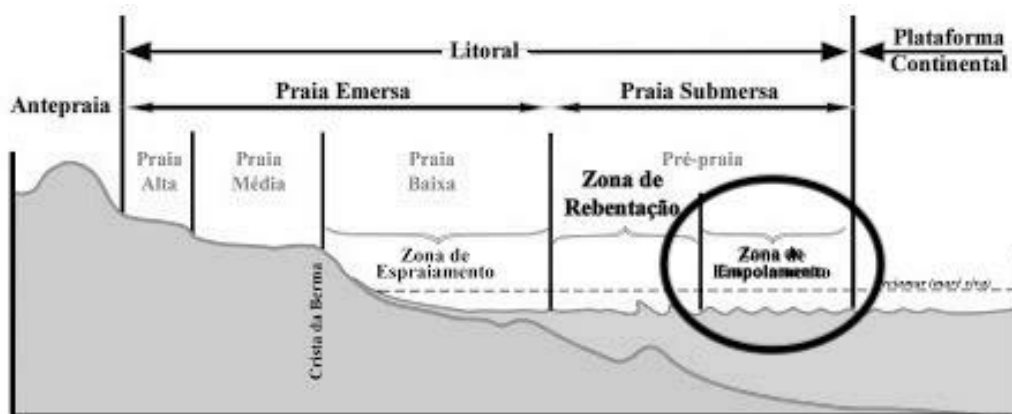


Figura 9 - Ilustração da Zona de Empolamento rodeada por um círculo.

Fonte: Adaptado de Google.

Refração: A refração ocorre em consequência da redução de profundidade a que a onda se desloca e, consequentemente, da diminuição da sua velocidade de fase. À medida que a onda se aproxima da costa, os segmentos da crista que se deslocam a menor profundidade propagam-se mais lentamente do que os segmentos em que a profundidade é maior. Assim, a crista tende a curvar-se adaptando-se à morfologia do fundo oceânico e alinhando-se à costa (Figura 10).

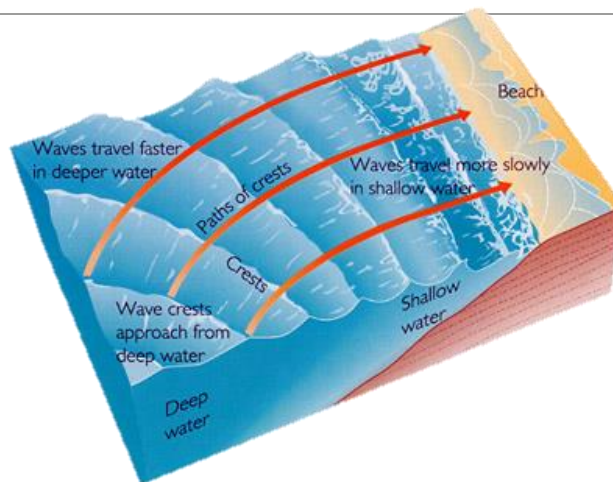


Figura 10 - Refração da onda induzida pela alteração da profundidade.

Fonte: www.if.ufrgs.br.

A refração das ondas pode ser analisada pelo comportamento dos raios de onda, perpendiculares à crista da onda em todos os pontos do seu deslocamento. A energia da onda entre raios de onda mantém-se constante, o que significa que, se a distância entre os raios diminui, há maior concentração de energia. Para acomodar esses níveis de energia, a onda aumenta de altura. No entanto, se a distância entre os raios de onda aumentar há dispersão de energia e, conseqüentemente, diminuição da altura da onda. Devido à configuração genérica da batimetria junto às partes salientes (cabos) e reentrantes (baías) da costa, verifica-se uma convergência dos raios de onda junto aos primeiros e uma divergência junto às segundas, como ilustrado na Figura 11.

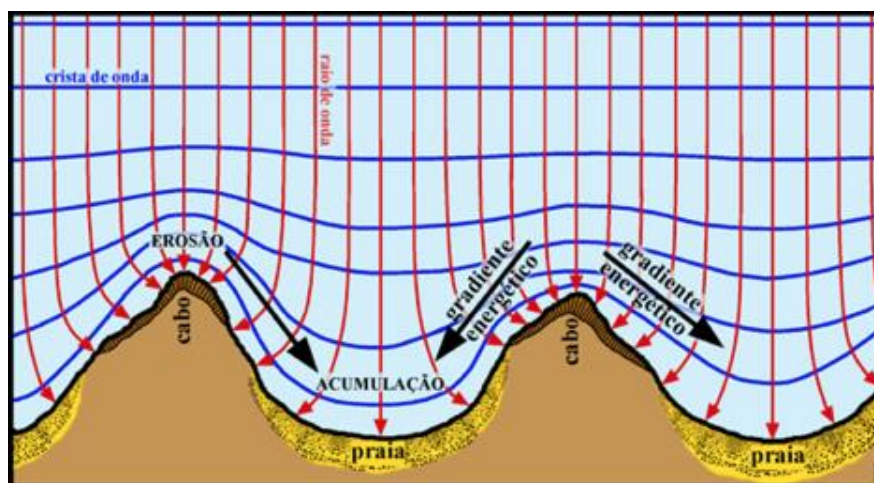


Figura 11 - Esquema de refração da onda que resulta da concentração de energia nas partes salientes da costa e da dispersão nas partes reentrantes.

Fonte: Glossário da Revista de Gestão Costeira Integrada.

Constituem-se, assim, gradientes energéticos entre as zonas salientes e as reentrantes, do que resulta o transporte sedimentar dos cabos para as baías, onde normalmente se

verificam acumulações sedimentares. Este é um processo muito importante na determinação da magnitude e direção do transporte de sedimentos longitudinal à costa, do potencial de erosão das ondas e dos impactos das ondas em estruturas de proteção costeira.

As ondas são também refratadas por correntes e outros fenómenos que façam com que uma parte da onda se desloque mais lentamente do que a outra. É o que se observa, por exemplo, nas zonas onde existem correntes de retorno junto à praia.

Difração: A difração da onda corresponde a um fluxo de energia resultante de uma distribuição espacial não uniforme da altura de onda que provoca a modificação da direção de propagação e o aumento do comprimento de onda. O principal efeito da difração consiste na transmissão lateral da energia ao longo das cristas, no sentido das zonas em que a altura de onda é menor.

As ondas, ao incidirem nas extremidades de um obstáculo, difratam-se em ambas as direções, promovendo, no litoral localizado na zona de sombra desse obstáculo, transporte sedimentar convergente (Figura 12). Se o obstáculo (natural ou artificial) estiver relativamente próximo do litoral, a acumulação sedimentar aludida acaba, com o tempo, por formar um tómbolo.

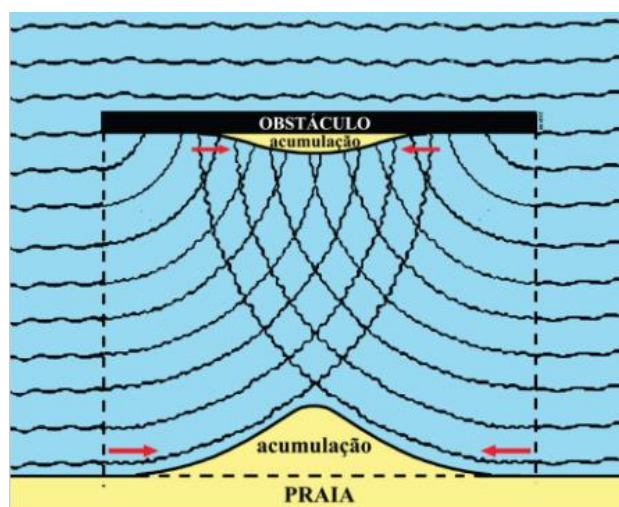


Figura 12 - Esquema de difração das ondas num obstáculo (e.g. quebra-mar destacado).

Fonte: Glossário da Revista de Gestão Costeira Integrada.

A difração da onda é um fenómeno que é aproveitado com frequência na engenharia costeira para, com a construção de quebra-mares destacados, propiciar menor energia da agitação marítima junto à entrada de portos, para atenuar problemas de erosão costeira ou para ampliar a largura útil de praias.

Rebentação: À medida que a onda se propaga para a costa, a velocidade de fase da crista e da cava têm valores distintos. A primeira com valor superior, leva a que a crista da onda comece a inclinar-se para a frente e quando esta inclinação atinge um valor máximo a onda rebenta. Assim, a rebentação inicia-se quando a onda se torna instável devido a uma redução da profundidade do local.

2.1.3 Corrente de retorno ou *rip current*

O empolamento e a rebentação da onda originam um fluxo de massa de água em direção à costa e, por forma a garantir a conservação da massa, estabelece-se um refluxo do escoamento, que flui da costa para o mar através de uma “abertura” criada na zona de rebentação. Este fenómeno é denominado de correntes de retorno, agueiros ou *rip currents* (Figura 13).

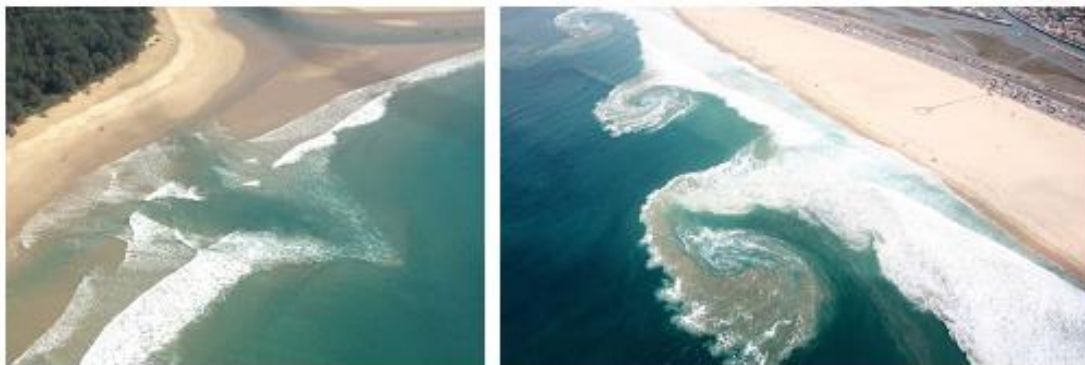


Figura 13 - Ilustração de correntes de retorno de diferentes dimensões.

Fonte: The Coastal Cottage Company.

Após a passagem da zona de rebentação abre-se em leque e divide-se em ramos que regressam à costa, tal acontecimento, permite compensar o excesso de acumulação de água junto à costa provocada pela incidência das ondas. O fluxo de retorno ocorre então como uma corrente dirigida para o mar entre o fundo e a cava das ondas, uma vez que este escoamento ocorre na parte inferior da coluna de água, onde as concentrações de sedimentos são mais elevadas, este acaba por se tornar um mecanismo muito importante para a transferência de sedimentos para o largo e na migração de barras próximas à costa.

Okayasu *et al.* (1987), realizaram experiências em laboratório com ondas regulares de modo a classificar as características dos campos de velocidade na zona de rebentação, obtendo a distribuição de correntes apresentada na Figura 14. Esta figura ilustra a corrente de retorno que tem velocidades reduzidas junto à costa, aumentando à medida que se afasta da mesma, atingindo um valor máximo, aproximadamente, a meio da zona de rebentação, reduzindo, à posteriori, a sua velocidade na zona mais ao largo.

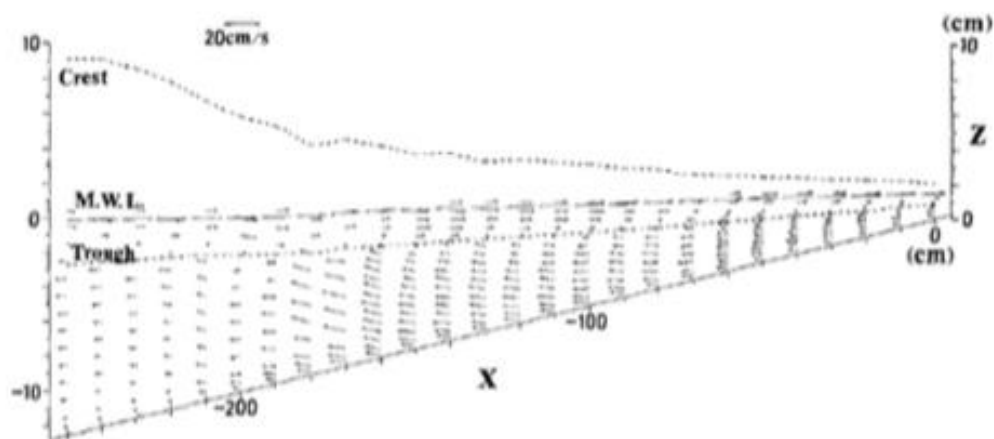


Figura 14 - Distribuição da velocidade de escoamento associada à propagação de uma onda regular

Fonte: Okayasu *et al.* (1987).

2.1.4 Corrente longilitoral

Quando as ondas rebentam com um determinado ângulo em relação à praia, a mesma crista de onda liberta energia em diferentes intervalos de tempo e secções da costa, gerando uma corrente que flui paralelamente à costa, estando confinada junto a esta. A corrente litoral estende-se por toda a largura da zona de rebentação, atingindo velocidade máxima a meio desta, reduzindo de intensidade rapidamente ao afastar-se desta área.

Na Figura 15 está representada a distribuição da velocidade da corrente litoral para ondas regulares. Este perfil é irrealista porque assume um valor máximo no ponto de rebentação e decresce até à praia. Por outro lado, é apresentado um perfil mais realista para as ondas irregulares, em que se verifica uma distribuição de velocidades mais suave.

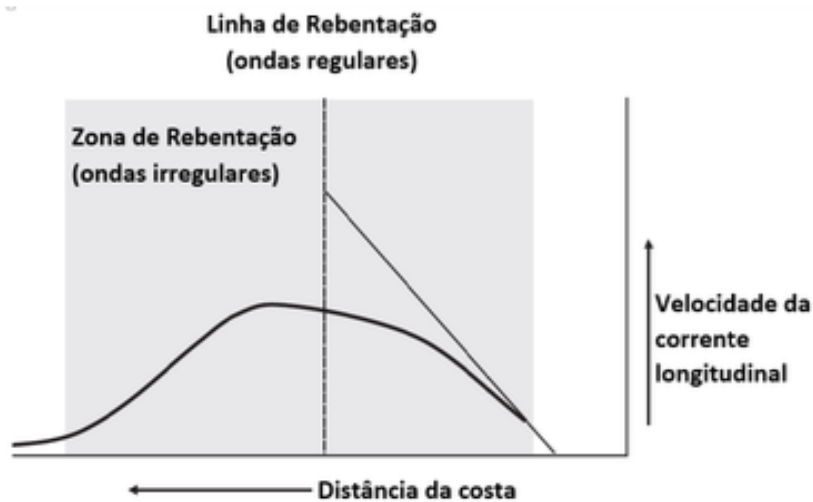


Figura 15 - Padrão geral de distribuição da velocidade da corrente litoral na zona de rebentação num perfil plano para ondas regulares sem mistura lateral (linha reta e linha de rebentação) e de ondas irregulares (linha curva e zona de rebentação das ondas).

Fonte: Adaptado de Davidson-Arnott (2010).

Segundo Davidson-Arnott (2010), o perfil de distribuição da velocidade da corrente litoral para ondas irregulares na zona de rebentação interna, aproxima-se do perfil de ondas regulares, onde a dissipação da energia da onda é controlada pela profundidade da água. No entanto, a rebentação das ondas inicia-se a profundidades superiores ao ponto de rebentação, verificando-se uma zona de rebentação, com o perfil representado na Figura 15.

2.2 Panorama geral das zonas costeiras e a sua gestão em Portugal

Portugal é um país que está situado na parte sudoeste da Europa com território na zona oeste da Península Ibérica, juntamente, com os seus arquipélagos no Atlântico Norte. A costa continental de Portugal é delimitada pelo Oceano Atlântico com uma extensão de 987km, constituindo uma das costas mais afetadas em todo o mundo pelo fenómeno da erosão (Hinkel *et al.*, 2013; Pinto, 2004; Pranzini *et al.*, 2015; Vagos, 2016). De acordo com o estudo global desenvolvido por Hinkel *et al.* (2013), Portugal está entre os sete principais países costeiros de 166 em que são afetados pela erosão a longo prazo devido ao aumento do nível médio do mar (NMM), prevendo elevados custos para a migração forçada de residentes costeiros, caso não sejam tomadas medidas de adaptação para evitar este fenómeno.

Nas últimas décadas, sentiu-se uma enorme dificuldade em conciliar a segurança das pessoas e dos bens com os benefícios disponibilizados pelos recursos naturais costeiros. Parte desta situação é atribuída, principalmente, ao aumento da densidade populacional próxima à costa (com 75% dos habitantes a viver em municípios costeiros), levando a uma subida exponencial de investimentos de capital em defesa costeira e nas descargas de sedimentos nos rios (Vagos, 2016). Entre 1995 e 2014, as despesas públicas utilizadas na proteção costeira contra o risco de erosão e inundações atingiram um patamar estimado de 196 milhões de euros, enquanto que o custo de reparação dos danos causados pelos grandes temporais de janeiro a março de 2014 somou na totalidade um valor aproximado de 23 milhões de euros. Na Tabela 1 estão representados, de uma forma simplificada, os principais indicadores socioeconómicos do litoral português.

Tabela 1 - Visão geral dos indicadores socioeconómicos das zonas costeiras.

Fonte: Adaptado de APA (2016).

População (principais zonas urbanas e industriais, zonas turísticas e infraestruturas importantes)	75% (7,74 milhões de habitantes)
PIB (Produto Interno Bruto) concentrado no litoral	85%
Ocupação com construções (urbanas, turísticas e industriais)	26%
Litoral artificializado	14%
Investimento em infraestruturas de defesa	Máx.: 196 M€ (1995-2014)

O comprimento da costa sujeita à erosão aumentou aproximadamente para 28% (Vagos, 2016). Segundo Coelho *et al.* (2009), a evolução da linha de costa atual é em grande parte condicionada pela energia das ondas, pela presença de inúmeras estruturas artificiais e pelo enfraquecimento progressivo das fontes aluviais (Figura 16).

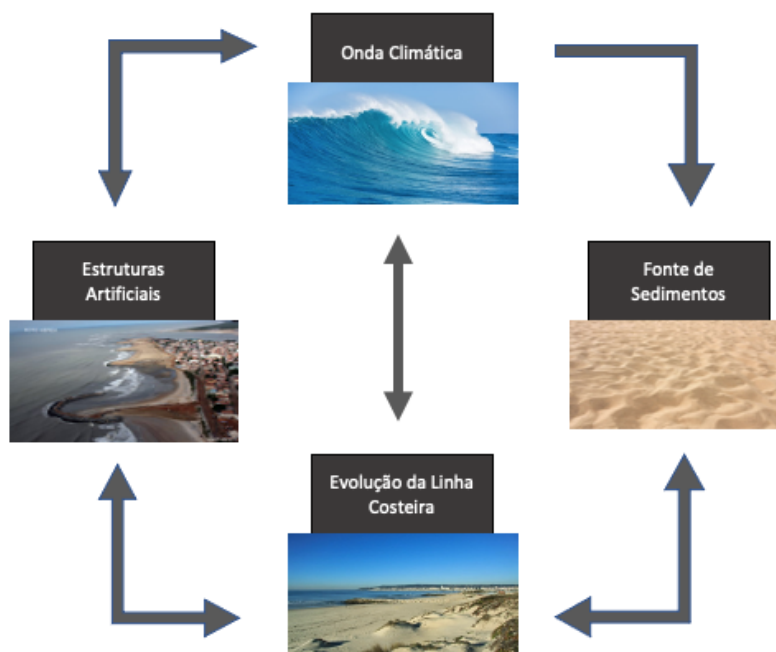


Figura 16 - Evolução da Linha Costeira.

Fonte: Fotografias do autor.

Devido aos problemas de erosão costeira, 14% da linha costeira portuguesa está defendida por estruturas artificiais, incluindo esporões, quebra-mares e revestimentos longitudinais, o que totaliza cerca de 140 km da costa (Vagos, 2016). As condições de agitação marítima variam ao longo da costa portuguesa, com mudanças na direção predominante das ondas e na distribuição estatística da altura das ondas de noroeste para sul. A costa noroeste de Portugal, mais propriamente entre Espinho e a Nazaré corresponde principalmente a praias baixas de areia aberta, apoiadas por dunas (destruídas em alguns locais) e expostas a forças hidrodinâmicas de alta energia, enquanto as praias do sul, tipicamente apoiadas por falésias altas, enfrentam condições de ondas menos energéticas. Estes factos justificam o grande número de estruturas de defesa costeira implementadas no passado, principalmente, desde os anos 1970, ao longo da costa de Portugal (Figura 17). As primeiras tentativas de gestores e partes interessadas de lidar com a erosão concentraram-se, essencialmente, em manter a posição da costa com estruturas rochosas (usando métodos de proteção pesada), como forma de lidar com ondas de alta energia. Infelizmente, percebeu-se que essas intervenções de curta duração não puderam remover o problema, mas apenas tratar os sintomas, influenciando uma variedade de características costeiras e danificando as paisagens naturais, bem como, os valores dos ecossistemas costeiros. Neste contexto, as últimas décadas testemunharam uma tendência crescente em favorecer soluções de proteção costeira ambientalmente amigáveis, por meio de alimentação de areias e reforço de projetos de sistemas de dunas. Desde 1990, houve um aumento contínuo no número de operações de alimentações artificiais, seguido de uma queda acentuada nas aplicações de estruturas baseadas em engenharia pesada (Figura 17).

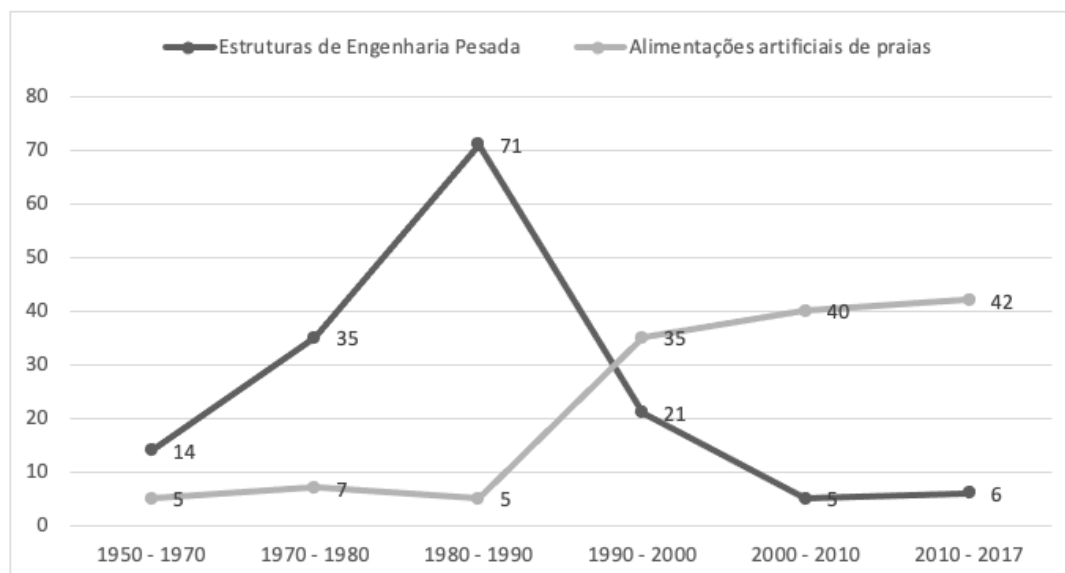


Figura 17 - Número de intervenções costeiras em Portugal Continental, desde 1950 até 2017 (informação baseada em Abecasis, 2014 e Pinto *et al.* (2018)).

Fonte: Adaptado de Pinto *et al.* (2018).

Apesar desta tendência ter um carácter nacional, devido à maior atividade turística e às condições de ondas de baixa energia registadas na região sul de Portugal, as alimentações artificiais foram implementadas, principalmente, para manter as praias do Algarve (e.g., Praia da Rocha, Três Castelos, Alvor, Quarteira, Vale do Lobo e Vilamoura) (Teixeira, 2011). Do ponto de vista económico, cultural e ambiental, as áreas costeiras portuguesas enfrentam múltiplos desafios e conflitos que exigem uma profunda reestruturação interferindo na política de gestão costeira, na funcionalidade dos serviços governamentais e nas respostas à sociedade/cidadãos afetados (Santos *et al.*, 2014). A Figura 17 evidencia, claramente, uma mudança recente de paradigma em relação à política de gestão costeira, com as alimentações artificiais tornando-se um meio favorito para mitigar a erosão e manter a costa.

