



**Joana Filipa
Cravo Santos**

**Custos e benefícios de mitigar a erosão costeira no
litoral de Ovar**



**Joana Filipa
Cravo Santos**

Custos e benefícios de mitigar a erosão costeira no litoral de Ovar

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica do Doutor Carlos Daniel Borges Coelho, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, e coorientação científica da Doutora Márcia Lima, Engenheira da R5 *Marine Solutions*.

Este trabalho foi financiado pelo projeto “Adaptação Integrada às Alterações Climáticas para Comunidades Resilientes”, INCCA - POCI-01-0145-FEDER-030842, suportado pelos orçamentos do Programa Operacional Competitividade e Internacionalização, na sua componente FEDER, e da Fundação para a Ciência e a Tecnologia, na sua componente de Orçamento de Estado.

Dedico este trabalho àquele que partiu cedo demais e que não teve a oportunidade de me ver concluir esta etapa da minha vida. De onde quer que estejas, espero que te sintas orgulhoso do meu percurso em que uma fase termina e outra se irá iniciar.

Com amor e saudades...

Ao avô Fernando

o júri

presidente

Prof. Doutora Maria Fernanda da Silva Rodrigues
professora auxiliar da Universidade de Aveiro

Doutor Hugo Guedes Lopes

técnico superior da Direção de Obras e Equipamentos, APDL – Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo, S.A.

Prof. Doutor Carlos Daniel Borges Coelho

professor auxiliar da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço ao meu orientador, Professor Carlos Coelho, pela partilha de conhecimentos, disponibilidade e constante orientação e acompanhamento durante a realização deste trabalho. Agradeço ainda as palavras de motivação e a confiança depositada que foram fundamentais para finalizar esta dissertação.

À minha coorientadora, Doutora Márcia Lima, pela disponibilidade em participar neste trabalho, pela ajuda e partilha de conhecimentos, e também pelas sugestões e revisões efetuadas no presente documento.

Ao Departamento de Engenharia Civil, a minha segunda casa durante esta etapa, que me permitiu estudar e crescer enquanto pessoa, sempre com as melhores condições possíveis. Um especial obrigado a todos aqueles que fazem parte desta casa: a todos os professores, pelo conhecimento transmitido, a todos os funcionários, pela disponibilidade e pelo seu trabalho, e a todos os colegas que partilharam esta casa comigo.

Aos meus amigos que tive a oportunidade de conhecer na Universidade de Aveiro e que de alguma forma marcaram o meu caminho na UA: Bruno Pintor, Catarina Grego, Fábio Mota, Luís Oliveira, Tiago Cunha, Zé Ricardo e todos os membros que pertenceram ao Núcleo de Estudantes de Engenharia Civil nas equipas que integrei. Um agradecimento especial ao Ricardo Dias por ter sido o melhor padrinho e o irmão mais velho, que apesar de se ter ausentado do meu percurso académico relativamente cedo, esteve sempre presente, à Filipa Jesus, à Leonor Vaz e ao Miguel Silva por serem os meus melhores amigos e me apoiaram sempre desde o início deste percurso, e à Adriana Figueira, por ser a afilhada do coração e uma irmã mais nova. Por último, um agradecimento especial ao Renato Santos porque, sem o seu apoio, presença, amizade, amor e companheirismo constante, nunca teria conseguido.

Aos meus colegas de treino, em especial à Beatriz Santos, ao Rodrigo Rito e à Sofia Castanhas que, em vários momentos, ouviram os meus desabafos e me confortaram com palavras de incentivo.

Por fim, mas não menos importantes, aos meus pais, Fernando e Adélia, por serem os grandes pilares da minha vida e pela oportunidade que me deram de poder realizar este sonho. Ao meu irmão Nuno e à Cristiana, por toda a ajuda, paciência, incentivo e confiança ao longo destes anos. À restante família pelo apoio incondicional.

A todos, um grande obrigado!

palavras-chave

linha de costa, análise custo-benefício, COAST, LTC, cenários de intervenção, cenários económicos.

resumo

O litoral é considerado uma zona complexa, onde acontece a interação entre as ações hidrodinâmicas marítimas e as fronteiras sólidas terrestres. Em algumas zonas, através da observação das ações decorridas sobre o litoral, verifica-se a ocorrência de problemas de erosão costeira através da evolução acentuada da posição da linha de costa, com uma perda significativa de território, convergindo assim num conflito entre ocupações e/ou atividades e a evolução costeira. Os problemas de erosão costeira ao longo do litoral português são frequentes e podem causar avultados prejuízos, com particular incidência nas frentes urbanas, isto porque estas se encontram demasiado expostas às ações energéticas do mar. No entanto, as ações do mar têm vindo a ser contrariadas através de intervenções de defesa costeira, no sentido de proteger as populações, os bens e o território, e à custa de um grande esforço económico.

Para fazer face aos problemas de erosão costeira sentidos na frente litoral de Ovar, com a realização deste trabalho discutiu-se a viabilidade de diferentes estratégias de mitigação da erosão costeira, aplicadas a este caso de estudo, e sustentadas numa análise de custos e benefícios projetados num horizonte temporal de 20 anos. Estas estratégias podem passar por realocar as populações ou intervir, com obras de defesa costeira (espórões e obras longitudinais aderentes) e/ou com alimentações artificiais de sedimentos. A aplicação da análise custo-benefício permitiu avaliar os impactos físico e económico para cada cenário. Relativamente ao impacto físico e através do modelo numérico LTC, simulou-se a evolução da linha de costa ao longo do tempo, com o objetivo de determinar as áreas de acreção e de erosão e, conseqüentemente, o balanço de área, que permitiu estimar os benefícios que resultam da intervenção de defesa costeira, por comparação com o cenário de “não intervenção”. Contabilizando os resultados obtidos através do modelo LTC, os custos de intervenção e os valores do território consoante o uso do solo, procedeu-se à análise da viabilidade económica de cada cenário através dos custos de investimento e dos respetivos indicadores económicos, nomeadamente, o valor atual líquido (*VAL*), o rácio benefício-custo (*RBC*) e o *break-even*. Para além de permitir avaliar a viabilidade económica de uma solução, com a aplicação da análise custo-benefício foi possível realizar uma comparação entre diversas soluções e concluir qual a solução mais adequada entre as consideradas.

Por outro lado, a quantificação dos valores económicos numa análise custo-benefício deve ser feita com precaução, devido à elevada incerteza associada à estimativa destes valores. Para isso, e de forma a compreender a influência dos valores económicos na viabilidade de cada cenário, realizaram-se análises de sensibilidade que permitiram a discussão dos diversos parâmetros económicos.

keywords

shoreline, cost-benefit analysis, COAST, LTC, intervention scenarios, economic scenarios.

abstract

The coast is considered a complex zone, where the interaction between the maritime hydrodynamic actions and the land takes place. In some areas, through the observation of the actions taken on the coast, the occurrence of problems of coastal erosion is verified through the evolution of the shoreline position, with a significant loss of territory, thus converging in a conflict between occupations and/or activities and coastal evolution. The problems of coastal erosion along the Portuguese coast are frequent and can cause important losses, with specific incidence on urban fronts, since they are too exposed to the energetic wave actions. However, the wave actions have been dissipated through coastal defense interventions, in the sense of protecting populations, goods and territory, and at the cost of a great economic effort.

To address the coastal erosion problems felt on the coastal front of Ovar, this work discussed the feasibility of different coastal erosion mitigation strategies, applied to this case study, and supported by an analysis of projected costs and benefits over a 20-year time horizon. These strategies may involve relocating populations or intervening, with coastal defense works (groynes and longitudinal revetments) and/or artificial nourishments. The application of the cost-benefit analysis allowed to assess the physical and economic impacts for each scenario. Regarding the physical impact, and using the LTC numerical model, the shoreline evolution along time was simulated, with the objective of determining the areas of accretion and erosion and, consequently, the area balance, which allowed to estimate the benefits that result from coastal defense intervention, compared to the "non-intervention" scenario. Counting the results obtained through the LTC model, the intervention costs and the values of the territory according to the land use, the economic viability of each scenario was analyzed through the investment costs and the respective economic indicators, namely, the net present value (*NPV*), the cost-benefit ratio (*CBR*) and the break-even. In addition to allowing the evaluation of the economic viability of a solution, with the application of the cost-benefit analysis it was possible to carry out a comparison between different solutions and to conclude which solution was the most appropriate among those considered.

On the other hand, the quantification of economic values in a cost-benefit analysis must be done with caution, due to the high uncertainty associated with the estimation of these values. For this, and to understand the influence of economic values on the viability of each scenario, sensitivity analyzes were carried out that allowed the discussion of the various economic parameters.

ÍNDICES

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE GERAL	xvii
ÍNDICE DE FIGURAS	xxi
ÍNDICE DE TABELAS.....	xxiii
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	xxvii
1. INTRODUÇÃO.....	3
1.1. Enquadramento.....	3
1.2. Objetivos.....	4
1.3. Estrutura da dissertação	5
2. METODOLOGIA	11
2.1. Análise custo-benefício	11
2.1.1. Custos	12
2.1.1.1. Custos de construção	13
2.1.1.2. Custos de manutenção.....	14
2.1.2. Benefícios	15
2.1.3. Exemplos de aplicação	16
2.2. Modelo numérico: COAST	18
2.2.1. Evolução da linha de costa: LTC.....	19
2.2.2. Pré-dimensionamento de estruturas costeiras: XD-Coast	20
2.2.3. Custo-benefício (indicadores económicos)	21
3. ZONA DE ESTUDO: LITORAL DE OVAR.....	25
3.1. Enquadramento geográfico.....	25
3.2. Batimetria/topografia.....	25

3.3.	Clima de agitação	27
3.4.	Transporte sedimentar	29
3.5.	Taxas de erosão	30
3.6.	Obras de defesa costeira	31
3.7.	Ocupação e uso do solo	33
3.8.	Eventos de danos	34
4.	CARACTERIZAÇÃO DE REFERÊNCIA.....	39
4.1.	Domínio de cálculo	39
4.2.	Clima de agitação	41
4.3.	Cenário de “não intervenção”	44
5.	CENÁRIOS DE INTERVENÇÃO.....	51
5.1.	Alimentação artificial de sedimentos	52
5.1.1.	Volumes	52
5.1.1.1.	Esmoriz	53
5.1.1.2.	Cortegaça	54
5.1.1.3.	Furadouro	55
5.1.2.	Frequência	57
5.1.3.	Espaçamento temporal	58
5.1.4.	Localização.....	60
5.2.	Proteção com recurso a estruturas costeiras	61
5.2.1.	Prolongamento de esporões.....	62
5.2.1.1.	Cortegaça	63
5.2.1.2.	Furadouro.....	64
5.2.2.	Construção de esporões	66
5.2.2.1.	Maceda.....	66

5.2.2.2.	Torrão do Lameiro	67
5.2.3.	Prolongamento de obras longitudinais aderentes	69
5.2.4.	Construção de obras longitudinais aderentes.....	71
5.2.4.1.	Cortegaça.....	72
5.2.4.2.	Maceda	73
5.3.	Demolição e realocização.....	75
5.3.1.	Retirada de esporões	75
5.3.2.	Retirada de obras longitudinais aderentes	77
5.4.	Síntese.....	78
6.	CENÁRIOS ECONÓMICOS.....	83
6.1.	Custos de intervenção.....	83
6.2.	Custos de demolição e realocização	86
6.3.	Valores do território.....	88
6.3.1.	Mantendo o uso	88
6.3.2.	Alterando o uso.....	90
6.4.	Sensibilidade à taxa de desconto	92
6.5.	Síntese.....	93
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	99
7.1.	Conclusões.....	99
7.2.	Desenvolvimentos futuros	104
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
	ANEXO A	117
	ANEXO B.....	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 – Localização da zona de estudo em análise (Fonte: Google Earth, 2020).....	26
Figura 3.2 – Clima de agitação entre 1953 e 2009, com base em Dodet <i>et al.</i> (2010) e Micore (2010).....	29
Figura 3.3 – Número de obras de defesa costeira existentes no litoral do concelho de Ovar (Coelho <i>et al.</i> , 2015; Cruz, 2015).....	31
Figura 3.4 – Número de ocorrências registadas desde 1857 no concelho de Ovar (adaptado de Coelho <i>et al.</i> , 2015 e Cruz, 2015).....	35
Figura 4.1 – Alturas de onda significativa com o clima de agitação ordenado aleatoriamente.	44
Figura 4.2 – Divisão do Concelho de Ovar nas diferentes zonas do território, consoante o uso do solo na frente costeira.	45
Figura 4.3 – Evolução da linha de costa ao longo do tempo (5, 10, 15 e 20 anos).	48
Figura 5.1 – Desempenho da alimentação artificial em Esmoriz para diferentes volumes.	53
Figura 5.2 – Desempenho da alimentação artificial em Cortegaça para diferentes volumes.	55
Figura 5.3 – Desempenho da alimentação artificial no Furadouro para diferentes volumes.	56
Figura 5.4 – Desempenho da alimentação artificial em Esmoriz consoante a frequência.	58
Figura 5.5 – Desempenho da alimentação artificial em Esmoriz consoante o espaçamento temporal.....	59
Figura 5.6 – Desempenho das alimentações artificiais de Esmoriz, Cortegaça, Maceda e Furadouro.	60
Figura 5.7 – Desempenho do prolongamento do esporão de Cortegaça, com diferentes comprimentos.	63

Figura 5.8 – Desempenho do prolongamento do esporão norte do Furadouro, com diferentes comprimentos.	65
Figura 5.9 – Desempenho da construção de um esporão em Maceda, com diferentes comprimentos.	67
Figura 5.10 – Desempenho da construção de um esporão no Torrão do Lameiro, com diferentes comprimentos.	68
Figura 5.11 – Desempenho do prolongamento da obra longitudinal aderente do Furadouro, com diferentes comprimentos.	70
Figura 5.12 – Desempenho da construção de uma obra longitudinal aderente em Cortegaça, com diferentes comprimentos.	72
Figura 5.13 – Desempenho da construção de uma obra longitudinal aderente em Maceda com diferentes comprimentos.	74
Figura 5.14 – Desempenho da retirada de esporões nos setores de Esmoriz e Furadouro..	76
Figura 5.15 – Desempenho da retirada de obras longitudinais aderentes nos setores de Esmoriz, Cortegaça e Furadouro.	77
Figura 6.1 – Desempenho económico dos 6 cenários, por alteração dos custos de intervenção.	86
Figura 6.2 – Desempenho económico da retirada do esporão sul de Esmoriz consoante os custos de demolição e de realocização.	87
Figura 6.3 – Desempenho económico dos 6 cenários em função dos valores do território e mantendo o uso do solo.	89
Figura 6.4 – Desempenho económico dos 6 cenários por alteração do uso do solo para a zona de floresta e a zona urbana.	91
Figura 6.5 – Desempenho económico dos 6 cenários por alteração das zonas de território, em função dos benefícios.	92
Figura 6.6 – Desempenho económico dos 6 cenários, por alteração da taxa de desconto. .	93

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Custos de construção de esporões em função do comprimento (Roebeling <i>et al.</i> , 2018).....	14
Tabela 2.2 – Custos de manutenção de esporões em função do comprimento (Roebeling <i>et al.</i> , 2018).....	15
Tabela 3.1 – Taxas médias anuais de variação da posição da linha de costa (m/ano), no litoral do concelho de Ovar (retirado de Pereira e Coelho, 2013a).....	31
Tabela 3.2 – Características dos esporões (E) e datas de construção e de intervenções de manutenção (Coelho <i>et al.</i> , 2015).....	32
Tabela 3.3 – Características das obras longitudinais aderentes (OLA) e datas de construção e de intervenções manutenção (Coelho <i>et al.</i> , 2015).....	32
Tabela 4.1 – Dados gerais adotados na simulação da evolução da linha de costa.	40
Tabela 4.2 – Tabela-resumo com as características do clima de agitação, para cada uma das séries consideradas.	41
Tabela 4.3 – Variação média da posição da linha de costa.	42
Tabela 4.4 – Transporte sólido longitudinal, em séries de 8 anos.....	42
Tabela 4.5 – Transporte sólido longitudinal, em séries de 4 anos.....	43
Tabela 4.6 – Extensão (em metros) das diferentes zonas de território, em cada setor do concelho de Ovar.	46
Tabela 4.7 – Custos de manutenção dos esporões existentes.....	46
Tabela 4.8 – Custos de manutenção das obras longitudinais aderentes existentes.....	47
Tabela 4.9 – Balanço entre as áreas de erosão e de acreção, no cenário de "não intervenção".	47
Tabela 5.1 – Resultados dos cenários de diferentes volumes em Esmoriz, ao fim dos 20 anos.	54

Tabela 5.2 – Resultados dos cenários de diferentes volumes em Cortegaça, ao fim dos 20 anos.....	55
Tabela 5.3 – Resultados dos cenários de diferentes volumes no Furadouro, ao fim dos 20 anos.....	57
Tabela 5.4 – Resultados dos cenários de frequência da deposição em Esmoriz, ao fim dos 20 anos.....	58
Tabela 5.5 – Resultados dos cenários de espaçamento temporal da deposição em Esmoriz, ao fim dos 20 anos.....	59
Tabela 5.6 – Resultados dos cenários de alimentações artificiais dos setores de Esmoriz, Cortegaça, Maceda e Furadouro, ao fim dos 20 anos.	61
Tabela 5.7 – Custos de construção e de manutenção considerados no prolongamento do esporão de Cortegaça.	62
Tabela 5.8 – Custos de construção e de manutenção considerados no prolongamento do esporão norte do Furadouro.....	63
Tabela 5.9 – Resultados dos cenários de prolongamento do esporão de Cortegaça, ao fim dos 20 anos.....	64
Tabela 5.10 – Resultados dos cenários de prolongamento do esporão norte do Furadouro, ao fim dos 20 anos.	65
Tabela 5.11 – Custos de construção e de manutenção considerados nos novos esporões de Maceda e do Torrão do Lameiro.	66
Tabela 5.12 – Resultados dos cenários de construção de um esporão em Maceda, ao fim dos 20 anos.....	67
Tabela 5.13 – Resultados dos cenários de construção de um esporão no Torrão do Lameiro, ao fim dos 20 anos.....	69
Tabela 5.14 – Custos de construção e de manutenção considerados no prolongamento da obra longitudinal aderente do Furadouro.	70
Tabela 5.15 – Resultados dos cenários de prolongamento da obra longitudinal aderente do Furadouro, ao fim dos 20 anos.....	71

Tabela 5.16 – Custos de construção e de manutenção considerados nas novas obras longitudinais aderentes de Cortegaça e Maceda.....	72
Tabela 5.17 – Resultados dos cenários de construção de uma obra longitudinal aderente em Cortegaça, ao fim dos 20 anos.....	73
Tabela 5.18 – Resultados dos cenários de construção de uma obra longitudinal aderente em Maceda, ao fim dos 20 anos.	74
Tabela 5.19 – Resultados dos cenários de retirada de esporões, ao fim dos 20 anos.....	76
Tabela 5.20 – Resultados dos cenários de retirada de obras longitudinais aderentes, ao fim dos 20 anos.	78
Tabela 6.1 – Custos de manutenção dos esporões adotados nas análises de sensibilidade.	84
Tabela 6.2 – Custos de manutenção das obras longitudinais aderentes adotados nas análises de sensibilidade.	84
Tabela 6.3 – Custos de intervenção adotados nas análises de sensibilidade dos cenários com estruturas costeiras.....	85
Tabela 6.4 – Valores do território adotados nas análises de sensibilidade, consoante o uso do solo.	88
Tabela A.1 – Intervenções realizadas na zona costeira de Ovar, entre 1999 e 2011 (Coelho <i>et al.</i> , 2015).	117
Tabela B.1 – Registo de eventos e ocorrências relacionados com a ação energética do mar (Pereira e Coelho, 2011; Cruz, 2015)	121

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Símbolos latinos maiúsculos:

H_s	Altura de onda significativa (m)
L	Comprimento (m)
Q	Caudal sólido longitudinal (m ³ /ano)
RBC	Rácio benefício-custo
T_r	Período de onda associado à altura significativa (s)
V	Volume de sedimentos (m ³)
V	Valores monetários (€)
VA	Valores atualizados (€)
VAB	Valores atuais de benefícios (€)
VAC	Valores atuais de custos (€)
VAL	Valor atual líquido (€)
VB	Valores nominais de benefícios (€)
VC	Valores nominais de custos (€)

Símbolos latinos minúsculos:

r	Taxa de desconto (%)
t	Período de tempo em análise (anos)

Símbolos gregos:

θ_0	Orientação da onda (°)
------------	------------------------

Abreviaturas, siglas e acrónimos:

APA	Agência Portuguesa do Ambiente
$ARHC$	Administração Regional Hidrográfica do Centro
$CCDRC$	Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Centro

<i>CERC</i>	<i>Coastal Engineering Research Center</i>
<i>COAST</i>	<i>Coastal Optimization ASsessment Tool</i>
<i>DAM</i>	Destruição pela Ação do Mar
<i>DCD</i>	Destruição do Cordão Dunar
<i>DDC</i>	Danos em obras de Defesa Costeira
<i>DEM</i>	Modelo Digital de Elevação
<i>DGT</i>	Direção-Geral do Território
<i>E</i>	Esporão
<i>GAL</i>	Galgamentos
<i>GTL</i>	Grupo de Trabalho do Litoral
<i>IE</i>	Intervenções de Emergência
<i>INAG</i>	Instituto da Água
<i>INE</i>	Instituto Nacional de Estatística
<i>LTC</i>	<i>Long-Term Configuration</i>
<i>MB</i>	Multifeixe
<i>OD</i>	Obras planeadas de Defesa costeira
<i>OEH</i>	<i>Office of Environment and Heritage</i>
<i>OLA</i>	Obra Longitudinal Aderente
<i>O&R</i>	Intervenções de Ordenamento e Requalificação da marginal costeira
<i>POC</i>	Programa da Orla Costeira
<i>RCD</i>	Intervenções de Recuperação do Cordão Dunar
<i>RLC</i>	Recuo da Linha de Costa
<i>SB</i>	Feixe-Simples
<i>XD-Coast</i>	<i>Xpress Design of COAstal STructures</i>

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

Os problemas de erosão costeira ao longo do litoral português são frequentes, sendo que este fenómeno, associado ao recuo da posição da linha de costa, pode causar avultados prejuízos, com particular incidência nas frentes urbanas, colocando em risco pessoas e bens. De notar que as frentes urbanas são cada vez mais procuradas pelas populações, o que origina um aumento das taxas de ocupação e de artificialização (Lima, 2011; Cruz, 2015).

Para tentar combater os problemas de erosão que algumas zonas do litoral enfrentam, é essencial discutir quais as melhores estratégias de mitigação da erosão costeira em perspetivas de médio/longo prazo, avaliando os impactos físicos e económicos. Estas estratégias podem passar por realocar as populações ou intervir, com obras de defesa costeira e/ou com alimentações artificiais de sedimentos. Geralmente, com a construção das obras de defesa costeira, as zonas intervencionadas são protegidas, mas estas obras afetam indiretamente outros locais onde é antecipada ou agravada a situação de erosão, conduzindo à necessidade de novas medidas de proteção nessas zonas (Fernandes, 2017).

Por ser uma zona de elevada vulnerabilidade e também pelo histórico que apresenta, a frente litoral do concelho de Ovar trata-se de um caso de estudo adequado para a discussão das melhores estratégias de mitigação da erosão costeira. Surge assim o presente trabalho, onde se pretende fazer uma avaliação dos custos e benefícios associados a diferentes estratégias de mitigação da erosão costeira, aplicadas ao litoral do concelho de Ovar. Este capítulo define o enquadramento do tema da dissertação, os objetivos do trabalho e a estrutura do presente documento.

1.1. Enquadramento

A dinâmica costeira (com avanço e recuo da posição da linha de costa) é um fenómeno natural que sempre existiu e ajudou ao longo da História a modelar o litoral continental (Marinho, 2013). Contudo, o litoral é considerado uma zona complexa, onde acontece a interação entre as ações hidrodinâmicas marítimas e as fronteiras sólidas terrestres. Em algumas zonas, através da observação das ações decorridas sobre o litoral, verifica-se uma evolução acentuada da posição da linha de costa, com uma perda significativa de território,

convergindo assim num conflito entre ocupações e/ou atividades e a evolução costeira, pelo que se verifica um aumento no número das zonas costeiras expostas às ações das ondas. Como as frentes urbanas se encontram demasiado expostas às ações energéticas do mar, é frequente o relato de problemas sobretudo durante os períodos de inverno, quando ocorrem tempestades, como por exemplo, galgamentos, inundações, danos em infraestruturas localizadas junto à costa, etc. No entanto, as ações do mar têm vindo a ser contrariadas através de intervenções de defesa costeira, no sentido de proteger as populações, os bens e o território, e à custa de um grande esforço económico, visto que qualquer estratégia para mitigação do problema da erosão costeira envolve custos elevados (Coelho *et al.*, 2015). Para avaliar quais as melhores soluções a adotar em cada situação específica, é necessário ter meios que ajudem a validar a tomada de decisão, discutindo o custo de intervenção, os impactos que lhe estão associados e os benefícios que a intervenção pode proporcionar. Assim sendo, considera-se útil a existência de ferramentas que permitam uma avaliação prévia de intervenções alternativas, avaliando os custos e benefícios de diferentes cenários (Lima, 2018).

Em Ovar existem, não só diversas intervenções de defesa costeira, nomeadamente, esporões, obras longitudinais aderentes de diferentes tipologias, reforços dunares, alimentações artificiais e passadiços, assim como algumas atividades económicas, como por exemplo, a pesca, alojamento local, hotel e campismo, escolas de *surf*, festivais de música no verão e etc. Este concelho também é caracterizado pelos seus valores ambientais, especialmente pela proximidade à Ria de Aveiro e à Barrinha de Esmoriz, floresta e aterro sanitário selado, e pelos aspetos sociais, incluindo os efeitos de adaptação de comunidades vulneráveis, como é exemplo a realocização do bairro dos pescadores de Esmoriz. Por este motivo, considera-se que a frente litoral do concelho de Ovar representa um caso de estudo adequado à avaliação de custos e benefícios de estratégias de mitigação da erosão costeira.

1.2. Objetivos

A presente dissertação aborda o tema dos custos e benefícios de mitigar a erosão costeira no litoral de Ovar. Com a realização deste trabalho, pretende-se discutir a viabilidade de diferentes estratégias para gerir e planear o litoral de Ovar, sustentada numa análise de custos e benefícios projetados num horizonte temporal de 20 anos. Para isso, considera-se

necessário compreender quais os custos e benefícios que devem ser considerados numa análise custo-benefício, recolhendo alguns valores de referência que tenham sido adotados noutros trabalhos e que possam auxiliar na tomada de decisão, tendo em atenção que a utilização desses valores deve ser alvo de uma análise cuidada.

Antes de se proceder à análise custo-benefício, é fundamental descrever a zona de estudo em análise, como por exemplo, as obras de defesa costeira já existentes, e efetuar um levantamento do historial das intervenções realizadas no litoral do concelho de Ovar, quantificando os custos das intervenções e os respetivos efeitos positivos/negativos na evolução da linha de costa. Com a caracterização da zona de estudo é possível criar um cenário de referência, onde se adotam os pressupostos que serão comuns a todos os cenários de intervenção simulados.

Através de modelação numérica, pretende-se avaliar a evolução da linha de costa ao longo do tempo de diversos cenários de intervenção de defesa costeira, aplicados ao concelho de Ovar. Com base nos custos que estão associados à própria intervenção e também as áreas de território, que poderão ser ganhas ou perdidas devido à intervenção, analisa-se a viabilidade económica de cada cenário quando comparado com o cenário de “não intervenção”, através da aplicação da análise custo-benefício. Por outro lado, e de forma a compreender a influência dos valores económicos, como por exemplo, os custos de intervenção, os custos de demolição e relocalização, o valor do território em função do uso do solo e a taxa de desconto, nos resultados obtidos ao fim dos 20 anos de simulação, é importante realizar análises de sensibilidade que permitem a discussão dos diversos parâmetros económicos adotados.

Tendo como base o estudo do litoral do concelho de Ovar, esta dissertação deverá servir como meio de auxílio às entidades responsáveis pela gestão do litoral que têm a seu cargo a tomada de decisão, no que diz respeito à escolha das melhores soluções de intervenção, para fazer face aos problemas da erosão costeira.

1.3. Estrutura da dissertação

Este documento encontra-se dividido em sete capítulos. Após um breve enquadramento e caracterização dos objetivos pretendidos para este trabalho, segue-se o segundo capítulo,

onde se procede a uma descrição da metodologia considerada neste trabalho. Este capítulo encontra-se dividido em duas secções: na primeira, aborda-se o conceito da análise custo-benefício e caracteriza-se os custos e benefícios associados às intervenções de defesa costeira que interessam quantificar numa análise deste tipo, finalizando esta secção com dois exemplos de aplicação desta análise; na segunda secção apresenta-se o modelo numérico COAST (*Coastal Optimization ASsessment Tool*) e os respetivos módulos que o compõem, que podem auxiliar na discussão da melhor estratégia de mitigação da erosão costeira, numa determinada zona do litoral. Os módulos que compõem a ferramenta numérica COAST são o módulo de evolução da linha de costa, denominado de LTC (*Long-Term Configuration*), o módulo de pré-dimensionamento de estruturas costeiras, designado de XD-Coast (*Xpress Design of COAstal STructures*), e o módulo de análise custo-benefício, onde se identificam os indicadores económicos que são avaliados numa análise custo-benefício.

No terceiro capítulo é caracterizada a zona de estudo em análise, o litoral do concelho de Ovar, começando pelo enquadramento geográfico desta zona e por uma breve referência da batimetria/topografia. Segue-se a apresentação do clima de agitação que incide nesta zona costeira e a respetiva análise e, após esta análise, caracteriza-se o transporte sedimentar e as taxas de erosão do litoral deste concelho, tendo em conta o trabalho de outros autores. Posteriormente, apresenta-se um levantamento das obras de defesa costeira já existentes no concelho de Ovar, acompanhado de algumas intervenções de manutenção realizadas ao longo do tempo. Por último, e de forma breve, é descrita a ocupação e uso do solo e enumerado um conjunto de eventos de danos registados no litoral do concelho de Ovar devido à ação marítima.

O quarto capítulo tem como finalidade descrever os pressupostos adotados no modelo numérico LTC, que tiveram como objetivo calibrar o modelo para, posteriormente, ser usado na simulação de qualquer tipo de cenário. Em primeiro lugar, descrevem-se os dados gerais (características da água do mar e dos sedimentos e os tipos de formulações desejadas), a batimetria/topografia da área modelada, as condições fronteira e as intervenções de defesa costeira já existentes no litoral, que permitem definir o domínio de cálculo. Seguidamente, procede-se à seleção dos 20 anos que caracterizam o clima de agitação e que serão utilizados como horizonte temporal nas simulações para o futuro, e define-se o regime de marés e o nível da superfície do mar. O quarto capítulo finaliza com a descrição do cenário de “não

intervenção”, que servirá de comparação para os cenários de intervenção apresentados no Capítulo 5.

No quinto capítulo expõem-se todos os cenários de intervenção que foram simulados e os respetivos resultados, sendo que estes se encontram agrupados consoante o tipo de estratégia e a localização da intervenção. Tendo em conta os resultados obtidos através das simulações no modelo LTC, os principais objetivos deste capítulo foram avaliar a viabilidade económica, através da aplicação da análise custo-benefício, e o impacto físico dos diferentes cenários durante um horizonte temporal de 20 anos. O capítulo termina com uma síntese onde se comparam diversas soluções dentro do mesmo tipo de estratégia e onde se conclui quais as soluções mais adequadas dentro dos cenários testados.

O sexto capítulo refere-se à discussão dos valores económicos realizada com base nos seis melhores cenários apresentados no Capítulo 5, tendo sido selecionado um cenário por cada tipo de estratégia. Assim, foram efetuadas diversas análises de sensibilidade por alteração de vários parâmetros necessários para a análise custo-benefício, nomeadamente, os custos de intervenção, os custos de demolição e relocalização, os valores do território e a taxa de desconto. À semelhança do Capítulo 5, este também finaliza com uma síntese onde se apresentam as conclusões consoante a alteração de cada um dos parâmetros.

Por último, no sétimo capítulo, são expostas as considerações finais sobre o trabalho realizado, onde se pretende destacar as principais conclusões desta dissertação e também propor possíveis desenvolvimentos futuros para o seguimento do presente trabalho.

Capítulo 2

METODOLOGIA

2. METODOLOGIA

A metodologia do presente trabalho consiste na avaliação dos diferentes custos e benefícios que estão associados às intervenções de defesa costeira para, posteriormente, se aplicar a análise custo-benefício a diferentes cenários e avaliar a viabilidade económica das diferentes opções. Assim, o presente capítulo encontra-se dividido em duas secções. Na primeira secção descreve-se em que consiste a análise custo-benefício e procede-se à caracterização dos custos e dos benefícios necessários para efetuar uma análise deste tipo, tendo por base valores adotados noutros trabalhos, nomeadamente para custos de construção e de manutenção de obras costeiras e também para valores de uso e ocupação do território. Esta secção finaliza com dois exemplos de aplicação da análise custo-benefício em zonas costeiras. Na segunda secção apresenta-se o modelo numérico COAST assim como os respetivos módulos que o compõem, sendo eles: o módulo de evolução da linha de costa, o módulo de pré-dimensionamento de estruturas costeiras e o módulo de análise custo-benefício (indicadores económicos).

2.1. Análise custo-benefício

Uma análise custo-benefício permite avaliar o impacto económico de um projeto ao longo do tempo e permite também comparar soluções, através da identificação e contabilização dos custos e benefícios inerentes a cada solução (Roebeling *et al.*, 2011; OEH, 2018). Para efetuar uma análise custo-benefício deve começar-se pela identificação, quantificação e adição de todos os fatores positivos, os benefícios, e de seguida, identificar, quantificar e subtrair todos os fatores negativos, os custos, que advêm da realização de determinado projeto (Lima, 2018). Este tipo de análise aplica-se sobretudo a projetos de grande envergadura, como por exemplo, projetos nos setores da saúde, dos transportes, do ambiente e da educação, onde é mais fácil quantificar e converter em unidades monetárias os efeitos não mercantis (Reis, 2010). As intervenções de defesa costeira normalmente conduzem a custos de investimento e de manutenção elevados, o que pode levar à ponderação entre defender ou retirar a população das zonas de risco (Coelho, 2005), justificando assim o uso da análise custo-benefício.

2.1.1. Custos

Às diferentes alternativas de intervenção de defesa costeira podem associar-se diferentes níveis de eficácia funcional, robustez estrutural, impactos sedimentares e morfológicos na envolvente, impactos paisagísticos, dificuldades construtivas, necessidades de manutenção e, conseqüentemente, diferentes custos (Coelho, 2005). Para avaliar o custo de uma obra de defesa costeira é necessário ter em conta diversos aspetos, sendo que estes não estão só relacionados com o tipo de defesa, mas também com o respetivo local de implantação, as dimensões e a profundidade em que terão de ser implantadas as obras. Os custos dependem também dos materiais utilizados, da frequência de manutenção e do grau de exposição a que estes materiais estão sujeitos (Reis, 2010).

Os custos podem ser divididos em dois grupos, os custos diretos, aqueles que estão diretamente relacionados com a implementação da intervenção, e os custos indiretos, que podem surgir de forma transversal à aplicação da solução escolhida (Cordeiro, 2016; Lima, 2018). Os custos diretos são aqueles que podem ser diretamente associados ao valor de implementação e manutenção da intervenção de defesa costeira e correspondem a uma parcela dos custos totais que varia consoante a dimensão da intervenção (Vasconcellos e Garcia, 2009). Todas as intervenções de defesa costeira têm custos de material, de mão de obra e de equipamentos, sendo que estes custos são tidos em conta no valor global da obra, logo representam o investimento inicial. Estas intervenções têm ainda associados o financiamento de estudos, os honorários de pessoal especializado, os custos de certificação e impressão de documentos, o material para sinalização e as campanhas de sensibilização da população (Cordeiro, 2016). Por outro lado, os custos indiretos são todos aqueles que não estão diretamente associados à intervenção de defesa costeira, mas que advêm das interferências provocadas por ela, pelo que, correspondem à parcela dos custos totais decorrente dos gastos com fatores fixos (Vasconcellos e Garcia, 2009). Estes custos podem ser de grande magnitude, mas são difíceis de estimar, devido ao caráter transversal que apresentam. À secção dos custos indiretos durante a intervenção pertencem todos os custos associados à perturbação da qualidade de vida da população local durante a implementação da intervenção de defesa costeira. A alteração do trânsito devido à circulação de veículos pesados, o ruído associado à execução das obras e os constrangimentos na zona junto à obra, assim como a emissão de poluentes a partir dos equipamentos e a movimentação de terras,

que podem também levar à destruição de habitats e ao condicionamento da qualidade da água e do ar, são exemplos de situações que podem trazer custos indiretos durante a intervenção (Cordeiro, 2016).

2.1.1.1. Custos de construção

De um modo geral, o custo de construção de uma intervenção de defesa costeira engloba todos os custos inerentes à sua implantação. Para determinar o custo da intervenção é necessário conhecer a tipologia e a geometria transversal e em planta da intervenção, para que assim possam ser aproximadamente contabilizados os volumes de materiais envolvidos. Os esporões, os quebra-mares e as obras longitudinais aderentes, são consideradas obras permanentes e fixas e estão geralmente associadas a grandes volumes de material, no entanto, como os esporões e os quebra-mares podem atingir maiores profundidades, têm assim maiores custos de implantação. Por outro lado, as alimentações artificiais de sedimentos, realizadas na praia, na duna ou na deriva litoral, consoante o volume de material que representam, a extensão e a frequência no tempo, podem também corresponder a elevados custos (Lima, 2018).

De seguida, apresentam-se exemplos de custos de construção consoante o tipo de intervenção, com base em Lima (2018) e Roebeling *et al.* (2018). No que diz respeito aos custos de construção dos esporões, estes não assumem um comportamento linear, isto porque quanto maior o comprimento, maior é a profundidade que os esporões atingem, logo acarretam maiores custos. Roebeling *et al.* (2018) apresentam custos de construção para comprimentos compreendidos entre os 100 m e os 500 m (Tabela 2.1). Por outro lado, Lima (2018) adotou um custo de construção de, aproximadamente, 1 368 €/m para as obras longitudinais aderentes, e um custo unitário do material de 2 €/m³ para as alimentações artificiais de sedimentos. De notar que os custos de construção dos esporões, das obras longitudinais aderentes e das alimentações artificiais de sedimentos que foram referidos anteriormente, são relativos às condições e premissas indicadas nos respetivos trabalhos e a sua utilização como referência deve ser alvo de análise. Deste modo, a recolha bibliográfica demonstra alguma subjetividade associada aos custos de construção, visto que estes variam de caso para caso. Neste trabalho, os valores obtidos através da recolha bibliográfica servirão apenas como indicação.

Tabela 2.1 – Custos de construção de esporões em função do comprimento (Roebeling *et al.*, 2018).

Comprimento (m)	Construção (€/m)
100	4 000
200	5 000
300	6 667
400	9 000
500	12 000

2.1.1.2. Custos de manutenção

Os custos de manutenção são todos os custos que estão associados diretamente à estratégia de mitigação da erosão costeira e a toda a sua vida útil, para que as funções para as quais foram projetadas sejam mantidas no tempo (Cordeiro, 2016; Lima, 2018). É de notar que todas as estratégias de proteção da zona costeira requerem manutenção, de modo a que o correto funcionamento se prolongue no tempo (Cordeiro, 2016).

Como exemplos de custos de manutenção, referem-se também os custos de monitorização, que deverão estar associados a todas as estratégias de intervenção (Cordeiro, 2016; Lima, 2018). No que diz respeito às estruturas de defesa costeira, é possível prever e planear eventuais obras de manutenção que sejam necessárias através da observação destas, evitando assim, que a estrutura atinja um elevado nível de degradação e que seja difícil de proceder à sua reparação, acarretando elevados custos (Lima, 2018). Assim, deve-se recolher informação relativa à queda de blocos, número e localização, e também relativamente à degradação dos blocos e níveis de assentamento. Quando a estrutura se encontra assente em fundos de areia, poderão ocorrer erosões que provoquem assentamentos na estrutura, logo é importante que seja feita uma inspeção periódica das zonas dos fundos (Pita, 1985).

Normalmente, os custos de manutenção considerados nos esporões e nas obras longitudinais aderentes correspondem a uma percentagem do custo de primeiro investimento, que neste caso, corresponde ao custo total da construção da obra de defesa costeira. Sendo assim, Roebeling *et al.* (2018) estabeleceram que o custo de manutenção dos esporões por ano corresponde, aproximadamente, a 50% do custo total (Tabela 2.2). Já no que diz respeito às obras longitudinais aderentes, Lima (2018) considerou que é necessário realizar operações de manutenção da estrutura de 5 em 5 anos, com um custo de manutenção que vale 30% do

custo de primeiro investimento, ou seja, aproximadamente, 410 €/m. Os custos de manutenção dos esporões e das obras longitudinais aderentes apresentados anteriormente, são relativos às condições e premissas indicadas nos respetivos trabalhos e a sua utilização como referência deve ser alvo de uma análise cuidada. Porém, também para os custos de manutenção se verificou alguma subjetividade associada, visto que estes correspondem a uma parcela do custo total da intervenção que varia de caso para caso, pelo que se optou por considerar os valores da recolha bibliográfica apenas como indicação para este trabalho.

No que diz respeito às alimentações artificiais de sedimentos, importa referir que este tipo de intervenção de defesa costeira não tem custos de manutenção associados, uma vez que uma nova deposição corresponde a uma nova intervenção.

Tabela 2.2 – Custos de manutenção de esporões em função do comprimento (Roebeling *et al.*, 2018).

Comprimento (m)	Manutenção (€/m/ano)
100	2 000
200	2 500
300	3 333
400	4 500
500	6 000

2.1.2. Benefícios

Os benefícios de uma intervenção de defesa costeira correspondem às áreas de território que poderão ser ganhas ou perdidas por efeito da intervenção, afetadas do seu valor económico (Lima, 2018). A área ganha, ou não perdida, representa a área que é recuperada ao avanço do mar com a solução de intervenção de defesa costeira implementada (Oliveira, 2012; Lima, 2018), sendo definida como um benefício positivo, enquanto que a área perdida representa a área que resulta em erosão por efeito da própria intervenção (Lima, 2018), definindo-se assim através de um benefício negativo. Para ser possível realizar análises custo-benefício, terá de se converter as áreas resultantes de cada cenário de simulação num valor monetário, possibilitando assim uma comparação com os custos associados às intervenções de defesa costeira (Oliveira, 2012; Lima, 2018).

Na atribuição de um valor económico ao território deve ter-se em conta os vários ecossistemas que existem e os benefícios que estes podem vir a trazer ao longo do tempo

(Lima, 2018). Na interface entre o meio terrestre e o meio marinho, a zona costeira é particularmente rica em biodiversidade (Reis, 2010), sendo que esta zona revela frequentemente um elevado valor paisagístico, resultado da conjugação de características geomorfológicas, ecológicas e de ocupação humana do seu território (Lima, 2018). Ainda relativamente à atribuição de um valor ao território, é importante referir que, além da quantificação dos benefícios que, quer o território, quer os ecossistemas que o compõem, podem trazer de forma aparente, é necessário fazer uma análise da evolução da ocupação do território ao longo do tempo, isto porque, muitas das vezes é possível prever, quer a valorização, quer a desvalorização, de determinada zona ao longo de um determinado horizonte temporal (Lima, 2018).

Para a quantificação do valor do território é necessário ter em conta valores de referência já utilizados noutros trabalhos, como por exemplo, em Lima (2018) e Roebeling *et al.* (2018), sendo que esses valores são relativos às condições e premissas indicadas nos respetivos trabalhos e a sua utilização como referência deve ser alvo de análise. Lima (2018) considerou três zonas de território, nomeadamente, uma zona de floresta que vale 0,20 €/m²/ano, uma zona urbana com um valor de 10 €/m²/ano e também uma zona de praia e dunas que assume um valor de 2 €/m²/ano. Por outro lado, Roebeling *et al.* (2018) estabeleceram valores de território para cinco zonas distintas, sendo elas: a zona urbana que representa um valor de 57 €/m²/ano, a zona de praia e dunas que vale 2 €/m²/ano, a zona de floresta que assume um valor de 0,20 €/m²/ano, as áreas agrícolas que tomam um valor de 0,05 €/m²/ano e ainda uma zona lagunar com um valor de 12 €/m²/ano, aproximadamente. De notar que a recolha bibliográfica demonstra alguma variabilidade associada aos valores do território, visto que estes podem variar de local para local e, por isso, esses valores servirão apenas como indicação no presente trabalho.

2.1.3. Exemplos de aplicação

Maia *et al.* (2015) analisaram o setor costeiro entre as praias da Vagueira e do Labrego, com cerca de 3 km de extensão, localizado a sul dos molhes que protegem o canal de acesso à laguna de Aveiro. Estes autores aplicaram uma análise custo-benefício para duas situações, nomeadamente, a situação existente na atualidade, com obras de defesa costeira e, outra,

admitindo a ausência de defesa. A análise da viabilidade económica dos cenários foi realizada a partir do cálculo do Valor Atual Líquido (VAL). Na primeira situação foram calculados os custos de construção e de manutenção e os custos associados à substituição das intervenções de defesa costeira, nomeadamente do revestimento da obra longitudinal aderente da Vagueira. Relativamente aos benefícios, foi calculada a área protegida, ou seja, não perdida, devido à presença das obras de defesa costeira. Na segunda situação foram estimadas as áreas perdidas devido à erosão costeira e feita uma avaliação económica, incluindo as áreas naturais da praia e das dunas, e as áreas urbanas. Tanto na praia da Vagueira como na praia do Labrego, os resultados da análise custo-benefício são semelhantes e ditam que, para ambas as situações, o VAL assume um valor negativo. No entanto, o cenário sem obras de proteção, acarreta menores prejuízos económicos.

Por outro lado, Barata e Pinto (2016) recorreram à análise custo-benefício para o caso de estudo que foi desenvolvido na zona costeira da Vagueira, na laguna de Aveiro, onde os processos de erosão se identificaram como críticos. Neste caso de estudo foram consideradas três opções de intervenção, sendo elas: 1) enchimento artificial das praias com areia nas frentes urbanas, com grande volume de reposição do ciclo sedimentar e defesas “pesadas” menores; 2) enchimento artificial das praias com areia nas frentes urbanas com volume médio de reposição do ciclo sedimentar e defesas “pesadas” moderadas; 3) enchimento artificial das praias com areia nas frentes urbanas com volume residual de reposição do ciclo sedimentar e defesas “pesadas” significativas. Para cada uma das opções foram ainda consideradas três variantes relacionadas com a frequência do enchimento artificial das praias: A) enchimento artificial anual; B) enchimento artificial de 2 em 2 anos; C) enchimento artificial de 5 em 5 anos. Ao todo foram avaliados 9 cenários e comparados com o cenário de “não intervenção”. Na quantificação dos custos foram englobados os custos de implementação e manutenção das medidas de intervenção em análise, e foram considerados como benefícios, a diminuição da erosão costeira e consequente travagem do recuo da posição da linha de costa resultante da implementação das medidas de intervenção. Assim, foi possível concluir que as três opções de intervenção são eficazes para travar o recuo da linha de costa e o risco de cheias. No entanto, as opções 1 e 2 não são viáveis, com custos superiores em 70% aos benefícios esperados. Logo, os autores do estudo, apenas consideraram a opção 3 como viável, sendo a variante B a mais favorável.

2.2. Modelo numérico: COAST

A COAST (*Coastal Optimization ASsessment Tool*) foi desenvolvida por Lima (2018) e trata-se de uma ferramenta numérica de análise de intervenções de defesa costeira, capaz de ajudar as entidades responsáveis pela gestão do litoral na procura de soluções otimizadas, ajudando à tomada de decisões fundamentadas (Lima, 2018).

Esta ferramenta é composta por três módulos: o módulo de evolução da linha de costa (secção 2.2.1), o módulo de pré-dimensionamento de estruturas costeiras (secção 2.2.2) e, por último, o módulo de análise custo-benefício. O módulo de análise custo-benefício implica a utilização sequencial dos dois módulos que o antecedem, visto que é necessário ter em conta os resultados obtidos por esses módulos. A inclusão do XD-Coast na ferramenta COAST permite o cruzamento de dados batimétricos, topográficos e do clima de agitação, provenientes do módulo de evolução da linha de costa (LTC), que faz com que o utilizador possa ter em conta, em simultâneo, o local de implantação da estrutura e as questões relacionadas com o pré-dimensionamento da secção transversal (Lima, 2018). O módulo de análise custo-benefício permite quantificar vários indicadores económicos (valor atual líquido, rácio benefício-custo, *break-even*, etc.) que se encontram descritos na secção 2.2.3, e que permitem estimar os custos e os benefícios envolvidos nas diferentes soluções de intervenções de defesa costeira, recorrendo aos resultados obtidos a partir do módulo de evolução da linha de costa, para quantificar as áreas de acreção e de erosão, e do módulo de pré-dimensionamento, para quantificar os volumes de material envolvido nas estruturas de defesa costeira.