O cenário de hoje difere daquele que prevaleceu em 1950-1990, onde o uso de estruturas de engenharia pesada era um padrão estabelecido pelas instituições de administração e pela comunidade técnico-científica e encarado como a maneira mais eficiente de controlar a costa que já naquela época começara a ameaçar certas frentes urbanas. Após a década de 1990, a comunidade científica costeira nacional começou a identificar padrões na evolução do litoral, que destacaram alguns dos efeitos negativos a longo prazo associados às soluções de engenharia pesada implementadas para conter o fenómeno da erosão (Pinto *et al.*, 2018). O aumento da erosão na zona descendente das estruturas como esporões, paredões e quebra-mares, o estreitamento/desaparecimento das praias adjacentes, bem como, a perda de estética e valores ambientais das zonas costeiras, chegaram a apontar a necessidade de estabelecer soluções sustentáveis, com base em abordagens estratégicas de origem natural (Pinto *et al.*, 2018; Pranzini *et al.*, 2015). A alimentação artificial surgiu como uma alternativa de alto potencial, passiva a ser aplicada em alguns locais, embora os seus potenciais efeitos ainda não tenham sido bem quantificados. No entanto, a

experiência passada mostrou que qualquer ação que afete as áreas costeiras deve procurar um equilíbrio entre a proteção costeira, o aprimoramento do uso da terra e a preservação dos valores ambientais. Isso implica, necessariamente, algum conhecimento qualitativo e quantitativo dos processos morfológicos costeiros, como condição prévia para um projeto bem-sucedido de gestão costeira, para que todas as partes envolvidas possam estar em posição de entender não apenas o passado, mas também como a situação atual se desenvolveu e como antecipar tendências futuras de evolução. As práticas de gestão devem, então, basear-se em conhecimentos sólidos, identificando causas, reconhecendo comportamentos passados e intervindo em favor da natureza (Palalane, 2016).

Conforme se compreende, recentemente a evolução das intervenções de proteção costeira em Portugal tem tendido para a alimentação artificial. Muitas das intervenções realizadas em Portugal Continental foram recolhidas do Relatório Técnico elaborado pelos autores Pinto *et al.* (2018), que tiveram como base a consulta e análise de dados internos disponibilizados na Agência Portuguesa do Ambiente, APA, por respetivas instituições antecessoras em matéria de gestão costeira, e, por dados cedidos pelas Administrações Portuárias e Direção Geral de Recursos Naturais, Segurança e Serviços Marítimos (DGRM).

Para melhor compreensão da informação, considera-se como “alimentação artificial” qualquer operação que envolva a deposição de sedimentos arenosos (areia com granulometria fina, média e grosseira) na faixa costeira compreendida entre os 10m ZH (Zero Hidrográfico) até à alta praia (+10m ZH), abarcando a zona submarina do perfil de praia imerso, a praia emersa/berma e o cordão dunar frontal. Este domínio engloba a área sujeita a transporte sedimentar ativo e a alterações morfológicas sazonais e interanuais relevantes em termos de tendências evolutivas da faixa costeira.

Para cada intervenção estão identificados os seguintes aspetos:

- Local;
- Data (ano de intervenção);
- Tipologia da alimentação;
- Métodos de extração/deposição;
- Objetivos específicos da ação realizada.

No que diz respeito aos objetivos das intervenções de alimentação artificial identificadas, as categorias descritas são adaptadas do trabalho de Hamm *et al.* (2002) e restringem-se a 5 categorias, listadas na Tabela 2 e detalhadas seguidamente. Naturalmente, uma operação de alimentação artificial de praia pode ter um ou mais objetivos associados.

Tabela 2 - Objetivos das intervenções de alimentação artificial.

Fonte: Adaptado de Pinto *et al.* (2018).

Objetivos	
Gerais	Categorias
Mitigação da erosão costeira e risco	1. Melhoria das condições de estabilidade da linha de costa
	2. Redução da vulnerabilidade a galgamento/inundação
	3. Proteção de obras de engenharia costeira pesada
Melhoria da área de recreação e valorização do litoral	4. Aumento da largura da praia para uso balnear/recreativo
	5. Proteção de recursos naturais/culturais

Categoria 1 – Melhoria das condições de estabilidade da linha de costa

Corresponde à adição de sedimentos com vista à reposição do balanço sedimentar e atenuação da tendência instala de recuo da linha de costa. A deposição pode ser feita na praia imersa, promovendo a dissipação da energia das ondas e a redução do potencial erosivo junto à linha de costa; ou na praia emersa criando uma área tampão que impede a incidência das ondas diretamente no obstáculo da alta praia (dunas; arribas; estruturas). Em litoral rochoso, a solução de deposição na praia emersa proporciona outra vantagem: o incremento de área de praia incentiva à utilização balnear mais afastada da base da arriba, minimizando assim a exposição dos utentes ao risco de movimentos de massa de vertente (i.e., de serem atingidos pelos detritos/resíduos desses movimentos).

Categoria 2 – Redução da vulnerabilidade a galgamento/inundação

Diz respeito às intervenções de alimentação de praia onde a deposição de sedimentos se concentra no sistema praia-duna, por forma a reforçar o efeito de obstáculo/barreira da alta-praia. Este reforço tem como objetivo impedir, em condições de eventos extremos, a transposição das águas do mar para a margem terrestre. Bermas de praia e dunas mais robustas (em volumetria e altura) podem impedir fenómenos de galgamento e dificultar o rompimento dos cordões dunares e consequente inundação da margem terrestre.

Categoria 3 – Proteção de obras de engenharia costeira pesada

Na presença de obras de engenharia costeira pesada, a alimentação de praia é frequentemente utilizada como medida complementar e adicional para mitigação da erosão, proporcionando proteção dessas mesmas estruturas. A deposição de sedimentos é geralmente feita na praia emersa por forma a criar uma área tampão que

impede a incidência das ondas diretamente na estrutura, concorrendo assim para a conservação e longevidade da obra.

Categoria 4 – Aumento da largura da praia para uso balnear/recreativo

A deposição de sedimentos é feita exclusivamente na praia emersa por forma a aumentar a área da berma da praia disponível para os utilizadores e consequentemente a capacidade de carga da mesa.

Categoria 5 – Proteção de recursos naturais/culturais

Este tipo de intervenção visa a valorização do território litoral através da proteção de recursos naturais e/ou culturais que lá existam e que possam estar em perigo de degradação ou mesmo destruição. Nestes casos, a deposição de sedimentos é geralmente feita na praia emersa ou duna por forma a impedir o alcance das águas do mar sobre o recurso natural (e.g.: habitats protegidos; viveiros de espécies marinhas) ou cultural (e.g.: património arquitetónico e arqueológico) em causa.

As principais intervenções realizadas na faixa costeira de Portugal Continental desde 1950 até à atualidade foram as seguintes:

1. PRAIA DA COVA REDONDA E PRAIA NOVA, LAGOA, ALGARVE (Figura 18 e 19)



Figura 18 - Praia da Cova Redonda após alimentação artificial em 2014.

Fonte: De Relatório Técnico de Pinto *et al.* (2018).



Figura 19 - Praia Nova antes da alimentação artificial de praia, em 6 de Agosto de 2010 (A) e um ano após a intervenção a 4 de Agosto de 2015 (B).

Fonte: De Relatório Técnico de Pinto *et al.* (2018).

Objetivos: Mitigação da erosão costeira e risco – (1) Melhoria das condições de estabilidade da linha de costa; Melhoria da área de recreação e valorização do litoral – (4) Aumento da largura da praia para uso balnear/recreativo.

Intervenção: A alimentação artificial nesta situação pretende providenciar uma defesa natural contra a incidência direta das ondas na base da arriba, minimizando a sua ação erosiva (e.g., erosão basal, efeito hidráulico), e, aumentar a largura da praia de forma a fomentar a utilização balnear fora das áreas potencialmente sujeitas aos resíduos de movimentos de massa (i.e., mais próximas da base da arriba), mitigando o risco para os utentes da praia (Martins e Veloso-Gomes, 2011; Teixeira, 2016).

2. PRAIA DA ROCHA, PORTIMÃO, ALGARVE (Figura 20)



Figura 20 - Praia da Rocha nos anos 60 e o sucessivo crescimento desde o final da década de 1990, mostrando o aumento do areal e consequente aumento da capacidade de carga, decorrente das operações de alimentação artificial de praia.

Fonte: De Relatório Técnico de Pinto *et al.* (2018).

Objetivos: Melhoria da área de recreação e valorização do litoral – (4) Aumento da largura da praia para uso balnear/recreativo.

Intervenção: O enchimento beneficiou da presença do molhe poente do Rio Arade, que promove acumulação a barlamar de acordo com o transporte longilitoral de poente para nascente, o que resultou num incremento da largura média da praia, dos iniciais 120m até aos 200m atuais.

3. PRAIA D. ANA, LAGOS, ALGARVE (Figura 21)



Figura 21 - Alimentação artificial da praia D. Ana em 2015.

Fonte: De Relatório Técnico de Pinto *et al.* (2018).

Objetivos: Mitigação da erosão costeira e risco - (1) Melhoria das condições de estabilidade da linha de costa; Melhoria da área de recreação e valorização do litoral - (4) Aumento da largura da praia para uso balnear/recreativo.

Intervenção: Deposição de 140 000m³ de sedimentos na praia emersa proveniente da dragagem de mancha de empréstimo na plataforma continental próxima. A intervenção foi complementada pela construção de um esporão no extremo nascente da praia para promover a retenção das areias.

Resultados: Dois anos após a intervenção, para além da redução da frequência do impacto da ondulação na base das arribas, verifica-se uma diminuição significativa do risco: a ocupação balnear passou a concentrar-se na área mais próxima do mar, em detrimento das áreas adjacentes à base da arriba – zona de faixa de risco/salv guarda. Houve ainda um aumento significativo da capacidade de carga.

4. REQUALIFICAÇÃO DO SISTEMA LAGUNAR DA RIA FORMOSA, ALGARVE (Figura 22)



Figura 22 - Requalificação do sistema lagunar da Ria Formosa, 1999/2000.

Fonte: De Relatório Técnico de Pinto *et al.* (2018).

Objetivos: Mitigação da erosão costeira e risco - (2) Redução da vulnerabilidade a galgamento e inundação.

Intervenção: Deposição de 1 880 000m³ de sedimentos na praia emersa e dunas do sistema de ilhas barreira da Ria Formosa (penínsulas do Ancão e Caceia, e, ilhas de Cabanas, Tavira e Armona), proveniente da dragagem dos canais principais da Ria Formosa. A intervenção foi complementada com a instalação de paliçadas e passadiços sobre-elevados.

Resultados: Redução da ocorrência de galgamentos e redução das taxas de erosão; crescimento dunas; melhor ordenamento do espaço costeiro.

5. PRAIAS DA COSTA DA CAPARICA, ALMADA (Figura 23)



Figura 23 - Alimentação artificial das praias, 2007-2014.

Fonte: De Relatório Técnico de Pinto *et al.* (2018).

Objetivos: Mitigação da erosão - (1) Melhoria das condições de estabilidade da linha de costa; Melhoria da área de recreação e valorização do litoral - (3) Proteção de obras de engenharia costeira pesada.

Intervenção: Deposição de 3 500 000m³ de sedimentos de forma faseada (2007, 2008, 2009, 2014) provenientes da dragagem do canal da barra sul do Tejo e bordo norte do cachopo sul, na embocadura do estuário do Tejo. Os sedimentos foram depositados na praia emersa de São João da Caparica e nas praias urbanas da Costa da Caparica a sul do esporão EC1 até ao esporão EC7.

Resultados: Redução das taxas de erosão e recuo da linha de costa em São João da Caparica, e, conseqüente aumento da estabilidade deste troço costeiro. Criação de uma área tampão que providencia proteção à obra longitudinal aderente.

6. PRAIAS DE CASCAIS (Figura 24)



Figura 24 - Alimentação artificial das praias 2005.

Fonte: De Relatório Técnico de Pinto *et al.* (2018).

Objetivos: Melhoria da área de recreação e valorização do litoral - (4) Aumento da largura da praia para uso balnear/recreativo.

Intervenção: 10 praias da costa do Estoril receberam 108 500m³ de sedimentos provenientes da dragagem do canal da barra sul do Tejo. A deposição foi feita na praia emersa, por alargamento da berma da praia.

Resultados: Aumento da capacidade de carga das praias intervencionadas.

7. ALIMENTAÇÃO ARTIFICIAL DAS RUÍNAS ROMANAS DE TRÓIA (Figura 25)



Figura 25 - Alimentação artificial das Ruínas de Tróia, 2007.

Fonte: De Relatório Técnico de Pinto *et al.* (2018).

Objetivos: Melhoria da área de recreação e valorização do litoral - (5) Proteção de recursos naturais/culturais.

Intervenção: Deposição de 26 000m³ de sedimentos na praia emersa, promovendo a criação de uma praia com berma larga em frente ao sítio arqueológico de Troia. Os sedimentos provieram das dragagens e fundações das infraestruturas associadas ao estabelecimento da nova marina de Troia.

Resultados: Criação de uma área tampão que impediu o agravamento do processo erosivo, garantindo assim a proteção do património arqueológico das Ruínas Romanas de Troia.

2.3 Geo-indicador Costeiro

A zona costeira é um ambiente complexo que engloba diversas características geomorfológicas com dinâmicas específicas. As praias, em particular, são ambientes extremamente mutáveis onde as variações morfológicas podem ocorrer numa ampla gama de escalas temporais e espaciais. A interferência humana em sistemas tão complexos e dinâmicos, frequentemente, leva a impactos negativos e está previsto que a manipulação humana venha a aumentar nas próximas épocas (Brown *et al.*, 2008). Para alcançar o objetivo de fazer frente aos conflitos relacionados ao uso do litoral, várias empresas e organizações científicas desenvolveram inúmeros programas de monitorização costeira com o objetivo de fornecer dados científicos para os processos de gestão. No entanto, estes programas foram projetados para ambientes e objetivos específicos e, como consequência, as informações recolhidas podem não ser adequadas para o uso e comparação com outras áreas costeiras. Portanto, para melhorar o compartilhamento e a compatibilidade dos dados, é importante promover procedimentos que amplifiquem o alcance das aplicações dos dados adquiridos com o mínimo esforço adicional, por forma, a fornecer dados e informações padronizadas. Organizações internacionais dão orientações e afirmam que os indicadores constituem a forma mais eficiente de garantir a consistência das metodologias, da coleta de dados e da transmissão de informações complexas de forma simplificada e aplicável (NOAA, 2010; UNESCO, 2003, 2006).

A utilização de indicadores permite descrever situações de referência, definir mudanças e medir tendências de evolução num ambiente físico ao longo do tempo (desde escalas locais até globais). Para além disso, conseguem fornecer de uma forma simplificada uma comunicação de dados e informações complexas, bem como, constituir um mecanismo adaptado de diálogo entre as organizações interessadas. De acordo com Carapuço *et al.* (2016), identificam-se 16 indicadores como relevantes para a descrição do estado físico das principais características geomorfológicas dos ambientes de duna costeira, barreira costeira e praia, esquematizados na Figura 26.

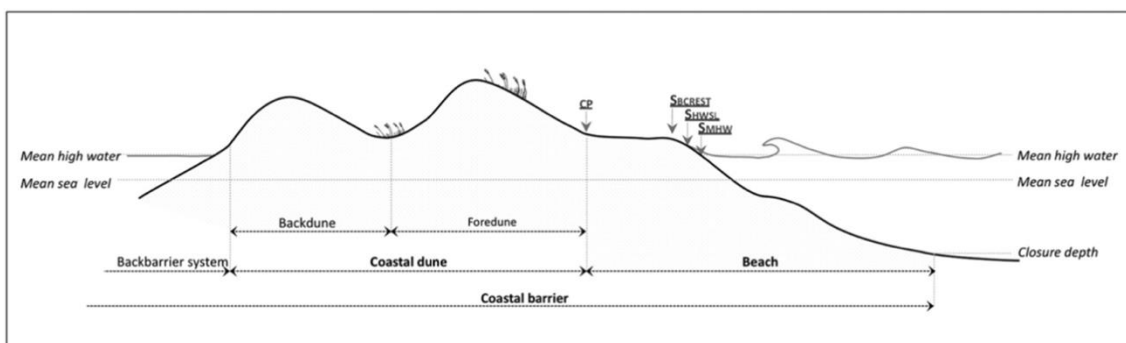


Figura 26 - Ambientes de costa arenosa e de domínios morfológicos; rótulos sublinhados referem-se a geoindicadores costeiros: *CP* - posição litoral; *S_{BCREST}* - linha costeira com base na crista da berma; *S_{HWSL}* - linha costeira com base na linha mais alta do mar; *S_{MHW}* - linha costeira com base no nível médio máximo do mar.

Fonte: Carapuço *et al.* (2016).

Os limites físicos destes ambientes estão definidos com o objetivo de se tornarem úteis para diferentes áreas de especialização (e.g. engenharia costeira, gestão e pesquisa), e são definidos da seguinte forma:

- As dunas costeiras são colinas ou cristas de areia depositadas pelo vento e/ou ação das ondas, podem também ser depositadas artificialmente, e, muitas vezes são cobertas pela vegetação da praia (NOAA, 1994);
- As barreiras costeiras são faixas de terra baixas e estreitas, consistindo em praias e dunas, que se estendem paralelamente à costa e separadas do continente por um pântano ou corpo de água doce, salobra ou salgada (NOAA, 1994);
- As praias são uma acumulação de sedimentos não consolidados modificados pelas ondas, que se estendem desde a profundidade do fecho ao interior até existir uma mudança fisiográfica, como um campo de dunas, falésias ou até o ponto onde a vegetação permanente é estabelecida (Komar, 1983).

O uso dos indicadores costeiros vem contribuir à realização de relatórios ainda mais padronizados sobre o estado das zonas costeiras. Os indicadores devem compartilhar um conjunto de características fundamentais, a fim de proporcionar, uma forma simplificada de comunicar dados e informações com grande grau de complexidade entre as organizações. Para garantir a relevância dos indicadores, eles devem incorporar as seguintes propriedades:

- Ser específico: devem produzir uma representação clara das características do sistema que pretendem refletir;
- Ser mensuráveis: devem ser quantificáveis;
- Ser alcançáveis: devem contar com a implementação e métodos de seleção que são viáveis com os recursos e informações disponíveis e capital intelectual;
- Ser relevante: deve haver uma ligação direta entre o indicador e a questão-chave ou questão-alvo a ser respondida;
- Ser limitado no tempo: devem responder às mudanças no tempo e fornecer informações oportunas.

Várias organizações e autores reconhecem estas propriedades como as mais relevantes na seleção de indicadores, a fim de garantir que sejam comparáveis (NOAA, 2010; OECD, 2003; Rijn, van, 2010; Sutherland, 2010; UNESCO, 2006). Os indicadores costeiros usados como parâmetros para a realização de relatórios padronizados sobre a avaliação

do estado das zonas costeiras nos ambientes arenosos definidos são representados na Tabela 3.

Tabela 3 - Enumeração dos geoindicadores costeiros para ambientes de costa arenosa (unidades: escala quantitativa - comprimento (L) e tempo (T); escala qualitativa (Q)).

Fonte: Adaptado de Carapuço et. al. 2006.

GEOINDICADORES	CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO PROPOSTOS	UNIDADES DE MEDIDA
PARA AMBIENTES ARENOSOS EM GERAL:		
1. LINHA DE PRAIA	S_{BCREST} – é definido como a crista da berma mais voltada para o mar S_{HWSL} – é definido como a linha mais alta do mar S_{MHW} – é definido como o nível médio máximo do mar	L
2. EVOLUÇÃO DE LINHA DE PRAIA	Mudança de posição da linha do litoral ao longo do tempo	L/T
3. LINHA DE COSTA	É definido pelo limite terrestre da costa (considerada como a posição da ponta da duna, penhasco ou estrutura)	L
4. EVOLUÇÃO DE LINHA DE COSTA	A posição da costa muda ao longo do tempo	L/T
5. TAMANHO DOS SEDIMENTOS	Tamanho médio do grão	L
6. COMPOSIÇÃO DOS SEDIMENTOS	Composição dominante	Q
PARA PRAIAS:		
7. ELEVAÇÃO DA PRAIA	Elevação média entre as posições da linha do litoral e da linha da costa	L
8. VOLUME DA PRAIA	Volume (por unidade de comprimento), medido acima do nível médio do mar (NMM) e limitado pela posição da costa	L^3/L
9. LARGURA DA PRAIA	Distância entre as posições da linha da costa e da linha do litoral	L
10. ENCOSTA DA PRAIA	Inclinação entre a posição da linha do litoral e o contorno do NMM	-
PARA DUNAS COSTEIRAS:		
11. ELEVAÇÃO DA DUNA	Elevação máxima da duna anterior em relação ao NMM	L
12. VOLUME DA DUNA	Volume (por unidade de comprimento) acima da elevação da ponta da duna anterior em toda a largura da duna	L^3/L
13. LARGURA DA DUNA	Distância entre os limites marítimos e terrestres, conforme definido caso a caso	L
PARA BARREIRAS COSTEIRAS:		
14. ELEVAÇÃO DA BARREIRA	Elevação máxima em relação ao NMM	L
15. VOLUME DA BARREIRA	Volume acima do NMM	L^3/L
16. LARGURA DA BARREIRA	Distância entre a barreira costeira anterior e a linha do litoral do oceano	L

O processo de simplificação do relatório do estado do ambiente costeiro, por meio de indicadores, representa um verdadeiro desafio à natureza local, muitas vezes pela especificidade das características locais próprias da zona costeira. A adoção de critérios de medição aplicáveis em todo o mundo a diferentes configurações geomorfológicas pode ser controversa. No entanto, esta restrição não impediu o estabelecimento e a adoção generalizada da terminologia relacionada com ambientes costeiros arenosos de baixa altitude, que não dependem da localização geográfica (Komar, 1983). A ampla aplicação de uma terminologia universal tem sido possível devido às semelhanças nos domínios morfológicos encontrados nesses ambientes, pois dependem da interação dos mesmos fatores: ondas, vento e disponibilidade de areia. O desafio é, portanto, padronizar os critérios de medição e métodos de relatório que possam apoiar uma descrição objetiva das principais características costeiras dentro das praias, dunas costeiras e barreiras costeiras.

FERRAMENTAS SIG

3.1 Métodos e Metodologias de interpolação

3.2 Cálculo de Volumes

3 USO DE FERRAMENTAS QGIS

O estudo das caracterizações de balanços sedimentares passa por uma análise de dados topográficos e batimétricos das zonas costeiras locais. Estas análises podem ser realizadas em ambiente SIG (Sistemas de Informação Geográfica), recorrendo a diversos programas especializados em geoprocessamento. Nesta dissertação será utilizado o *software QGIS (Quantum GIS)*, versão 3.14, fazendo uso de algumas das suas extensões para a elaboração de TINS (*Triangulated Irregular Network*) e MDTs (Modelos Digitais de Terreno), bem como, interpolações e determinação de volumes sedimentares.

3.1 Métodos e Metodologias de interpolação

Por forma a facilitar a análise dos dados e a obter uma caracterização mais próxima da realidade, utilizam-se métodos e metodologias de interpolação. Recorre-se a dados adquiridos por um sistema multi-antena GPS instalado num veículo motoquatro denominado sistema *INSHORE*, que monitoriza os litorais arenosos e pode ser um meio para a recolha de dados topográficos de uma praia emersa. Esta aquisição faz-se, sempre que possível, em altura de baixa-mar de marés vivas por forma a cobrir a maior área possível. Este sistema foi desenvolvido por Baptista *et al.* (2011) e consiste na utilização de três antenas *GPS*, um medidor laser e uma unidade de medição inercial montados numa estrutura triangular que é suportada na lateral de um veículo (Figura 27).



Figura 27 - Sistema GPS utilizado nas campanhas para aquisição de dados.

Fonte: Romão, 2014.

O sistema *INSHORE* realiza uma cobertura da praia mais eficiente e precisa, permitindo a obtenção de dados topográficos e batimétricos, que a partir dos quais se torna possível a formação de modelos 3D do terreno (MDTS), e, o cálculo de volumes e outros parâmetros após interpolação. Com o veículo de todo-o-terreno percorre-se a área de estudo em questão, delineando perfis longitudinais e transversais para construir uma grelha do terreno, cujos limites superiores e inferiores são estipulados pela base da duna, do dique arenoso existente ou das frentes urbanas presentes e pela linha de água, respetivamente.

Após obtidos os dados topográficos recorre-se ao *QGIS* para a produção de modelos 3D do terreno a partir dos perfis longitudinais e transversais traçados. Neste campo, é adotada uma metodologia que consiste na modelação do relevo do terreno através de um modelo vetorial, tendo como base uma rede irregular de triângulos (TIN). A representação digital do relevo corresponde à criação de um conjunto de superfícies de faces triangulares planas e a superfície gerada é denominada por MDT (Figura 28).

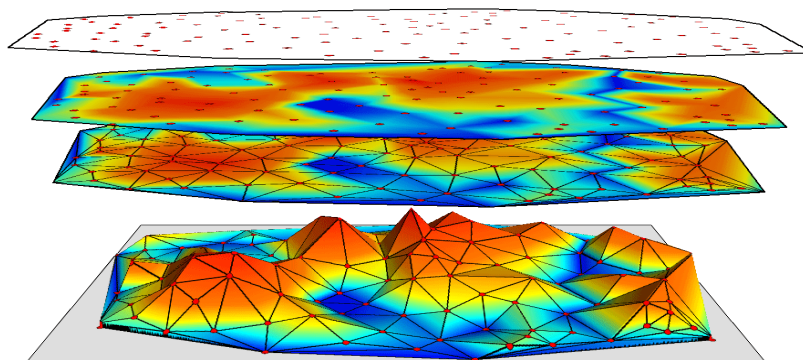


Figura 28 - Processo de interpolação a partir de uma rede irregular de triângulos.

Fonte: www.edc.uri.edu.

A formação de um modelo digital do terreno passa, primeiramente, pela adição dos dados topográficos no programa *QGIS*, criando uma “camada de texto delimitado” com a geometria de coordenadas de pontos referenciados ao nível médio do mar. Posteriormente à inserção dos dados delimita-se as grelhas de pontos utilizando uma *shapefile* de polígonos para, posteriormente, delimitar a TIN (*triangulated irregular network*) que representa o algoritmo de interpolação de cotas (Figura 29).

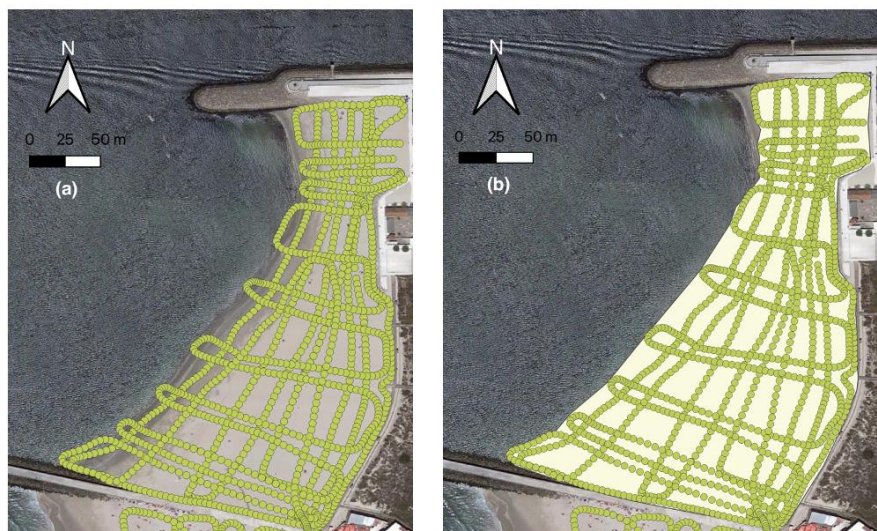


Figura 29 - Aspeto dos dados topográficos inseridos no QGIS: (a) grelha de pontos e (b) polígono delimitador da TIN.

Em segundo lugar, recorre-se à extensão “Ferramentas de processamento”, que tem à disposição as funcionalidades de geoprocessamento. Na área “Interpolação” cria-se a TIN original utilizando o método de interpolação “Clough-Toucher (cúbica)”, no entanto, a interpolação gerada encontra-se fora dos dados da área de interesse, o que torna necessário recortá-la através do polígono delimitador da TIN (Figura 30).

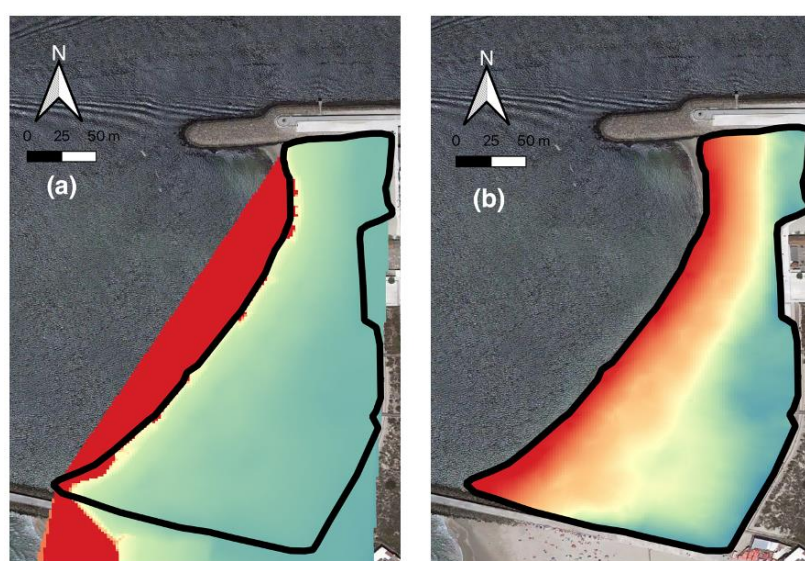


Figura 30 - Aspeto original da TIN (a) com o polígono delimitador sobreposto (contorno a preto) e (b) TIN depois de ser recortada.

O procedimento é repetido para cada conjunto dos dados topográficos, no entanto, para os dados batimétricos o método de interpolação na criação da TIN difere. Para a criação da TIN original é utilizado o método “Linear”. No entanto, apesar de se utilizar um método de interpolação diferente, é igualmente necessário recortar a interpolação gerada através do polígono delimitador da TIN anteriormente criado.

3.2 Cálculo de volumes

O cálculo de volumes tanto para uma praia emersa como para uma praia submersa determina-se da mesma forma. Após criados os respetivos MDTs transforma-se cada um num ficheiro *raster* (i.e., imagem que contem a descrição de cada pixel). Um ficheiro *raster* está organizado numa ou mais bandas e cada banda é constituída por uma matriz de pixéis, estando para cada um associado um valor. De seguida, recorre-se à ferramenta “*raster surface volume*” para se determinar o volume sedimentar do respetivo MDT. A ferramenta, para além de calcular o volume, também calcula a área da superfície entre um polígono e a superfície do terreno. Para concluir com o cálculo de volumes é necessário inserir a camada de entrada pretendida, ou seja, o ficheiro *raster* em questão, colocar o nível de base que é considerado no valor da cota de 0,0m (NMM) e selecionar o método “Contar apenas acima do nível base”, pois quer-se calcular o volume sedimentar acima do nível médio do mar.

Para o cálculo do volume de erosão e acreção é necessário recorrer à ferramenta “*raster calculator*”, que constrói um polígono que corresponde à área resultante da interseção de dois MDTs de anos diferentes e para o mesmo setor. Posto isto, recorre-se novamente à ferramenta “*raster surface volume*” e repete-se o procedimento anterior, sendo que nesta situação também se usa o método “Contar apenas abaixo do nível base” para se determinar o volume e a área de erosão.

CASOS DE ESTUDO

- 4.1 Embocadura de Aveiro
- 4.2 Embocadura da Figueira da Foz

4 CASOS DE ESTUDO

Relacionar a quantidade de sedimentos que entra entre a quantidade de sedimentos que sai num mesmo sistema, através do balanço sedimentar, é uma forma de quantificar a erosão. É também utilizado para quantificar fenómenos erosivos, as taxas de transporte litoral e compreender os processos costeiros (Bowen e Inman, 1966; Rosati, 2005). Os processos erosivos ocorrem quando a quantidade de sedimentos que entra no sistema (entendido como o domínio que contempla a praia emersa e a praia submersa até à profundidade de fecho) é inferior à quantidade que sai, gerando um balanço sedimentar negativo; na situação contrária verifica-se um balanço sedimentar positivo (Rosati, 2005). Os contributos sedimentares para o sistema resultam, geralmente, dos materiais sólidos transportados pelos rios ou através da erosão de dunas costeiras, diques arenosos e arribas freáveis que contribuem para alimentar uma corrente denominada de deriva litoral. A erosão ou a perda de sedimentos do sistema está relacionada com o transporte de sedimentos para a plataforma continental, e pelo transporte de sedimentos pelo vento, propiciando a formação de dunas.

A corrente de deriva litoral é induzida pela incidência das ondas obliquamente à costa, em consequência da qual se geram correntes com resultante longitudinal, com direção predominante norte-sul (Ferreira, 1993). A direção dominante da deriva litoral pode ser observada pela acreção de sedimentos a norte dos obstáculos à corrente, como nos molhes dos portos e nas obras transversais de proteção costeira (esporões). Portanto, com isto procura-se quantificar o balanço sedimentar nos setores litorais em estudo e o impacto das intervenções humanas e, também, de fenómenos naturais sobre o sistema costeiro. Neste sentido, a quantificação dos balanços sedimentares efetuada a partir da análise da variabilidade morfológica e volumétrica para os períodos observáveis é relacionada com intervenções de alimentação artificial em curso durante os mesmos visando uma caracterização de implicações ao nível da gestão litoral.

Este capítulo tem como principais objetivos descrever a dinâmica sedimentar das embocaduras de Aveiro e Figueira da Foz, bem como, os procedimentos que foram necessários para a determinação da variabilidade da praia emersa e submersa por forma a conseguir-se caracterizar o balanço sedimentar nas áreas envolventes às embocaduras. Primeiramente, o trabalho passa por descrever os processos que influenciam diretamente a dinâmica sedimentar, processos esses como a agitação marítima, o transporte sedimentar e deriva litoral. Posteriormente, em segundo lugar, o trabalho passa pela análise de dados topográficos e batimétricos adquiridos no âmbito de um programa de monitorização. Como já mencionado a análise dos dados efetuou-se em ambiente SIG recorrendo ao software QGIS e às suas extensões e ferramentas de

trabalho. Posto isto, o caso de estudo da embocadura de Aveiro será primeiramente retratado, e, posteriormente, o caso de estudo da Figueira da Foz.

A metodologia implementada baseia-se num método de análise de balanços sedimentares que integra dois elementos geomorfológicos, a praia emersa e a praia submersa, considerando o clima de agitação marítima e as alimentações artificiais realizadas nestes ambientes.

Segundo Komar (1976), as zonas costeiras são consideradas ambientes dinâmicos, sujeitas a alterações morfológicas em curtos intervalos de tempo, resultantes de variações nas condições atuantes na região. As zonas costeiras em estudo, de forma genérica, situam-se na costa noroeste de Portugal. Da embocadura do porto de Aveiro até à embocadura do porto da Figueira da Foz o trecho litoral tem uma extensão de cerca de 59km e a sul do porto da Figueira da Foz até à Leirosa o trecho tem um comprimento, aproximadamente, de 10km (Figura 31).

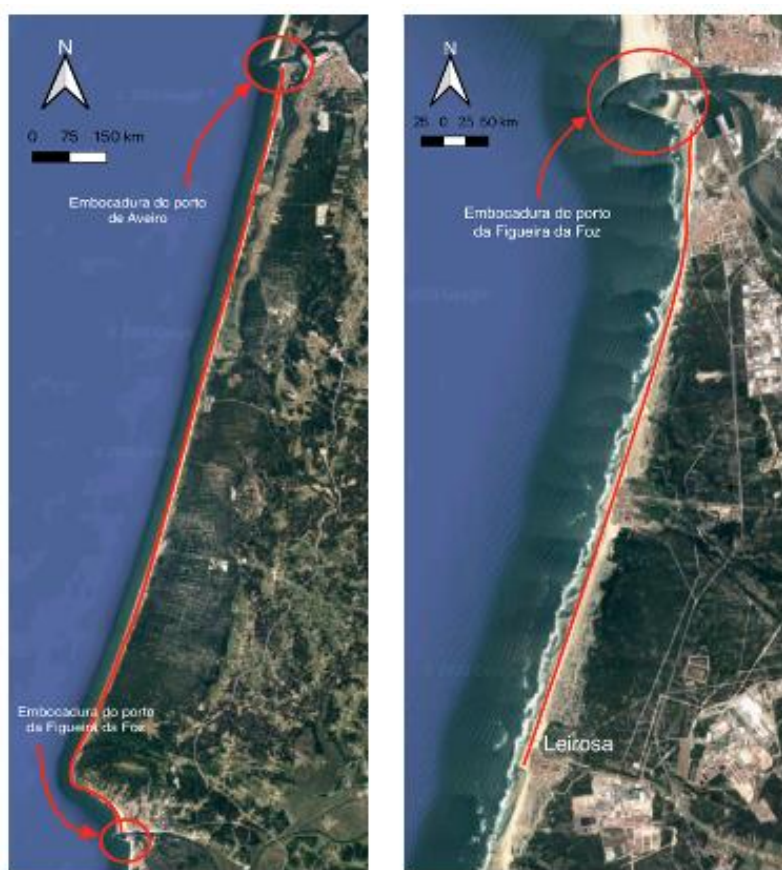


Figura 31 - Esquematização das duas zonas costeiras em estudo.

Fonte: Adaptado de Google Maps.

4.1 Embocadura de Aveiro

A zona costeira localiza-se na costa noroeste portuguesa, adjacente à laguna de Aveiro, e, estende-se desde a Praia da Barra à Praia de Mira, estando limitada a norte pelo canal de acesso ao porto e a sul pelo esporão norte da frente urbana da Praia de Mira (Figura 32).

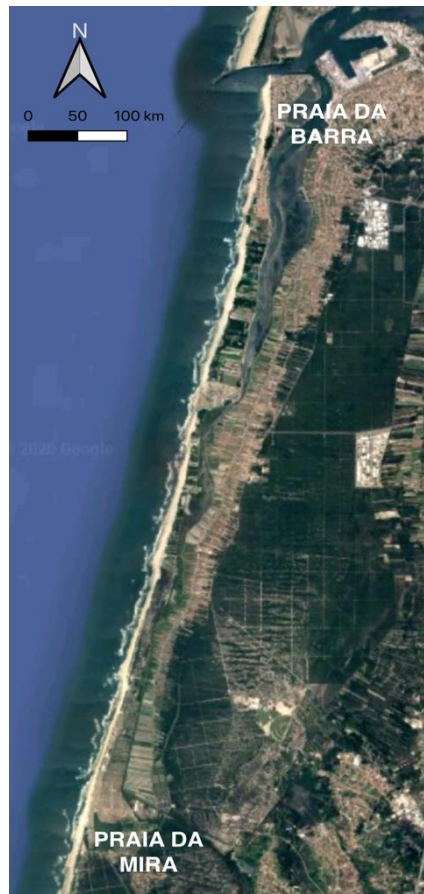


Figura 32 - Demonstração da área da zona costeira em estudo.

Fonte: Adaptado de Google Maps.

No contexto nacional, o porto comercial de Aveiro é considerado um porto importante para a região devido à sua favorável localização para atividades industriais que, por sua vez, promovem oportunidades de emprego e à instalação de um maior número de famílias na área. Para além disso, funciona como ligação internacional para a economia local, estando dividido em cinco áreas ao longo de um canal de 9km de comprimento: dois terminais comerciais, um a norte e outro a sul, um setor industrial e duas docas de pesca. A ocupação do território na área está, maioritariamente, relacionada com atividades agrícolas, com algumas zonas urbanas e florestais importantes. O facto de a maior parte das zonas urbanas estarem demasiado próximas da costa, cria conflitos que necessitam de ser mitigados por obras de proteção costeira, que podem ser observadas ao longo do troço de linha de costa da Costa Nova (Figura 33) – Praia de Mira, a sul do quebra-mar sul da embocadura do porto de Aveiro.



Figura 33 - Obras de proteção costeira (neste caso, as infraestruturas são esporões) ao longo de linha de costa da Costa Nova.

Fonte: Google Mapas.

A Ria de Aveiro constitui o maior sistema lagunar português com abertura permanente ao mar. A dinâmica desta laguna, caracteriza-se por uma forma geométrica irregular, com canais estreitos, ao longo dos quais a propagação da maré induz a ocorrência de muitas áreas de entremarés. A montante recebe entradas (*inputs*) de água doce, principalmente, do rio Vouga. A jusante, a embocadura constitui a zona da maré oceânica, marcadamente do tipo semidiurno regular.

A batimetria costeira deste trecho é regular com batimétricas aproximadamente paralelas à linha de costa. Excetua-se deste padrão, a proximidade da ligação da Ria de Aveiro ao oceano efetuada através de um canal artificial fixado por dois molhes que permitem o acesso ao porto de Aveiro localizado precisamente já no interior da Ria (Figura 34).



Figura 34 - Porto de Aveiro.

Fonte: Google Mapas.

Após o canal da barra de Aveiro (Figura 35) ter fechado completamente em 1787, a abertura e fixação de uma embocadura artificial aconteceu em 1808 (Pinheiro, 2008). Entre 1932 e 1936 ocorreu a primeira fase das “Obras de Melhoramentos da Barra”, com a construção de 470m do molhe norte e 3.000m de diques “reguladores” de correntes. Entre 1935 e 1936 existiram dragagens do canal de acesso a Aveiro, entre as Duas Águas e o ancoradouro da Gafanha, realizada com o objetivo de facilitar o acesso à navegação, regularizar o canal e aumentar o prisma de marés. Em 1950/1951 procedeu-se a obras de extensão do molhe norte, prolongando em 300m de forma a minorar o assoreamento da barra e, entre 1950 e 1960, há a segunda fase das “Obras de Melhoramento da Barra” com prolongamento do molhe norte em 400m no sentido do mar e a construção de um novo molhe a sul com 800m de comprimento, enraizado na praia exterior. Entre 1983 e 1987 procedeu-se a novo prolongamento do molhe norte, em cerca de 550m de comprimento.



Figura 35 - Barra de Aveiro.

Fonte: Google Maps.

Atualmente, a singularidade que a barra de Aveiro representa no trecho litoral está relacionada com o sistema de molhes e com a orientação e intensidade das correntes que estão associadas ao prisma de maré da Ria, que por sua vez, está definido em função da evolução da secção da barra e da amplitude de maré aí registada (Teixeira, 1994).

De acordo com os dados obtidos e por forma a facilitar a sua análise, bem como, atendendo as barreiras impostas pelos esporões neste sistema litoral, foi considerado para estudo o troço da Praia da Barra - Praia da Vagueira com cerca de 9km de comprimento (Figura 36).



Figura 36 - Trecho costeiro entre a Praia da Barra e a Praia da Vagueira.

Fonte: Adaptado de Google Mapas.

4.1.1 Dinâmica sedimentar

4.1.1.1 *Agitação Marítima*

A agitação marítima apresenta-se sobre diversos tipos: seichas, tsunamis, vagas e ondas. As seichas são ondas estacionárias em que o seu comportamento se traduz em fenómenos de ressonância, após o corpo hídrico ter sido perturbado por fatores que podem ser do carácter meteorológico (variações da pressão atmosférica ou do vento), sísmico (sismo ou tsunami) ou oceanográfico (ondas) e têm particular importância no estudo dos estados de agitação no interior dos portos. Os tsunamis são ondas de translação, resultantes de atividade sísmica de consequências catastróficas. As vagas são ondas com períodos inferiores a cerca de 8 segundos, que são geradas por ventos locais e por ondas provenientes de outros temporais, pelo que não houve tempo e distância suficiente para que estes transmitissem à superfície oceânica grande quantidade de energia. Têm, normalmente, declividade elevada, isto é, são altas e curtas, sendo com frequência bastante irregulares, quer na direção, quer no período, criando assim um estado de agitação irregular. As ondas marítimas são mais regulares, pois propagam-se longe da zona onde foram formadas. Contudo, existe uma variabilidade das características das ondas dentro do mesmo estado de agitação. Esta variabilidade reflete-se na maior ou menor irregularidade de alturas e períodos de onda (Coelho, 2005).

Posto isto, na costa ocidental portuguesa, onde se encontra a embocadura do porto de Aveiro, região litoral bastante afetada pela ondulação gerada no Atlântico Norte, apresenta uma agitação marítima caracterizada, essencialmente, por componentes de geração distante tendo, por norma, alturas e períodos superiores aos que ocorreriam por simples ação dos ventos locais.

As ondas mais altas ocorrem, preferencialmente, durante o Inverno, quando a gama de rumos é mais larga e mais rodada a sul. O clima de agitação no verão é mais moderado e mais regular, predominando os rumos a norte de oeste (Teixeira, 1994). A altura média ao largo de Aveiro atinge 1,8m e o período significativo associado é cerca de 11s, conferindo a este litoral regime de elevada energia. Às condições de ondulação de tempestade ($H > 5m$) associam-se, regra geral, rumos a norte de oeste, que ocorrem cerca de 10 dias por ano. Nestes períodos o montante de transferências sedimentares atinge 20% do total anual. A profundidade de acumulação da praia submarina recua para batimétricas inferiores a 5m (ZH), possibilitando a ocorrência de rebentação de ondas na praia subaérea com alturas que excedam o limiar de manutenção do estado refletivo, promovendo o rebaixamento generalizado do perfil da praia subaérea. Nessa altura, a estrutura de suporte da praia, a duna frontal, é tocada e eventualmente destruída (Teixeira, 1994).

No porto de Aveiro (no interior da Ria) o abrigo à agitação marítima é completo. Contudo, na zona exterior aos molhes da barra, a ondulação do quadrante de O, de N a OSO, provoca frequentemente muita rebentação, obrigando ao encerramento da barra. A ondulação de S e SO é a mais benigna já que, em regra, não provoca o encerramento da barra (Teixeira, 1994).

4.1.1.2 Caracterização Morfológica

O regime morfodinâmico, na embocadura da Ria de Aveiro, é determinado pelo facto de esta se situar num trecho de costa aberta sujeito a intenso transporte longitudinal. A construção do prolongamento do molhe norte entre os anos de 1950 e 1960 acabou por interromper, anos mais tarde, a deriva litoral, correspondente ao caudal transportado pela ondulação no sentido longilitoral, que resulta da relação de equilíbrio entre o clima de agitação marítima, dos sedimentos disponíveis e da orientação do litoral exposto à ondulação vigente (Teixeira, 1994). Sendo a agitação marítima na costa de Aveiro do tipo energética, característico da costa portuguesa, com esta interrupção, após centenas de anos de progressão do areal em direção ao mar, começaram a existir factos evidentes de uma dinâmica morfológica na direção inversa. Tais acontecimentos, originaram diversos problemas de erosão que têm vindo a atingir o setor costeiro adjacente ao porto, nomeadamente, nas praias a sul da embocadura, onde se registou um recuo assinalável da linha de costa.

A situação atual é de grande vulnerabilidade, com o cordão de areal que separa o sistema lagunar de Aveiro do oceano Atlântico (Figura 37), cada vez mais estreito. Para a situação contribuiu, principalmente, o facto de que um grande volume de material sedimentar fique retido no quebramar norte do porto. O quebramar impede o transporte sedimentar natural de norte para sul, relacionado com a deriva litoral, provocando os fenómenos erosivos a sul. Outro motivo para o emagrecimento destas praias é a quantidade de areia, que no passado, foi extraída da praia de S. Jacinto.



Figura 37 - Representação do cordão dunar que faz a separação da Ria de Aveiro do Oceano Atlântico.

Fonte: www.terranova.pt.

Por forma a mitigar a evolução do estreitamento das praias a sul do porto de Aveiro, inúmeras intervenções costeiras têm vindo a ser realizadas ao longo dos tempos. Nos anos 70 e 80 foram construídos campos de esporões, realizadas obras de retenção, intervenções no sentido de recuperar os sistemas de dunas e revegetação. No entanto, os sedimentos continuam a ficar retidos no quebra-mar norte do porto e as areias dragadas na barra e no canal são usadas para fins de construção civil. Em consequência disto os níveis de erosão continuam a aumentar. Caso o cordão dunar e a restinga que separam a ria de Aveiro do oceano não sejam artificialmente reparados ou reconstruídos e venham a romper estabelecendo assim novas barras, as consequências a nível ecológico e socioeconómico serão extremamente graves (Veloso-Gomes, 2010).

4.1.2 Dados topográficos

Os dados topográficos da praia emersa foram adquiridos a partir de campanhas realizadas com o sistema *INSHORE*. O conjunto de dados utilizados reporta às seguintes datas:

- Outubro de 2013;
- Fevereiro de 2014;
- Outubro de 2015;
- Janeiro de 2016;
- Outubro de 2017;
- Janeiro de 2018.

Os dados de campo que incluem grelhas de perfis longitudinais e transversais à costa desde a base da duna até ao limite de espraio da onda em condições de baixa-mar de maré viva foram tratados através de processamento, análise, limpeza e filtragem de posições. Os ficheiros encontram-se organizados em três colunas correspondentes à latitude, longitude e altitude. As duas primeiras colunas estão em coordenadas planimétricas referidas ao Datum 73 e a altitude referenciada ao datum altimétrico do marégrafo de Cascais, que corresponde ao NMM, ou seja, +2.00m do ZH.

Por forma a facilitar a análise dos dados devido à larga extensão do trecho costeiro em estudo, dividiu-se o troço Praia da Barra – Praia da Vagueira em dois setores:

- Praia da Barra – Praia da Costa Nova (BCN) com cerca de 4 km de comprimento;
- Praia da Costa Nova – Praia da Vagueira (CNV) com 5 km de comprimento.

4.1.3 Dados batimétricos

Em relação à informação da praia imersa foram utilizados dados de batimetria, adquiridos pelo sistema *INSHORE* adaptado para embarcação (laser substituído por ecosonda de feixe simples) obtidos nos anos 2012, 2013, 2015 e 2020, e, abrangem a praia imersa entre a Praia da Vagueira à Praia da Mira.

Da mesma forma, os ficheiros organizam-se em três colunas correspondentes à latitude, longitude e altitude. As duas primeiras colunas estão em coordenadas ETRS89 TM06 e a altitude corresponde ao NMM.

4.1.4 Modelos digitais de terreno

Com os dados topográficos e batimétricos preparados recorreu-se ao *software* QGIS para se proceder à criação dos modelos digitais de terreno a partir dos perfis longitudinais e transversais. A modelação do relevo do terreno realiza-se através de um modo vetorial, tendo por base uma rede irregular de triângulos (TIN).

As figuras apresentadas neste subcapítulo são referentes aos modelos 3D do terreno gerados para cada conjunto de dados recolhidos nas campanhas realizadas, no entanto, para melhor compreensão, serão apresentados os modelos criados com os dados topográficos (praia emersa) e, em segundo lugar, os modelos para os dados batimétricos (praia submersa). As Figuras 38 a 43 estão organizadas por diferentes anos e divididas pelos dois setores costeiros (Praia da Barra – Praia da Costa Nova (BCN), e, Praia da Costa Nova – Praia da Vagueira (CNV)), enquanto que as Figuras 44 e 45 estão organizadas apenas por diferentes anos, pois o setor mantém-se o mesmo.