Através da ferramenta COAST é possível realizar dois tipos de análises diferentes, um balanço económico ou uma análise custo-benefício. Na primeira situação é realizado um balanço económico da solução tratando-se da quantificação dos custos associados à construção e à manutenção das intervenções de defesa costeira e da quantificação dos benefícios associados às áreas ganhas e perdidas. Na segunda situação, a análise custo-benefício é feita por comparação com o cenário de “não intervenção”. De notar que a estimativa dos custos a considerar na análise custo-benefício engloba os custos de construção e os custos de manutenção da estrutura ao longo do período de análise (tempo de simulação da evolução da linha de costa), sendo que, na estimativa dos valores unitários, devem ser tidos em conta os custos diretos e indiretos. Na avaliação do valor do território, o utilizador

deve ter em conta, simultaneamente, os aspetos económicos, sociais, culturais, ambientais, etc. (Lima, 2018).

2.2.1. Evolução da linha de costa: LTC

O modelo designado de LTC (*Long-Term Configuration*) foi desenvolvido por Coelho (2005) e trata-se de um modelo numérico que permite simular a configuração da linha de costa e a morfologia da zona costeira a médio e longo prazo (Coelho, 2005; Lima, 2018). O principal objetivo ao utilizar este modelo é estimar as áreas de território ganhas e as áreas perdidas com a intervenção de defesa costeira, permitindo assim fazer uma estimativa dos benefícios que possam resultar da intervenção.

O modelo LTC foi desenvolvido para aplicar em praias arenosas, sendo dependente das condições de agitação marítima, do nível da água do mar, da existência de fontes/sumidouros de sedimentos, das características sedimentares e morfológicas da praia, das estruturas de defesa costeira existentes e das condições fronteira impostas na área modelada. Este modelo combina um modelo de evolução de linha de costa simples de 1-linha com um modelo de evolução de perfil transversal, considerando apenas os aspetos geométricos do perfil. O modelo LTC assume que cada onda atua durante um determinado intervalo de tempo, o passo de tempo computacional, sendo que nesse intervalo de tempo dá-se a transformação da onda desde o largo até à rebentação (Coelho, 2005; Coelho *et al.*, 2006; Silva, 2010; Lima, 2018).

Através da equação de continuidade, o modelo faz uma estimativa do transporte sólido longitudinal induzido por cada onda, fazendo um balanço sedimentar em cada trecho elementar da praia e avaliando qual o volume de sedimentos em erosão ou acreção. Após a distribuição deste volume, verifica-se uma subida (acreção) ou descida (erosão) uniforme de todos os pontos do perfil ativo, com a consequente variação da posição da linha de costa ao longo do tempo (Coelho *et al.*, 2006; Silva, 2010; Lima e Coelho, 2017; Lima, 2018).

O modelo LTC poderá também apoiar o processo de planeamento e gestão do território costeiro, uma vez que possibilita a projeção de vários cenários de evolução da linha de costa em função das diferentes estratégias de mitigação da erosão costeira. Para fazer face aos problemas de defesa costeira, este modelo poderá também servir de complemento à escolha das estratégias de intervenção costeira mais adequadas em termos técnicos, ambientais e socioeconómicos (Coelho, 2005; Lima, 2018). No entanto, é preciso ter em conta que os

resultados que são obtidos através do LTC deverão apenas ser considerados como indicadores do comportamento de interação entre a água do mar e o meio terrestre, na fronteira entre estes dois sistemas (Coelho, 2005; Coelho e Veloso-Gomes, 2005).

2.2.2. Pré-dimensionamento de estruturas costeiras: XD-Coast

O XD-Coast (*Xpress Design of COAstal SStructures*) foi desenvolvido por Lima (2011) e trata-se de uma ferramenta de cálculo automático que permite pré-dimensionar a secção transversal de estruturas costeiras. Através desta ferramenta é possível determinar o peso unitário dos blocos a colocar no manto resistente, para diferentes tipos de obras e diferentes formulações de cálculo, e as principais características da respetiva secção transversal. Esta ferramenta foi desenvolvida com o objetivo de facilitar a comparação de várias soluções estruturais de obras de defesa costeira, permitindo tomar decisões sustentadas, e facilitando a compreensão da influência dos diferentes parâmetros envolvidos nos cálculos, nos resultados obtidos (Lima, 2011; 2018; Lima *et al.*, 2013). Os resultados obtidos facilitam, através da contabilização do volume de material envolvido em cada solução, a estimativa de custos da intervenção (Lima, 2018).

Esta ferramenta encontra-se dividida em duas partes: na primeira parte, é determinado o peso unitário dos blocos a colocar no manto resistente e, na segunda parte, são determinadas as principais características da secção transversal das estruturas a dimensionar, recorrendo aos resultados obtidos na primeira parte (Lima, 2011; 2018; Lima *et al.*, 2013). Na primeira parte, o peso unitário dos blocos a colocar no manto resistente está dependente de diversos parâmetros, assim como os resultados estão dependentes do tipo de obra e da formulação usada, sendo que o programa contempla cinco formulações distintas, correspondentes a três tipos de estruturas diferentes: estrutura não galgável, estrutura galgável e estrutura submersa (Lima, 2011, 2018). Concluída a primeira parte, poderá passar-se para a segunda parte, a determinação das características da secção transversal, sendo que o XD-Coast inclui também formulações para calcular a largura de coroamento, a espessura do manto resistente e o número de blocos por unidade de área. É importante referir que os resultados obtidos na segunda parte são dependentes do peso unitário dos blocos, logo não é possível realizar a segunda parte dos cálculos sem se ter realizado antes a primeira parte (Lima, 2011; Lima *et al.*, 2013).

Por fim, importa realçar que o XD-Coast não foi aplicado no presente trabalho, tendo-se adotado, por simplificação, valores estimados para o custo das diferentes obras de defesa costeira, mesmo sem as dimensionar, já que a incerteza do custo se situa na mesma ordem de grandeza que outras incertezas associadas ao estudo.

2.2.3. Custo-benefício (indicadores económicos)

Em qualquer metodologia de análise custo-benefício, sabe-se que a única medida que permite avaliar os custos e os benefícios na mesma unidade é a unidade monetária, sendo que para intervalos de tempo diferentes é necessário atualizar os valores para um ano de referência. Para isso, todos os valores monetários (V) devem ser convertidos em valores atualizados (VA) aplicando uma taxa de desconto (r), expressão 2.1 (Zerbe e Dively, 1994), e considerando um determinado período de tempo, t (ano em análise).

$$VA_t = \frac{V_t}{(1+r)^t} \quad (2.1)$$

Os valores nominais e atuais de custos designam-se, respetivamente, por VC e VAC e, de forma análoga, os valores nominais e atuais de benefícios designam-se por VB e VAB . A verificação da sustentabilidade económica de cada intervenção é feita através dos fluxos líquidos acumulados de benefícios e de custos. Assim, a viabilidade económica de cada intervenção de defesa costeira num determinado intervalo de tempo (t) é avaliada a partir do valor atual líquido, VAL , e do rácio benefício-custo, RBC (Cruz, 2015; Lima, 2018), calculados segundo as expressões 2.2 e 2.3, respetivamente.

$$VAL_t = \sum_{i=0}^t VAB_i - \sum_{i=0}^t VAC_i = \sum_{i=0}^t \frac{VB_i}{(1+r)^i} - \sum_{i=0}^t \frac{VC_i}{(1+r)^i} \quad (2.2)$$

$$RBC_t = \frac{\sum_{i=0}^t VAB_i}{\sum_{i=0}^t VAC_i} = \frac{\sum_{i=0}^t \frac{VB_i}{(1+r)^i}}{\sum_{i=0}^t \frac{VC_i}{(1+r)^i}} \quad (2.3)$$

O VAL representa o balanço acumulado entre os benefícios e os custos atuais, sendo que assume valores positivos sempre que a intervenção é economicamente viável, existindo uma predominância dos benefícios em relação aos custos atuais. O RBC de um projeto trata-se da

relação entre o somatório dos valores atuais de benefícios e os valores atuais de custos, sendo que se considera a intervenção rentável, em termos económicos, quando o *RBC* é superior a 1 (Roebeling *et al.*, 2011, 2012). É de notar que quando o *VAL* é igual a 0, o *RBC* é igual a 1 (Coelho *et al.*, 2016).

Para além dos dois indicadores económicos referidos anteriormente, existe outro indicador económico, o chamado ponto de equilíbrio ou *break-even*, que é importante avaliar quando se pretende fazer uma análise custo-benefício de uma intervenção. Este indicador representa o instante no tempo em que é atingido o equilíbrio do investimento, ou seja, o momento em que o total de benefícios iguala o total de custos da intervenção, sendo que, a partir desse momento, o $RBC > 1$ e o $VAL > 0$ (Lima, 2018).

Capítulo 3

ZONA DE ESTUDO: LITORAL DE OVAR

3. ZONA DE ESTUDO: LITORAL DE OVAR

O litoral do concelho de Ovar foi identificado como sendo uma das zonas de Portugal com maior vulnerabilidade e risco costeiro (Coelho *et al.*, 2015). Para além da sua riqueza ecológica, da elevada concentração populacional e da qualidade das praias, este território distingue-se pela forte fragilidade geológica, que aliada a uma agitação marítima de rumos muitos abertos e elevada energia resulta num dos processos erosivos mais intensos da orla costeira europeia (POC, 2015). Assim, é importante caracterizar a zona de estudo em análise antes de simular qualquer tipo de cenário e é por esse motivo que surge este capítulo, que se encontra dividido em oito secções, sendo elas: enquadramento geográfico, batimetria/topografia, clima de agitação, transporte sedimentar, taxas de erosão, obras de defesa costeira, ocupação e uso do solo e eventos de danos.

3.1. Enquadramento geográfico

O concelho de Ovar, distrito de Aveiro (Figura 3.1), localiza-se no litoral noroeste português e apresenta uma área territorial total de cerca de 147,70 km² (DGT, 2018), com mais de 55 000 habitantes, correspondendo a uma densidade populacional de 375 hab/km² (INE, 2012). Este concelho está limitado a oeste pelo Oceano Atlântico, que banha os cerca de 15 km da sua costa, contribuindo para um clima ameno e praias agradáveis (Coelho *et al.*, 2015).

3.2. Batimetria/topografia

O Programa de Monitorização da Faixa Costeira de Portugal Continental (COSMO) foi concebido e desenvolvido pela Agência Portuguesa do Ambiente e assenta numa visão integrada da monitorização costeira, sendo que inclui a realização de levantamentos topográficos e hidrográficos ao longo de diversos locais da faixa costeira de Portugal Continental, principalmente nas áreas de maior vulnerabilidade e com maior exposição de pessoas e bens a situações de risco.

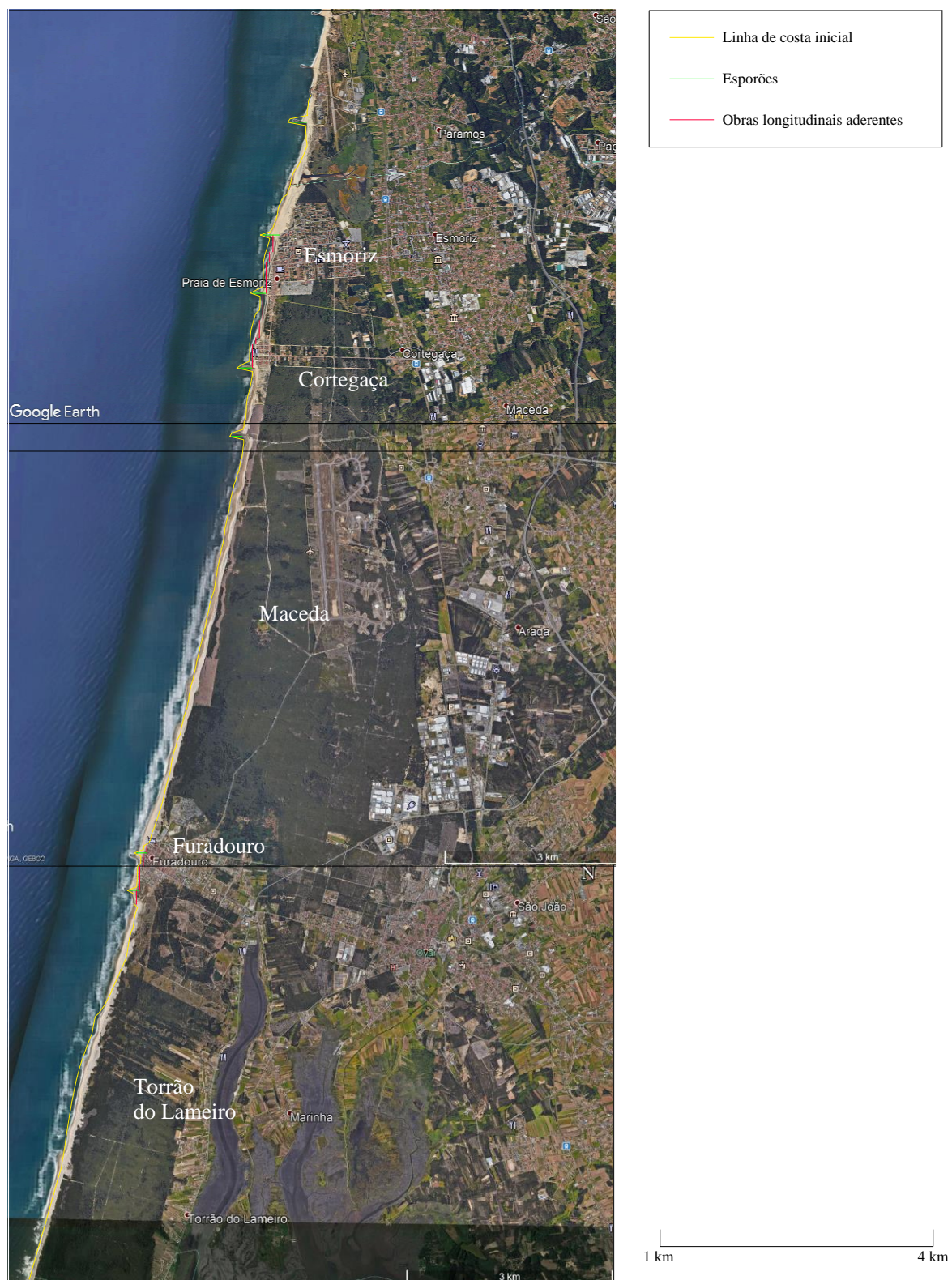


Figura 3.1 – Localização da zona de estudo em análise (Fonte: Google Earth, 2020).

Através do Programa COSMO é possível recolher dados que resultam da conjugação do levantamento topográfico da praia emersa, com recurso a fotogrametria aérea, e da cobertura total batimétrica da praia imersa, preferencialmente, efetuada com sonda multifeixe, e também com feixe simples nas zonas mais próximas de terra (APA, 2018). Atualmente, o COSMO tem disponíveis quatro levantamentos topo-hidrográficos na zona de estudo, sendo eles:

- Modelo Digital de Elevação (DEM) da praia imersa e emersa entre a Praia de Esmoriz e a Praia do Furadouro (S13/AC1), decorrente dos levantamentos com Multifeixe (MB) e Feixe-Simples (SB) efetuados em agosto de 2018 (LTH_S13_AC1_201808);
- Ortofotomapa da praia emersa entre a Praia de Esmoriz e a Praia do Furadouro (S13), com resolução de 3 cm, decorrente do levantamento efetuado em setembro de 2018 (LTH_AC1_FTG_201809_Orto);
- Modelo Digital de Elevação (DEM) da praia imersa e emersa entre a Praia de Esmoriz e a Praia do Furadouro (S13/AC1), decorrente dos levantamentos com Multifeixe (MB) e Feixe-Simples (SB) efetuados em junho de 2019 (LTH_S13_AC1_201906);
- Ortofotomapa da praia emersa entre a Praia de Esmoriz e a Praia do Furadouro (S13), com resolução de 3 cm, decorrente do levantamento efetuado em julho de 2019 (LTH_AC1_FTG_201907_Orto).

Importa referir que estes elementos foram avaliados, mas não considerados na geração do domínio de cálculo (secção 4.1), já que foi aproveitado trabalho existente na caracterização da grelha de pontos do modelo numérico LTC.

3.3. Clima de agitação

A costa oeste portuguesa está exposta às condições marítimas do Oceano Atlântico, que é particularmente influenciada pelas tempestades que ocorrem no Atlântico Norte e que originam uma ondulação predominante de noroeste (Pereira, 2008). O litoral do concelho de Ovar caracteriza-se por ser um sistema costeiro essencialmente arenoso, sujeito a um clima de agitação marítimo muito energético (Coelho *et al.*, 2015). A análise do clima de agitação

é essencial para o estudo e caracterização da dinâmica sedimentar e para a previsão da posição da linha de costa ao longo do tempo (Cruz, 2015). Considera-se que um registo de aproximadamente 20 anos fornece dados suficientes para realizar uma análise deste tipo (Pereira, 2008).

Para auxiliar a caracterização do clima de agitação da zona de estudo, foi possível recolher dados baseados em modelação (Dodet *et al.*, 2010; Micore, 2010), relativamente à altura de onda significativa, H_s , ao período de onda associado à altura significativa, T_r , e à orientação da onda, θ_0 (ângulo com o norte, definido no sentido anti-horário), no ponto que se considera mais próximo desta zona, a cerca de 150 km, com uma profundidade de, aproximadamente, 2000 m e, com as seguintes coordenadas geográficas: 40°0'0,00"N e 10°0'0,00"W. Os valores recolhidos correspondem a períodos de 6 em 6 horas, obtendo-se assim, 4 registos por dia, entre os dias 1 de janeiro de 1953 e 31 de março de 2009, resultando num total de 82 176 dados. Foram analisados todos os dados recolhidos das alturas de onda significativa, dos períodos de onda associados à altura significativa e da direção de ondulação, entre 1953 e 2009, como se pode observar na Figura 3.2. Na Figura 3.2a representa-se a série cronológica das alturas de onda significativa, enquanto que na Figura 3.2b encontra-se um histograma de frequências dessas mesmas alturas, sendo que os dados foram agrupados em classes de 1 m. Pode-se concluir que as alturas de onda mais frequentes variam entre 1 e 2 m, com a altura de onda significativa máxima igual a 9,61 m. No que diz respeito aos períodos de onda associados à altura significativa, apresenta-se na Figura 3.2c a série cronológica, e na Figura 3.2d, um histograma, com os períodos agrupados em classes de 2 s. Existe predominância de períodos que variam entre os 6 e os 8 s, mas verificou-se um período mínimo igual a 3,69 s e um período máximo de 17,69 s. Na Figura 3.2e apresenta-se a frequência relativa do rumo de ondulação dividido em setores de 22,5°, verificando-se assim que a direção predominante é de noroeste. De facto, o quadrante de noroeste (intervalo de 11,25° a 78,75°) representa 85,2% dos dados recolhidos enquanto que o quadrante de sudoeste (intervalo de 101,25° a 168,75°) representa apenas 4,0%. Tendo em consideração a discussão apresentada por Narra (2018) adotou-se uma situação de tempestade quando se observam ondas com uma altura significativa igual ou superior a 5 m e, através da Figura 3.2f, pode-se constatar que, quando ocorrem tempestades, a direção predominante altera-se para oés-noroeste.

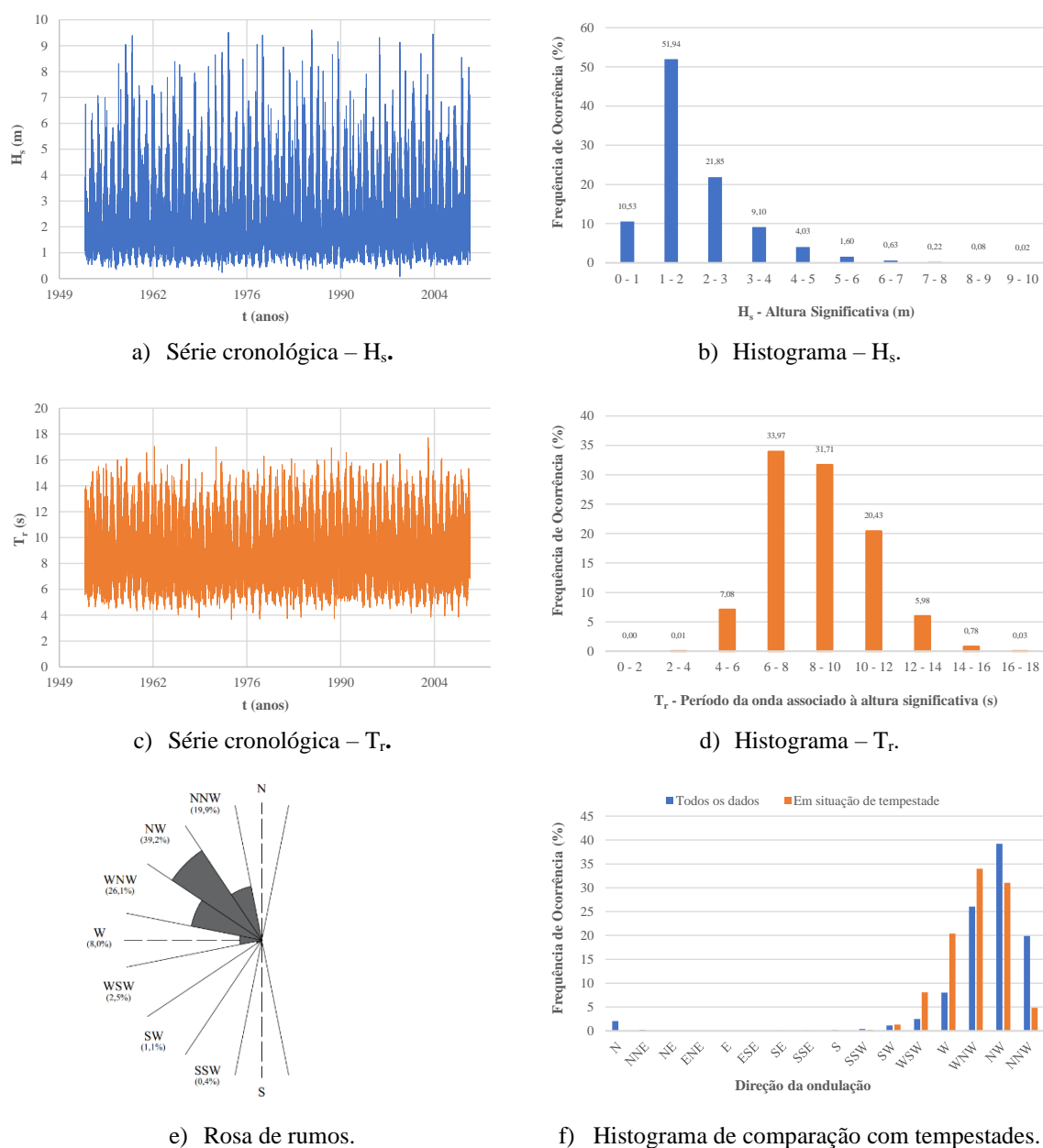


Figura 3.2 – Clima de agitação entre 1953 e 2009, com base em Dodet *et al.* (2010) e Micore (2010).

3.4. Transporte sedimentar

De acordo com Coelho *et al.* (2015), o défice sedimentar ao longo do litoral de Ovar é enorme e prevê-se que continuará a ser num futuro próximo, pelo que as situações de galgamento e de recuo da posição da linha de costa tendem a ser cada vez mais frequentes. As praias que estão protegidas com obras já não alimentam com sedimentos as praias mais a sul, pelo que o fenómeno da erosão vai-se propagando para sul com mais intensidade. A

grande responsabilidade deste fenómeno resulta da redução de sedimentos provenientes dos rios a norte, nomeadamente do Rio Douro (Pereira e Coelho, 2011; Coelho *et al.*, 2015).

Segundo GTL (2014), o balanço sedimentar é definido através da quantificação das entradas (fontes) e saídas (sumidouros) de sedimentos, sendo que nesse trabalho, o balanço sedimentar foi quantificado para duas situações distintas, a de referência e a atual. A situação de referência caracteriza a situação anterior à existência de uma perturbação antrópica, significativa e negativa, no balanço sedimentar, como a que existiria no século XIX na generalidade da costa, enquanto que a situação atual se trata da situação representativa das últimas décadas. Na situação de referência, o Rio Douro é considerado uma fonte de sedimentos e o caudal sólido pode variar entre $0,3 \times 10^6$ e $1,8 \times 10^6$ m³/ano, sendo que estes são valores indicativos consultados em Oliveira *et al.* (1982), Hidrotécnica Portuguesa (1988), APA (2012) e Magalhães (1999). Do mesmo modo, na situação atual, o Rio Douro é também uma fonte de sedimentos sendo que o caudal sólido pode variar entre $0,2 \times 10^6$ e $0,3 \times 10^6$ m³/ano, consultando estes valores indicativos em Oliveira *et al.* (1982), Magalhães (1999) e Vicente e Clímaco (2012).