Praia Emersa

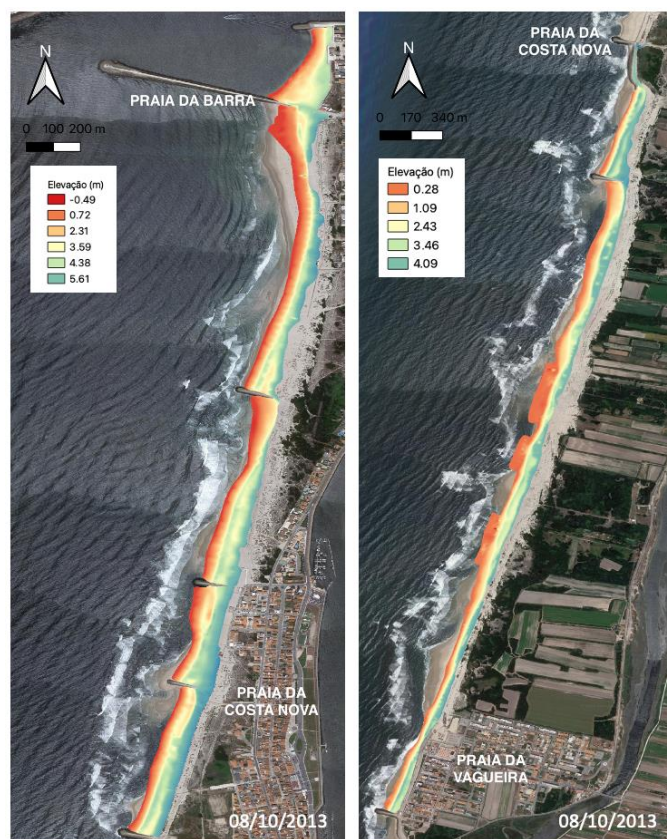


Figura 38 - Modelo Digital de Terreno ao longo da costa de Aveiro (Barra-Vagueira) a Outubro de 2013.

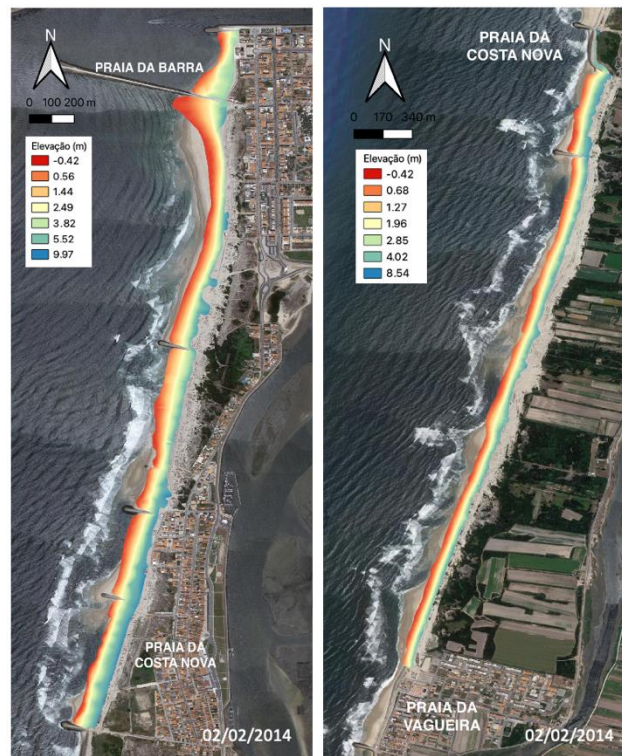


Figura 39 - Modelo Digital de Terreno ao longo da costa de Aveiro (Barra-Vagueira) a Fevereiro de 2014.

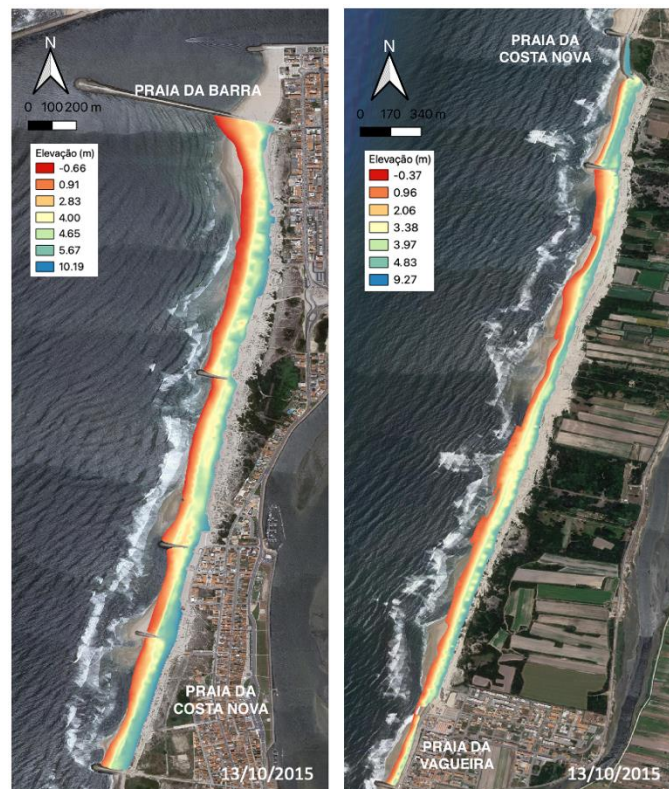


Figura 40 - Modelo Digital de Terreno ao longo da costa de Aveiro (Barra-Vagueira) a Outubro de 2015.

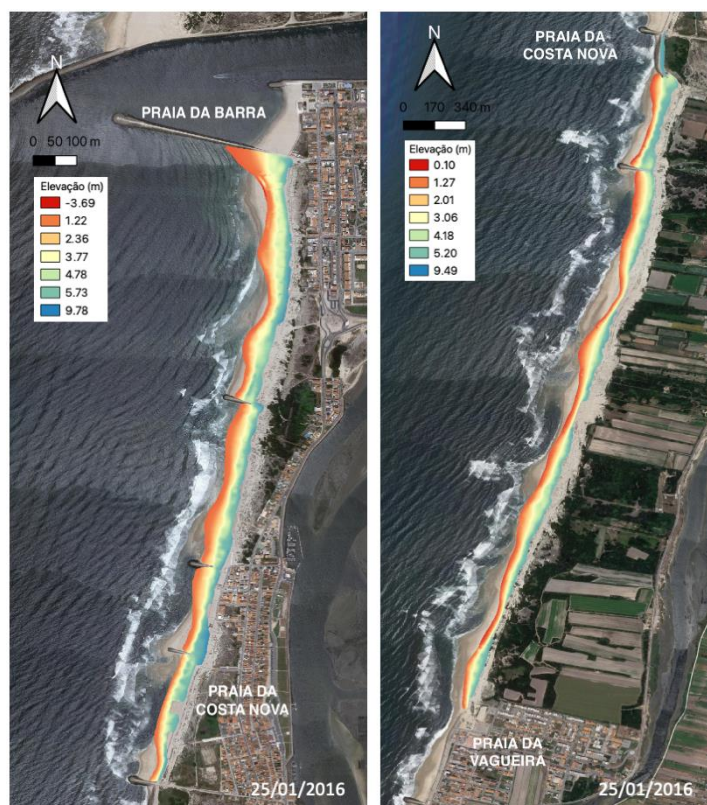


Figura 41 - Modelo Digital de Terreno ao longo da costa de Aveiro (Barra-Vagueira) a Janeiro de 2016.

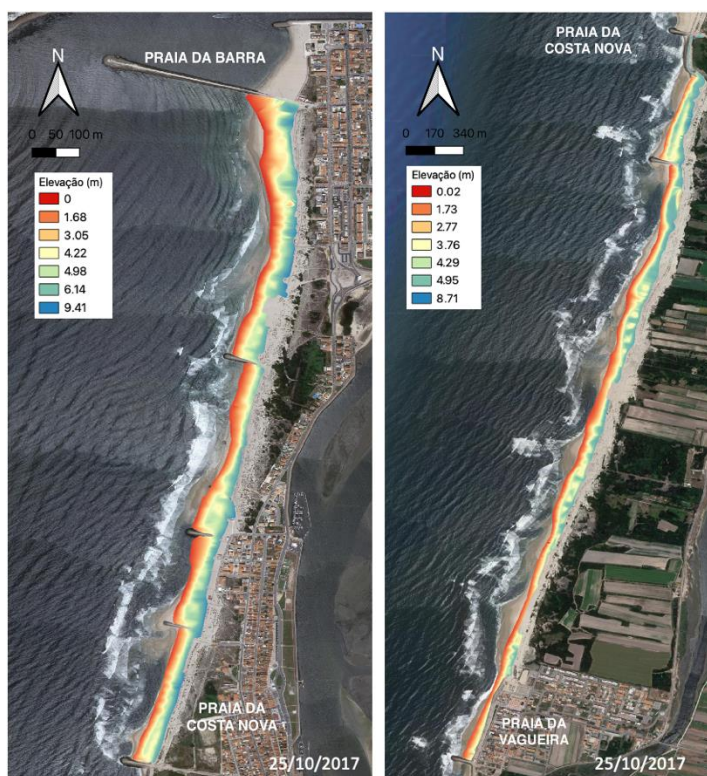


Figura 42 - Modelo Digital de Terreno ao longo da costa de Aveiro (Barra-Vagueira) a Outubro de 2017.

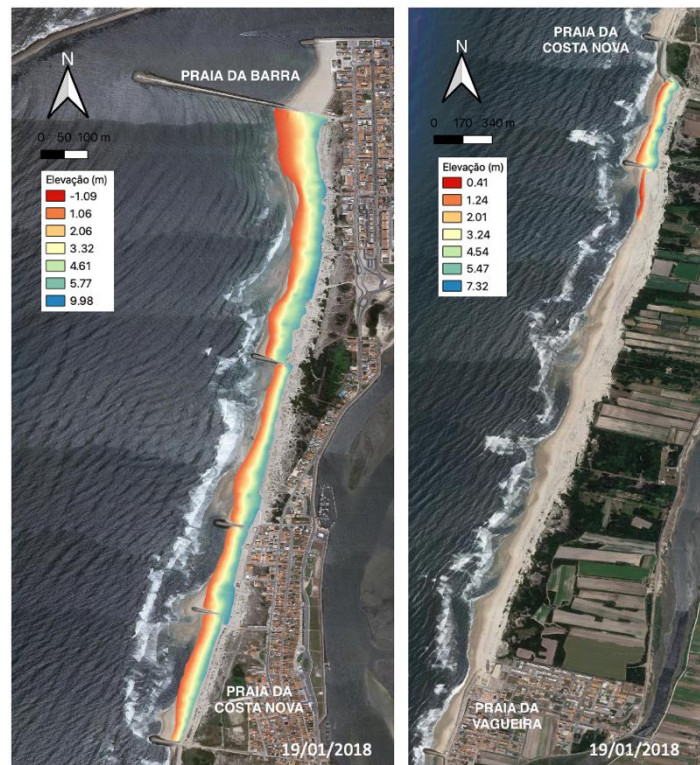


Figura 43 - Modelo Digital de Terreno ao longo da costa de Aveiro (Barra-Vagueira) a Janeiro de 2018.

Praia Submersa

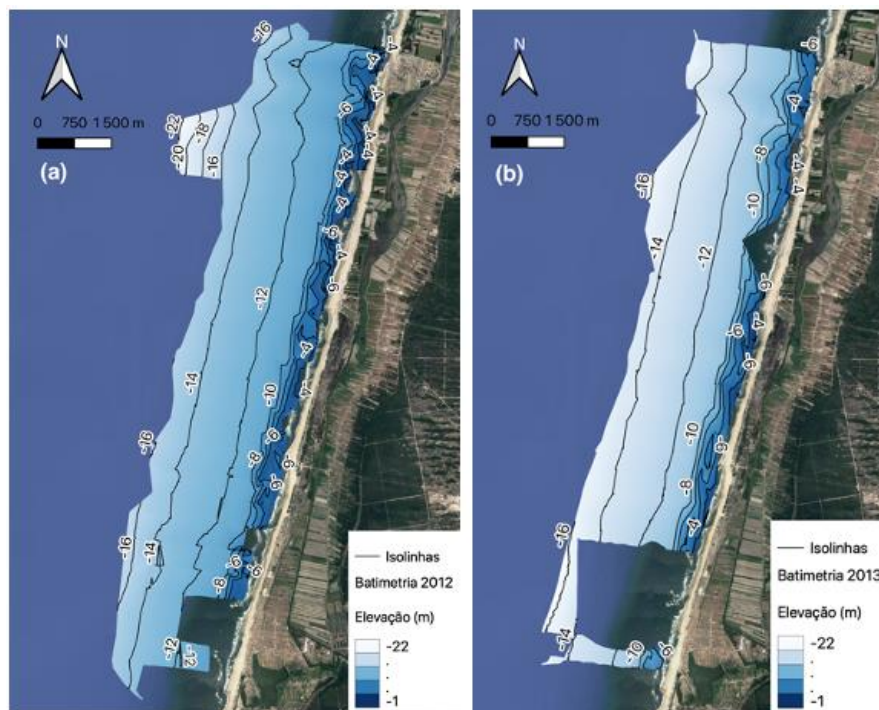


Figura 44 - Modelo Batimétrico Digital ao longo da costa de Aveiro (Vagueira-Mira) a: (a) 2012, (b) 2013.

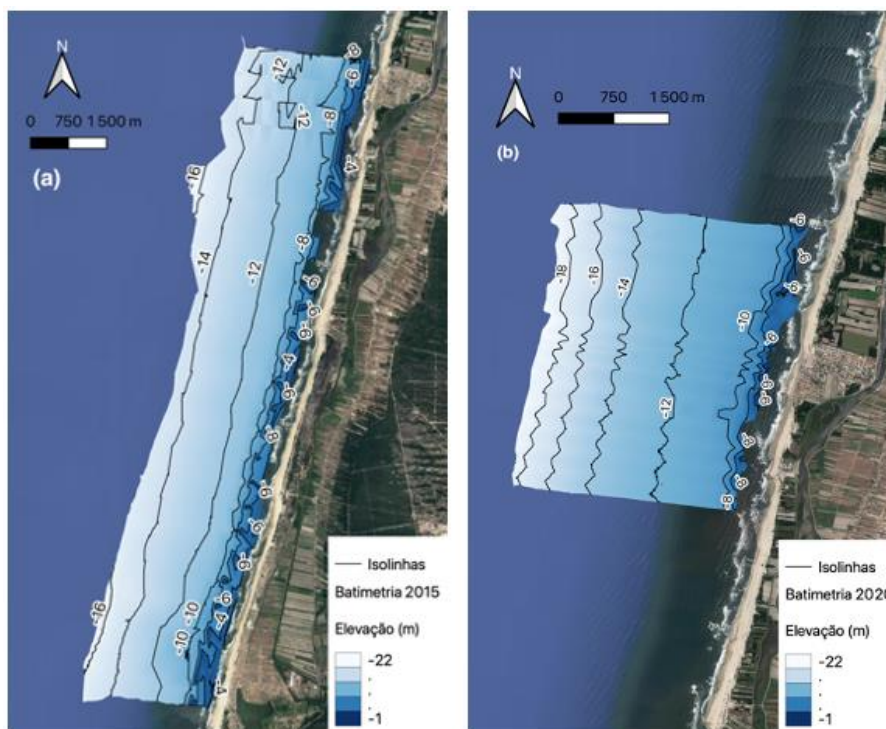


Figura 45 - Modelo Batimétrico Digital ao longo da costa de Aveiro (Vagueira-Mira) a: (a) 2015, (b) 2020.

4.2 Embocadura da Figueira da Foz

A área em estudo situa-se na costa oeste portuguesa e abrange a foz do rio Mondego e o litoral adjacente, abarcando a zona costeira entre a Praia de Buarcos até à Praia de Leirosa. Esta área costeira apresenta características distintas a norte e a sul da embocadura do rio, que irão determinar a dinâmica sedimentar destes setores e da própria embocadura. A norte do porto da Figueira da Foz existe uma extensão de 5km até ao Cabo Mondego e, a sul, o trecho costeiro tem uma extensão de cerca de 10km até à Praia da Leirosa, sendo caracterizado por praias de largura reduzida (Figura 46). A secção entre o molhe sul e a Cova Gala tem uma orientação de N-S enquanto que, à medida que se avança para sul, essa orientação passa a NNE-SSO. A costa do porto da Figueira da Foz devido à sua localização está exposta a um regime de agitação marítima que conduz a um intenso transporte litoral de sedimentos.



Figura 46 - Ilustração do trecho costeiro a sul do quebra-mar inferior da embocadura.

Devido ao intenso transporte sedimentar que ocorre em situações de agitação marítima mais energética é criada uma barra submersa na embocadura, que condiciona o acesso dos navios às instalações portuárias, sendo recorrente a necessidade da realização de dragagens de emergência para permitir a navegação. A utilização repetida aos recursos fornecidos pela intervenção da engenharia para regularizar e fixar a embocadura e permitir o movimento portuário reporta ao início dos anos 60 do século passado, com a construção dos molhes a norte e a sul da embocadura e, recentemente, com o seu prolongamento em 2010. A construção dos molhes teve um forte impacto na morfologia da zona costeira a norte e a sul da embocadura, verificando-se uma acumulação muito significativa de sedimentos na praia da Figueira da Foz, resultantes do transporte longilitoral e uma acentuada erosão a sul da embocadura (Dias *et al.*, 1994).

Uma vez que a frente urbana a sul da embocadura localiza-se numa zona suscetível à erosão, induzindo o recuo da linha de costa, construiu-se um conjunto de cinco esporões e três obras longitudinais aderentes na praia da Cova. Tanto na praia da Costa de Lavos como na praia da Leirosa observa-se a existência de um esporão, seguido de uma obra longitudinal aderente. Em todos estes casos, as obras pretendem mitigar o processo erosivo e o recuo da linha de costa, fixando a posição da linha de costa de modo a resguardar o património.

4.2.1 Dinâmica sedimentar

4.2.1.1 Agitação Marítima

A agitação marítima é a principal ação causadora do transporte sedimentar nos trechos costeiros. Em cada momento, o transporte depende de variáveis que caracterizam localmente a agitação: altura, período e direção de propagação da onda. Num determinado intervalo de tempo o transporte resultante depende da frequência e da sequência segundo as quais ocorrem os diversos tipos de agitação. Por este motivo, para o sucesso da simulação do transporte de sedimentos torna-se determinante a caracterização do clima de agitação marítima da região em estudo (Barata *et al.*, 1996).

A propagação da agitação do largo para a costa é acompanhada e influenciada por vários fenómenos. Enquanto as características ao largo podem-se assumir, aproximadamente, idênticas numa vasta extensão, as características junto à costa são próprias da cada local, já que são influenciadas pelos fundos e pelo “recorte” da costa. Estes fenómenos ocorrem por interação entre as ondas e os fundos e fronteiras sólidas, tais como praias, falésias e estruturas portuárias (Coelho, 2005).

Motivado pelo Anticiclone dos Açores, durante grande parte do ano, a costa portuguesa é afetada por ondulação de ONO. Embora com frequência inferior, existe igualmente ondulação proveniente de O e SO. A costa noroeste portuguesa é essencialmente

arenosa e é um setor costeiro afetado por uma agitação marítima bastante energética, caracterizado por uma altura de onda significativa média de dois metros e um período de 12s. A agitação de oeste (O) atinge o seu máximo no inverno, que é quando, geralmente, se dão os temporais provenientes de noroeste, com alturas de onda ao largo que facilmente chegam aos 8m, persistindo até cinco dias. O regime de maré é semidiurno, com uma amplitude de maré que varia entre 2 e 4m em marés vivas. O transporte longilitoral é, principalmente, devido às ondas de norte para sul com uma intensidade média de 1-2 milhões de metros cúbicos por ano. Os sedimentos necessários para saturar a capacidade de transporte das ondas são provenientes de duas fontes: o Rio Douro e a erosão costeira. Em regime natural, o Rio Douro debitaria cerca de 1.8 milhões de metros cúbicos por ano, mas esta taxa tem vindo a diminuir, mostrando atualmente uma tendência de cessação, e, como consequência tem-se verificado um aumento de erosão costeira (Coelho *et al.*, 2006).

4.2.1.2 *Caracterização Morfológica*

A dinâmica sedimentar é um tema complexo e de elevado grau de incerteza, uma vez que a estimativa de transportes sedimentares pode resultar em valores distintos, estando relacionados com as condições de agitação. O transporte litoral sólido determina-se consoante diferentes parâmetros que influenciam os resultados, fazendo com que as estimativas de um valor representativo do transporte de sedimentos ao longo do litoral seja muito difícil. Sendo assim, os valores na literatura para o transporte de sedimentos são escassos e díspares.

O setor costeiro da Figueira da Foz é muito variável a nível morfológico, desde costas rochosas até praias arenosas. A norte da foz do Mondego a costa é limitada por uma faixa arqueada de relevos de baixa altitude (entre 100 e 258m), finalizado pelo Cabo Mondego, uma arriba cuja base tem afloramentos rochosos. A sul deste cabo a costa inflete para sudeste e, a seguir à praia de Buarcos, vai transitando para uma costa arenosa, semi-encastrada (Figura 54) até à praia da Figueira da Foz (Coelho *et al.*, 2006). A sul da foz do Mondego a costa é arenosa, geralmente com cordões dunares associados (Cunha e Dinis, 1998).



Figura 47 - Representação da costa semi-encastada compreendida entre Buarcos e Figueira da Foz.

Fonte: Adaptado de Google Mapas.

O trecho litoral a norte da embocadura do porto da Figueira da Foz apresenta características distintas ao do trecho a sul, que irão determinar a sua dinâmica sedimentar e da própria embocadura, que é a zona de transição entre eles. O transporte longitudinal de sedimentos ao longo do setor faz-se predominantemente de norte para sul, sendo a maior evidência deste transporte a acumulação de sedimentos verificada na praia da Figueira da Foz após a construção dos molhes, que retiveram os sedimentos da deriva litoral. Esta acumulação de sedimentos tem sido alvo de análise e contribuído através de diversos estudos para a caracterização do volume de sedimentos em transporte neste trecho. No entanto, a existência do Cabo Mondego torna a avaliação do transporte sedimentar peculiar e, de acordo com Freire *et al.* (2005), para regimes de ondulação com importantes contribuições do setor SO, pode diminuir ou eliminar a deriva litoral através do Cabo Mondego. De acordo com o estudo de Cunha e Dinis (1998), existem ocorrências de transporte longitudinal que transpõem o Cabo Mondego de norte para sul, explicando, desta forma, a acumulação de sedimentos no trecho costeiro entre Buarcos e a Figueira da Foz. Tais factos, demonstram que os sedimentos que alimentam este setor provêm de regiões a norte do cabo. De entre os sedimentos que ficam retidos neste trecho costeiro, por vezes, essa acumulação acaba por formar bancos de areias que apresentam cerca de 300m de largura e 4m de altura contornando o molhe norte da embocadura, com adelgaçamento junto à cabeça do molhe sul (dados inferidos a partir de levantamentos topo-hidrográficos). Esses bancos de areia têm tendência a aproximar-se da barra e anteporto devido à fraca descarga do Mondego, prejudicando a entrada de embarcações de grande porte. Os estudos de Cunha e Dinis (1998) evidenciaram que a deriva litoral na Praia da Figueira da Foz, que alimenta o transporte sólido para sul através do molhe norte, apresenta uma variabilidade sazonal e interanual em função do regime de agitação marítima.

O trecho litoral a sul da embocadura compreendido entre o estuário do rio Mondego e a praia da Leirosa corresponde a uma praia arenosa extensa, com uma orientação da costa similar à do setor a norte do Cabo Mondego, estando sujeita ao mesmo regime de agitação. Assim, apresentará um valor de transporte longitudinal semelhante. A granulometria das areias do setor são essencialmente compostas por grãos de quartzo com dimensões médias e, na praia submersa, verificam-se sedimentos finos a muito finos (Coelho *et al.*, 2006). Ao longo do setor costeiro foram efetuadas várias obras de proteção costeira devido à falta de deposição sedimentar causada pela retenção a norte dos molhes.

4.2.2 Dados topográficos

Os dados topográficos da praia emersa foram obtidos a partir de campanhas realizadas com o sistema *INSHORE*. Os conjuntos de dados utilizados reportam às seguintes épocas:

- Novembro de 2014;
- Maio de 2015;
- Novembro de 2016;
- Dezembro de 2016.

A latitude e a longitude estão em coordenadas planimétricas referidas ao Datum 73 e a altitude referenciada ao datum altimétrico do marégrafo de Cascais, correspondente ao NMM.

De forma a facilitar a análise dos dados e tendo em atenção as barreiras impostas pelos esporões dividiu-se o trecho costeiro Buarcos – Leirosa em dois setores:

- Buarcos - Figueira da Foz (FFOZ) com cerca de 2,5 km de comprimento;
- Cova Gala – Lavos - Leirosa (CGLL) com cerca de 9 km de comprimento.

4.2.3 Dados batimétricos

Os dados batimétricos da praia submersa foram obtidos a partir de campanhas realizadas pelo sistema *INSHORE* adaptado para embarcação e abrangem a praia submersa entre Buarcos e Cova Gala. O conjunto de dados utilizados reporta às seguintes datas:

- Outubro de 2014;
- Fevereiro de 2015;
- Outubro de 2016;
- Junho de 2017.