3.5. Taxas de erosão

A zona de estudo em análise apresenta um recuo acentuado da posição da linha de costa ao longo do tempo, que na década de 1980 chegou mesmo a ultrapassar os 10 metros por ano, na zona de Cortegaça (Coelho *et al.*, 2015). Pode referir-se que a evolução da posição da linha de costa está essencialmente condicionada pela agitação marítima, pela orientação com que a ondulação incide sobre o litoral, pela possibilidade de fixar a linha de costa num ponto natural ou artificial, e pela disponibilidade de sedimentos para transporte. Assim, sempre que ocorram alterações em qualquer um destes fatores, haverá modificações na dinâmica sedimentar e, conseqüentemente, na posição da linha de costa (Pereira e Coelho, 2011).

Através de Pereira e Coelho (2013a) é possível obter valores indicativos das taxas de erosão ao longo do litoral do concelho de Ovar (Tabela 3.1), sendo que o recuo da linha de costa é assinalado com um sinal negativo e a acreção com um sinal positivo.

Tabela 3.1 – Taxas médias anuais de variação da posição da linha de costa (m/ano), no litoral do concelho de Ovar (retirado de Pereira e Coelho, 2013a).

Praia	1870 a 1954	1954 a 1980	1984 a 1990	1978 a 1992
Esmoriz	- 1,6	- 3,7	- 8,0	- 5,6
Cortegaça	- 0,9	- 3,6	+ 2,0	- 3,1
Maceda	-	-	- 3,0	- 4,6
Furadouro	-	- 2,8	- 8,0	-

3.6. Obras de defesa costeira

O litoral de Ovar está artificializado por obras de defesa costeira, nomeadamente por esporões e obras longitudinais aderentes, para contrariar a evolução da linha de costa, de forma a proteger as frentes urbanas da ação do mar (Coelho *et al.*, 2015). Atualmente, nas praias de Esmoriz, Cortegaça, Maceda e Furadouro existem ao todo 6 esporões e 7 obras longitudinais aderentes (Coelho *et al.*, 2015). O número de obras de defesa costeira evidencia que as praias mais vulneráveis à erosão e expostas à ação do mar, são as praias de Esmoriz, Cortegaça e Furadouro (Figura 3.3).

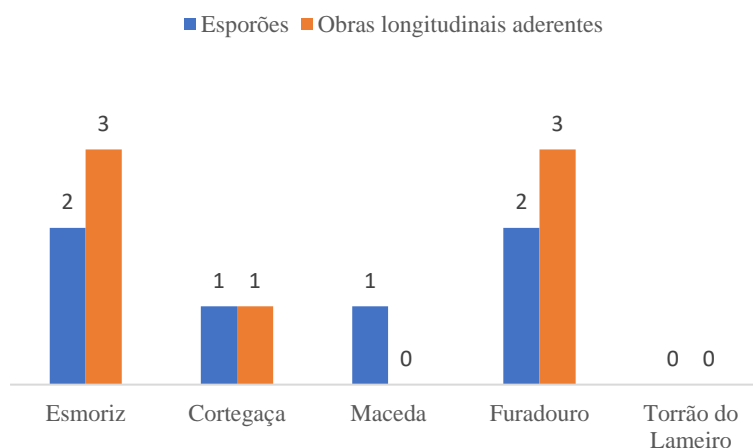


Figura 3.3 – Número de obras de defesa costeira existentes no litoral do concelho de Ovar (Coelho *et al.*, 2015; Cruz, 2015).

Na Tabela 3.2 e na Tabela 3.3 encontra-se, respetivamente, um resumo das características atuais dos esporões e das obras longitudinais aderentes existentes em Ovar, como também as datas em que foram realizadas algumas intervenções de manutenção nestas estruturas.

Tabela 3.2 – Características dos esporões (E) e datas de construção e de intervenções de manutenção (Coelho *et al.*, 2015).

Obra	Localização	Extensão	Construção	Intervenções de manutenção
E1	Esmoriz	≈ 150 m	1986	1987, 1988, 1989, 1991, 1992, 1995, 1996, 1997, 2002, 2008
E2	Esmoriz	≈ 150 m	1985	1987, 1988, 1991, 1992, 1995, 1996, 1997, 2008
E3	Cortegaça	≈ 160 m	1972	1982, 1984, 1985, 1987, 1991, 1992, 1995, 1996, 1997, 2001, 2008
E4	Maceda	≈ 200 m	1989	1990, 1991, 1992, 1995, 1996, 1997, 1999, 2008
E5	Furadouro	≈ 120 m	1972/73	1981, 1982, 1986, 1987, 1988, 1991, 1995, 1996, 1997, 2008
E6	Furadouro	≈ 100 m	1972/73	1981, 1982, 1995, 1996, 1997, 2008

Tabela 3.3 – Características das obras longitudinais aderentes (OLA) e datas de construção e de intervenções de manutenção (Coelho *et al.*, 2015).

Obra	Localização	Extensão	Construção	Intervenções de manutenção
OLA1	Esmoriz	≈ 140 m	1978	1996, 2008
OLA2	Esmoriz	≈ 850 m	1977	1985, 1986, 1989, 1991, 1992, 1995, 1996, 1997, 2008
OLA3	Esmoriz	≈ 600 m	-	1990, 1991, 1995, 1996, 1997, 1999, 2001, 2008
OLA4	Cortegaça	≈ 600 m	1975/79	1987, 1988, 1994, 1996, 1997, 1999, 2001, 2002, 2008
OLA5	Furadouro	≈ 100 m	-	2003, 2009
OLA6	Furadouro	≈ 215 m	1959	1984, 1987, 1995, 1996, 1997, 2003
OLA7	Furadouro	≈ 215 m	1982	1991, 1995, 1996, 1997, 2003

Pode verificar-se que, a frente litoral de Esmoriz até ao norte de Maceda encontra-se defendida por um campo de 4 esporões construídos entre 1972 e 1989, e por uma extensa defesa frontal em enrocamento. Também já existia no Furadouro, em 1959, uma pequena defesa frontal que veio a ser progressivamente prolongada, unindo atualmente o

enraizamento dos 2 esporões existentes e prolongando-se ligeiramente para norte e para sul (Coelho *et al.*, 2015; Pombo, 2016).

No Anexo A encontra-se uma descrição das intervenções que foram realizadas nas obras de defesa costeira entre 1999 e 2011. A maior parte destas intervenções tem sido realizada pelo Instituto da Água (INAG), atualmente a Agência Portuguesa do Ambiente (APA), mas divide-se também pela Administração Regional Hidrográfica do Centro (ARHC) e pela Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Centro (CCDRC). As obras de defesa costeira são frequentemente sujeitas a reparação e manutenção (Coelho *et al.*, 2015; Pombo, 2016). No período entre 1999 e 2011 foram realizadas 13 intervenções de emergência, 6 em Esmoriz, 4 em Cortegaça, e 3 no Furadouro. Estes dados indicam que o sistema de defesa costeiro implantado nestes locais não tem impedido a ação do mar sobre as frentes urbanas. Em Pereira e Coelho (2011) e Cruz (2015) podem ser encontrados mais dados acerca de intervenções realizadas no litoral de Ovar.

3.7. Ocupação e uso do solo

A caracterização da ocupação e uso do solo, incluindo a identificação de atividades económicas, permite atribuir valores ao território que possa vir a ser ganho, mantido ou perdido por efeito das estratégias para mitigar a erosão costeira. Para ser possível fazer a caracterização da ocupação e uso do solo, é necessário avaliar a densidade de ocupação urbana, a população residente e os equipamentos coletivos dos aglomerados urbanos. No que diz respeito à densidade de ocupação urbana, conclui-se que em Esmoriz e Cortegaça a ocupação residencial sobre as faixas de risco definidas no POC (2015) é elevada, verificando-se apenas para o Furadouro uma ocupação residencial moderada sobre a faixa de risco muito elevado. Quanto à população residente nos aglomerados urbanos, as praias de Esmoriz, Cortegaça e Furadouro estão entre os 5 aglomerados do trecho costeiro Ovar-Marinha Grande que apresentam maiores riscos devido à maior percentagem populacional exposta à faixa de risco muito elevado. Por outro lado, os equipamentos coletivos podem agrupar-se nas seguintes classes: alojamento (hotel e parque de campismo), educação, saúde, serviços de apoio e ação social e segurança, e administração pública. Estes equipamentos funcionam como elementos estruturantes no território, sendo que permitem a satisfação das necessidades básicas das populações residentes e possuem uma relevante

função económica e de animação cultural, verificando-se que o Furadouro é a zona que tem mais classes de equipamentos em ambas as faixas de risco (POC, 2015). Apesar deste levantamento, há também uma incerteza e uma dificuldade em caracterizar os valores do território consoante a ocupação e o uso do solo, pelo que estes elementos servem apenas de indicação para os valores adotados na secção 4.3.

Por último, interessa referir que o litoral de Ovar é uma zona atrativa para o turismo, sendo que esta, para além das suas praias, inclui esplanadas à beira-mar, bares, restaurantes, alojamento em hotéis e parques de campismo, alojamento local, entre outros. De salientar também a prática de desportos náuticos, como por exemplo, o *surf* e o *bodyboard*, e a atividade piscatória.

3.8. Eventos de danos

O levantamento e a avaliação cronológica da evolução do número de eventos devidos à ação marítima sobre a zona terrestre contribui para a análise das características passadas do litoral de Ovar, facilitando assim a estimativa de tendências para o futuro (Coelho *et al.*, 2015).

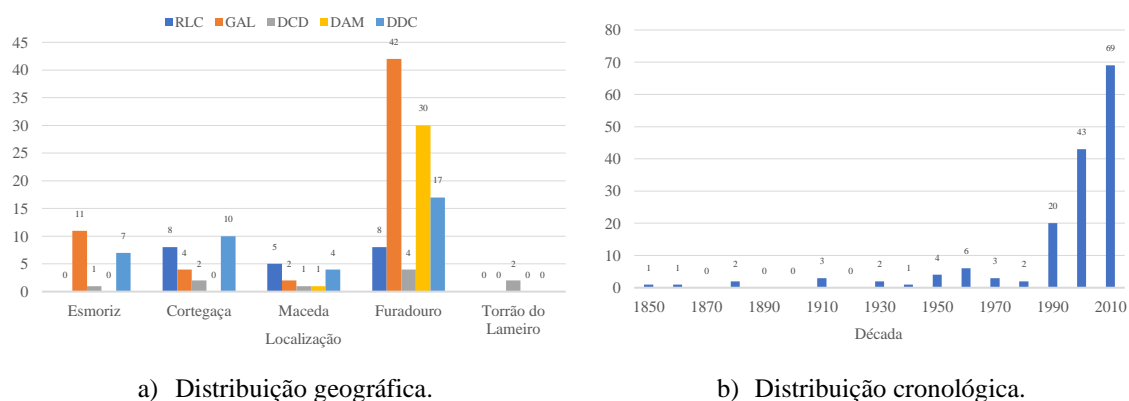
O registo de acontecimentos associados à ação marítima é normalmente realizado pelas entidades com maior responsabilidade sobre o litoral, correspondendo usualmente aos meios de socorro e proteção, assim como entidades responsáveis pelas intervenções de defesa costeira. A literatura, os meios de comunicação social e os registos fotográficos da população residente, podem contribuir como fonte de informação relativamente a acontecimentos decorrentes da ação do mar. É importante realçar que a compilação de dados de registos deste tipo é complexa e morosa, sendo que se podem verificar dificuldades relacionadas com: o acesso a dados dispersos e o facto da informação nem sempre ser coincidente; a definição de um critério homogéneo de consideração de um evento ou ocorrência relevante; e, a diversidade de perspetivas e de entidades que operam ao longo do trecho costeiro em estudo (Pereira e Coelho, 2011; Coelho *et al.*, 2015; Cruz, 2015).

Pereira e Coelho (2011) e Coelho *et al.* (2015) definiram “evento” como sendo qualquer situação que resulta da ação energética do mar, trazendo consequências para o litoral, sendo que essas consequências são designadas por “ocorrências”. Para a classificação das ocorrências distinguem-se cinco categorias: recuo da linha de costa (*RLC*), galgamentos

(*GAL*), destruição do cordão dunar (*DCD*), destruição pela ação do mar (*DAM*) e danos em obras de defesa costeira (*DDC*) (Pereira e Coelho, 2011; Coelho *et al.*, 2015; Cruz, 2015).

Com base na análise da base de dados de Pereira e Coelho (2011), e, complementando com o trabalho de Cruz (2015), apresenta-se no Anexo B o registo dos eventos e das ocorrências relacionados com a ação energética do mar no litoral de Ovar.

Na Figura 3.4 observa-se o número de ocorrências registadas no concelho de Ovar, entre 1857 e 2015, com base em Coelho *et al.* (2015) e Cruz (2015). A Figura 3.4a apresenta a distribuição geográfica das diversas ocorrências que resultam de eventos provocados pela ação marítima. A Figura 3.4b apresenta a distribuição temporal do número de ocorrências, divididas em períodos de 10 anos. Importa ter em conta que, em períodos de tempo mais distantes, os registos de eventos são escassos, o que não significa necessariamente que o número de eventos ocorridos seja diferente do atual, isto porque quanto mais antigo for o evento, maior será a dificuldade em encontrar registos. Do mesmo modo, quando o dano não afeta diretamente a população, podem não existir relatos (Cruz, 2015).



a) Distribuição geográfica.

b) Distribuição cronológica.

Figura 3.4 – Número de ocorrências registadas desde 1857 no concelho de Ovar (adaptado de Coelho *et al.*, 2015 e Cruz, 2015).

Capítulo 4

CARACTERIZAÇÃO DE REFERÊNCIA

4. CARACTERIZAÇÃO DE REFERÊNCIA

Antes de se proceder à simulação da evolução da linha de costa é importante caracterizar uma situação de referência, conseguida através da calibração do modelo numérico LTC, obtendo-se assim uma base que permite simular qualquer tipo de cenário.

Para ser possível simular a configuração da linha de costa, o modelo LTC necessita da introdução de ficheiros de dados que permitem caracterizar o domínio de cálculo (secção 4.1) e o clima de agitação (secção 4.2). Na secção 4.1 define-se o domínio de cálculo através da caracterização dos dados gerais, da batimetria/cartografia da área modelada, das condições fronteira e das intervenções de defesa costeira existentes no concelho de Ovar. Tendo em conta que a agitação marítima é considerada o grande agente modelador do litoral (Coelho *et al.*, 2015) e com base no clima de agitação apresentado na secção 3.3, apresenta-se na secção 4.2 a seleção dos 20 anos a utilizar como horizonte temporal, e define-se também o regime de marés e o nível da superfície do mar adotado.

Por fim, após a simulação da evolução da linha de costa, descreve-se na secção 4.3 o cenário de “não intervenção” que servirá de comparação para os diferentes cenários de mitigação do problema de erosão costeira, que serão apresentados no Capítulo 5.

4.1. Domínio de cálculo

Para definir o domínio de cálculo é necessário adotar alguns parâmetros, designados de dados gerais. Estes dados correspondem à definição das características da água do mar e dos sedimentos e os tipos de formulações consideradas durante os processos de cálculo (Coelho, 2005; Lima, 2015). Na Tabela 4.1 encontram-se os dados gerais considerados no modelo LTC, para a simulação da evolução da linha de costa. No que diz respeito aos tipos de formulações, considerou-se a fórmula de *Hallermeier* para o cálculo da profundidade de fecho, a fórmula de CERC para o cálculo do volume potencial de sedimentos em transporte longitudinal e, para o cálculo da difração optou-se pelo Método de Coelho (2005). Não se considerou o efeito das marés astronómicas e meteorológicas, pelo que se adotou o nível da água do mar constante ao longo de toda a simulação.

Tabela 4.1 – Dados gerais adotados na simulação da evolução da linha de costa.

Aceleração da gravidade (m/s ²)	9,81
Massa volúmica da água do mar (kg/m ³)	1027
Coefficiente de viscosidade cinemática da água (m ² /s)	1,36 x 10 ⁻⁶
Coefficiente ou índice de rebentação das ondas	0,78
Massa volúmica dos sedimentos (kg/m ³)	2650
Diâmetro médio dos grãos dos sedimentos (mm)	0,3
Porosidade dos sedimentos	0,4
Coefficiente de proporcionalidade (fórmula de CERC)	0,01
Ângulo de atrito dos sedimentos em repouso (°)	20
Ângulo de atrito dos sedimentos na direção longitudinal (°)	1

Por outro lado, importa também recolher dados batimétricos e cartográficos da zona de estudo, com o objetivo de definir uma grelha regular de pontos com a respetiva elevação. Os dados batimétricos utilizados para a definição da área a modelar foram recolhidos de uma carta da série de pescas do Instituto Hidrográfico, a n.º 24201 (Caminha-Aveiro), editada em outubro de 1999. Esta carta está representada à escala 1:150 000 e utiliza o sistema de coordenadas *Datum* Europeu de 1950. Associados aos dados batimétricos, foram utilizados os dados cartográficos das cartas militares Série M888, números 143 (Espinho), 153 (Ovar) e 163 (Estarreja), à escala 1:25 000, do Instituto Geográfico do Exército, representados segundo a projeção de Gauss, elipsoide internacional, *Datum* de Lisboa (Pereira e Coelho, 2013b). A conjugação da informação batimétrica e cartográfica permitiu definir o domínio de cálculo a utilizar no modelo numérico LTC, sendo que este é caracterizado por uma malha de 731 x 348 pontos, respetivamente, na direção oeste-este e sul-norte, com igual espaçamento (50 metros), resultando numa área modelada de 36 500 x 17 350 m². Estes elementos foram considerados por já existirem disponíveis e após comparação com os elementos descritos na secção 3.2.

Por fim, as interações da grelha modelada com o meio exterior são efetuadas através da leitura de condições nas fronteiras (Coelho, 2005; Lima, 2015), pelo que é essencial caracterizá-las. Assim, considerou-se que o volume de sedimentos nas fronteiras norte e sul era determinado através de uma extrapolação das condições na vizinhança da fronteira, baseado na média dos volumes em transporte longitudinal nas três secções adjacentes à

fronteira norte e sul, respetivamente. Para além das condições fronteira, é necessário contabilizar as intervenções de defesa costeira existentes no litoral, nomeadamente, os esporões e as obras longitudinais aderentes, e identificar as respetivas posições das intervenções na malha de pontos. De acordo com a secção 3.6, foram identificados 6 esporões (2 em Esmoriz, 1 em Cortegaça, 1 em Maceda e 2 no Furadouro) e 7 obras longitudinais aderentes (3 em Esmoriz, 1 em Cortegaça e 3 no Furadouro).

4.2. Clima de agitação

Com o objetivo de determinar quais os 20 anos de registos de agitação a usar ao longo do período de simulação da evolução da linha de costa, dividiu-se o clima de agitação apresentado na secção 3.3 em 7 séries de 8 anos cada uma, entre 1953 e 2008, e analisaram-se as taxas de recuo da posição da linha de costa e os caudais sólidos longitudinais que estes cenários de agitação induziam no modelo. Na Tabela 4.2 encontra-se um resumo das características do clima de agitação para cada uma das séries.

Tabela 4.2 – Tabela-resumo com as características do clima de agitação, para cada uma das séries consideradas.

Série	H _s (m)			T _r (s)		θ ₀ (°)
	Média	Máxima	Mínimo	Médio	Máximo	
1953 - 1960	2,00	9,40	4,34	8,73	16,12	55,1
1961 - 1968	2,02	8,39	4,01	8,68	17,04	54,5
1969 - 1976	1,97	9,52	3,69	8,57	16,98	54,0
1977 - 1984	2,04	9,40	3,70	8,74	16,30	54,0
1985 - 1992	2,02	9,61	3,76	8,82	16,92	55,1
1993 - 2000	2,07	9,32	4,14	8,81	16,46	55,7
2001 - 2008	1,99	9,45	3,85	8,73	17,69	57,9

Em primeiro lugar, efetuou-se a simulação da linha de costa no modelo LTC para cada uma das séries. Com base nas áreas de erosão e acreção no fim do período de simulação, calculou-se o recuo médio da linha de costa e a respetiva taxa anual, verificando-se que, em média, a linha de costa recua cerca de 1 m/ano (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 – Variação média da posição da linha de costa.

Série	Taxas de recuo médio	
	m	m/ano
1953 - 1960	-7,86	-0,98
1961 - 1968	-8,26	-1,03
1969 - 1976	-8,19	-1,02
1977 - 1984	-7,44	-0,93
1985 - 1992	-8,55	-1,07
1993 - 2000	-8,97	-1,12
2001 - 2008	-7,98	-1,00

De seguida, procedeu-se à análise dos caudais sólidos para cada intervalo de 8 anos, considerando o volume de sedimentos nas fronteiras norte (entrada) e sul (saída) do domínio de cálculo. Através do volume de sedimentos na entrada e na saída do domínio de cálculo, é possível determinar o caudal sólido para cada uma das séries. Segundo GTL (2014), o caudal sólido estimado para o litoral do concelho de Ovar é de $1,1 \times 10^6$ m³/ano, algo superior aos caudais sólidos obtidos para cada uma das séries. Posto isto, foi necessário ajustar os caudais sólidos em função do caudal de referência, obtendo-se um fator igual a 4,7 através do quociente entre o valor de referência e a média dos caudais sólidos médios das diferentes séries. Assim, verifica-se que os dois intervalos de 8 anos que obtêm valores mais próximos do valor de referência, são de 1961 a 1968 e de 1985 a 1992, perfazendo um total de 16 anos. Na Tabela 4.4 encontram-se os resultados obtidos para cada uma das séries de 8 anos.

Tabela 4.4 – Transporte sólido longitudinal, em séries de 8 anos.

Série	V (x10 ⁶ m ³)		Q (x10 ⁶ m ³ /ano)			
	Norte	Sul	Norte	Sul	Médio	Ajustado
1953 - 1960	1,878	1,637	0,235	0,205	0,220	1,034
1961 - 1968	2,003	1,696	0,250	0,212	0,231	1,088
1969 - 1976	1,909	1,729	0,239	0,216	0,227	1,070
1977 - 1984	2,052	1,818	0,257	0,227	0,242	1,138
1985 - 1992	1,989	1,840	0,249	0,230	0,239	1,126
1993 - 2000	2,120	1,911	0,265	0,239	0,252	1,185
2001 - 2008	1,907	1,696	0,238	0,212	0,225	1,060

Para definir os 20 anos do clima de agitação a utilizar nas simulações futuras, foram considerados mais 4 anos de registos. A terceira série que regista um valor mais próximo do caudal sólido de referência é de 1969 a 1976. Dividiu-se então o clima de agitação desta série em intervalos de 4 anos consecutivos. Para cada um deles, foi simulada novamente a evolução da linha de costa, obtendo-se os volumes de sedimentos nas fronteiras norte e sul, e, de seguida, calcularam-se os respetivos caudais sólidos, para cada um dos intervalos de 4 anos. Através do quociente entre o valor de referência e a média dos caudais sólidos médios, obteve-se um fator de 4,4 e procedeu-se, novamente, ao ajuste dos caudais sólidos das diversas séries. Através dos resultados obtidos (Tabela 4.5), constata-se que o intervalo de tempo mais próximo do valor de referência é de 1970 a 1973. Conclui-se então que os 20 anos que serão utilizados como representativos do clima de agitação são de 1961 a 1968, de 1970 a 1973 e de 1985 a 1992, com um total de 29 200 registos. Os dados necessários para a simulação da evolução da linha de costa através do modelo numérico LTC são as alturas de onda significativa (H_s), os períodos de onda associados à altura significativa (T_r) e o respetivo rumo de ondulação (θ_0).

Tabela 4.5 – Transporte sólido longitudinal, em séries de 4 anos.

Série	V ($\times 10^6 \text{ m}^3$)		Q ($\times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$)			
	Norte	Sul	Norte	Sul	Médio	Ajustado
1969 - 1972	1,082	0,885	0,271	0,221	0,246	1,080
1970 - 1973	1,074	0,913	0,268	0,228	0,248	1,090
1971 - 1974	1,135	0,958	0,284	0,240	0,262	1,149
1972 - 1975	1,158	0,963	0,289	0,241	0,265	1,164
1973 - 1976	0,976	0,876	0,244	0,219	0,232	1,017

Para evitar instabilidades numéricas associadas ao comportamento sazonal da agitação (Figura 3.2a), procedeu-se a uma ordenação aleatória da agitação (Figura 4.1), já que o objetivo passa por uma avaliação do comportamento da linha de costa a médio/longo prazo, sem particular interesse na sazonalidade. Importa salientar que na simulação de todos os cenários de intervenção (Capítulo 5), foi considerado sempre o clima de agitação ordenado aleatoriamente.