A latitude e a longitude estão em coordenadas planimétricas referidas ao Datum 73 e a altitude corresponde ao NNM, ou seja, +2.00m do ZH.

4.2.4 Modelos Digitais de Terreno

Com os dados topográficos e batimétricos preparados recorreu-se ao *software* QGIS para se proceder à criação dos modelos digitais de terreno a partir dos perfis longitudinais e transversais.

As figuras que irão ser apresentadas neste subcapítulo são referentes aos modelos 3D do terreno gerados para cada conjunto de dados recolhidos nas campanhas realizadas, no entanto, para melhor compreensão, serão apresentados os modelos criados com os dados topográficos (praia emersa) e, em segundo lugar, os modelos para os dados batimétricos (praia submersa). As Figuras 48 a 50 estão organizadas por diferentes anos e divididas por setores costeiros (Buarcos – Figueira da Foz (FFOZ), Cova Gala – Lavos (CGLavos) e Lavos Leirosa (LL)), enquanto que as Figuras 51 e 52 estão organizadas apenas por diferentes anos.

Praia Emersa

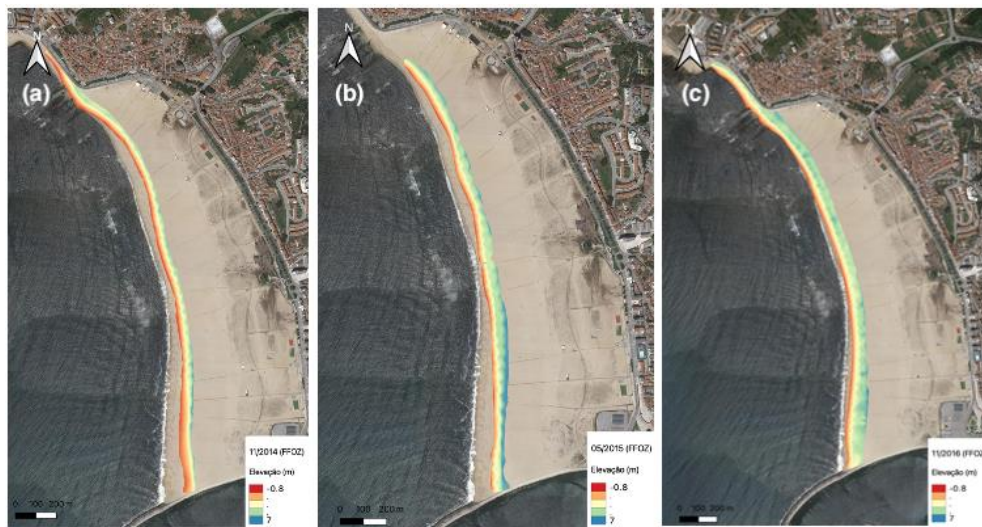


Figura 48 - Modelo Digital de Terreno ao longo do setor FFOZ a: (a) Novembro de 2014, (b) Maio de 2015, (c) Novembro de 2016.

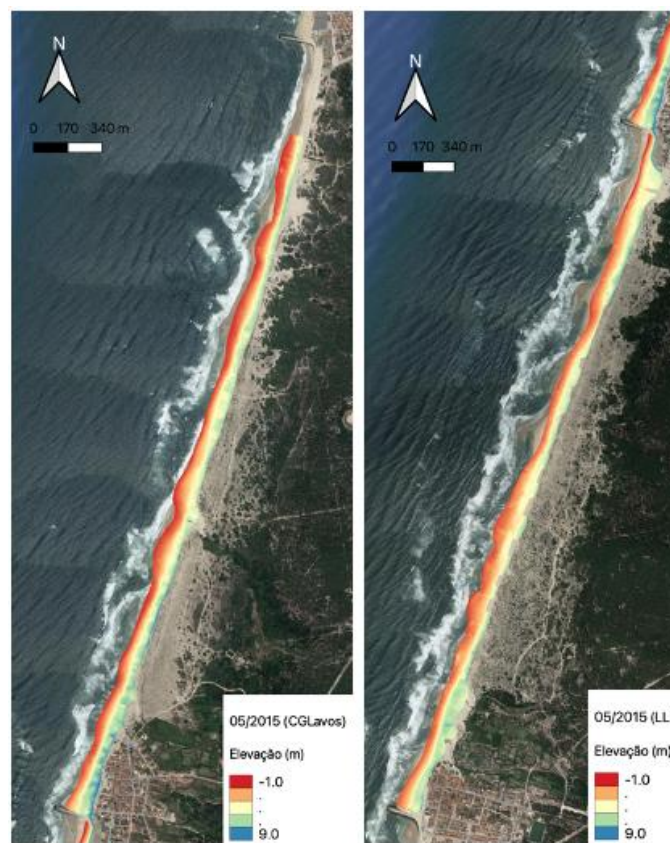


Figura 49 - Modelo Digital de Terreno ao longo do setor CGLL a Maio de 2015.

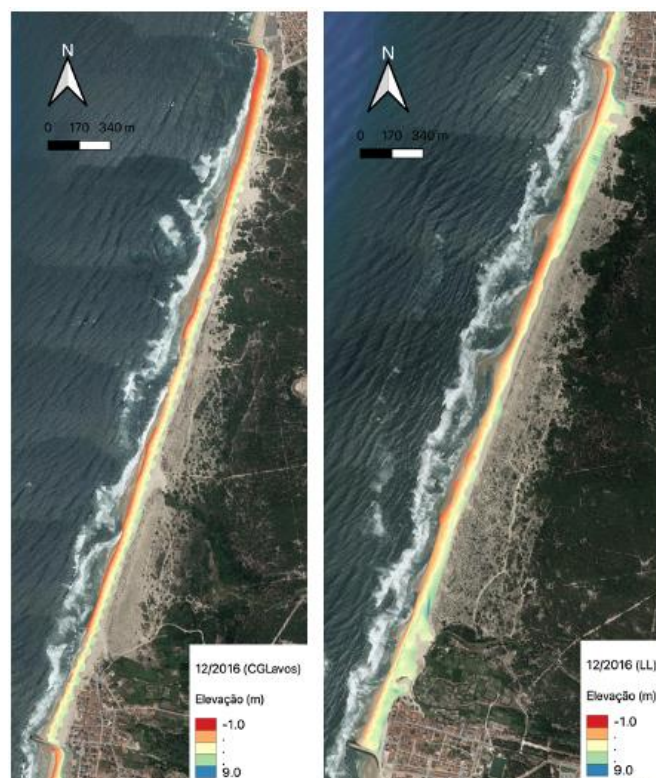


Figura 50 - Modelo Digital de Terreno ao longo do setor CGLL a Dezembro de 2016.

Praia submersa

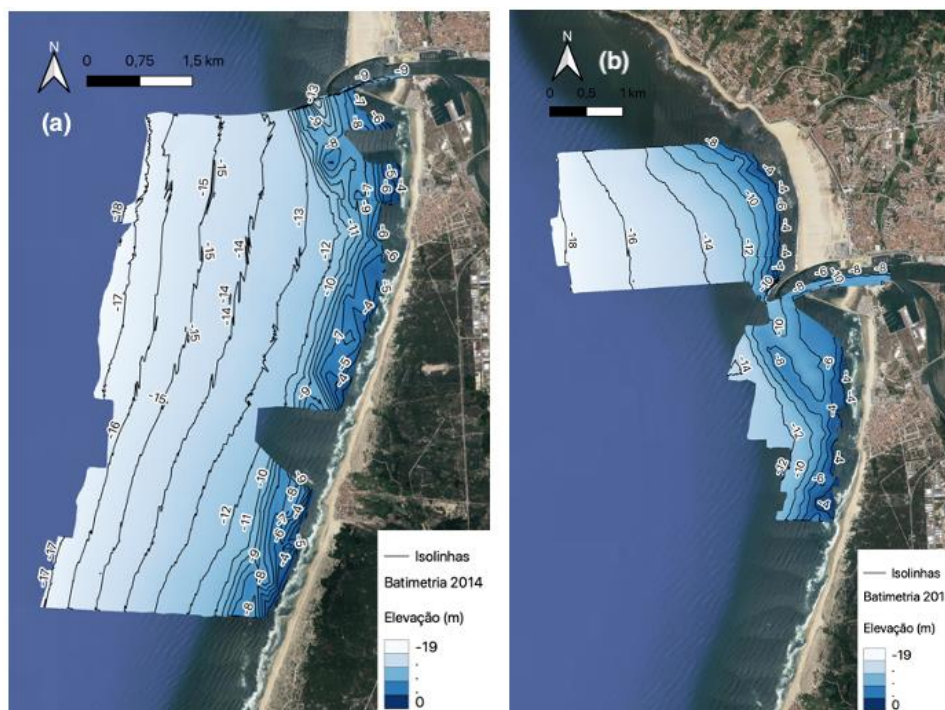


Figura 51 - Modelo Batimétrico Digital ao longo da costa da Figueira da Foz a: (a) Outubro de 2014, (b) Fevereiro de 2015.

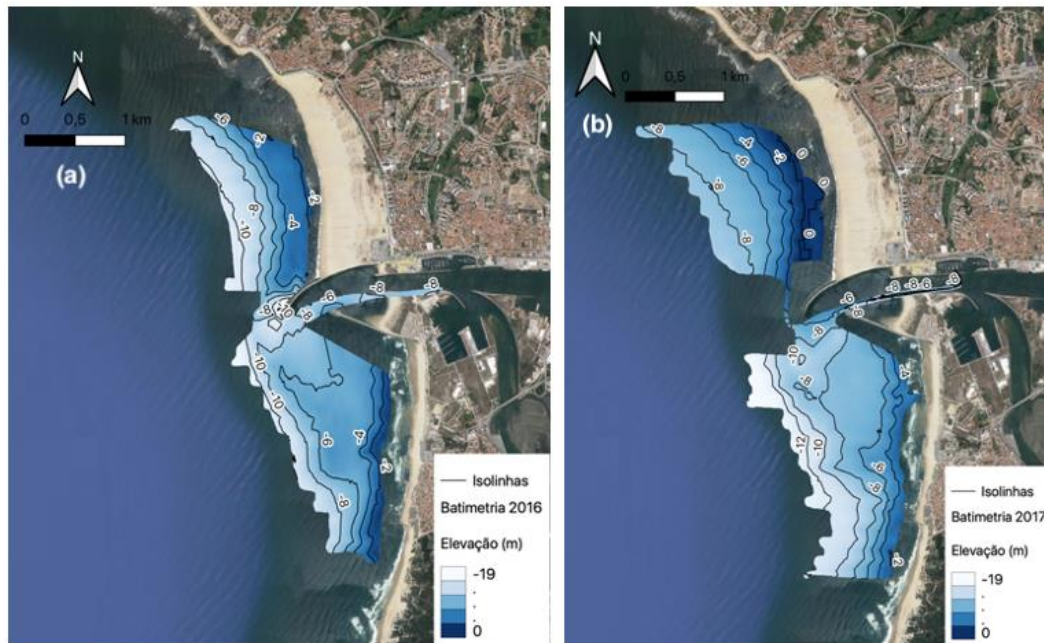


Figura 52 - Modelo Batimétrico Digital ao longo da costa da Figueira da Foz a: (a) Outubro de 2016, (b) Junho de 2017

RESULTADOS E DISCUSSÃO

- 5.1 Embocadura de Aveiro
- 5.2 Embocadura da Figueira da Foz

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados e será feita a análise e discussão dos mesmos para as embocaduras de Aveiro e da Figueira da Foz. Para cada secção serão estudadas, separadamente, a praia emersa e a praia submersa, avaliando a evolução morfológica que envolve o cálculo de balanços sedimentares pretendendo-se averiguar possíveis relações com eventos de temporal para justificar alguns episódios observados. Além disso, serão também confrontados os resultados com intervenções efetuadas nas praias, tomando como base informações relativas à deposição de dragados nas praias.

5.1 Embocadura de Aveiro

5.1.1 Evolução da praia emersa

Este subcapítulo apresenta os resultados obtidos da análise de dados topográficos de 2012 a 2018 para a evolução temporal do setor Praia da Barra – Praia da Vagueira. A análise é dividida em dois tipos: na variabilidade morfológica baseada nos MDT e na variação dos volumes sedimentares. Na análise dos MDT, fez-se uma caracterização da praia em termos de variações de cotas por toda a praia emersa, sendo este um indicador das tendências erosivas e acrecionárias da praia e das suas localizações. Na variação dos volumes sedimentares, são remetidos os valores calculados para uma tabela e uma figura que complementa a sua análise.

Analisando os modelos digitais de terreno apresentados na presente dissertação, pode determinar-se que as alturas de praia variam de -1,09m a 9,78m (NMM). A menor elevação foi observada em 2017 e a maior elevação em 2015 e 2016. Nestes anos, o setor Praia da Barra - Praia da Costa Nova, geralmente, tinha alturas mais elevadas do que o setor entre a Praia da Costa Nova e o norte da Praia da Vagueira. Não foram verificadas grandes diferenças entre os setores nos anos subsequentes.

Na Tabela 4 estão listados os volumes e as áreas da praia emersa em cada ano, assumindo como nível de referência o nível médio do mar. Após analisar as cotas de praia verifica-se que existem alturas médias da praia emersa que variam de ano para ano, denotando erosão e acreção em períodos distintos. Nota-se, contudo, que as áreas dos levantamentos nem sempre coincidem, pelo que a análise deve ser interpretada com reservas. Desta forma, é conveniente comparar anos consecutivos para se efetuar uma análise para áreas de levantamentos coincidentes.

Tabela 4 – Volume, Área e Alturas da Praia Emersa em cada ano.

Ano	Volume (m³)	Área (m²)	Altura (m)
2013	2652657	886577	2,99
2014	2189253	816962	2,68
2015	3171775	930279	3,41
2016	2588764	751707	3,44
2017	2944461	780248	3,77
2018	1532662	442672	3,46

As Figuras 53 a 57 apresentam as diferenças entre os volumes sedimentares de áreas coincidentes, destacando as acreções e erosões verificadas entre períodos analisados consecutivos. Para realizar as comparações agruparam-se os anos de acordo com a Tabela 5. Percebe-se que os meses em que os levantamentos são distintos pelo que os dados também se encontram afetados de alterações sazonais (e.g., perfis de praia de verão ou de inverno).

Tabela 5 - Grupos de períodos anuais para comparação de dados topográficos.

Períodos (ano/mês)				
2013/10 – 2014/02	2014/02 – 2015/10	2015/10 – 2016/01	2016/01 – 2017/10	2017/10 – 2018/01

No período de 2013-2014 (Figura 53), as maiores observações de alterações no setor Praia da Barra - Praia da Costa Nova (BCN), recaem sobretudo sobre o primeiro, segundo e terceiro esporões em que é visível uma enorme erosão de -4,0m a norte destes. A norte do quebra-mar houve um aumento de volume na área da praia.



Figura 53 - Mapa de diferenças entre modelos digitais de terreno desde Outubro de 2013 a Fevereiro de 2014.

A cor vermelha corresponde à erosão e a cor verde à acreção (esquerda: setor Barra - Costa Nova; direita: setor Costa Nova - Vagueira).

No período de 2014-2015 (Figura 54), de uma forma genérica, verifica-se um nível de aumento de acumulação de sedimentos por inteiro nos dois setores, sendo mais visível essa acreção no setor CNV. No setor BCN conseguem-se distinguir três zonas principais de erosão, a sul do primeiro esporão e a norte do segundo esporão, bem como, ao longo do trecho litoral compreendido entre o terceiro e quarto esporão.



Figura 54 - Mapa de diferenças entre modelos digitais de terreno desde Fevereiro de 2014 a Outubro de 2015.

A cor vermelha corresponde à erosão e a cor verde à acreção (esquerda: setor Barra - Costa Nova; direita: setor Costa Nova - Vagueira).

No período 2015-2016 (Figura 55), no setor BCN houve um aumento de sedimentos na zona a sul do quebra-mar e a sul do penúltimo esporão do trecho costeiro. No setor CNV verifica-se de forma geral uma acumulação e erosão de sedimentos por todo o trecho costeiro, sendo difícil determinar padrões específicos.



Figura 55 - Mapa de diferenças entre modelos digitais de terreno desde Outubro de 2015 a Janeiro de 2016.

A cor vermelha corresponde à erosão e a cor verde à acreção (esquerda: setor Barra - Costa Nova; direita: setor Costa Nova - Vagueira)

No período 2016-2017 (Figura 56), as maiores variações de volume ocorreram no setor BCN. Por norma, a erosão ocorre logo a sul do esporão, do lado ascendente, enquanto que a acumulação de sedimentos ocorre a norte do esporão seguinte, basicamente, do lado descendente. Desta forma, verifica-se que a deposição sedimentar é feita de norte para sul. No setor CNV houve uma maior acumulação de sedimentos reforçando a praia.



Figura 56 - Mapa de diferenças entre modelos digitais de terreno desde Janeiro de 2016 a Outubro de 2017.

A cor vermelha corresponde à erosão e a cor verde à acreção (esquerda: setor Barra - Costa Nova; direita: setor Costa Nova - Vagueira).

A área analisada no período 2017-2018 é menor que as anteriores devido ao levantamento topográfico ter sido interrompido em 2018. Na Figura 57 podemos verificar que tanto no setor BCN como no setor CNV predomina a erosão. As principais áreas de erosão no setor BCN são nas áreas envolventes dos esporões.

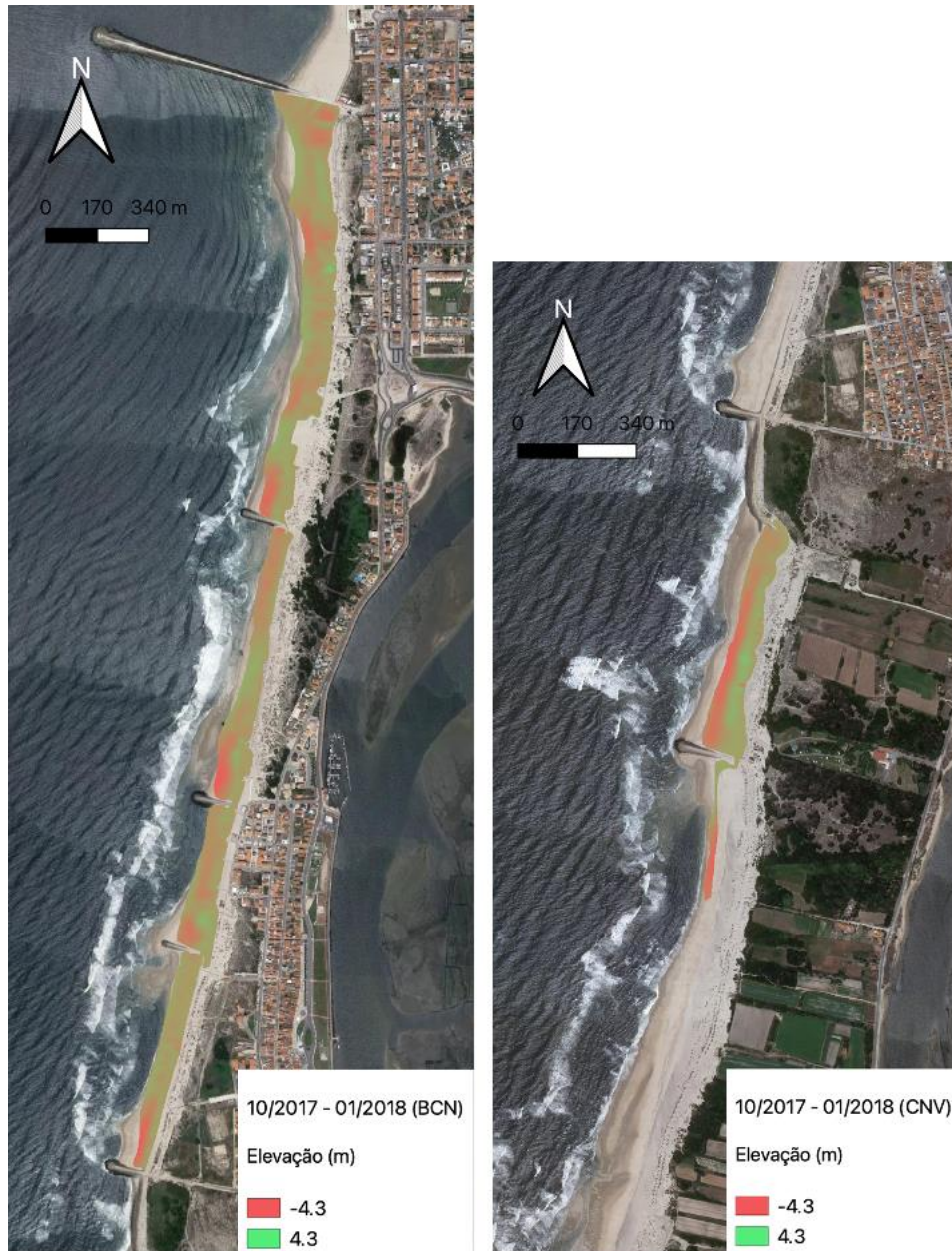


Figura 57 - Mapa de diferenças entre modelos digitais de terreno desde Outubro de 2017 a Janeiro de 2018.

A cor vermelha corresponde à erosão e a cor verde à acreção (esquerda: setor Barra - Costa Nova; direita: setor Costa Nova - Vagueira).

A Tabela 6 lista os balanços sedimentares obtidos para a praia emersa ao longo do tempo.

Tabela 6 – Cálculos de balanços sedimentares para a área da Praia Emersa de Aveiro.

Período	Volume de Erosão (E)	Área de Erosão (AE)	Volume de Acreção (A)	Área de Acreção (AA)	Área Total (AE+AA)	Tempo (T)	Erosão (E/(AE+AA)/T)	Acreção (A/(AA+AE)/T)	Balanço Sedimentar ((A-E)/(AE+AA)/T)
[ano/mês]	[m ³]	[m ²]	[m ³]	[m ²]	[m ²]	[meses]	[m ³ /m ² /mês]	[m ³ /m ² /mês]	[m ³ /m ² /mês]
2013/10 - 2014/02	658126	557225	82584	170199	727424	4	0,226	0,028	-0,198
2014/02 - 2015/10	27220	71871	955143	669137	741007	20	0,002	0,064	0,063
2015/10 - 2016/01	433377	397470	155009	294000	691469	3	0,209	0,075	-0,134
2016/01 - 2017/10	120202	191352	467149	425050	616403	16	0,012	0,047	0,035
2017/10 - 2018/01	274239	315470	24034	76622	392092	3	0,233	0,020	-0,213

O maior intervalo entre levantamentos de campo é de 20 meses, enquanto que o menor é de 3 meses. Os períodos de 2014-2015 e 2016-2017 apresentam balanços sedimentares positivos (0,063 e 0,035 m³/m²/mês, respetivamente). O balanço positivo significa um aumento médio da elevação da praia emersa durante esses meses. No entanto, nos períodos 2013-2014, 2015-2016 e 2017-2018 os balanços sedimentares apresentados são negativos, o que transmite uma redução de sedimentos e, conseqüentemente, da elevação da praia emersa. O período 2015-2016 é caracterizado pela maior taxa de erosão (0,209 m³/m²/mês), comparativamente à taxa de acreção (0,075 m³/m²/mês). De referir que esse período compreende apenas três meses de inverno. Adicionalmente, durante alguns dos períodos analisados, foram realizadas operações de alimentação de praias, contribuindo para aumentar o seu volume. Estas intervenções tiveram participação em 2014 na Praia da Barra com um volume de 220.000 m³ e uma alimentação de backshore em 2016 no setor Praia da Costa Nova – Praia de Mira (a sul da área de estudo) com um volume de 1.000.053 m³ (Pinto *et al.*, 2018).

A Figura 58 ilustra a evolução temporal dos balanços sedimentares, confrontando-os com o decurso das alimentações artificiais de praias efetuadas. Com estas intervenções, é de notar que nos anos seguintes, como por exemplo 2015 e 2017, os valores de balanço sedimentar foram positivos, tendo diminuído as áreas de erosão e aumentado as áreas de acreção.

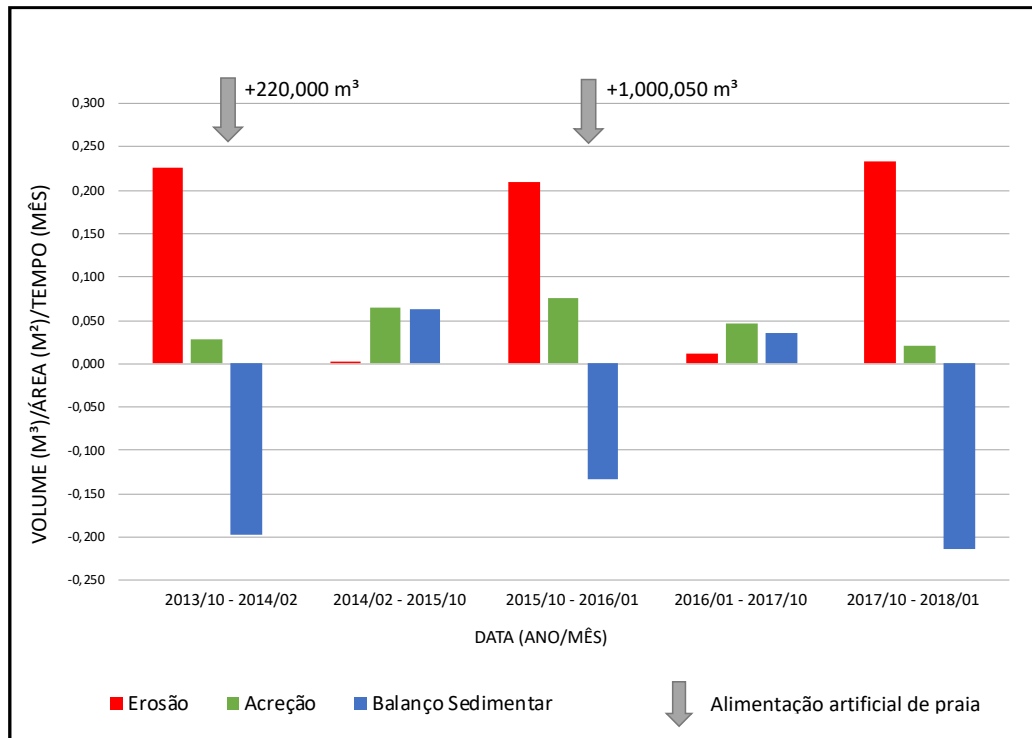


Figura 58 - Evolução da erosão, acreção e do balanço sedimentar na área da Praia Emersa de Aveiro.