Para além da definição do clima de agitação, é necessário caracterizar o regime de marés e o nível da superfície do mar. Anteriormente considerou-se que o nível das águas do mar se

mantém constante, tanto por efeito das marés astronómicas como das meteorológicas. Assim, adotou-se um nível médio das águas do mar acima do zero hidrográfico de 2,0 m para as marés astronómicas, sendo que este é mantido em todo o processo de cálculo. Quanto às marés meteorológicas, não foi considerado qualquer desnível da água do mar por efeito das altas ou baixas pressões meteorológicas.

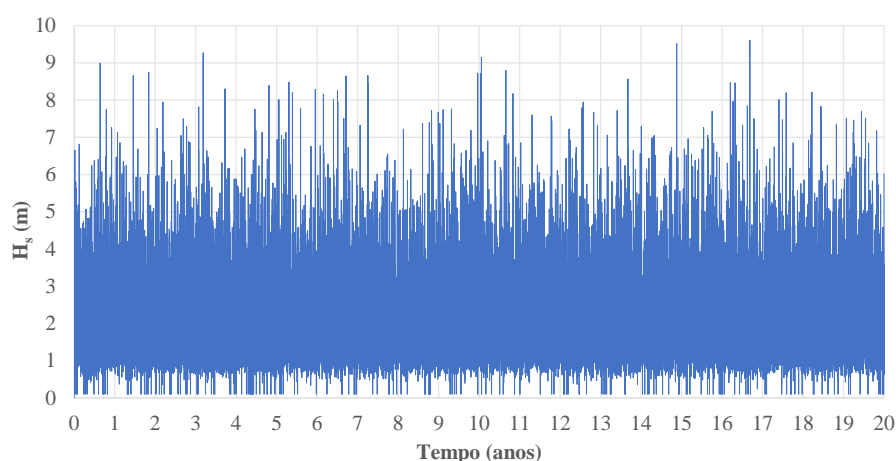


Figura 4.1 – Alturas de onda significativa com o clima de agitação ordenado aleatoriamente.

4.3. Cenário de “não intervenção”

O cenário de “não intervenção” equivale à evolução natural da linha de costa, sem qualquer intervenção adicional para mitigação da erosão costeira ao longo do período de simulação (Lima, 2018), mas assumindo-se que todas as obras existentes são mantidas.

O concelho de Ovar foi dividido em 5 setores, sendo eles: Esmoriz (extensão de 2 100 m), Cortegaça (extensão de 1 550 m), Maceda (extensão de 5 300 m), Furadouro (extensão de 1 550 m) e Torrão do Lameiro (extensão de 5 450 m). Para além desta divisão, foram também definidas quatro zonas de território consoante o uso do solo: zona urbana, zona urbana/rural, zona de praia e zona de floresta (Figura 4.2). Como verificado no Capítulo 2, há uma variabilidade e alguma incerteza associada aos valores do território, pelo que os valores de referência foram considerados como valores mínimos, adotando-se assim valores superiores aos de referência. Importa referir que na secção 6.3 discutiu-se o impacto da adoção destes valores nos resultados. Assim, os valores adotados para cada zona de território foram: a zona urbana é aquela que mais interessa proteger assumindo um valor de 60 €/m²/ano, a zona urbana/rural é uma zona menos urbanizada e representa um valor de

25 €/m²/ano, a zona de praia tem um valor de 10 €/m²/ano, e para a zona de floresta considerou-se 1 €/m²/ano.

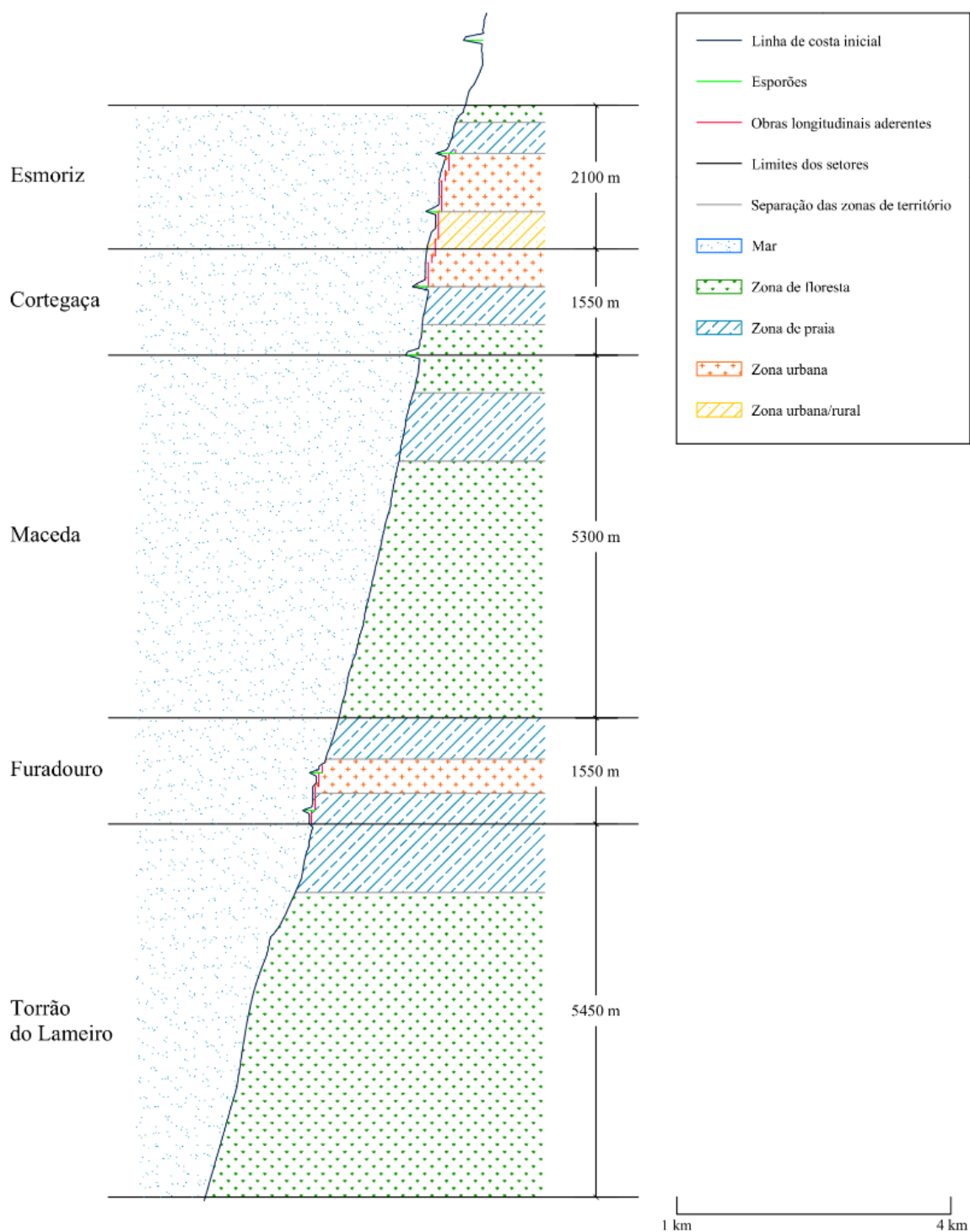


Figura 4.2 – Divisão do Concelho de Ovar nas diferentes zonas do território, consoante o uso do solo na frente costeira.

Na Tabela 4.6 encontra-se o resumo da extensão das diferentes zonas de território em cada setor do concelho de Ovar.

Tabela 4.6 – Extensão (em metros) das diferentes zonas de território, em cada setor do concelho de Ovar.

	Zona urbana	Zona urbana/rural	Zona de praia	Zona de floresta
Esmoriz	850	550	450	250
Cortegaça	550	-	550	450
Maceda	-	-	1000	550/3750
Furadouro	500	-	600/450	-
Torrão do Lameiro	-	-	1000	4450

Como neste cenário não existe qualquer tipo de intervenção, apenas se considera a manutenção das obras existentes. Foram considerados 6 esporões (2 em Esmoriz com 150 m de comprimento, 1 em Cortegaça e outro em Maceda, ambos com 200 m e 2 no Furadouro com 100 m) e 7 obras longitudinais aderentes (3 em Esmoriz com 50 m, 850 m e 550 m, 1 em Cortegaça com 550 m e 3 no Furadouro com 100 m, 550 m e 200 m de comprimento, no sentido norte-sul). Devido à subjetividade associada aos custos das estruturas costeiras (secção 2.1.1), os custos de referência foram considerados apenas como valores máximos, adotando-se assim valores inferiores aos valores de referência. Na secção 6.1 avaliou-se a sensibilidade dos valores adotados. Como referido na secção 2.1.1.1, quanto maior for o comprimento dos esporões, maior será a profundidade a que estes são construídos e, conseqüentemente, haverá um aumento não linear dos custos, sendo que os custos dependem do comprimento dos esporões. Para os esporões assumiram-se operações de manutenção de 2 em 2 anos e de 5 em 5 anos para uma intervenção de manutenção de maior dimensão (Tabela 4.7). No que diz respeito às obras longitudinais aderentes, adotou-se um custo de manutenção de 205,26 €/m para intervenções de manutenção de 5 em 5 anos (Tabela 4.8).

Tabela 4.7 – Custos de manutenção dos esporões existentes.

Comprimento (m)	Custo de manutenção de 2 em 2 anos (€)	Custo de manutenção de 5 em 5 anos (€)
100	20 000	50 000
150	33 750	84 375
200	50 000	125 000

Tabela 4.8 – Custos de manutenção das obras longitudinais aderentes existentes.

Comprimento (m)	Custo de manutenção de 5 em 5 anos (€)
50	10 263
100	20 526
200	41 052
550	112 893
850	174 471

Para além dos custos de manutenção, também se considerou um custo de 5 000 €/ano para a reparação dos impactos dos galgamentos no Furadouro, onde este fenómeno se regista com frequência. A taxa de desconto (r) admitida para a obtenção dos valores atualizados foi de 3% (baseada em Roebeling *et al.*, 2018).

Os resultados obtidos através do LTC para um horizonte temporal de 20 anos, demonstram que, no caso de não ser feita qualquer intervenção de defesa costeira no concelho de Ovar, o balanço entre as áreas de erosão e de acreção que resulta da evolução da linha de costa ao longo do tempo será negativo, representando perdas de território (Figura 4.3). Através da Tabela 4.9 pode verificar-se que em todos os setores, a área perdida vai aumentando ao longo do tempo, à exceção do setor do Furadouro, que aos 20 anos apresenta um balanço nulo. O aumento da erosão em Cortegaça e Maceda pode levar à redução da erosão no Furadouro e, para além disso, o Furadouro é um setor que se encontra praticamente todo artificializado. No total, com base nos pressupostos admitidos, estima-se que o concelho de Ovar perde cerca de 43 ha, ao fim dos 20 anos.

Tabela 4.9 – Balanço entre as áreas de erosão e de acreção, no cenário de "não intervenção".

Setor	Balanço (ha)			
	5 anos	10 anos	15 anos	20 anos
Esmoriz	-2,83	-4,48	-6,10	-6,78
Cortegaça	-1,36	-3,25	-5,57	-7,14
Maceda	-5,47	-8,75	-11,16	-13,65
Furadouro	-0,52	-0,63	-0,47	0,00
Torrão do Lameiro	-5,91	-12,01	-13,12	-15,48
Total	-16,09	-29,12	-36,42	-43,04

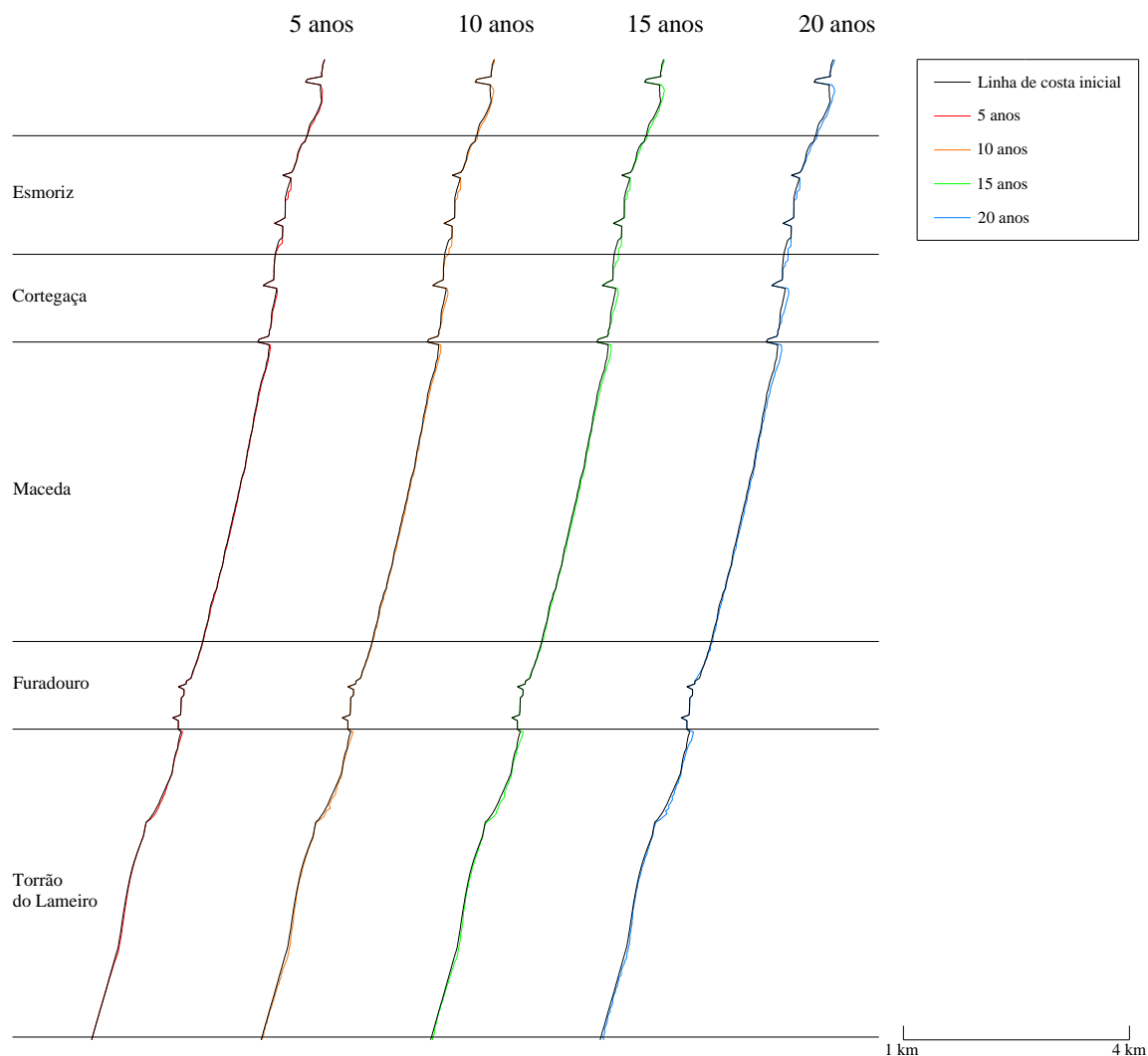


Figura 4.3 – Evolução da linha de costa ao longo do tempo (5, 10, 15 e 20 anos).

Com aplicação da análise custo-benefício é possível estimar o VAL durante os 20 anos de simulação e verifica-se que, para um horizonte temporal de 5 anos, as perdas rondam os 3,5 milhões de euros, enquanto que, passados 5 e 10 anos, as perdas rondam os 7,8 e 11,7 milhões de euros, respetivamente. Ao fim dos 20 anos, ocorrem perdas na ordem dos 15,6 milhões de euros. Assim, pode-se concluir que, no caso de não se intervir no litoral de Ovar, irão registar-se elevadas perdas na zona costeira relacionadas com a diminuição do território e o respetivo valor económico do uso do solo, bem como os custos de manutenção das obras de defesa costeira existentes.

Capítulo 5

CENÁRIOS DE INTERVENÇÃO

5. CENÁRIOS DE INTERVENÇÃO

Uma análise custo-benefício pressupõe a comparação do cenário de intervenção para mitigação da erosão costeira em estudo com o cenário de “não intervenção”, permitindo assim avaliar se a solução é economicamente mais rentável ou não. Através desta análise é possível analisar o impacto físico e o impacto económico do cenário de intervenção, durante o período de tempo compreendido no horizonte temporal de simulação, de 20 anos. Para avaliar o impacto físico, analisam-se as áreas de acreção e de erosão e, conseqüentemente, o respetivo balanço de área, que permite determinar os benefícios do cenário em análise, sendo que estes são calculados por comparação da posição da linha de costa num determinado instante de tempo, com a posição da linha de costa do cenário de “não intervenção” obtida para o mesmo instante (Lima, 2018). Quanto ao impacto económico, avaliam-se os custos de investimento, o *VAL*, o *RBC* e o *break-even*. Para além de permitir avaliar se uma solução é economicamente rentável ou não, esta análise também permite fazer uma comparação entre as diversas soluções e concluir qual a solução mais adequada entre as consideradas. Na avaliação económica, subentende-se que os valores atribuídos ao uso do território já englobam todos os aspetos sociais, culturais e ambientais que caracterizam cada local.

No total, foram simulados 72 cenários de intervenção. Estes cenários podem dividir-se em três categorias consoante o tipo de estratégia, sendo elas, estratégias de alimentações artificiais de sedimentos (secção 5.1), estratégias de proteção com recurso a estruturas costeiras (secção 5.2) e estratégias de demolição e realocização (secção 5.3). No que diz respeito às estratégias de alimentações artificiais de sedimentos foram testados 25 cenários, 16 em Esmoriz, 4 em Cortegaça, 1 em Maceda e 4 no Furadouro. Quanto às estratégias de proteção com recurso a estruturas costeiras, foram simulados no LTC 19 cenários de prolongamento e construção de esporões (4 em Cortegaça, 4 em Maceda, 6 no Furadouro e 5 no Torrão do Lameiro) e 22 de prolongamento e construção de obras longitudinais aderentes (6 em Cortegaça, 6 em Maceda e 10 no Torrão do Lameiro), perfazendo assim um total de 41 cenários. Por último, nas estratégias de demolição e realocização foram simulados 6 cenários, sendo 3 em Esmoriz, 2 no Furadouro e 1 cenário que abrange o setor de Esmoriz e de Cortegaça em simultâneo.

Assim, é objetivo deste capítulo apresentar os cenários de intervenção de defesa costeira que foram alvos de estudo e proceder à análise dos seus resultados, sendo que nestes cenários foram mantidos os valores do território consoante o uso do solo, os custos das intervenções de defesa costeira e a taxa de desconto, previamente definidos.

5.1. Alimentação artificial de sedimentos

As alimentações artificiais de sedimentos representam uma solução de intervenção de defesa costeira para mitigação do problema da erosão. É importante realizar um planeamento eficaz das soluções de alimentação artificial de sedimentos, uma vez que o desempenho destas depende de inúmeros fatores, como por exemplo, a extensão do local de deposição dos sedimentos, a localização da própria intervenção, a frequência com que são realizadas deposições, o espaçamento temporal, o volume de sedimentos depositado, etc. (Lima, 2018).

Nos setores de Esmoriz, Cortegaça e Furadouro foram simulados diferentes volumes, todos colocados numa única intervenção. No que diz respeito à frequência de alimentação e ao espaçamento temporal, estes foram testados apenas no setor de Esmoriz. Para além das hipóteses de simulação referidas anteriormente, foi ainda possível comparar diferentes cenários consoante a localização de cada um, considerando um volume de material igual em todos os cenários. Importa referir que, os custos associados às alimentações artificiais são considerados no instante inicial do ano em que se pretende realizar a intervenção.

Nos 25 cenários de alimentações artificiais de sedimentos foi considerado um ritmo de deposição de 10 000 m³/dia e foi adotado um custo unitário do material de 2 €/m³, estimado com base em Lima (2018), conforme referido anteriormente.

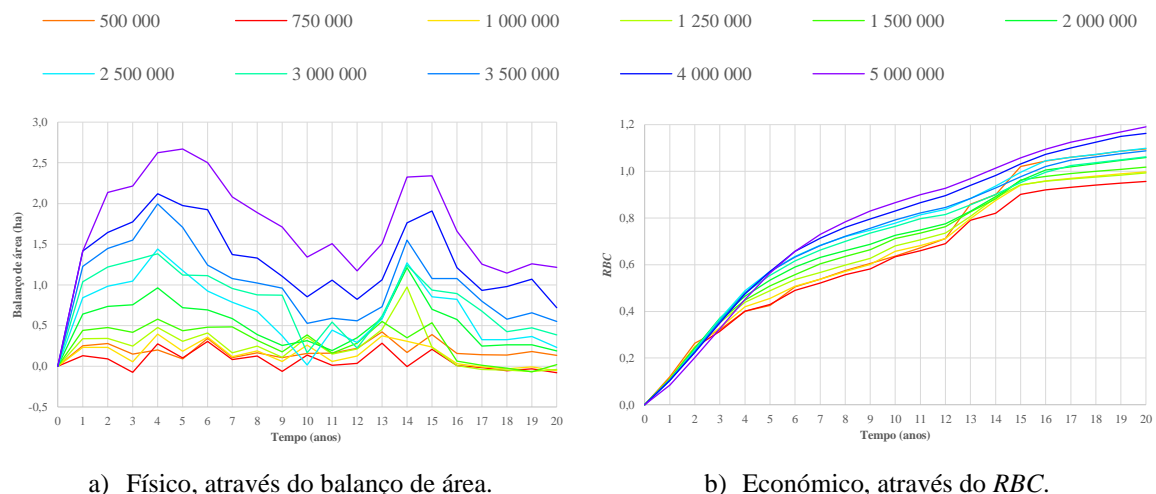
5.1.1. Volumes

Com o auxílio do modelo LTC, simularam-se diferentes cenários de alimentações artificiais de sedimentos em três setores, nomeadamente, em Esmoriz, Cortegaça e Furadouro. De salientar que nestes cenários apenas se variou o volume total de sedimentos depositado numa única intervenção e a extensão de deposição dos sedimentos, em função da localização da intervenção.

5.1.1.1. Esmoriz

Em todas as alimentações artificiais de sedimentos simuladas no setor de Esmoriz, foi adotada uma área de deposição com 850 m de extensão (correspondente à frente da zona urbana de Esmoriz), que abrange a totalidade da largura ativa do perfil transversal de, aproximadamente, 3 000 m.

Foram simuladas diferentes alimentações artificiais com volumes compreendidos entre os 500 000 m³ e os 5 000 000 m³ colocados numa única intervenção, perfazendo um total de 11 cenários. Observando a Figura 5.1 constata-se que o desempenho económico sobressai mais que o desempenho físico, isto porque a alimentação artificial é realizada entre os dois esporões de Esmoriz, em frente à zona mais valiosa (zona urbana), o que faz com que o *RBC* seja mais significativo. No entanto, os esporões podem estar a condicionar o desempenho da alimentação artificial. Na Figura 5.1a verifica-se que na maioria dos cenários os ganhos atingem o máximo nos primeiros 5 anos, obtendo-se um maior ganho igual a 2,7 ha para o volume de 5 000 000 m³. Ainda assim, ocorre novamente um crescimento nos ganhos de área até aos 15 anos. Relativamente ao desempenho económico e durante os 20 anos, os benefícios acumulados vão aumentando e os custos mantêm-se constantes (apenas o custo da intervenção), o que faz com que o *RBC* aumente ao longo do tempo (Figura 5.1b).



a) Físico, através do balanço de área.

b) Económico, através do *RBC*.

Figura 5.1 – Desempenho da alimentação artificial em Esmoriz para diferentes volumes.

Na Tabela 5.1 apresentam-se, resumidamente, os resultados obtidos para cada volume testado, ao fim dos 20 anos. Através da análise custo-benefício verifica-se que as soluções com os volumes de 500 000 m³ e 5 000 000 m³ são aquelas que atingem o *break-even* de

forma mais rápida (aos 14 anos). De todos os cenários testados, a solução com o volume de 5 000 000 m³ é física e economicamente mais vantajosa, uma vez que apresenta um maior ganho de área (1,2 ha) por comparação com o cenário de “não intervenção” e um maior retorno financeiro da intervenção (1 905 617 €), ao fim dos 20 anos. Porém, este é o cenário que obriga a um maior esforço financeiro de 1º investimento (10 000 000 €).

Tabela 5.1 – Resultados dos cenários de diferentes volumes em Esmoriz, ao fim dos 20 anos.