O clima de agitação marítima afeta a evolução da praia, a caracterização desta é baseada nos parâmetros de altura significativa (H_s), período médio (T_m), período de pico (T_p) e direção média de procedência da ondulação ($DirM$). Em geral, pode-se presumir que após tempestades a praia emersa tenderá a mostrar erosão, bem como, após condições calmas tenderá a mostrar sinais de acreção (i.e., ganho de sedimentos).

De acordo com López Olmedilla *et al.* (2019) uma tempestade na costa em análise é identificada quando a altura significativa da onda (H_s) é superior a 4,7m. Para uma análise simplificada dos resultados, são utilizados gráficos de séries temporais das alturas significativas das ondas (Figura 59 a 63), nas quais podem ser identificados períodos de tempestades.

No período 10/2013 – 02/2014 (Figura 59) ocorreram grandes tempestades pouco antes do segundo levantamentos topográfico ($H_s > 8m$). Essas grandes tempestades podem explicar os fenômenos de erosão que foram mostrados nos resultados nesses quatro meses. A mesma situação ocorre no período 10/2015 – 01/2016 (Figura 61) e 10/2017 – 01/2018 (Figura 63). No período de 02/2014 – 10/2015 (Figura 60) e 01/2016 – 10/2017 (Figura 62), não houve tempestades significativas antes da pesquisa, o que pode ter um impacto na redução da erosão nos sedimentos da praia e ter conduzido a um balanço sedimentar positivo.

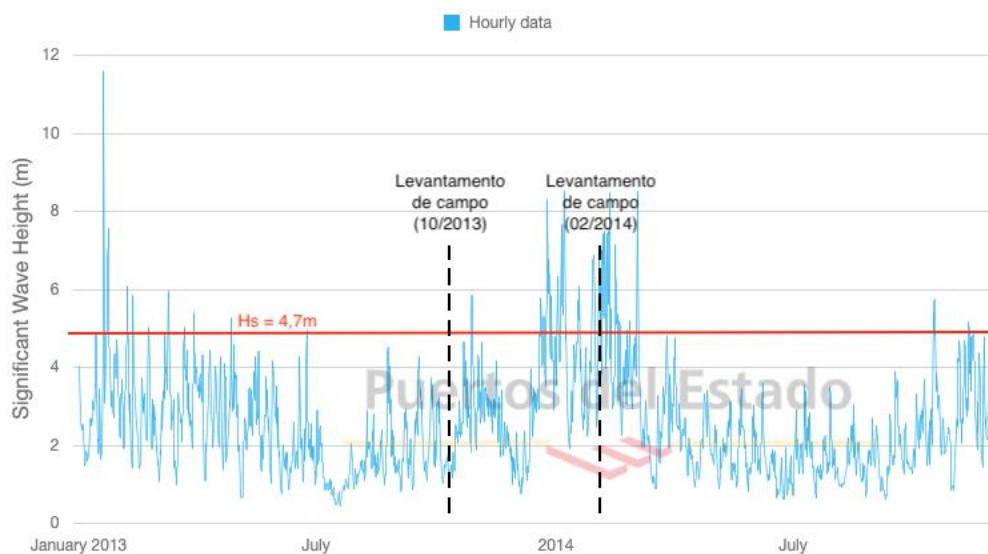


Figura 59 - Séries temporais de altura de onda significativa para 2013-2014 tendo em consideração o valor limite de Hs = 4,7m para definir um evento de tempestade.

Fonte: www.puertos.es.

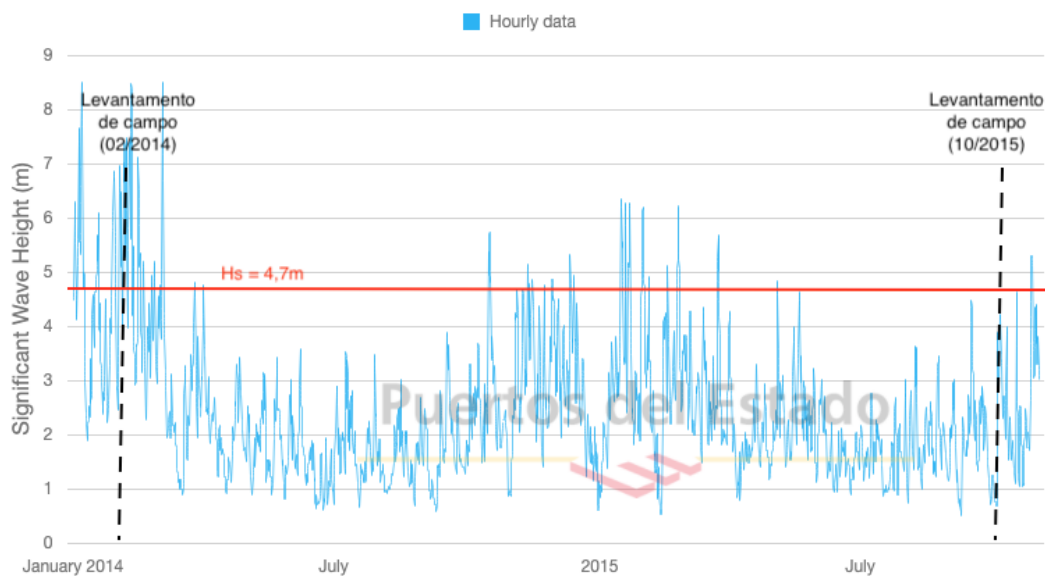


Figura 60 - Séries temporais de altura de onda significativa para 2014-2015 tendo em consideração o valor limite de Hs = 4,7m para definir um evento de tempestade.

Fonte: www.puertos.es.

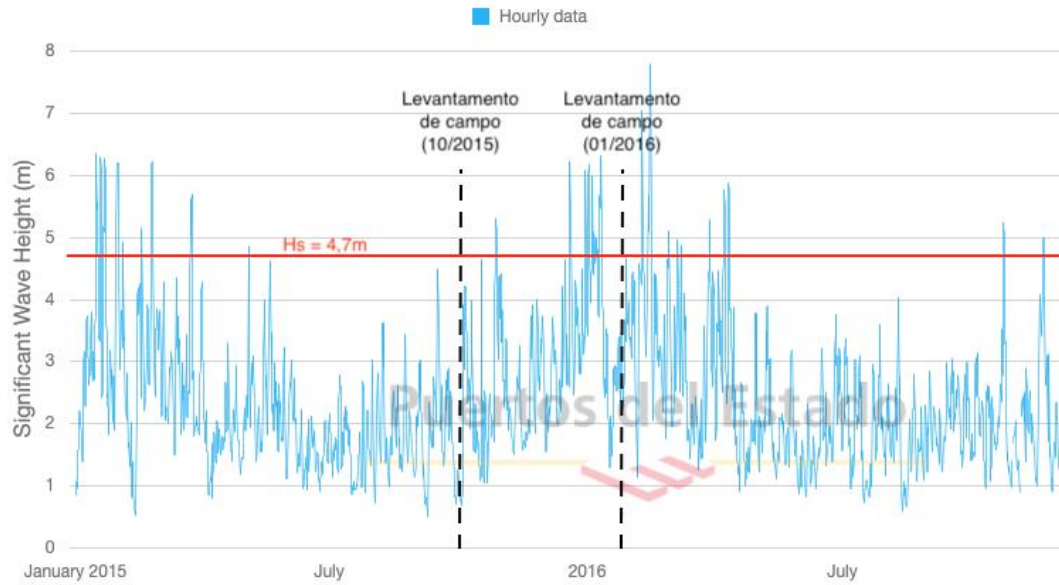


Figura 61 - Séries temporais de altura de onda significativa para 2015-2016 tendo em consideração o valor limite de $H_s = 4,7m$ para definir um evento de tempestade.

Fonte: www.puertos.es.

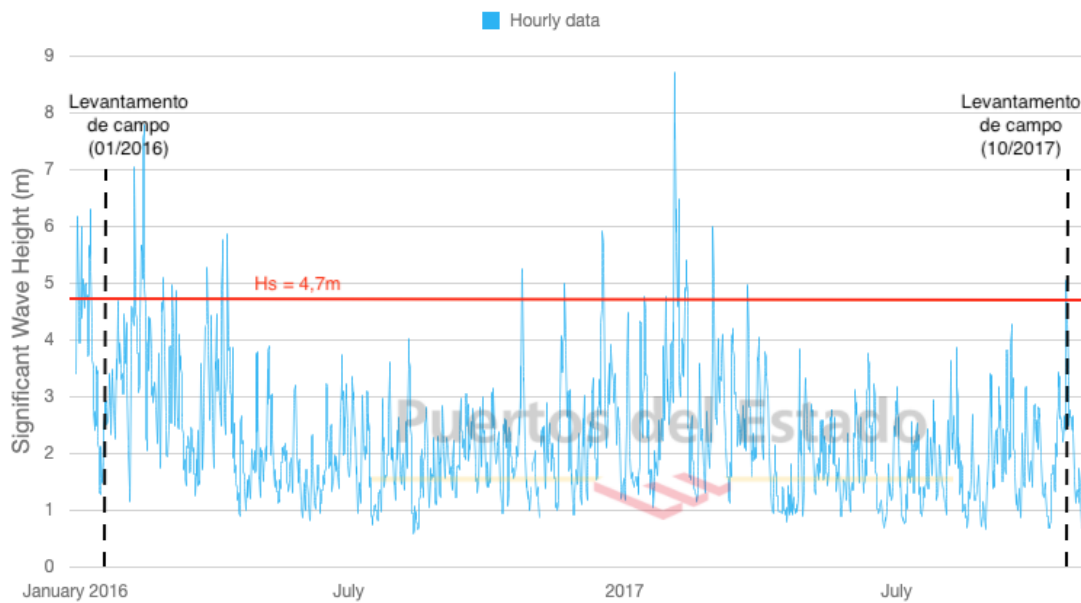


Figura 62 - Séries temporais de altura de onda significativa para 2016-2017 tendo em consideração o valor limite de $H_s = 4,7m$ para definir um evento de tempestade.

Fonte: www.puertos.es.

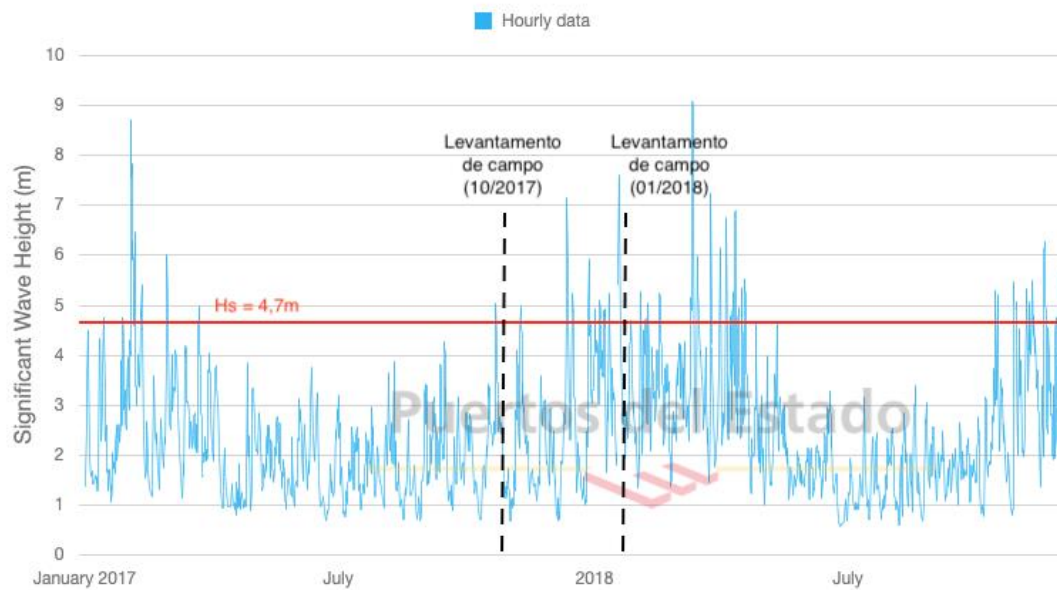


Figura 63 - Séries temporais de altura de onda significativa para 2017-2018 tendo em consideração o valor limite de $H_s = 4,7\text{m}$ para definir um evento de tempestade.

Fonte: www.puertos.es.

5.1.2 Evolução da praia submersa

Nesta parte, os resultados apresentados estão relacionados com a análise de dados batimétricos de 2012, 2013, 2015 e 2020 referentes à praia submersa entre a Praia da Vagueira à Praia da Mira.

Após a análise dos modelos digitais de terreno, verifica-se que no período 2012-2013 as profundidades máximas e mínimas dos levantamentos variaram entre -22,27m e -1,80m. No período 2015-2020 as profundidades verificadas variaram de -19,90m a -3,04m.

Na Figura 64 são apresentados os mapas de diferenças de volumes sedimentares dos modelos numéricos de terreno obtidos entre os anos em estudo, onde é possível verificar os níveis de erosão e acreção, bem como as suas localizações.

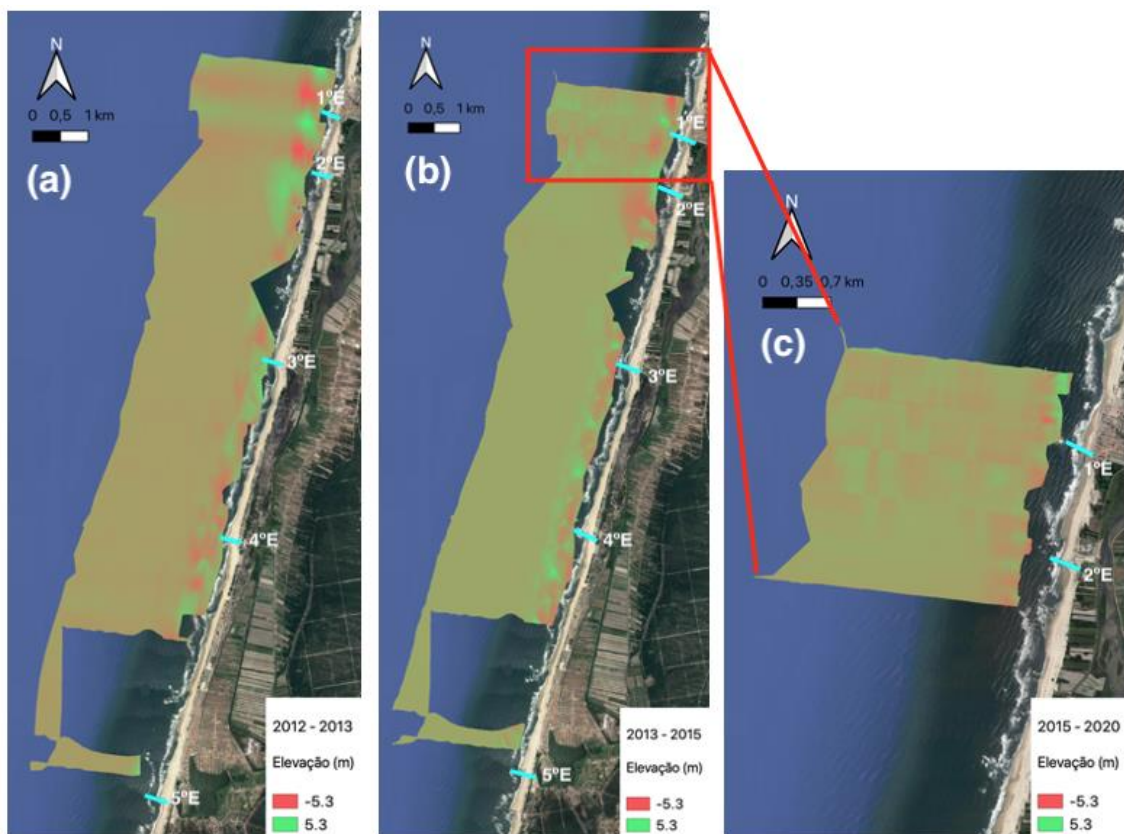


Figura 64 - Mapa de diferenças entre modelos digitais de terreno (batimétrico) desde: (a) 2012 a 2013, (b) 2013 a 2015, (c) 2015 a 2020.

A cor vermelha corresponde à erosão e a cor verde à acreção.

Como se pode verificar na Figura 64, as grandes variações de volume sedimentar nos fundos oceânicos alternando entre erosão e acreção ocorrem, predominantemente, para as menores profundidades. Os períodos 2012-2013 e 2013-2015 são bastante comparáveis, no entanto as diferenças na acumulação e erosão de sedimentos são bastante diferentes. No período 2012-2013 houve um aumento de sedimentação que conduziu a elevações de cerca de 5m em zonas envolventes entre o primeiro esporão e o terceiro. Mais a sul, a partir do quarto esporão, já se verificou um número maior de zonas erodidas, o que indicia um estreitamento de área da praia emersa. No período 2013-2015, de norte a sul do trecho costeiro verifica-se maioritariamente áreas de erosão denotando que neste período terá ocorrido um recuo da linha de costa. No período 2015-2020 a área de comparação é mais reduzida, predominando erosão junto à costa mais a sul, verificando-se uma área com acreção a norte. Neste período verificou-se menor acumulação de sedimentos.

Na Tabela 7 e na Figura 65 são apresentados os resultados normalizados dos mapas de diferenças entre as pesquisas de 2012 a 2020. Os resultados da erosão e acreção são indicados através do seu volume em relação à área total (área de erosão + área de acreção). No período de 2012-2013 verificou-se que a taxa de acumulação de sedimentos era ligeiramente superior à taxa de erosão, originando deste modo um balanço sedimentar positivo, ou seja, ocorreu um volume de acreção de sedimentos superior ao de erosão. No período de 2013-2015, em contraste com o período anterior, a taxa de erosão foi um pouco superior à taxa de acreção. Tal facto é determinado pelo balanço sedimentar negativo, que pode indiciar que nesse período tenha ocorrido um recuo da linha de costa. No período de 2015-2020 (diferença de cinco anos) verificou-se um balanço nulo na área levantada, o que transmite que nestes cinco anos, apesar de poder terem ocorrido algumas alterações morfológicas dependentes de avanços ou recuos da linha costa, no último ano em que se fez o levantamento comparado com o primeiro ano a costa manteve-se praticamente inalterada.

Tabela 7 - Cálculos de balanços sedimentares para a área da Praia Submersa de Aveiro.

Período	Volume de Erosão (E)	Área de Erosão (AE)	Volume de Acreção (A)	Área de Acreção (AA)	Área Total (AE+AA)	Tempo (T)	Erosão (E/(AE+AA)/T)	Acreção (A/(AA+AE)/T)	Balanço Sedimentar ((A-E)/(AE+AA)/T)
[ano/mês]	[m ³]	[m ²]	[m ³]	[m ²]	[m ²]	[meses]	[m ³ /m ² /mês]	[m ³ /m ² /mês]	[m ³ /m ² /mês]
2012 - 2013	4054445	11780560	5048293	14456049	26236609	12	0,013	0,016	0,003
2013 - 2015	3742562	8754157	2475165	17478635	26232792	24	0,006	0,004	-0,002
2015 - 2020	1001890	2454237	1098144	3352395	5806632	60	0,003	0,003	0,000

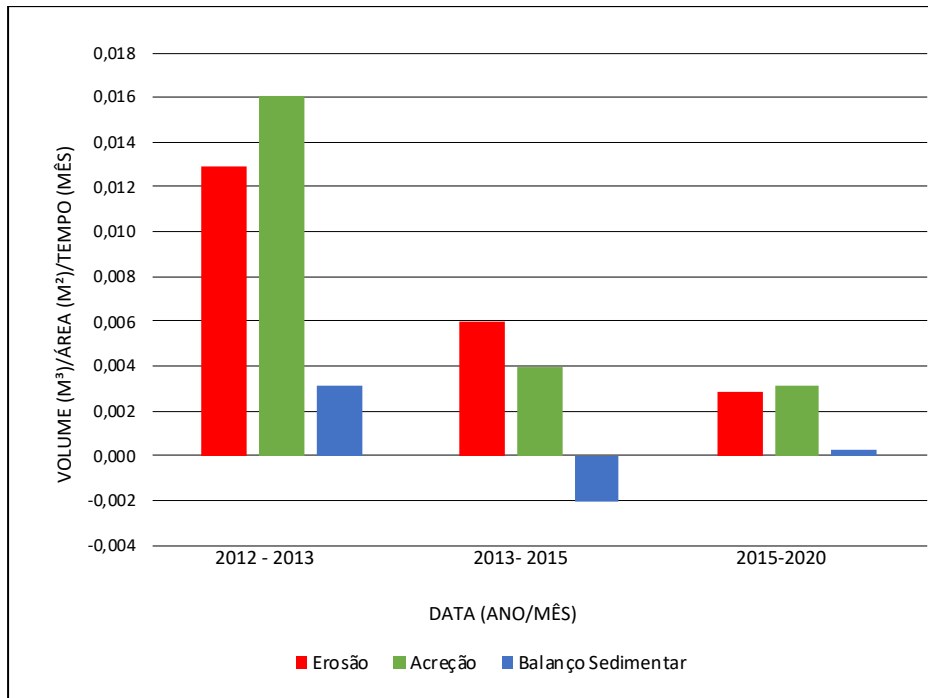


Figura 65 - Evolução da erosão, acreção e do balanço sedimentar na área da Praia Submersa de Aveiro.

No período 2012-2013 (Figura 66), com o balanço sedimentar positivo, ocorreram alturas significativas de onda na ordem dos 3,5m. As ondas de tempestade acima de 4,7m ocorreram muito pontualmente no período em análise. No período seguinte, de 2013-2015 (Figura 67), com balanço negativo de sedimentos, as ondas foram mais energéticas sobretudo no início do ano de 2014, atingindo alturas de onda significativas acima de 5 e 6m. No período 2015-2020 (Figura 68), o balanço sedimentar foi praticamente neutro. Em termos de agitação marítima pode concluir-se que se notam os períodos de tempestade concentrados sobretudo no inverno, seguindo-se-lhes períodos de menor agitação nos meses seguintes. Tal facto ajuda a entender que as taxas de erosão e acreção tenham sido muito semelhantes entre si, originando um balanço sedimentar residual.

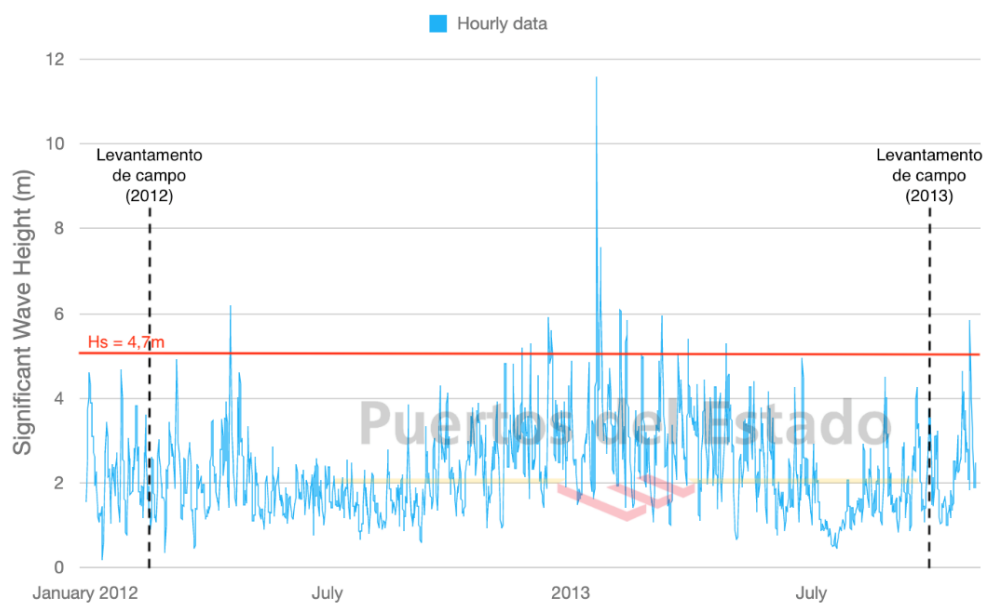


Figura 66 - Séries temporais de altura de onda significativa para 2012-2013 tendo em consideração o valor limite de $H_s = 4,7\text{m}$ para definir um evento de tempestade.

Fonte: www.puertos.es.

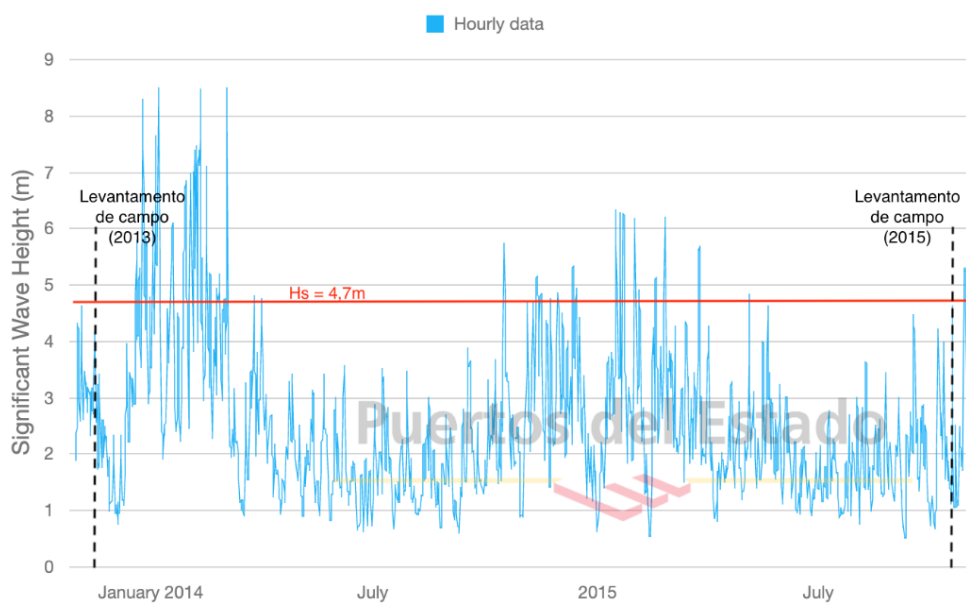


Figura 67 - Séries temporais de altura de onda significativa para 2013-2015 tendo em consideração o valor limite de $H_s = 4,7\text{m}$ para definir um evento de tempestade.

Fonte: www.puertos.es.

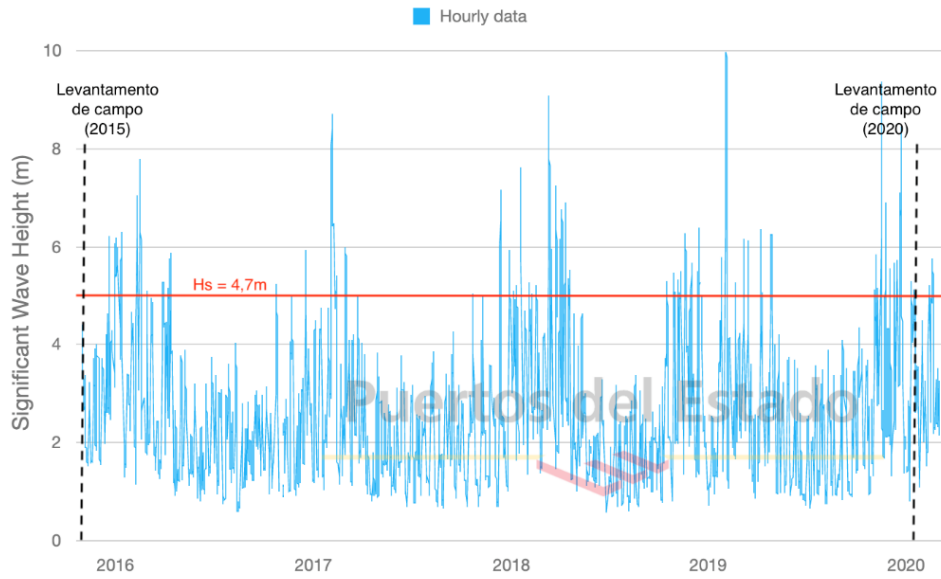


Figura 68 - Séries temporais de altura de onda significativa para 2015-2020 tendo em consideração o valor limite de $H_s = 4,7\text{m}$ para definir um evento de tempestade.

Fonte: www.puertos.es.

5.2 Embocadura da Figueira da Foz

5.2.1 Evolução da praia emersa

Neste subcapítulo apresentam-se os resultados da análise de dados topográficos de 2014 a 2016 para o setor Buarcos - Figueira da Foz (FFOZ) e, de 2015 a 2016, para o setor Cova Gala - Lavos – Leirosa (CGLL), tendo em conta a evolução temporal de cada um. A análise é dividida em dois pontos: na variabilidade morfológica baseada nos MDT e na variação dos volumes sedimentares. Na análise dos MDT, fez-se uma caracterização da praia emersa em termos de variações de cotas por toda a praia emersa, sendo este um indicador das tendências erosivas e acrecionárias da praia e das suas localizações, enquanto que na variação dos volumes sedimentares são apresentados os resultados calculados, bem como a respetiva compreensão dos mesmos.

Tendo por base o que foi mencionado, as observações foram efetuadas tanto para a zona norte da embocadura da Figueira da Foz (setor FFOZ) como para a zona sul (setor CGLL). Infelizmente, algumas áreas analisadas nem sempre se sobrepõem devido à falta de dados de medições.

5.2.1.1 Setor Buarcos – Figueira da Foz (FFOZ)

Após a análise dos modelos digitais do terreno apresentados no Capítulo 3, determina-se que as alturas de praia variam de -0,71m a 6,82m (NMM). A menor cota medida ($z = -0,71\text{m}$) foi registada em 2016 e a cota mais elevada ($z = 6,82\text{m}$) em 2015.

Na Tabela 8 estão listados os volumes sedimentares das praias, assumindo como nível de referência o nível médio do mar.

Tabela 8 – Volume, Área e Alturas da Praia Emersa em cada ano.

Ano	Volume (m ³)	Área (m ²)	Altura (m)
2014	294089	113503	2,59
2015	416296	114679	3,63
2016	656571	193810	3,39

Conforme a análise das alturas de praias, a Tabela 8 corrobora os valores apresentados, pois no ano 2015 foi o ano em que se verificou a maior altura de praia e em 2016 houve uma ligeira descida (3,39m).

A Figura 69 apresenta as diferenças entre os volumes sedimentares, onde entram as acreções, as erosões e as suas localizações.

No período de 2014-2015 ocorreram grandes variações no volume de sedimentos referentes a sedimentação de areias (acreção). Apenas numa pequena parte central da praia ocorreu alguma erosão. Em contraste, no período 2015-2016, as diferenças na erosão e acumulação são mais distribuídas, onde a acumulação domina no norte da praia e a erosão no sul deste setor (Figura 69).

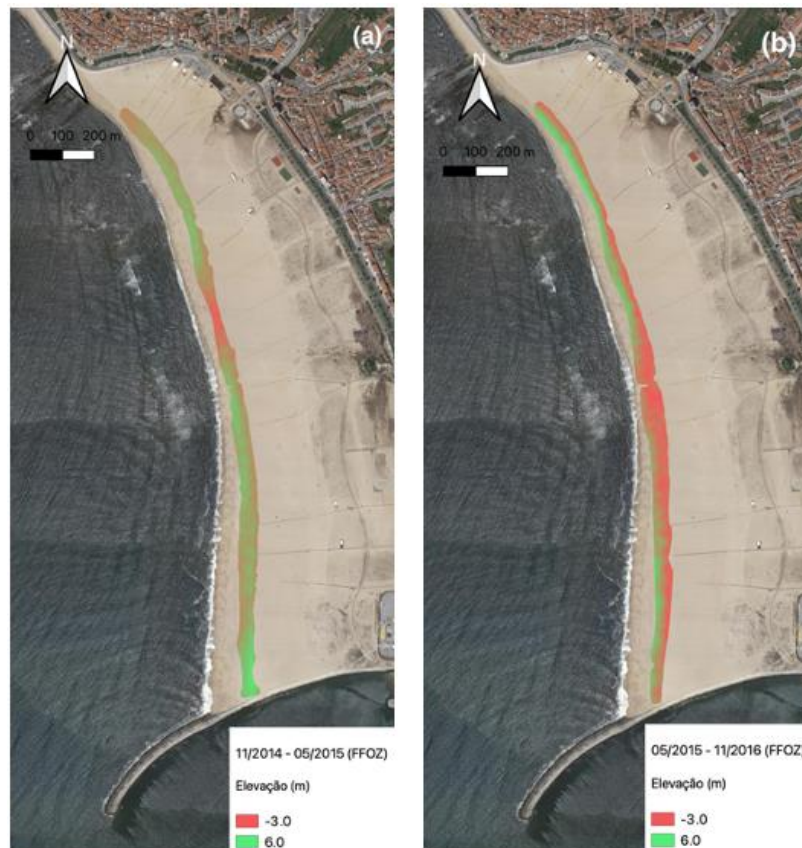


Figura 69 - Mapa de diferenças entre modelos digitais de terreno desde: (a) Novembro de 2014 a Maio de 2015, (b) Maio de 2015 a Novembro de 2016.

A cor vermelha corresponde à erosão e a cor verde à acreção.

Após organizar os resultados obtidos dos volumes sedimentares da praia na Tabela 9, é de notar que no período de análise 2014-2015 a taxa de acreção é elevada, dando resultado a um balanço sedimentar em relação à área total igualmente positivo e elevado. Em média, nesse período houve uma elevação de quase 20 cm (18,2 cm) da praia. Em relação ao período 2015-2016, os indicadores alteraram em termos de magnitude, que agora é menor. O índice de acreção diminuiu, no entanto continua a ser superior à taxa de erosão o que leva ainda à obtenção de um balanço sedimentar positivo, mas de menor magnitude (Figura 70). Tais factos podem ilustrar que neste

setor FFOZ ocorre, gradualmente de ano para ano, sedimentação de areias e de um avanço da linha de costa para o mar.

Tabela 9 - Cálculos de balanços sedimentares para a área da Praia Emersa da Figueira da Foz no setor FFOZ.

Período	Volume de Erosão (E)	Área de Erosão (AE)	Volume de Acreção (A)	Área de Acreção (AA)	Área Total (AE+AA)	Tempo (T)	Erosão (E/(AE+AA)/T)	Acreção (A/(AA+AE)/T)	Balanço Sedimentar ((A-E)/(AE+AA)/T)
[ano/mês]	[m ³]	[m ²]	[m ³]	[m ²]	[m ²]	[meses]	[m ³ /m ² /mês]	[m ³ /m ² /mês]	[m ³ /m ² /mês]
2014/11 - 2015/05	9858	11590	107565	77949	89539	6	0,018	0,200	0,182
2015/05 - 2016/11	5780	18811	123069	72398	91209	18	0,004	0,075	0,071

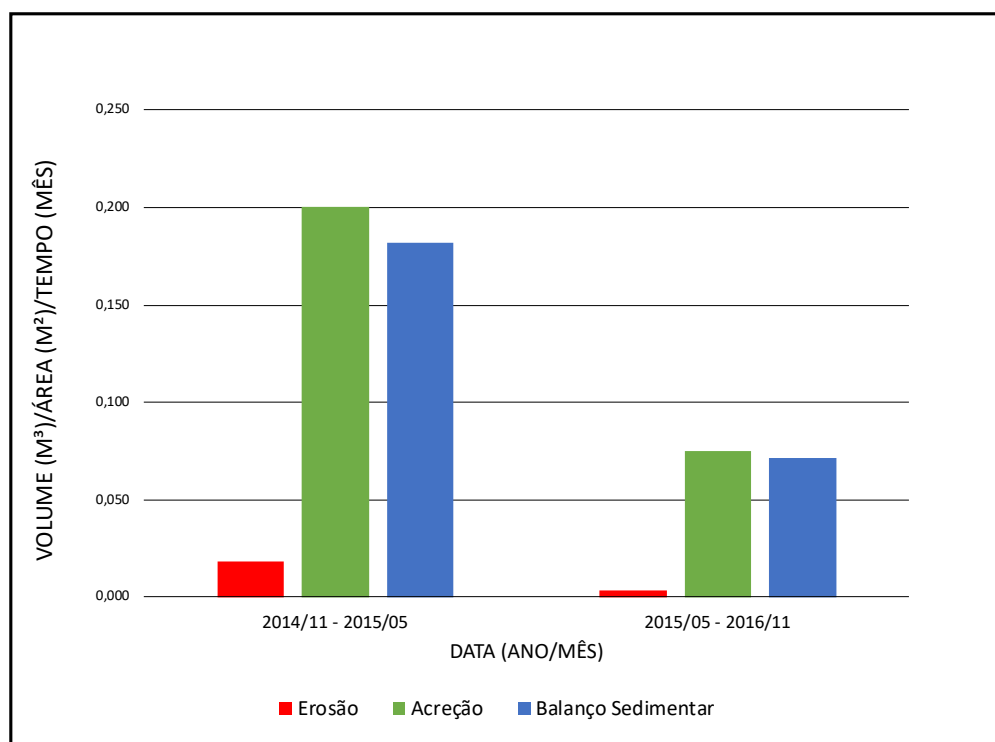


Figura 70 - Evolução da erosão, acreção e do balanço sedimentar na área da Praia Emersa da Figueira da Foz no setor FFOZ.

Em termos de agitação, no período 11/2014 – 05/2015, com o maior balanço sedimentar positivo, houve um conjunto de ocorrências de ondas que ultrapassou o limiar de $H_s=4,7$ m (Figura 71). As ondas de tempestade tiveram lugar imediatamente antes e durante as datas do período em análise, mas nem por isso se deixou de registar o aprisionamento de areias a barlar do molhe norte da embocadura que resultou numa acumulação de sedimentos. No período seguinte de 05/2015 – 11/2016, apenas houve pontualmente ondas de tempestade mais energéticas, atingindo quase $H_s=8$ m, tendo resultado numa diminuição do balanço sedimentar (Figura 72).

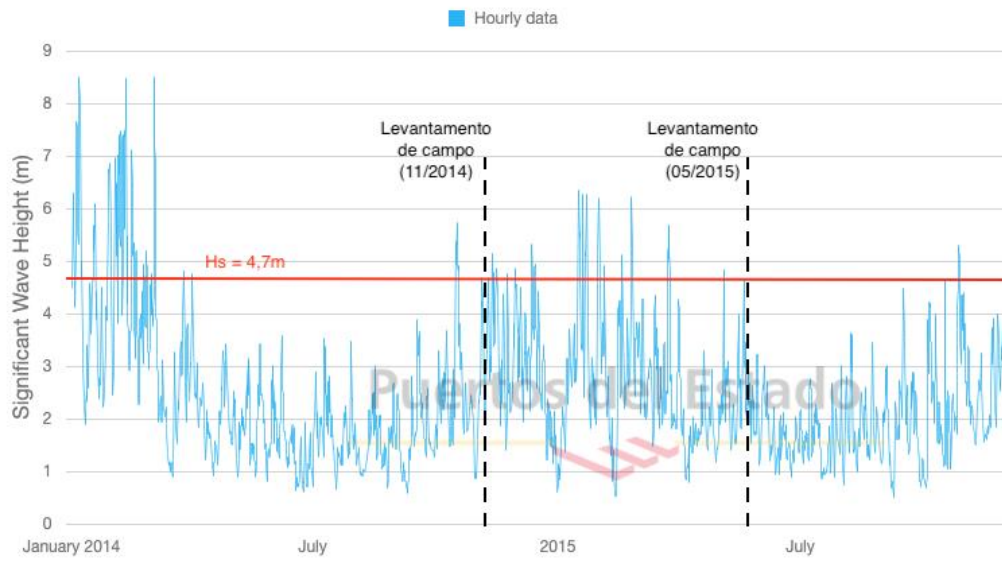


Figura 71 - Séries temporais de altura de onda significativa para 2014-2015 tendo em consideração o valor limite de $H_s = 4,7m$ para definir um evento de tempestade.

Fonte: www.puertos.es.

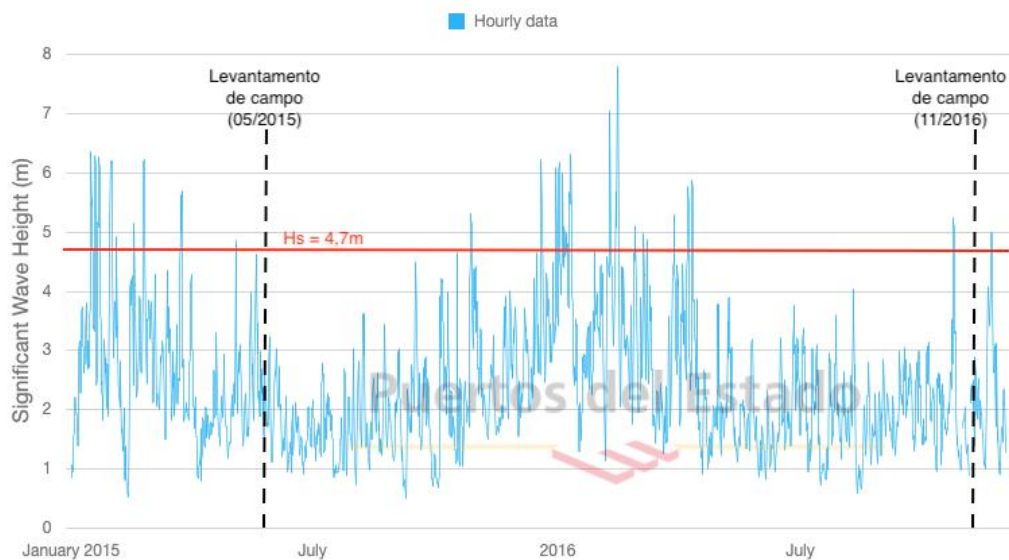


Figura 72 - Séries temporais de altura de onda significativa para 2015-2016 tendo em consideração o valor limite de $H_s = 4,7m$ para definir um evento de tempestade.

Fonte: www.puertos.es.

5.2.1.2 Setor Cova Gala – Lavos – Leirosa (CGLL)

Após a análise dos modelos digitais do terreno apresentados no Capítulo 3, mediram-se elevações de praia entre -0,95m e 8,65m (NMM). Ambas as cotas foram medidas em 2016.

Na Tabela 10 estão listados os volumes sedimentares das praias, assumindo como nível de referência o nível médio do mar.

Tabela 10 - Volume, Área e Alturas da Praia Emersa em cada ano.

Ano	Volume (m ³)	Área (m ²)	Altura (m)
2015	2111172	694601	3,04
2016	1827840	534026	3,42

No ano 2016 foi, claramente, onde houve um aumento nas alturas de praia apesar de o volume e da área serem inferiores ao ano de 2015.

A Figura 73 apresenta as diferenças entre os volumes sedimentares, contemplando as acreções e erosões e respectivas localizações.



Figura 73 - Mapa de diferenças entre modelos digitais de terreno desde Maio de 2015 a Dezembro de 2016 (esquerda: setor Cova Gala-Lavos; direita: setor Lavos-Leirosa).

A cor vermelha corresponde à erosão e cor verde à acreção.

No período 2015-2016 ocorreram grandes variações de volume sedimentar. No setor Cova Gala – Lavos (CGLavos) verifica-se que a erosão é predominante a norte e a sul, aquando da aproximação dos esporões. No entanto, observam-se pequenas acreções sedimentares junto ao litoral. No setor Lavos – Leirosa (LL) já se verifica um aumento do acúmulo sedimentar de norte a sul de forma mais generalizada. As acreções mais evidentes centram-se na aproximação ao esporão sul e a norte do setor.

Os resultados dos volumes sedimentares listados na Tabela 11 evidenciam uma taxa de acreção bastante superior à taxa de erosão, o que se traduz num balanço sedimentar positivo. Pode-se concluir também pelos dados descritos na tabela que, apesar de o trecho litoral em análise ser estreito, existiu mais acreção do que erosão, robustecendo ligeiramente este setor (Figura 74).

Tabela 11 - Cálculos de balanços sedimentares para a área da Praia Emersa da Figueira da Foz setor CGLL.

Período	Volume de Erosão (E)	Área de Erosão (AE)	Volume de Acreção (A)	Área de Acreção (AA)	Área Total (AE+AA)	Tempo (T)	Erosão (E/(AE+AA)/T)	Acreção (A/(AA+AE)/T)	Balanço Sedimentar ((A-E)/(AE+AA)/T)
[ano/mês]	[m ³]	[m ²]	[m ³]	[m ²]	[m ²]	[meses]	[m ³ /m ² /mês]	[m ³ /m ² /mês]	[m ³ /m ² /mês]
2015/05 - 2016/12	78392	146894	329749	330849	477743	19	0,009	0,036	0,028

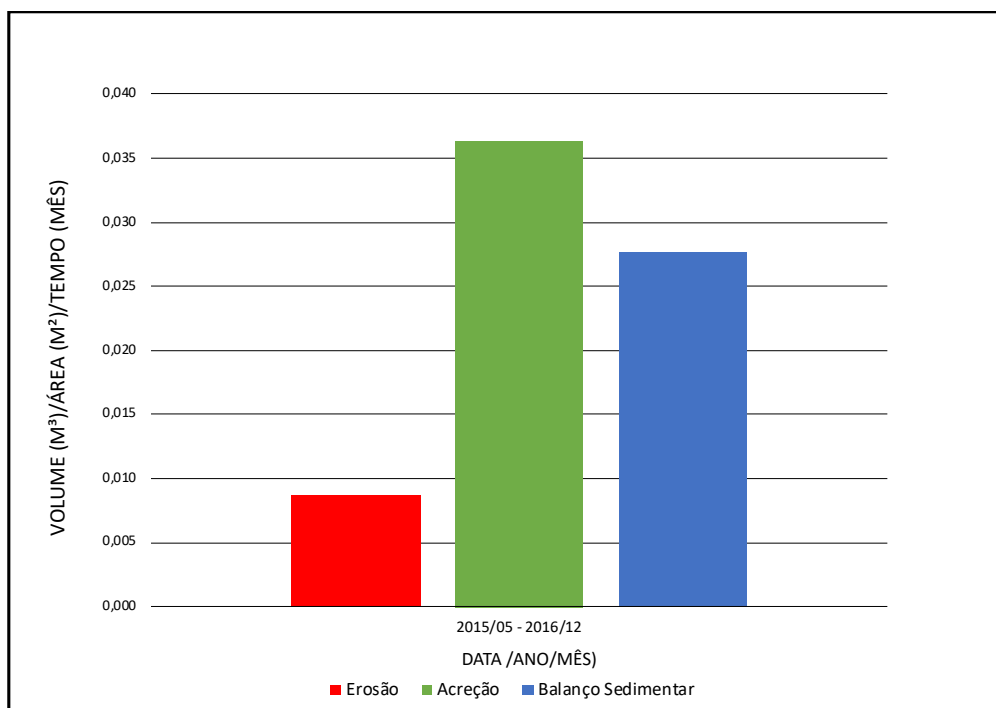


Figura 74 - Evolução da erosão, acreção e do balanço sedimentar na área da Praia Emersa da Figueira da Foz no setor CGLL.

Em termos de agitação marítima, no período 05/2015 – 12/2016 (Figura 75), antes dos levantamentos de campo ocorreram ondas de tempestade acima de $H_s=4,7$ m, seguindo-se uma agitação menos energética. Deste facto, pode-se tirar a ilação que a taxa de erosão ocorrida dentro deste período de análise foi relativamente menor à taxa de acreção, corroborando o valor positivo do balanço sedimentar.

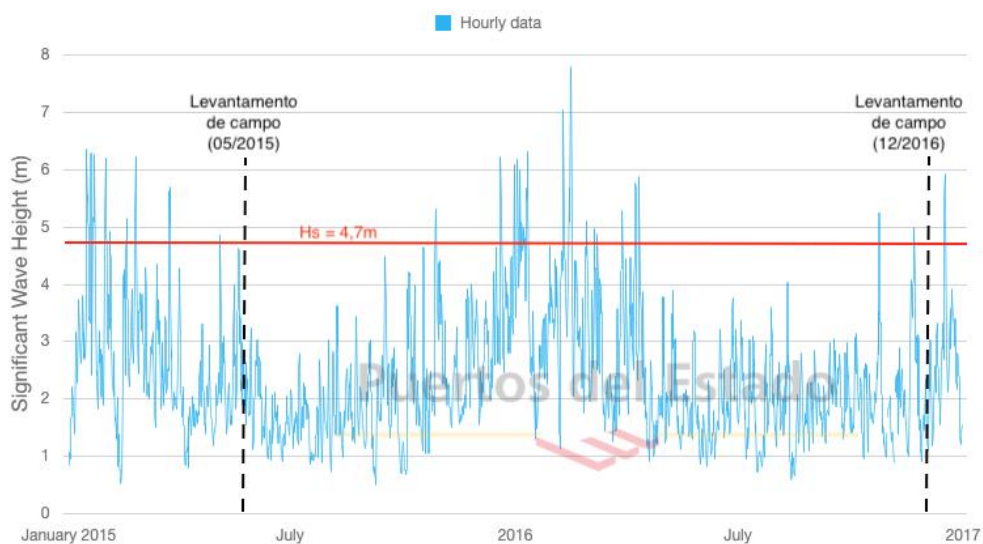


Figura 75 - Séries temporais de altura de onda significativa para 2015-2016 tendo em consideração o valor limite de $H_s = 4,7m$ para definir um evento de tempestade.

Fonte: www.puertos.es.