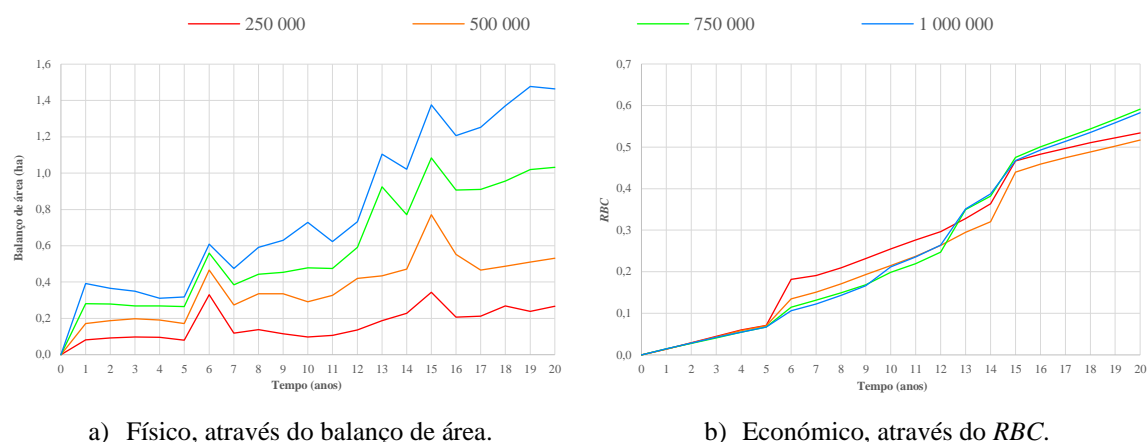
Volume (m³)	Balanço de área (ha)	VAL (€)	RBC	Break-even (anos)
500 000	0,13	95 868	1,10	14
750 000	-0,08	-65 063	0,96	-
1 000 000	-0,05	-4 929	1,00	20
1 250 000	-0,04	-17 165	0,99	-
1 500 000	0,02	53 891	1,02	18
2 000 000	0,19	236 590	1,06	16
2 500 000	0,23	493 599	1,10	15
3 000 000	0,38	372 860	1,06	16
3 500 000	0,55	614 416	1,09	16
4 000 000	0,72	1 299 439	1,16	15
5 000 000	1,21	1 905 617	1,19	14

5.1.1.2. Cortegaça

Para o setor de Cortegaça foram testados 4 cenários, com volumes de 250 000 m³, 500 000 m³, 750 000 m³ e 1 000 000 m³, todos depositados numa área com 550 m de extensão (zona de praia a sul da zona urbana), e com uma largura de 2 700 m.

Através da Figura 5.2a verifica-se que ocorre um ganho de área logo no primeiro ano devido à colocação dos sedimentos. No entanto, ao longo de todo o processo de cálculo, os ganhos de área continuam a aumentar, ainda que, com algumas oscilações, sendo superior para volumes maiores. Também se pode constatar que para os diferentes volumes ocorre um ganho de área mais significativo ao 6º e 13º anos (apenas para os volumes de 750 000 m³ e 1 000 000 m³) e também ao 15º ano. Este ganho pode dever-se a alguma instabilidade numérica, e faz com que haja um maior aumento do RBC durante esses intervalos, visto que há um acréscimo dos benefícios e os custos se mantêm constantes (Figura 5.2b). Desta

forma, a interpretação dos resultados em situações específicas deve ser ponderada, dando-se realce aos comportamentos e tendências globais.



a) Físico, através do balanço de área.

b) Económico, através do *RBC*.

Figura 5.2 – Desempenho da alimentação artificial em Cortegaça para diferentes volumes.

A Tabela 5.2 resume o impacto físico e económico ao fim dos 20 anos. Efetuada a análise custo-benefício verifica-se que o *VAL* é negativo para todos os cenários ao fim dos 20 anos, o que significa que não se consegue obter retorno financeiro da intervenção. Pode-se concluir que a nível económico nenhuma das soluções seria viável, mas caso se tivesse de optar por uma, a solução com o volume de 250 000 m³ é a que representa menores perdas económicas. Se o objetivo principal desta intervenção fosse ganhar área de território, então já se optaria pela solução com o volume de 1 000 000 m³ por ser aquela que apresenta um maior ganho ao fim dos 20 anos. Por fim, constata-se que nenhum dos cenários simulados atinge o *break-even*, sendo que o volume de 750 000 m³ é o que apresenta um maior *RBC* (0,59).

Tabela 5.2 – Resultados dos cenários de diferentes volumes em Cortegaça, ao fim dos 20 anos.

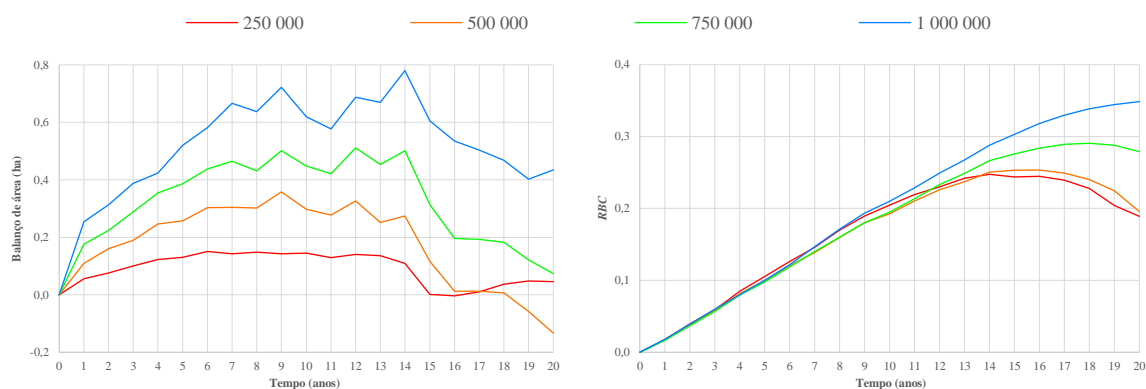
Volume (m ³)	Balanço de área (ha)	<i>VAL</i> (€)	<i>RBC</i>	<i>Break-even</i> (anos)
250 000	0,27	-233 000	0,53	-
500 000	0,53	-483 072	0,52	-
750 000	1,03	-613 187	0,59	-
1 000 000	1,46	-834 794	0,58	-

5.1.1.3. Furadouro

À semelhança do setor de Cortegaça, também foram simuladas 4 alimentações artificiais de sedimentos no Furadouro, colocadas apenas numa única intervenção e com volumes de

250 000 m³, 500 000 m³, 750 000 m³ e 1 000 000 m³. A área de deposição tem uma extensão de 450 m e uma largura de 2 700 m, abrangendo assim a zona de praia que se situa imediatamente a sul da zona urbana do Furadouro.

Relativamente ao impacto físico (Figura 5.3a), pode constatar-se que em todos os cenários, à exceção do volume de 500 000 m³, se sente o efeito da alimentação artificial até ao fim da simulação, registando-se ganhos de área quando completados os 20 anos. No entanto, o efeito máximo da alimentação artificial é atingido ao fim dos primeiros 8/9 anos para os volumes de 250 000 m³ e 500 000 m³ e, até ao fim dos 14 anos, para os volumes de 750 000 m³ e 1 000 000 m³, registando-se um maior ganho de área de 0,78 ha para o maior volume simulado. Relativamente ao cenário com o volume de 500 000 m³, o efeito da alimentação artificial apenas é sentido até aos 18 anos de simulação, sendo que nos anos seguintes ocorrem perdas de território em relação ao cenário de “não intervenção”. Este comportamento é contrário ao expectável e pode resultar de efeitos específicos do modelo numérico LTC, por colocação de sedimentos numa zona próxima do limite sul do domínio de cálculo. Através da Figura 5.3b verifica-se que nos últimos anos há uma ligeira descida nas curvas correspondentes aos volumes de 250 000 m³, 500 000 m³ e 750 000 m³, isto porque os benefícios negativos (perdas de território) são superiores aos benefícios positivos, havendo uma diminuição dos benefícios acumulados e, conseqüente redução no *RBC*.



a) Físico, através do balanço de área.

b) Económico, através do *RBC*.

Figura 5.3 – Desempenho da alimentação artificial no Furadouro para diferentes volumes.

Através da Tabela 5.3 verifica-se que o cenário com melhor desempenho físico é com o volume de 1 000 000 m³, por ser aquele que obtém um maior ganho de área (0,43 ha). Por outro lado, quanto ao desempenho económico pode-se concluir que nenhuma das 4 alimentações artificiais testadas no setor do Furadouro é economicamente viável pelo facto

de não se conseguir recuperar os custos associados à intervenção durante os 20 anos de simulação, obtendo-se assim valores negativos para o *VAL*. Ao fim dos 20 anos, a alimentação artificial com o volume de 1 000 000 m³ é a que apresenta um maior *RBC* (0,35), ainda que bastante inferior a 1. Pelos valores obtidos para o *RBC* nas diferentes soluções, conclui-se que nenhuma solução atinge o *break-even*.

Tabela 5.3 – Resultados dos cenários de diferentes volumes no Furadouro, ao fim dos 20 anos.

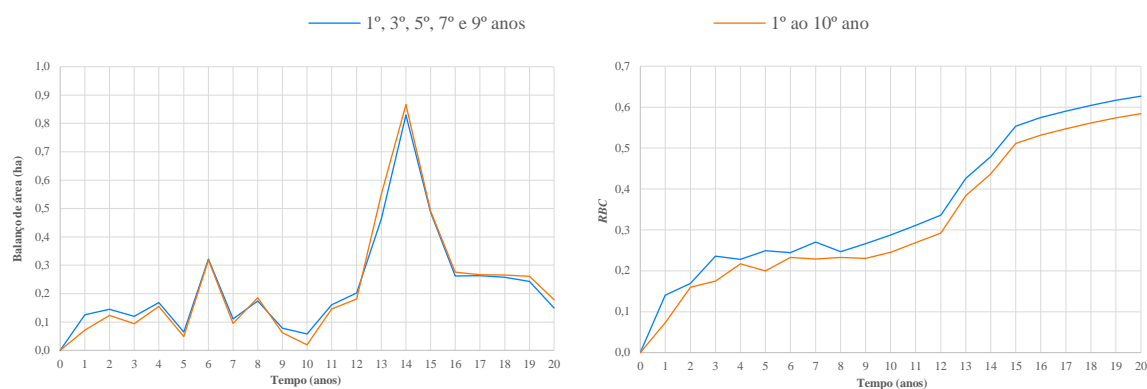
Volume (m³)	Balanço de área (ha)	VAL (€)	RBC	Break-even (anos)
250 000	0,05	-405 545	0,19	-
500 000	-0,13	-804 136	0,20	-
750 000	0,07	-1 081 750	0,28	-
1 000 000	0,43	-1 302 707	0,35	-

5.1.2. Frequência

Para um planeamento estratégico e ponderado da gestão costeira, é importante avaliar se é física e economicamente mais vantajoso intervir em curtos espaços de tempo, com um volume inferior de sedimentos, ou se, num período mais espaçado, depositar-se um volume maior de sedimentos, sendo que o volume total de sedimentos é o mesmo em ambas as situações, quando a intervenção está finalizada (Lima, 2018). Como referência, foi considerada a deposição em Esmoriz, com um volume total de 1 000 000 m³. A primeira situação consiste na colocação de sedimentos em 5 etapas nos 1º, 3º, 5º, 7º e 9º anos (200 000 m³/ano), e na segunda situação, a alimentação artificial é realizada em 10 etapas nos 10 primeiros anos de simulação (100 000 m³/ano).

Através da Figura 5.4a constata-se que o comportamento físico é semelhante em ambas as situações, sentindo-se o efeito da alimentação artificial durante todo o horizonte temporal. Os ganhos de área máximos ocorrem aos 14 anos, sendo que quando a alimentação artificial se realiza durante os 10 primeiros anos, verifica-se um maior ganho de área (0,87 ha), e, após o 14º ano, há uma diminuição no balanço de área. Ainda assim, registam-se valores positivos para o balanço de área em ambas as situações, ao fim dos 20 anos. No que diz respeito à evolução do *RBC* (Figura 5.4b), constata-se que, em ambas as situações, este vai aumentando

ao longo de todo o processo de cálculo com algumas variações até aos 9/10 anos, devido aos custos de intervenção das diferentes etapas realizadas ao longo do tempo.



a) Físico, através do balanço de área.

b) Económico, através do *RBC*.

Figura 5.4 – Desempenho da alimentação artificial em Esmoriz consoante a frequência.

Ao fim dos 20 anos, o ganho de área é semelhante em ambas as situações (Tabela 5.4), registando-se um ganho maior (0,18 ha) quando a intervenção é realizada nos 10 primeiros anos. Consta-se também que nenhuma das soluções é economicamente viável, isto porque ao fim dos 20 anos os custos sobrepõem-se aos benefícios, obtendo-se assim valores negativos para o *VAL*. No entanto, verifica-se que a solução mais vantajosa a nível económico é quando a alimentação artificial é realizada nos 1º, 3º, 5º, 7º e 9º anos por ser aquela que apresenta menores perdas económicas (665 479 €) e um maior *RBC* (0,63).

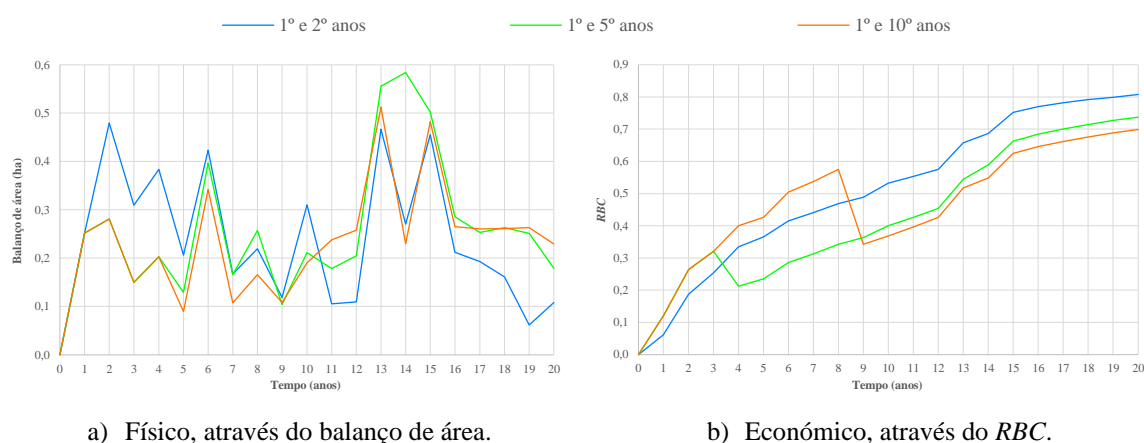
Tabela 5.4 – Resultados dos cenários de frequência da deposição em Esmoriz, ao fim dos 20 anos.

Frequência	Balanço de área (ha)	<i>VAL</i> (€)	<i>RBC</i>	<i>Break-even</i> (anos)
1º, 3º, 5º, 7º e 9º anos	0,15	-665 479	0,63	-
1º ao 10º ano	0,18	-730 859	0,58	-

5.1.3. Espaçamento temporal

Em Esmoriz simulou-se também o espaçamento temporal considerando um volume total de sedimentos de 1 000 000 m³, colocados em dois momentos diferentes (500 000 m³ em cada um). O que diferencia os cenários é o espaçamento temporal entre as duas fases de colocação dos sedimentos, avaliando-se a colocação de sedimentos nos 1º e 2º anos, nos 1º e 5º anos e nos 1º e 10º anos.

Através da Figura 5.5a verifica-se que durante os 20 anos de simulação, e em todos os cenários, ocorrem algumas variações no balanço de área. O cenário onde a alimentação artificial é realizada nos 1º e 5º anos, é o que apresenta um ganho máximo de área aos 14 anos, igual a 0,58 ha. Quando a alimentação artificial é realizada logo nos 2 primeiros anos, o ganho de área irá ocorrer logo no início, assim como os custos da intervenção também são contabilizados no início da simulação. Por esse motivo, os benefícios vão-se fazendo sentir ao longo do tempo, o que resulta num comportamento crescente do *RBC* durante os 20 anos. Quanto aos cenários de colocação de sedimentos nos 1º e 5º anos e nos 1º e 10º anos, estes apresentam uma descida no *RBC* que corresponde ao momento da segunda intervenção, devido ao custo associado a essa intervenção (Figura 5.5b).



a) Físico, através do balanço de área.

b) Económico, através do *RBC*.

Figura 5.5 – Desempenho da alimentação artificial em Esmoriz consoante o espaçamento temporal.

Ao fim dos 20 anos (Tabela 5.5), é mais compensatório fisicamente realizar a intervenção nos 1º e 10º anos, por se obter um maior ganho de área (0,23 ha). Através da análise custo-benefício conclui-se que não compensa realizar nenhuma das 3 soluções de alimentações artificiais, porque obtêm perdas económicas (valores negativos para o *VAL*). Porém, quando a alimentação artificial é realizada logo nos 2 primeiros anos, regista-se um *RBC* mais próximo de 1 (0,81), não havendo assim qualquer cenário a atingir o *break-even*.

Tabela 5.5 – Resultados dos cenários de espaçamento temporal da deposição em Esmoriz, ao fim dos 20 anos.

Espaçamento temporal	Balanço de área (ha)	<i>VAL</i> (€)	<i>RBC</i>	<i>Break-even</i> (anos)
Anos 1 e 2	0,11	-378 784	0,81	-
Anos 1 e 5	0,18	-496 302	0,74	-
Anos 1 e 10	0,23	-531 476	0,70	-

5.1.4. Localização

Foram simuladas alimentações artificiais de sedimentos com um volume de 1 000 000 m³ em 4 setores, nomeadamente em Esmoriz, Cortegaça, Maceda e Furadouro. A descrição das alimentações artificiais testadas em Esmoriz, Cortegaça e Furadouro encontram-se, respetivamente, nas secções 5.1.1.1, 5.1.1.2 e 5.1.1.3. Relativamente à alimentação realizada em Maceda, foi adotada uma área de deposição com 1 000 m de extensão e 2 700 m de largura, que abrange na totalidade a zona de praia considerada no setor de Maceda.

Com base na Figura 5.6a pode constatar-se que o comportamento das alimentações artificiais de sedimentos simuladas depende da localização da intervenção. No setor de Esmoriz o efeito da alimentação artificial é sentido até aos 16 anos, ainda que com algumas oscilações nos ganhos de área, no entanto, após os 16 anos verificam-se perdas de território. Os setores de Cortegaça e de Maceda apresentam comportamentos semelhantes, em que os ganhos de área tendem a aumentar ao longo dos 20 anos de simulação, registando-se um maior ganho aos 19 anos, igual a 1,48 ha, no setor de Cortegaça. Por outro lado, no setor do Furadouro os ganhos de área vão aumentando até ao 14º ano, sofrendo uma diminuição após este ano, mas, ainda assim, verificam-se ganhos ao fim dos 20 anos. Relativamente ao impacto económico, verifica-se que em todos os setores há um crescimento da curva do *RBC* ao longo do tempo, sendo que o setor de Esmoriz é o que apresenta um *RBC* maior (Figura 5.6b).

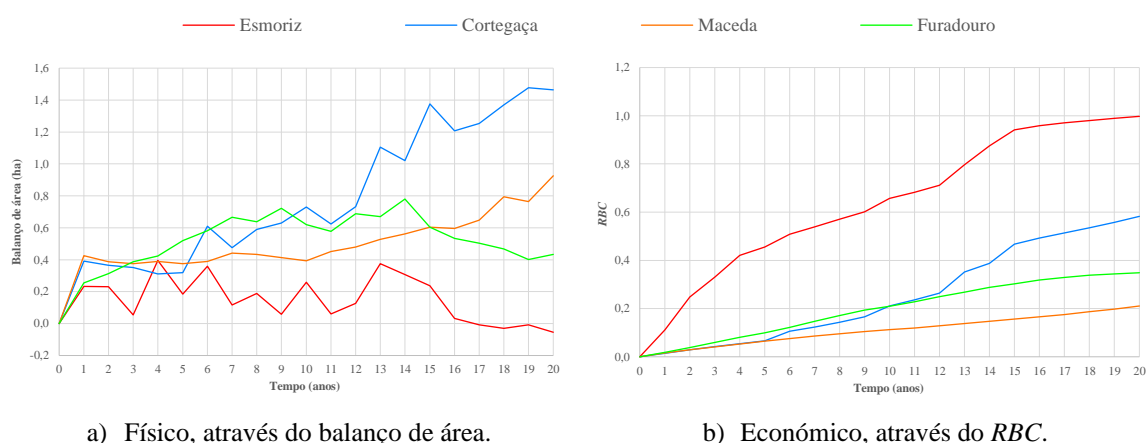


Figura 5.6 – Desempenho das alimentações artificiais de Esmoriz, Cortegaça, Maceda e Furadouro.

Através da Tabela 5.6 pode-se concluir que quando o principal objetivo da intervenção é o ganho de área, compensa mais realizar a alimentação artificial no setor de Cortegaça por ser aquela que ao fim dos 20 anos regista um maior ganho (1,46 ha). Por outro lado,

economicamente não compensa realizar uma alimentação artificial com um volume de 1 000 000 m³ em nenhum dos 4 setores, porque todos apresentam valores negativos para o VAL, verificando-se ainda, que as perdas a nível económico são menores no setor de Esmoriz. É também neste setor que se alcança um maior RBC, igual a 1,00, que consequentemente atinge o *break-even* aos 20 anos de simulação.

Tabela 5.6 – Resultados dos cenários de alimentações artificiais dos setores de Esmoriz, Cortegaça, Maceda e Furadouro, ao fim dos 20 anos.

Localização	Balanço de área (ha)	VAL (€)	RBC	Break-even (anos)
Esmoriz	-0,05	-4 929	1,00	20
Cortegaça	1,46	-834 794	0,58	-
Maceda	0,93	-1 578 483	0,21	-
Furadouro	0,43	-1 302 707	0,35	-

5.2. Proteção com recurso a estruturas costeiras

Quando se adotam estratégias de proteção com recurso a estruturas costeiras pode recorrer-se aos esporões ou às obras longitudinais aderentes (neste trabalho não foram considerados cenários com quebra-mares destacados). Os esporões são estruturas de proteção costeira, geralmente posicionados perpendiculares à linha de costa, que promovem a acumulação de areias a barlar da estrutura e antecipam a erosão a sotamar, devendo por isso ser considerados em situações onde se verifique transporte sedimentar longitudinal (Burcharth e Hughes, 2006). Os custos dos esporões estão dependentes do seu comprimento, uma vez que para maiores comprimentos, os esporões atingem maiores profundidades. Consideraram-se manutenções da estrutura de 2 em 2 anos e de 5 em 5 anos, sendo que o custo estimado para cada operação de manutenção foi de 10% do custo de primeiro investimento para operações de 2 em 2 anos e de 25% do custo de primeiro investimento para operações de 5 em 5 anos. As obras longitudinais aderentes são estruturas artificiais de defesa costeira, construídas paralelamente à linha de costa. Em geral, desenvolvem-se ao longo da face de um cordão dunar ou do talude inclinado de uma praia, e têm como principal objetivo proteger a linha de costa da erosão, fixando a sua posição (Burcharth e Hughes, 2006). Estas obras conduzem a uma redução da ação das ondas, por absorção da

energia nas faces e espaços vazios das rochas ou dos blocos (Coelho, 2005). Para as obras longitudinais aderentes adotou-se um custo de construção de 684,20 €/m e um custo de manutenção, que equivale a 30% do custo de primeiro investimento, de 205,26 €/m, para operações de manutenção de 5 em 5 anos. Uma vez mais, importa realçar que, como se verificou no Capítulo 2, há uma subjetividade e alguma incerteza associada aos custos de intervenção das obras de defesa costeira, pelo que os custos de referência foram considerados apenas como valores máximos, adotando-se assim valores inferiores aos de referência. Na secção 6.1, avaliou-se a sensibilidade dos valores adotados nos resultados obtidos.

Assim, também é importante avaliar vários cenários de intervenção com recurso a estruturas costeiras para analisar os impactos na evolução da linha de costa, considerando os custos de intervenção que lhes estão associados. Deste modo, foram simulados 19 cenários de prolongamento e construção de esporões e 22 cenários de prolongamento e construção de obras longitudinais aderentes, perfazendo um total de 41 cenários.

5.2.1. Prolongamento de esporões

Dos 6 esporões existentes no concelho de Ovar, optou-se por simular o prolongamento do esporão de Cortegaça e do esporão norte do Furadouro, com aumentos da extensão que variam entre os 200 m e os 500 m e entre 100 m e os 600 m, respetivamente. Na Tabela 5.7 e na Tabela 5.8 encontram-se os custos de construção e de manutenção considerados nos diferentes cenários testados no prolongamento do esporão de Cortegaça e do esporão norte do Furadouro, respetivamente. De notar que na determinação dos custos de intervenção, teve-se em conta os comprimentos inicial e final do esporão, ou seja, o comprimento antes e após a intervenção. Estes custos foram determinados através da diferença entre os custos associados ao comprimento final e ao comprimento inicial do esporão.

Tabela 5.7 – Custos de construção e de manutenção considerados no prolongamento do esporão de Cortegaça.

Prolongamento (m)	Custo total (€)	Custo de manutenção de 2 em 2 anos (€)	Custo de manutenção de 5 em 5 anos (€)
200	1 300 000	130 000	325 000
300	2 500 000	250 000	625 000
400	4 180 000	418 000	1 045 000
500	6 500 000	650 000	1 625 000

Tabela 5.8 – Custos de construção e de manutenção considerados no prolongamento do esporão norte do Furadouro.

Prolongamento (m)	Custo total (€)	Custo de manutenção de 2 em 2 anos (€)	Custo de manutenção de 5 em 5 anos (€)
100	300 000	30 000	75 000
200	800 050	80 005	200 013
300	1 600 000	160 000	400 000
400	2 800 000	280 000	700 000
500	4 480 000	448 000	1 120 000
600	6 800 000	680 000	1 700 000

5.2.1.1. Cortegaça

O esporão de Cortegaça tem um comprimento de 200 m e situa-se no limite sul da zona urbana do setor de Cortegaça. Foram simulados 4 cenários do prolongamento deste esporão, nomeadamente, com prolongamentos de 200 m, 300 m, 400 m e 500 m. Na Figura 5.7 apresenta-se o desempenho do prolongamento do esporão de Cortegaça com diferentes comprimentos.

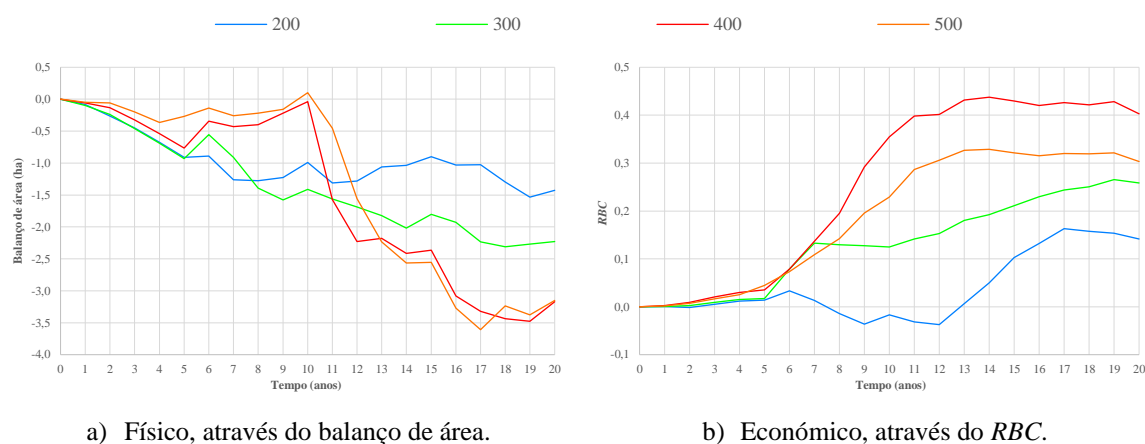


Figura 5.7 – Desempenho do prolongamento do esporão de Cortegaça, com diferentes comprimentos.

Em geral, e independentemente do prolongamento, verifica-se que o esporão provoca perdas de território, ou seja, mais erosão do que acreção. Os prolongamentos de 400 m e 500 m tiram partido da acreção sentida a barlamar até aos 10 anos, sendo que depois a erosão predomina. Por outro lado, quanto menor for o prolongamento do esporão de Cortegaça, menor é a área de território perdido ao fim dos 20 anos, sendo que a partir de um certo comprimento o balanço de área se mantém semelhante, nomeadamente, para os

prolongamentos de 400 m e 500 m (Figura 5.7a). No entanto, os custos da intervenção para o prolongamento de 500 m são maiores quando comparados com o prolongamento de 400 m, pelo que o *RBC* será menor (Figura 5.7b).

Tanto a nível físico como económico, a solução que terá um menor impacto ao fim dos 20 anos, ainda assim negativo, será prolongar o esporão de Cortegaça apenas em 200 m, visto que esta solução representa uma menor área de território perdido (1,43 ha) e menores perdas económicas (2 714 938 €), devido ao facto dos custos de construção e de manutenção da intervenção serem inferiores quando comparados com as restantes soluções. Por outro lado, ao prolongar o esporão em 400 m obtém-se um maior *RBC*, igual a 0,40, no entanto, esta solução acarreta perdas económicas na ordem dos 6 milhões de euros (Tabela 5.9).

Tabela 5.9 – Resultados dos cenários de prolongamento do esporão de Cortegaça, ao fim dos 20 anos.

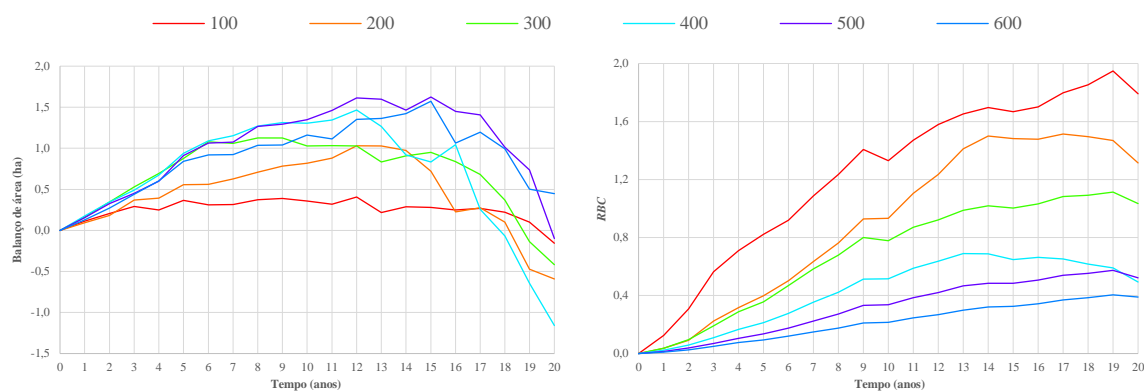
Prolongamento (m)	Balanço de área (ha)	VAL (€)	RBC	Break-even (anos)
200	-1,43	-2 714 938	0,14	-
300	-2,23	-4 512 557	0,26	-
400	-3,17	-6 073 504	0,40	-
500	-3,15	-11 018 893	0,30	-

5.2.1.2. Furadouro

No Furadouro testou-se o prolongamento do esporão norte, sendo que este esporão tem uma extensão inicial de 100 m e está inserido na zona urbana do Furadouro. No total, resultaram 6 cenários do prolongamento deste esporão, aumentando a extensão de 100 m a 600 m.

Para os diferentes cenários do prolongamento do esporão norte do Furadouro, verifica-se que o balanço de área assume valores positivos ao longo de quase todo o processo de cálculo, ou seja, geram um ganho de território, ao contrário do que acontecia no prolongamento do esporão de Cortegaça. Com base na Figura 5.8a observa-se que todas as curvas assumem, inicialmente, um comportamento crescente no balanço de área, no máximo até aos 15 anos, beneficiando assim da acreção sentida a barlar do esporão. Nos últimos anos de simulação, o balanço de área começa a diminuir devido ao aumento da erosão a sotamar do esporão, chegando mesmo a tomar valores negativos para todos os comprimentos testados, à exceção do prolongamento de 600 m que ainda regista um ganho de área ao fim dos

20 anos. Por outro lado, e independentemente da extensão do prolongamento do esporão, o *RBC* tende a aumentar ao longo do tempo, verificando-se que quanto maior for a extensão do prolongamento, maiores serão os custos da intervenção, obtendo-se assim, no geral, menores valores para o *RBC* (Figura 5.8b).



a) Físico, através do balanço de área.

b) Económico, através do *RBC*.

Figura 5.8 – Desempenho do prolongamento do esporão norte do Furadouro, com diferentes comprimentos.

Através da Tabela 5.10 constata-se que, a nível físico, compensa mais prolongar o esporão em 600 m, visto que regista um ganho de área ao fim dos 20 anos de 0,45 ha, quando se compara com o cenário de “não intervenção”. No entanto, esta solução é a que acarreta maiores custos de intervenção pelo que terá um menor *RBC*. As soluções de prolongar o esporão em 100 m, 200 m e 300 m, obtêm valores positivos para o *VAL* ao fim dos 20 anos de simulação, conseguindo assim recuperar os custos da intervenção e alcançar ganhos a nível económico. Apesar de o maior retorno financeiro acontecer para um prolongamento de 200 m, ao prolongar o esporão apenas em 100 m atinge-se um maior *RBC* (1,79), devido aos baixos custos de intervenção, e o *break-even* é atingido logo aos 7 anos de simulação.

Tabela 5.10 – Resultados dos cenários de prolongamento do esporão norte do Furadouro, ao fim dos 20 anos.

Prolongamento (m)	Balanço de área (ha)	VAL (€)	RBC	Break-even (anos)
100	-0,16	578 047	1,79	7 anos
200	-0,59	610 918	1,31	11 anos
300	-0,42	132 868	1,03	14 anos
400	-1,16	-3 445 181	0,49	-
500	-0,10	-5 216 556	0,52	-
600	0,45	-10 085 729	0,39	-

5.2.2. Construção de esporões

Os setores de Maceda e do Torrão do Lameiro são zonas que praticamente não se encontram artificializadas: em Maceda existe apenas um esporão, no limite norte do setor, e no Torrão do Lameiro não existe qualquer obra de defesa costeira. Por esse motivo, e também por os restantes setores já se encontrarem artificializados, optou-se por simular a construção de 2 novos esporões, um em Maceda e outro no Torrão do Lameiro.

Na Tabela 5.11 apresentam-se os custos de construção e de manutenção considerados nos diversos cenários testados em função do comprimento dos esporões a construir.

Tabela 5.11 – Custos de construção e de manutenção considerados nos novos esporões de Maceda e do Torrão do Lameiro.

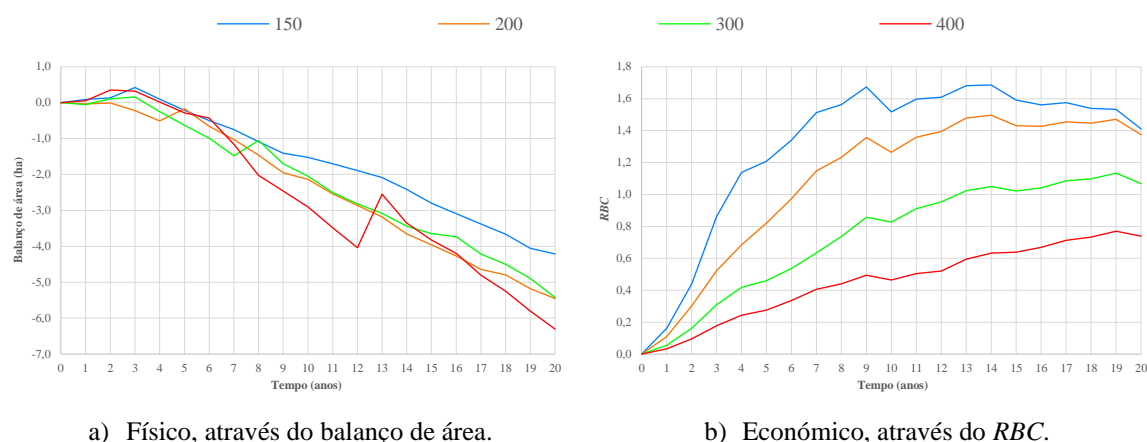
Comprimento (m)	Custo total (€)	Custo de manutenção de 2 em 2 anos (€)	Custo de manutenção de 5 em 5 anos (€)
150	337 500	33 750	84 375
200	500 000	50 000	125 000
250	729 188	72 919	182 297
300	1 000 050	100 005	250 013
350	1 370 863	137 086	342 716
400	1 800 000	180 000	450 000
450	2 362 500	236 250	590 625
550	3 795 000	379 500	948 750

5.2.2.1. Maceda

O setor de Maceda é uma zona maioritariamente constituída por floresta, no entanto, também se considerou uma zona de praia com extensão de 1 000 m, que tem apoio de um parque de estacionamento. Foi então objetivo construir um esporão imediatamente a sul da zona de praia e avaliar se a realização desta intervenção é compensatória.

Para alguns comprimentos, nos primeiros anos de simulação o balanço de área é positivo tratando-se do primeiro impacto sentido pela acumulação de sedimentos a barlamar do esporão. No entanto, e independentemente do comprimento do esporão, verifica-se que o balanço de área negativo predomina na maioria do tempo de simulação, isto porque o esporão está a provocar mais erosão do que acreção (Figura 5.9a). Observando o

desempenho económico, o *RBC* tem tendência a aumentar ao longo do tempo, verificando-se que quanto maior é o comprimento do esporão, menor é o *RBC* (Figura 5.9b).



a) Físico, através do balanço de área.

b) Económico, através do *RBC*.

Figura 5.9 – Desempenho da construção de um esporão em Maceda, com diferentes comprimentos.

Através da Tabela 5.12 constata-se que, ao construir um esporão com 150 m, obtém-se uma menor área de território perdido (4,21 ha), sendo esta a solução que, fisicamente, tem menor impacto. As soluções de construir um esporão com 150 m, 200 m e 300 m são economicamente viáveis, isto porque há retorno financeiro da intervenção (valores positivos para o *VAL*) e o *RBC* é superior a 1, atingindo assim o *break-even*. No entanto, quando se constrói um esporão com 200 m registam-se maiores ganhos económicos ao fim dos 20 anos. Por outro lado, na construção de um esporão com 150 m de comprimento, o *break-even* é atingido de forma mais rápida (aos 4 anos) porque os custos de intervenção são menores.

Tabela 5.12 – Resultados dos cenários de construção de um esporão em Maceda, ao fim dos 20 anos.

Comprimento (m)	Balanço de área (ha)	<i>VAL</i> (€)	<i>RBC</i>	<i>Break-even</i> (anos)
150	-4,21	336 654	1,41	4 anos
200	-5,45	455 410	1,37	7 anos
300	-5,43	163 905	1,07	13 anos
400	-6,30	-1 142 290	0,74	-

5.2.2.2. Torrão do Lameiro

À semelhança de Maceda, o Torrão do Lameiro foi considerado como sendo uma zona maioritariamente constituída por floresta, e tem uma zona de praia com uma extensão de 1 000 m que resulta do prolongamento da zona de praia do Furadouro. O esporão construído

no Torrão do Lameiro localiza-se no limite sul da zona de praia e foram testados 5 comprimentos diferentes (150 m, 250 m, 350 m, 450 m e 550 m).

Quanto ao desempenho físico, verificam-se três comportamentos distintos consoante o comprimento do esporão (Figura 5.10a): o esporão com 150 m beneficia da acreção durante os primeiros 6 anos e, após os 6 anos a erosão passa a ser predominante, obtendo-se assim perdas de território; o esporão com 250 m tira partido da acumulação de sedimentos em dois momentos diferentes do processo de cálculo, nomeadamente nos 6 primeiros anos e entre o 11º e o 17º anos, acabando também com perdas de território aos fim dos 20 anos de simulação; por último, a construção de um esporão com 350 m, 450 m ou 550 m, apresenta um balanço físico positivo durante os 20 anos, ou seja, mais acreção do que erosão. Por outro lado, no que diz respeito à evolução do *RBC*, este assume um comportamento crescente ao longo do tempo para todos os comprimentos testados, à exceção do esporão com 150 m que verifica uma descida a partir dos 9 anos. Esta descida pode acontecer devido aos custos da intervenção (apesar de serem inferiores às restantes soluções) e também porque nos últimos anos os benefícios negativos sobrepõem-se aos benefícios positivos, resultando assim numa diminuição do total de benefícios (Figura 5.10b).

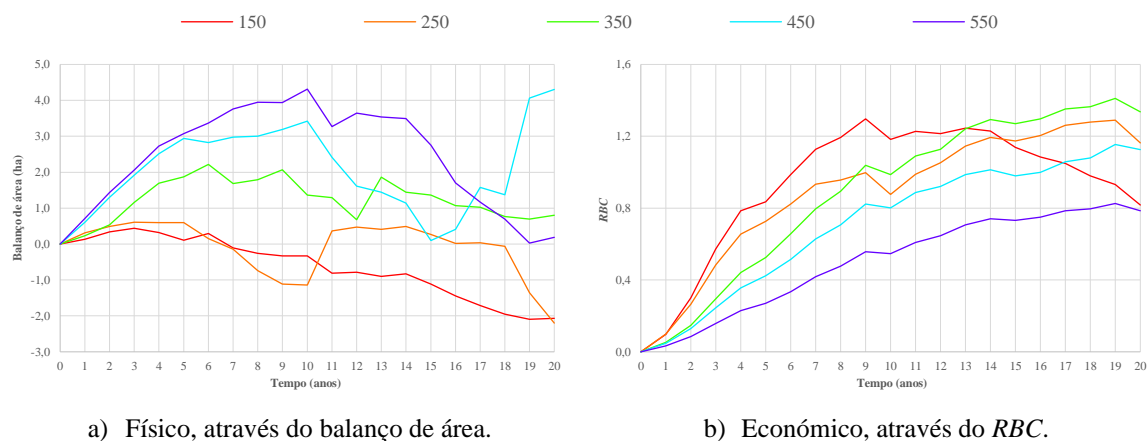


Figura 5.10 – Desempenho da construção de um esporão no Torrão do Lameiro, com diferentes comprimentos.

Pode-se concluir que ao fim dos 20 anos, a melhor solução a nível físico será construir um esporão com 450 m de comprimento, por ser aquela que terá um maior ganho de área (4,30 ha). Quanto ao desempenho económico, as soluções com os comprimentos de 250 m, 350 m e 450 m, atingem valores positivos para o *VAL* e superiores a 1 para o *RBC*. Contudo, construir um esporão com 350 m terá um ganho económico superior, comparativamente com

os comprimentos de 250 m e 450 m. Esta solução também atinge o *break-even* aos 9 anos, à semelhança do comprimento de 250 m, e ainda assim, tem maiores custos de intervenção. Por último, quando se constrói um esporão com 150 m atinge-se o *break-even* mais rapidamente porque é a solução que tem menores custos associados (Tabela 5.13).

Tabela 5.13 – Resultados dos cenários de construção de um esporão no Torrão do Lameiro, ao fim dos 20 anos.

Comprimento (m)	Balanco de área (ha)	VAL (€)	RBC	Break-even (anos)
150	-2,07	-149 552	0,82	7 anos
250	-2,20	290 941	1,16	9 anos
350	0,80	1 121 244	1,34	9 anos
450	4,30	723 099	1,13	14 anos
550	0,19	-1 982 128	0,79	-

5.2.3. Prolongamento de obras longitudinais aderentes

O Torrão do Lameiro é um setor onde predomina a erosão e não existe qualquer obra de defesa costeira que possa diminuir a perda de território sentida durante o período temporal de análise. Optou-se então por prolongar a obra longitudinal aderente, localizada mais a sul no setor do Furadouro, para o Torrão do Lameiro, tendo em conta que esta, inicialmente, vai desde o esporão sul do Furadouro até ao limite sul do setor e tem um comprimento de 200 m. Para uma extensão inferior ou igual a 1 000 m, a obra longitudinal aderente abrange apenas a zona de praia do Torrão do Lameiro, e para o prolongamento de 1 500 m, esta abrange a zona de praia (1 000 m) e um trecho da zona de floresta (500 m). Foram simulados 10 cenários no modelo LTC e, posteriormente, realizou-se a análise custo-benefício de cada um deles. Na Tabela 5.14 encontram-se os custos de construção e de manutenção considerados para os diversos prolongamentos simulados no setor do Torrão do Lameiro.

Independentemente da extensão do prolongamento da obra longitudinal aderente, verifica-se que, em geral, há um balanço positivo de área que é crescente ao longo do tempo, isto porque a obra de defesa costeira está a evitar que a linha de costa recue, havendo, portanto, uma diminuição da erosão na zona protegida pela obra longitudinal aderente. Para os prolongamentos de 1 000 m e 1 500 m ocorre um ganho de área bastante significativo logo no primeiro ano de simulação, que pode dever-se às condições de simulação adotadas na

aproximação do modelo (Figura 5.11a). A diminuição da erosão reflete-se no aumento dos benefícios, o que faz com que a curva do *RBC* aumente durante o período de análise. Importa referir que quando se verifica uma ligeira descida no *RBC* é devido ao custo de manutenção da obra longitudinal aderente, que se realiza de 5 em 5 anos (Figura 5.11b).

Tabela 5.14 – Custos de construção e de manutenção considerados no prolongamento da obra longitudinal aderente do Furadouro.

Prolongamento (m)	Custo total (€)	Custo de manutenção de 5 em 5 anos (€)
50	34 210	10 263
100	68 420	20 526
200	136 840	41 052
300	205 260	61 578
400	273 680	82 104
500	342 100	102 630
600	410 520	123 156
800	547 360	164 208
1 000	684 200	205 260
1 500	1 026 300	307 890

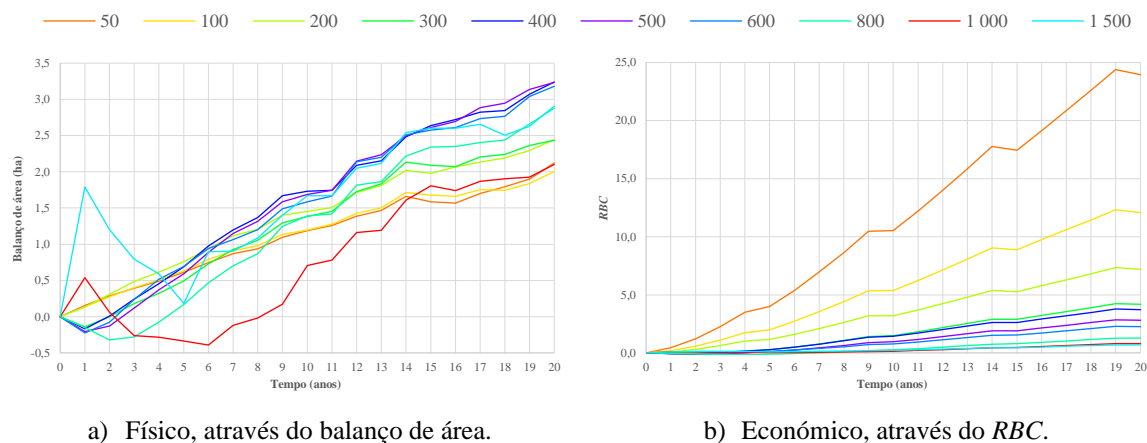


Figura 5.11 – Desempenho do prolongamento da obra longitudinal aderente do Furadouro, com diferentes comprimentos.

Avaliando o desempenho físico constata-se que a melhor solução será prolongar a obra longitudinal aderente em 400 m, visto que apresenta um maior ganho de área aos 20 anos (3,24 ha). Através da análise custo-benefício verifica-se que ao prolongar a obra longitudinal

aderente apenas em 200 m, alcança-se um ganho económico maior (1 557 205 €). Apesar de o prolongamento de 50 m ter um ganho económico ligeiramente inferior ao de 200 m, este acaba por ser a solução com melhor *RBC* (23,96) porque tem menores custos de intervenção, atingindo assim o *break-even* ao fim dos 2 anos de simulação (Tabela 5.15).

Tabela 5.15 – Resultados dos cenários de prolongamento da obra longitudinal aderente do Furadouro, ao fim dos 20 anos.

Prolongamento (m)	Balanço de área (ha)	VAL (€)	RBC	Break-even (anos)
50	2,12	1 445 552	23,96	2 anos
100	2,01	1 393 603	12,07	3 anos
200	2,44	1 557 205	7,18	4 anos
300	2,44	1 200 617	4,18	8 anos
400	3,24	1 372 194	3,72	8 anos
500	3,23	1 143 043	2,82	11 anos
600	3,18	957 009	2,27	12 anos
800	2,88	281 206	1,28	17 anos
1 000	2,10	-248 943	0,80	-
1 500	2,91	-599 849	0,68	-

5.2.4. Construção de obras longitudinais aderentes

Um esporão proporciona a acumulação de sedimentos a barlar, no entanto, a linha de costa tem tendência a recuar a sotamar do esporão, provocando assim perdas de território. Por vezes, pode-se construir uma obra longitudinal aderente do lado de sotamar e que liga ao enraizamento do esporão, para evitar que ocorram perdas de território devido à erosão sentida nessa zona. Assim, optou-se por simular a construção de duas obras longitudinais aderentes, uma no setor de Cortegaça e outra no setor de Maceda. Ambas as obras foram construídas imediatamente a sul do esporão de cada um dos setores, e testaram-se diferentes comprimentos para cada uma delas.