5.2.2 Evolução da praia submersa

Nesta parte, os resultados reportam aos dados batimétricos de 2014 a 2017 referentes ao porto da Figueira da Foz.

Após a análise dos modelos digitais de terreno, verifica-se que as profundidades levantadas no período 2014-2015 são bastante semelhantes entre si, variando de -18,6m a -2,4m, enquanto que a amplitude de profundidades no período 2016-2017 é relativamente menor, variando de -14,0m a -0,2m. Neste último período, verificou-se que de 2016 para 2017 houve um aumento da profundidade ao largo do porto no valor de 2m, atingindo uma profundidade de máxima -14,0m. Já junto às zonas costeiras do porto, tanto a norte como a sul ocorreu uma diminuição atingindo o valor do nível médio do mar.

De seguida, na Figura 76 são apresentados os mapas de diferenças de volumes sedimentares dos modelos numéricos de terreno obtidos entre os anos em estudo, onde é possível verificar espacialmente os níveis de erosão e acreção observados.

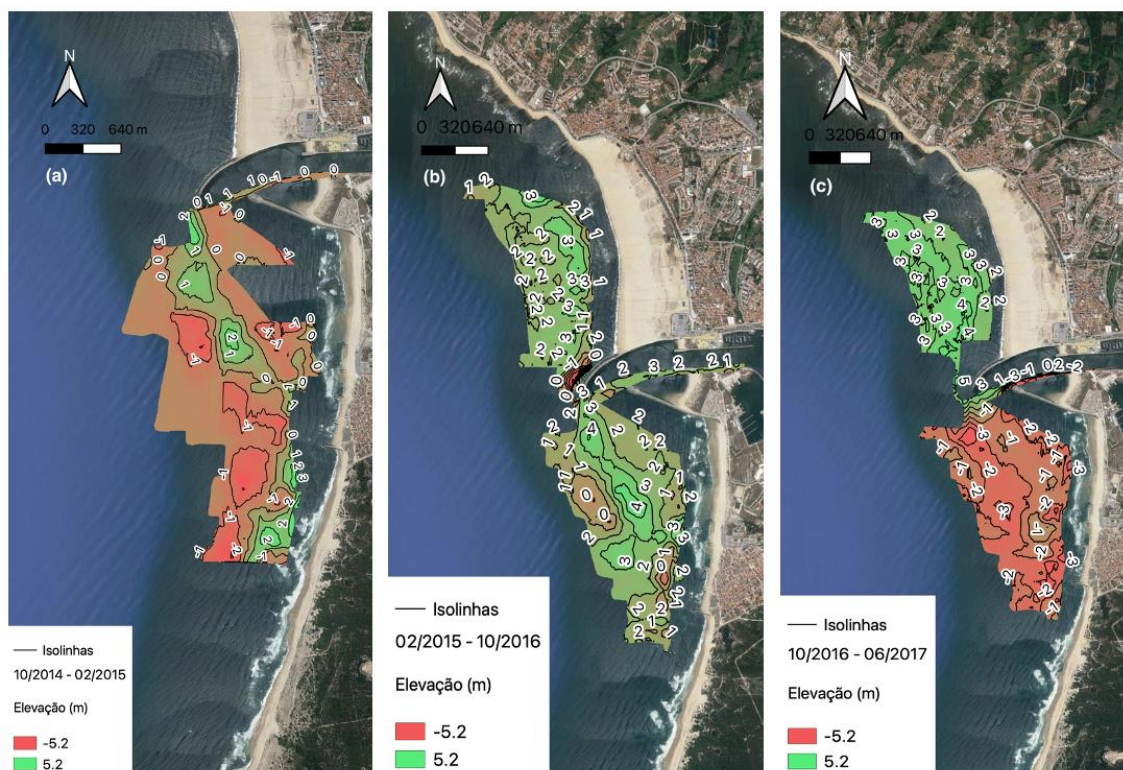


Figura 76 - Mapa de diferenças entre modelos digitais de terreno (Batimétrico) desde: (a) Outubro de 2014 a Fevereiro de 2015, (b) Fevereiro de 2015 a Outubro de 2016, (c) Outubro de 2016 a Junho de 2017.

Como pode ser visto na Figura 76, no período de 2014-2015 a erosão do fundo oceânico predominou na área analisada, com alguma acreção visível, mas restrita à área em frente à embocadura. Os próximos dois períodos são bastante comparáveis, no entanto, as diferenças na acumulação de sedimentos são bastante diferentes. No período 2015-

2016 as diferenças no volume de erosão e acreção foram maiores, tendo existido na sua grande maioria acreção a norte e a sul da embocadura. Porém, salienta-se a erosão local ocorrida junto ao molhe norte. Pode ainda ser observável uma acreção no canal de navegação até ao porto que se pode traduzir num problema sério à navegação dos meios de transporte locais. No período 2016-2017, em contraste ao período anterior, já se verificou uma área de erosão de sedimentos no canal de navegação, o que permite uma melhor circulação dos navios. Isso pode dever-se à realização de dragagens. Porém, à entrada da embocadura, já não se verifica o mesmo, pois existe um volume de acreção na zona que pode concluir-se que vem de norte. A barlamar do molhe norte evidencia-se uma grande área de acreção, enquanto que a sotamar do molhe sul verificam-se grandes áreas de erosão.

A Tabela 12 apresenta os resultados de balanços sedimentares entre estes períodos. Verifica-se que no período de 2015-2016 obteve-se um balanço sedimentar positivo ($0,106 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{mês}$) e, nos períodos de 2014-2015 e 2016-2017, obtiveram-se balanços negativos ($-0,054 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{mês}$ e $-0,003 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{mês}$, respetivamente) (Figura 77).

Tabela 12 - Cálculos de balanços sedimentares para a área da Praia Submersa da Figueira da Foz.

Período	Volume de Erosão (E)	Área de Erosão (AE)	Volume de Acreção (A)	Área de Acreção (AA)	Área Total (AE+AA)	Tempo (T)	Erosão (E/(AE+AA)/T)	Acreção (A/(AA+AE)/T)	Balanço Sedimentar ((A-E)/(AE+AA)/T)
[ano/mês]	[m ³]	[m ²]	[m ³]	[m ²]	[m ²]	[meses]	[m ³ /m ² /mês]	[m ³ /m ² /mês]	[m ³ /m ² /mês]
2014/10 - 2015/02	1297912	1975772	704030	796763	2772535	4	0,117	0,063	-0,054
2015/02 - 2016/10	33737	35897	6993216	3232773	3268670	20	0,001	0,107	0,106
2016/10 - 2017/06	3797283	1988013	3725706	1251770	3239783	8	0,147	0,144	-0,003

Perante estes resultados pode-se concluir que nos períodos de 2014-2015 e 2016-2017 os volumes e áreas de erosão são bastante superiores aos de acreção. Tal facto, faz suspeitar que nestas épocas, a praia submersa teve um avanço sobre a praia emersa, no setor a sotamar do molhe sul.

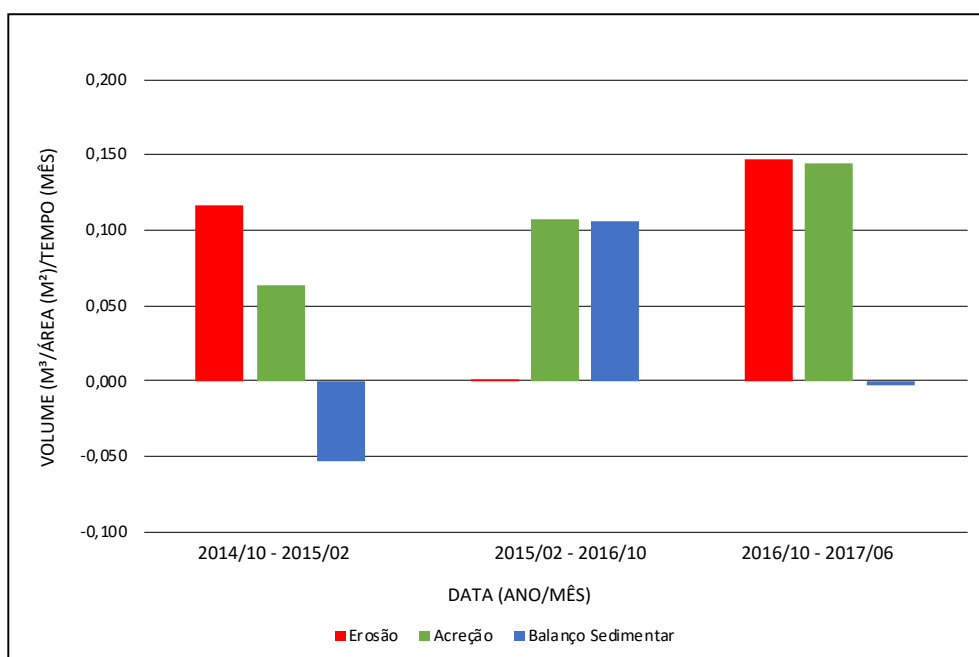


Figura 77 - Evolução da erosão, acreção e do balanço sedimentar na área da Praia Submersa da Figueira da Foz.

É importante de salientar que nestes períodos em análise na costa da Figueira da Foz também foram realizadas operações de dragagens e de deposição de sedimentos (Figura 78). Essas intervenções têm algum impacto na dinâmica dos sedimentos e na morfologia local. De forma genérica, durante o período de 2014-2019, a zona costeira foi dragada em 1 588 516m³ e o volume depositado foi de 1 931 595m³ (Tabela 13).

Tabela 13 - Dados sobre operações de dragagens/deposições realizadas durante 2014-2019.

Fonte: Autoridade do Porto da Figueira da Foz.

Levantamentos de campo	Volume dragado (m ³)	Volume depositado (m ³)
2014/10 - 2015/02	0	52 540
2015/02 - 2016/10	410 733	683 000
2016/10 - 2017/06	321 783	371 470
2017/06 - 2018/08	410 000	410 000
2018/08 - 2019/08	446 000	413 585

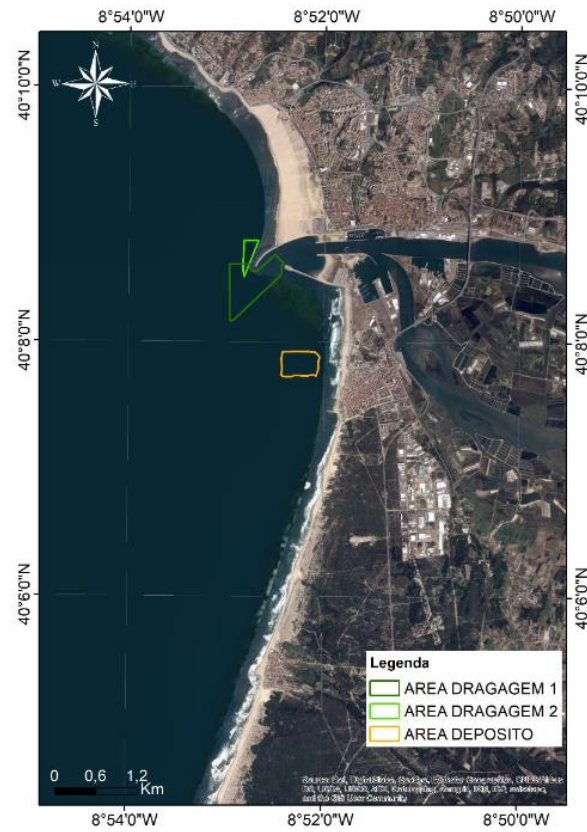


Figura 78 - Mapa das áreas de dragagens/deposições na Figueira da Foz.

Fonte: Sawicka (2020).

CONCLUSÕES

- 6.1 CONCLUSÕES
- 6.2 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

6.1 CONCLUSÕES

A base desta dissertação tem como objetivo caracterizar e quantificar o balanço sedimentar nos litorais de Aveiro e Figueira da Foz, tendo em consideração o clima de agitação marítima e intervenções de obras de proteção costeira, assim como, o papel das alimentações artificiais de praias. O programa *QGIS* foi a ferramenta utilizada no processamento dos dados recolhidos em campanhas.

A pertinência do estudo destas duas regiões costeiras, prende-se com o facto destas costas serem bastante expostas a condições de agitação marítima energéticas, acrescendo a este facto, uma pressão urbana excessiva, levando por sua vez, a uma artificialização da linha de costa e à diminuição do transporte sedimentar pela deriva litoral – aumentando o número de esporões, leva a um défice sedimentar a sotamar das obras de proteção costeira, conduzindo à erosão.

A análise dos resultados, no que concerne à praia emersa das duas regiões, mostra-nos que as condições de agitação marítima, quando são mais energéticas influenciam bastante os perfis de praia, causando grandes taxas de erosão, quando comparadas às taxas de acreção. Na praia emersa de Aveiro, por exemplo, verificou-se entre outubro de 2017 a janeiro de 2018, agitação marítima com ondas de altura significativa superior a oito metros, provocando taxas de erosão de $0,233 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{mês}$ versus taxas de acreção de $0,020 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{mês}$; comparativamente, na praia emersa da Figueira da Foz, durante um período de análise mais extenso, constatou-se que as taxas de erosão são mais baixas do que as taxas de acreção, justificando-se estes valores pela menor agitação marítima – maio de 2015 a novembro de 2016, as taxas de acreção são de $0,075 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{mês}$ e as taxas de erosão são de $0,004 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{mês}$. Resumindo, quanto maior for a agitação marítima, maior será a taxa de erosão, aumentando o risco do “recuo da linha de costa”, tendo que haver uma compensação com alimentações artificiais para se manter a área de praia. Ao contrário, tal como se pode verificar no setor da praia Buarcos-Figueira da Foz, com condições de agitação marítima mais amenas (alturas significativas de onda por volta dos 4/5m), leva a uma diminuição das taxas de erosão, e a um aumento das taxas de acreção, traduzindo-se numa área de praia mais extensa. Contudo, praias como as do setor Barra-Vagueira, necessitam de alimentações artificiais para manter o equilíbrio morfodinâmico dos perfis de praia. Quando se realizaram

alimentações artificiais nas praias de Aveiro, nos períodos 2013-2014 e 2015-2016, verificaram-se efeitos positivos nos anos que os sucederam, ou seja, no ano 2014-2015 e 2016-2017 os balanços sedimentares foram positivos e as áreas das praias aumentaram, verificando-se maiores áreas de acreção de sedimentos em relação às áreas de erosão. Em suma, as áreas com maiores obras de “engenharia pesada” são as mais desgastadas pela erosão, e interrompem claramente o transporte sedimentar, pelo que, é nos períodos de inverno marítimo que se deve recorrer ao processo de alimentação artificial de praias pois, é nesta altura que se verificam os fenómenos mais agressivos de erosão fazendo com que as zonas costeiras sofram mais alterações morfológicas, necessitando, assim, de um maior equilíbrio.

Relativamente à praia submersa de Aveiro, distância compreendida entre a Praia da Vagueira e a Praia da Mira, no período em análise (2012 a 2020), verificou-se que o clima de agitação marítima teve pouca influência nas taxas de erosão e acreção. No que diz respeito à praia submersa da Figueira da Foz, mais propriamente, a área envolvente à embocadura do porto, conclui-se que as dragagens exerceram um papel fundamental pois, nestas áreas, a deriva litoral é responsável pela acumulação de sedimentos originando barras arenosas, impedindo, por sua vez, a navegação segura dos cargueiros/navios à sua entrada, como se pode observar no período entre 2015 e 2016. Aquando das dragagens, os sedimentos retirados são depositados a sul do quebra-mar inferior, por forma a aumentar o perfil das praias vizinhas, mantendo-se, assim, de ano para ano, o seu equilíbrio morfodinâmico.

O tratamento e análise dos dados que foram disponibilizados, não cobriam totalmente as áreas, e os períodos em estudo diferentes entre levantamentos, dificultaram a obtenção de conclusões mais padronizadas. Realizar um trabalho com dados topográficos reais foi deveras aliciante. Contudo, a ferramenta utilizada, levou a uma necessidade de adquirir novos conhecimentos técnicos que constituiu um grande desafio pessoal, mas que com dedicação, perseverança e empenho foi possível alcançar os resultados apresentados.

6.2 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Relativamente a trabalhos futuros, é possível identificar os seguintes e que vão ao encontro de melhorias a realizar:

- Criar uma divisão por células mais pequenas no trecho litoral de Portugal, por forma a determinar com maior precisão os balanços sedimentares. Um exemplo de divisão por células, seria avaliar e determinar o balanço sedimentar entre esporões;
- Monitorizar com maior exatidão as alimentações artificiais de praias e relacionar com o cálculo dos balanços sedimentares que surgem com essas alimentações;
- Explorar as condições de hidrodinâmica com as variações morfológicas observadas.

**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES
DE INFORMAÇÃO**

7 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

BAPTISTA, P. *et al.* - New land-based method for surveying sandy shores and extracting DEMs: The INSHORE system. **Environmental monitoring and assessment**. 182:2011) 243–257. doi: 10.1007/s10661-011-1873-5.

BARATA, M. G. O. A.; TELES, M. J. B. S.; VIEIRA, J. A. R. - Selecção de ondas representativas da agitação marítima para efeito da avaliação do transporte litoral na costa de Aveiro. **Recursos Hídricos**. 17:1 (1996) 43–74.

BORGES, P.; LAMEIRAS, G.; CALADO, H. - A erosão costeira como factor condicionante da sustentabilidade. Em **1º Congresso de desenvolvimento regional de Cabo Verde**

BOWEN, A.; INMAN, D. - Budget of littoral sands in the vicinity of Point Arguello, California. **Technical Memorandum 19**. 1966) 45.

BROWN, A. C. *et al.* - Sandy shores of the near future. **Aquatic Ecosystems: Trends and Global Prospects**. 2008) 263–280. doi: 10.1017/CBO9780511751790.24.

CARAPUÇO, M. *et al.* - Coastal geoindicators: Towards the establishment of a common framework for sandy coastal environments. **Earth-Science Reviews**. . ISSN 00128252. 154:2016) 183–190. doi: 10.1016/j.earscirev.2016.01.002.

COELHO, C. - **Riscos de Exposição de Frentes Urbanas para Diferentes Intervenções de Defesa Costeira**. [S.l.] : Universidade de Aveiro, 2005

COELHO, C. *et al.* - Avaliação de riscos, Modelos de previsão da evolução morfológica da configuração costeira. **1as Jornadas de Hidráulica Recursos, Hídricos e Ambiente**. 2006) 17–25.

COELHO, C.; CONCEIÇÃO, T.; RIBEIRO, B. - COASTAL EROSION DUE TO ANTHROPOGENIC IMPACTS ON SEDIMENT TRANSPORT IN DOURO RIVER - PORTUGAL. Em **Proceedings of Coastal Dynamics 2009** [Em linha]. [S.l.] : WORLD SCIENTIFIC, 2009 Disponível em WWW:<URL:https://doi.org/10.1142/9789814282475_0074>. ISBN 978-981-4282-46-8. p. 1–15.

CUNHA, P.; DINIS, J. - A erosão nas praias do Cabo Mondego à Figueira da Foz (Portugal centro-oeste), de 1995 a 1998. **Territorium**. 1998). doi: 10.14195/1647-7723_5_3.

DAVIDSON-ARNOTT, R. - **Introduction to Coastal Processes and Geomorphology**. ISBN 9780521874458.

DAVIS, Richard A.; WANG, P.; SILVERMAN, Brad R. - Comparison of the Performance of Three Adjacent and Differently Constructed Beach Nourishment Projects on the Gulf Peninsula of Florida. **Journal of Coastal Research**. . ISSN 07490208, 15515036. 16:2 (2000) 396–407.

DIAS, J. A.; FERREIRA, O.; PEREIRA, A. Ramos - Estudo Sintético de Diagnóstico da Geomorfologia e da Dinâmica Sedimentar dos Troços Costeiros entre Espinho e Nazaré. Em . p. 175–186.

EGMOND, E. M. VAN *et al.* - A mega-nourishment creates novel habitat for intertidal macroinvertebrates by enhancing habitat relief of the sandy beach. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. . ISSN 0272-7714. 207:2018) 232–241.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY - **The changing faces of Europe's coastal areas**. ISBN 9291678422.

FERREIRA, Ó. - Caracterização dos principais factores condicionantes do balanço sedimentar e da evolução da linha de costa entre Aveiro e o Cabo Mondego. 1993).

FREIRE, P. *et al.* - Cross-shore evolution of Buarcos beach, Portugal. Em **Coastal Engineering 2004: (In 4 Volumes)**. [S.l.] : World Scientific, 2005. p. 2314–2326.

HAMM, L. *et al.* - A summary of European experience with shore nourishment. **Coastal Engineering**. . ISSN 0378-3839. 47:2 (2002) 237–264. doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-3839\(02\)00127-8](https://doi.org/10.1016/S0378-3839(02)00127-8).

HINKEL, J. *et al.* - A global analysis of erosion of sandy beaches and sea-level rise: An application of DIVA. **Global and Planetary Change**. . ISSN 0921-8181. 111:2013) 150–158. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2013.09.002>.

KAMPHUIS, J. William - **Introduction to coastal engineering and management**. [S.l.] : World Scientific, 2020. ISBN 9811208018.

KOMAR, P. - Beach processes and sedimentation. Em **Progress in Physical Geography: Earth and Environment** [Em linha]. New Jersey, USA : SAGE Publications Ltd, 1976 Disponível em WWW:<URL:<https://doi.org/10.1177/030913337800200121>>.v. 2. p. 429.

KOMAR, Paul D. - **Handbook of coastal processes and erosion**. [S.l.] : CRC Press, Incorporated, 1983

LÓPEZ OLMEDILLA, L. *et al.* - **Assessment of the impact of Adrian Storm in W Portugal coast: Natural vs anthropized beaches**

MARTINS, H.; VELOSO-GOMES, F. - Alimentação artificial de praias em ambientes energéticos intermédios. **6.as Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente**. 1 (2011) 12.

MENDES, João N. V; PINHO, José L. S. - Erosão Costeira – Metodologias para a sua Quantificação. **Revista Engenharia Civil**. Nº33-Dez:2008) 139–150.

NOAA - Guidelines for Barrier Beach Management in Massachusetts. 1994).

NOAA - Coastal Zone Management Act - Performance Measurement System: Contextual Indicators Manual. December (2010) 38.

OECD - OECD Environmental Indicators: Development, Measurement and use. 2003).

OKAYASU, A.; SHIBAYAMA, T.; MIMURA, N. - Velocity Field Under Plunging Waves. **Coastal Engineering Proceedings**. 1:1987) 660–674. doi: 10.1061/9780872626003.050.

PALALANE, J. - **Processes of long-term coastal evolution and their**

PEREIRA, C.; COELHO, C. - Mapas de Risco das Zonas Costeiras por Efeito da Ação Energética do Mar. **Revista de Gestão Costeira Integrada**. 13:1 (2013) 27–43. ISSN 1646-8872.

PINHEIRO, J. - **Avaliação dos processos de transposição artificial de sedimentos em embocaduras**

PINTO, C.; SILVEIRA, T.; TEIXEIRA, S. - Alimentação Artificial De Praias. 2018) 61.

PINTO, F. - The Practice of Coastal Zone Management in Portugal. **Journal of Coastal Conservation**. . ISSN 14000350, 18747841. 10:1/2 (2004) 147–157.

PRANZINI, E.; WETZEL, L.; WILLIAMS, A. - Aspects of coastal erosion and protection in Europe. **Journal of Coastal Conservation**. . ISSN 1874-7841. 19:4 (2015) 445–459. doi: 10.1007/s11852-015-0399-3.

REEVE, D.; CHADWICK, A.; FLEMING, C. - **Coastal engineering: processes, theory and design practice**. [S.l.] : CRC Press, 2018. ISBN 1351165518.

RIJN, L. VAN - **Description of coastal state indicators**

ROSATI, J. - Concepts in sediment budgets. **Journal of Coastal Research**. . ISSN 0749-0208. 21:2 (212) (2005) 307–322.

SANTOS, F. *et al.* - Gestão da Zona Costeira o Desafio da Mudança. 2014) 260.

SUTHERLAND, J. - **Guidelines on Beach Monitoring for Coastal Erosion**

TEIXEIRA, S. - Alimentação artificial de praias com Dragados no Algarve. Em . ISBN 978-972-789-346-1. p. 221–240.

TEIXEIRA, S. - **Dinâmica morfossedimentar da Ria de Aveiro (Portugal)**

TEIXEIRA, S. - A alimentação artificial como medida de redução do risco em praias suportadas por arribas rochosas na costa do Barlavento (Algarve, Portugal). **Journal of Integrated Coastal Zone Management**. . ISSN 16468872. 16:3 (2016) 327–342. doi: 10.5894/rgci683.

UNESCO - A Reference Guide on the Use of Indicators for Integrated Coastal Management. **Management**. 2003).

UNESCO - A Handbook for measuring the process and outcomes of integrated Coastal and Ocean Management. **Journal of Chemical Information and Modeling**. . ISSN 1098-6596. 110:9 (2006) 1689–1699.

USAID - **Adapting To Coastal Climate Change**

VAGOS, N. - LITORAL XXI Governança e Programa de Ação. 2016) 30.

VELOSO-GOMES, F. - **Estudos de operações de alimentação artificial de praias e dunas com areias provenientes de fontes da plataforma continental e das operações de dragagem nas zonas portuárias: Avaliação de incidências ambientais. Análise custo/benefício**

7.1 WEBSITES

Puertos del Estado <http://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx>,
accedido a 13.01.2021