Na Tabela 5.16 apresentam-se os custos de construção e de manutenção das obras longitudinais aderentes construídas nos setores de Cortegaça e Maceda, para cada comprimento simulado.

Tabela 5.16 – Custos de construção e de manutenção considerados nas novas obras longitudinais aderentes de Cortegaça e Maceda.

Comprimento (m)	Custo total (€)	Custo de manutenção de 5 em 5 anos (€)
300	205 260	61 578
400	273 680	82 104
500	342 100	102 630
600	410 520	123 156
750	513 150	153 945
800	547 360	164 208
1000	684 200	205 260
1200	821 040	246 312
1400	957 880	287 364
1500	1 026 300	307 890
1600	1 094 720	328 416

5.2.4.1. Cortegaça

A obra longitudinal aderente testada no setor de Cortegaça poderá abranger uma ou duas zonas de território dependendo do seu comprimento: se a obra tiver um comprimento até 550 m abrange a zona de praia do setor; para comprimentos superiores a 550 m abrange a zona de praia e a zona de floresta, sendo que o comprimento de 1 000 m liga o esporão de Cortegaça ao esporão de Maceda. Na Figura 5.12 apresenta-se o desempenho da construção de uma obra longitudinal aderente em Cortegaça, com diferentes comprimentos.

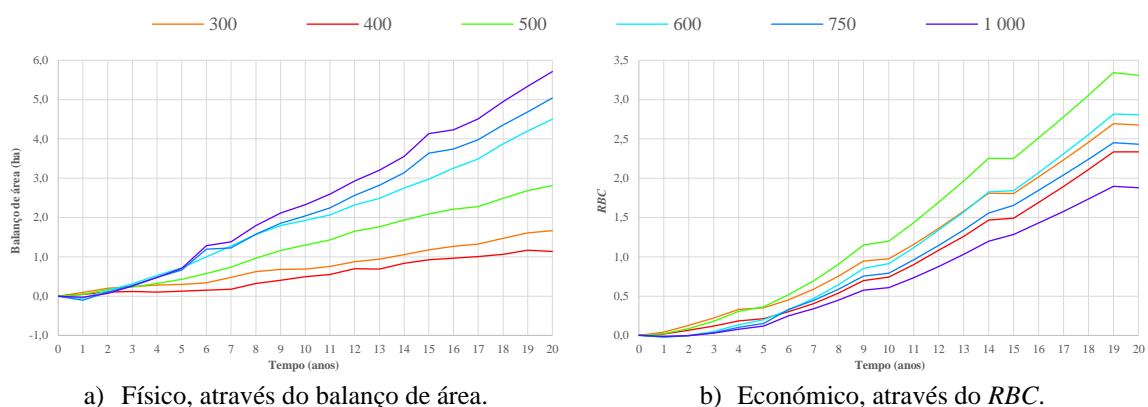


Figura 5.12 – Desempenho da construção de uma obra longitudinal aderente em Cortegaça, com diferentes comprimentos.

Com base na Figura 5.12a verifica-se que, independentemente da extensão da obra longitudinal aderente, esta provoca ganhos de área que tendem a crescer ao longo do tempo, isto porque ocorre uma diminuição da erosão sentida no cenário de “não intervenção”. De um modo geral, quanto maior for o comprimento da obra, maior será o ganho de área ao fim dos 20 anos. No que diz respeito ao desempenho económico (Figura 5.12b), constata-se que todas as curvas assumem um comportamento crescente ao longo do tempo, ainda que, com pequenas oscilações devido aos custos de manutenção da obra longitudinal aderente.

Ao fim dos 20 anos (Tabela 5.17), qualquer uma das soluções é viável tanto a nível físico como económico, realçando que todas atingem o *break-even*. Observando o desempenho físico, compensa mais construir uma obra longitudinal aderente com 1 000 m de comprimento, porque é a solução que regista um maior ganho de área (5,71 ha), protegendo assim na totalidade o território situado entre os esporões de Cortegaça e Maceda. Por outro lado, a nível económico é mais vantajoso construir a obra apenas com metade do comprimento (500 m), obtendo-se um ganho económico de 1 454 224 € e um *RBC* igual a 3,31, atingindo assim o *break-even* mais rapidamente (aos 9 anos de simulação).

Tabela 5.17 – Resultados dos cenários de construção de uma obra longitudinal aderente em Cortegaça, ao fim dos 20 anos.

Comprimento (m)	Balanço de área (ha)	VAL (€)	RBC	Break-even (anos)
300	1,67	632 922	2,68	11 anos
400	1,14	672 505	2,33	12 anos
500	2,81	1 454 224	3,31	9 anos
600	4,50	1 365 352	2,81	11 anos
750	5,04	1 351 079	2,43	12 anos
1 000	5,71	1 106 457	1,88	13 anos

5.2.4.2. Maceda

No setor de Maceda também se simulou a construção de uma obra longitudinal aderente imediatamente a sul do esporão de Maceda. Foram testados comprimentos entre os 800 m e os 1600 m, sendo que, independentemente do comprimento, esta obra de defesa costeira abrange duas zonas de território com uso do solo distinto (zona de floresta e zona de praia).

Para os diferentes comprimentos verifica-se que nos primeiros 2/3 anos o balanço de área toma valores negativos (perdas de território), no entanto, após esses anos assume um comportamento crescente, diminuindo a erosão a sotamar do esporão e, conseqüentemente, evitando perdas de território. Do mesmo modo que já se tinha constatado no setor de Cortegaça, à medida que se aumenta o comprimento da obra, os ganhos de área são cada vez maiores, com exceção do comprimento de 1 400 m (Figura 5.13a). No que diz respeito ao *RBC*, este também toma valores negativos nos primeiros anos devido ao aumento da erosão que acontece e se reflete em benefícios negativos, mas depois assume um comportamento crescente ao longo do tempo, que deriva da diminuição da erosão (Figura 5.13b).

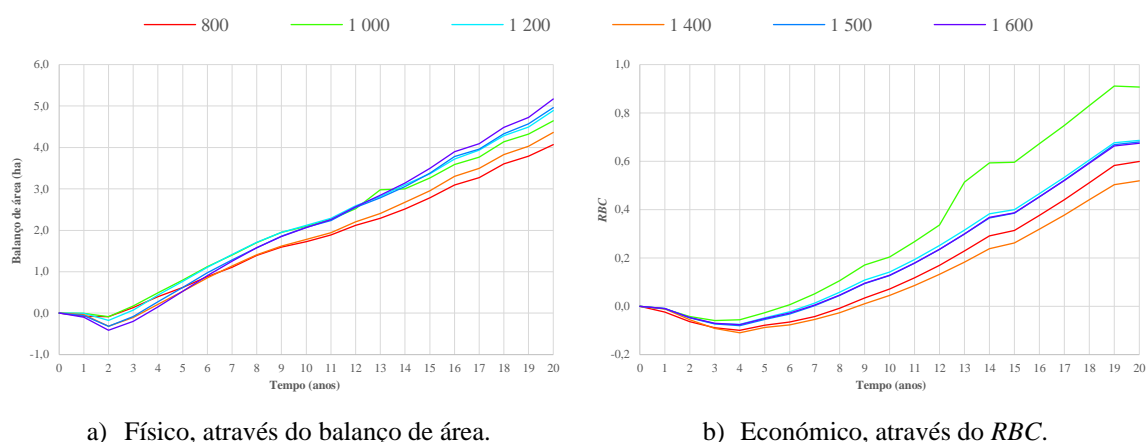


Figura 5.13 – Desempenho da construção de uma obra longitudinal aderente em Maceda com diferentes comprimentos.

Na Tabela 5.18 apresentam-se os resultados obtidos ao fim dos 20 anos de simulação, para os diferentes cenários de construção de uma obra longitudinal aderente em Maceda.

Tabela 5.18 – Resultados dos cenários de construção de uma obra longitudinal aderente em Maceda, ao fim dos 20 anos.

Comprimento (m)	Balanço de área (ha)	VAL (€)	RBC	Break-even (anos)
800	4,07	-403 865	0,60	-
1 000	4,64	-117 077	0,91	-
1 200	4,89	-474 007	0,69	-
1 400	4,36	-848 058	0,52	-
1 500	4,96	-604 694	0,68	-
1 600	5,17	-655 708	0,67	-

É possível constatar que todas as soluções são viáveis fisicamente, obtendo-se ganhos de área quando comparadas com o cenário de “não intervenção”. O comprimento de 1 600 m é a solução que compensa mais, atingindo um ganho de área de 5,17 ha ao fim dos 20 anos. O mesmo não acontece no desempenho económico, visto que todos os comprimentos apresentam valores negativos para o *VAL*, não conseguindo contrariar os custos da intervenção. Ainda assim, construir uma obra longitudinal aderente com um comprimento de 1 000 m é que alcança um *RBC* mais próximo de 1.

5.3. Demolição e realocização

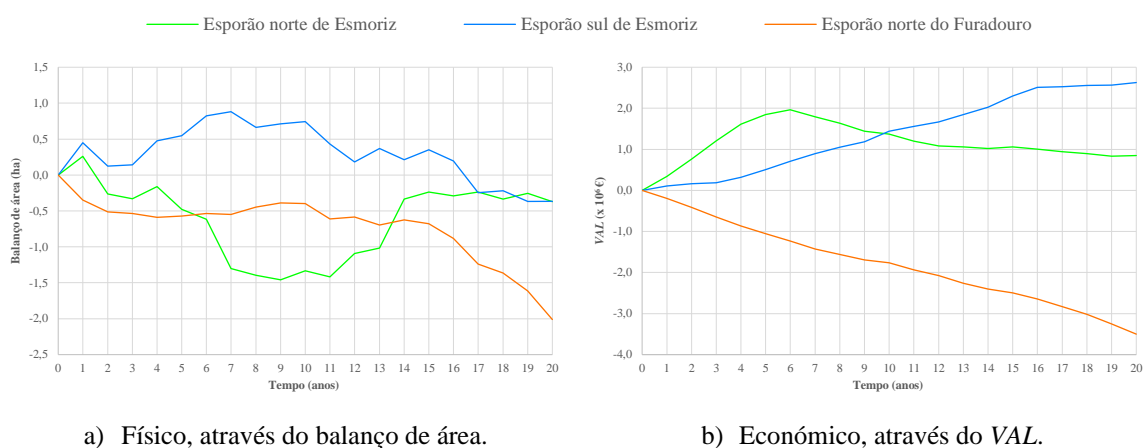
Ao demolir uma obra de defesa costeira permite-se que o mar “avance” sobre a zona terrestre, sem que nada o impeça. Nesta secção, foi objeto de estudo a retirada de algumas obras de defesa costeira no concelho de Ovar, nomeadamente, a retirada de três esporões e também de três obras longitudinais aderentes. Assim, pretende-se avaliar se é vantajoso, tanto a nível físico como económico, deixar de proteger determinada extensão da zona costeira. De salientar que nos diferentes cenários testados apenas se subtraíram os custos de manutenção das obras de defesa costeira que foram retiradas, o que se reflete em custos negativos, e não foram considerados custos para a demolição das obras nem para a realocização da população (estes custos serão discutidos no Capítulo 6). No estudo da viabilidade económica de cada cenário, não se considerou o rácio benefício-custo (*RBC*) e o *break-even*.

5.3.1. Retirada de esporões

Para avaliar o impacto físico e económico da retirada de esporões consideraram-se três cenários que envolvem os dois esporões de Esmoriz e o esporão norte do Furadouro. Os esporões de Esmoriz têm um comprimento de 150 m e delimitam a zona urbana do setor, e o esporão norte do Furadouro tem uma extensão de 100 m e está inserido na zona urbana.

Com base na Figura 5.14a observam-se três comportamentos distintos no desempenho físico: a retirada do esporão norte de Esmoriz faz com que ocorra um ganho de área logo no primeiro ano de simulação e nos anos seguintes registam-se perdas de território; ao retirar o esporão sul de Esmoriz também se destaca um ganho de área mais significativo no primeiro

ano, sendo que este cenário obtém ganhos de área apenas até aos 16 anos, havendo portanto perdas de território nos 4 últimos anos; por último, quando se remove o esporão norte do Furadouro constata-se que o balanço de área é sempre negativo e que de um modo geral, com o passar dos anos, há cada vez mais perdas de território. Relativamente ao impacto económico (Figura 5.14b), destaca-se o facto de as retiradas dos esporões de Esmoriz atingirem valores positivos para o VAL, ainda que com a retirada do esporão norte, o VAL cresce até aos 6 anos e depois começa a diminuir, ao contrário do esporão sul que é crescente ao longo do tempo. Por outro lado, a curva do VAL da retirada do esporão norte do Furadouro assume um comportamento decrescente durante os 20 anos.



a) Físico, através do balanço de área.

b) Económico, através do VAL.

Figura 5.14 – Desempenho da retirada de esporões nos setores de Esmoriz e Furadouro.

Passados os 20 anos de simulação verifica-se que nenhum dos três cenários é fisicamente viável porque representam um agravamento das perdas de território. Porém, retirar qualquer um dos esporões de Esmoriz é economicamente atrativo, isto porque atingem valores positivos para o VAL, ou seja, há ganhos económicos. No entanto, ao retirar o esporão sul de Esmoriz o ganho económico é superior (2 627 025 €), pelo que esta solução seria a que mais compensava economicamente (Tabela 5.19).

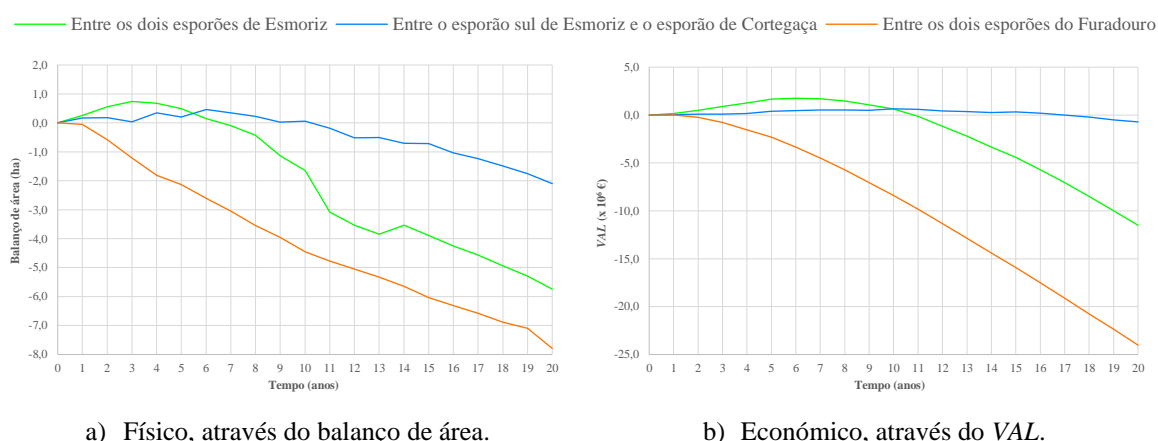
Tabela 5.19 – Resultados dos cenários de retirada de esporões, ao fim dos 20 anos.

Obra	Balanço de área (ha)	VAL (€)
Esporão norte de Esmoriz	-0,37	851 793
Esporão sul de Esmoriz	-0,37	2 627 025
Esporão norte do Furadouro	-2,01	-3 500 543

5.3.2. Retirada de obras longitudinais aderentes

Os setores de Esmoriz, Cortegaça e Furadouro estão artificializados também por obras longitudinais aderentes, pelo que se optou por retirar as obras entre os dois esporões de Esmoriz (zona urbana), entre o esporão sul de Esmoriz e o esporão de Cortegaça (zona urbana/rural e zona urbana) e entre os dois esporões do Furadouro (zona urbana e zona de praia), com comprimentos de 850 m, 1 100 m e 550 m, respetivamente.

De um modo geral, pode constatar-se que independentemente da obra longitudinal aderente a ser removida, o balanço de área assume, na maioria do horizonte temporal, valores negativos, ocorrendo assim perdas de território. Ao retirar as obras de defesa costeira entre os dois esporões de Esmoriz e entre o esporão sul de Esmoriz e o esporão de Cortegaça, ainda se registam ganhos de área até aos 6 e 10 anos, respetivamente. Por outro lado, remover a obra entre os dois esporões do Furadouro, provoca um impacto negativo durante os 20 anos de simulação (Figura 5.15a). Relativamente ao desempenho económico, este é semelhante ao físico, pelo que à medida que se perde cada vez mais território, há também uma maior perda a nível económico. De realçar que as retiradas das obras longitudinais aderentes entre os esporões de Esmoriz e entre o esporão sul de Esmoriz e o esporão de Cortegaça, ainda tomam valores positivos para o *VAL* até aos 10 e 17 anos, respetivamente, no entanto, acabam com perdas económicas quando completados os 20 anos de análise (Figura 5.15b).



a) Físico, através do balanço de área.

b) Económico, através do *VAL*.

Figura 5.15 – Desempenho da retirada de obras longitudinais aderentes nos setores de Esmoriz, Cortegaça e Furadouro.

Conclui-se então que não compensa realizar qualquer uma destas retiradas de obras longitudinais aderentes devido às perdas de território sentidas ao fim dos 20 anos, uma vez que ainda se está a perder mais território quando se compara com o cenário de “não

intervenção”. Desta forma, o impacto físico acaba por se refletir no impacto económico, verificam-se valores negativos para o VAL aos 20 anos e, por isso, a nível económico, também não compensa realizar nenhuma das retiradas de obras (Tabela 5.20).

Tabela 5.20 – Resultados dos cenários de retirada de obras longitudinais aderentes, ao fim dos 20 anos.

Obra	Balanço de área (ha)	VAL (€)
Entre os dois esporões de Esmoriz	-5,75	-11 510 707
Entre o esporão sul de Esmoriz e o esporão norte de Cortegaça	-2,10	-717 915
Entre os dois esporões do Furadouro	-7,79	-24 019 179

5.4. Síntese

Com base nos cenários das estratégias de alimentações artificiais de sedimentos simulados, em que se variou apenas o volume de sedimentos que é colocado de uma só vez, verificou-se que, em geral, quanto maior for o volume de sedimentos, mais vantajosa será a solução, tanto a nível físico como económico (Figura 5.1, Figura 5.2 e Figura 5.3). No setor de Esmoriz, realizar a intervenção de uma só vez é melhor do que a fazer repartida no tempo. Apesar de o desempenho físico ser ligeiramente melhor quando a alimentação artificial é repartida no tempo (Figura 5.4), economicamente aproveita-se os benefícios durante mais tempo, acabando com melhor RBC quando a intervenção é realizada de uma só vez. Também se constatou que, economicamente, compensa mais fazer a intervenção logo no início do que espaçada no tempo, apesar de inicialmente os custos serem maiores. No entanto, passados os 20 anos de simulação, a situação já é fisicamente pior do que fazendo as intervenções mais tarde (Figura 5.5). Olhando à localização da intervenção, em termos económicos, fazer a alimentação artificial a norte compensa mais quando comparada com as restantes alimentações artificiais, tendo em conta que esta foi realizada na zona mais valiosa do domínio de cálculo (zona urbana). Por outro lado, o comportamento físico é dependente da localização da intervenção (Figura 5.6).

As estratégias de proteção envolvem obras de defesa costeira, nomeadamente, os esporões e as obras longitudinais aderentes. No que diz respeito aos esporões, pode-se optar pelo prolongamento dos esporões já existentes, ou então construir novos. Começando pelo prolongamento de esporões, constata-se que tanto o balanço físico como o económico dependem da localização da intervenção e também da extensão do prolongamento. De um

modo geral, passados os 20 anos, verifica-se que em Cortegaça, quanto maior é o prolongamento, maior é a área de território perdido, pelo que não compensa intervir (Figura 5.7). Por outro lado, no Furadouro, o desempenho físico não assume um comportamento linear em função do aumento da extensão do prolongamento, sendo que até aos 400 m há um aumento da área de território perdido, voltando de seguida a diminuir, e atingindo valores positivos para o prolongamento de 600 m, compensando assim intervir apenas para esta extensão (Figura 5.8). Quanto ao desempenho económico, em ambas as situações, verifica-se que quanto maior a extensão do prolongamento, maiores são as perdas económicas. No entanto, no Furadouro ainda compensa realizar a intervenção para prolongamentos até 300 m. Na construção de novos esporões, as duas situações testadas não têm comportamentos semelhantes, dependendo mais uma vez da localização da intervenção e também do comprimento do esporão. Em Maceda, fisicamente não compensa intervir porque quanto maior é o comprimento do esporão, maior é a área de território perdido. Ainda assim, economicamente, é viável intervir para comprimentos até 300 m (Figura 5.9). Por outro lado, ao construir um esporão no Torrão do Lameiro, compensa intervir para os comprimentos de 350 m, 450 m e 550 m, registando ganhos de território ao fim dos 20 anos de simulação. Os comprimentos de 350 m e 450 m também são vantajosos a nível económico, acrescentando-se também o comprimento de 250 m, resultando em ganhos económicos ao fim dos 20 anos (Figura 5.10). À semelhança dos esporões, também se pode prolongar as obras longitudinais existentes ou construir novas. Quanto ao prolongamento da obra longitudinal aderente do Furadouro, fisicamente compensa sempre intervir, registando-se ganhos de área para os diferentes prolongamentos. Economicamente, só não é viável intervir para os prolongamentos de 1 000 m e 1 500 m, isto porque são as soluções com maiores custos de intervenção (Figura 5.11). Ainda relativamente às estratégias de proteção, quando se pretender construir uma obra longitudinal aderente, tanto em Cortegaça como em Maceda, fisicamente, compensa intervir, sendo que à medida que aumenta a extensão da obra, obtêm-se maiores ganhos de área. O mesmo não acontece observando o desempenho económico, visto que é apenas viável intervir no setor de Cortegaça, registando-se ganhos económicos aos 20 anos, ao contrário do setor de Maceda que não consegue recuperar os custos de intervenção ao longo do tempo (Figura 5.12 e Figura 5.13).

Nas estratégias de demolição e realocização foram consideradas as retiradas de esporões (Figura 5.14) e as retiradas de obras longitudinais aderentes (Figura 5.15). Quer para os

esporões como também para as obras longitudinais aderentes, não compensa, fisicamente, retirar qualquer uma das obras de defesa costeira testadas, visto que irá ocorrer ainda mais perda de território do que se as obras fossem mantidas no local. Economicamente, só compensa demolir os dois esporões de Esmoriz que delimitam a zona urbana do setor, porque obtêm ganhos económicos. Por outro lado, as retiradas das obras longitudinais aderentes registam perdas económicas ao fim dos 20 anos, e todas elas, em parte ou até mesmo na totalidade, defendem a zona mais valiosa do seu setor (zona urbana), pelo que compensa mais manter as obras no local para proteger essa zona.

Por último, selecionaram-se os 6 melhores cenários consoante o tipo de estratégia que serão alvos de estudo no Capítulo 6, na discussão dos valores económicos essenciais numa análise custo-benefício. Relativamente às estratégias de alimentações artificiais de sedimentos e de proteção com recurso a estruturas costeiras, o indicador determinante na escolha do melhor cenário foi o rácio benefício-custo (*RBC*). Por outro lado, e como o *RBC* não foi alvo de análise nas estratégias de demolição e realocização, procedeu-se à seleção do melhor cenário de retirada de obras através do valor atual líquido (*VAL*). Tendo em conta os pressupostos adotados na seleção do melhor cenário para cada tipo de estratégia de mitigação da erosão costeira, conclui-se que os 6 melhores cenários são os seguintes:

- Alimentação artificial de sedimentos em frente à zona urbana de Esmoriz, com um volume de 5 000 000 m³;
- Prolongamento do esporão norte do Furadouro em 100 m;
- Construção de um esporão em Maceda com 150 m de comprimento, localizado imediatamente a sul da zona de praia deste setor;
- Prolongamento da obra longitudinal aderente situada mais a sul do Furadouro, desenvolvendo-a em 50 m, para o Torrão do Lameiro;
- Construção de uma obra longitudinal aderente em Cortegaça, com 500 m de extensão, localizada imediatamente a sul do esporão de Cortegaça;
- Retirada do esporão sul de Esmoriz.

Capítulo 6

CENÁRIOS ECONÓMICOS

6. CENÁRIOS ECONÓMICOS

A quantificação dos valores económicos considerados numa análise custo-benefício deve ser feita com precaução, devido à elevada incerteza associada à sua estimativa. De forma a compreender a influência dos valores económicos nos resultados obtidos durante os 20 anos de simulação, torna-se fulcral realizar análises de sensibilidade que permitam a respetiva discussão. Assim, o presente capítulo tem como objetivo apresentar os cenários económicos em que foram efetuadas análises de sensibilidade com base nos 6 cenários identificados na secção 5.4, e avaliar o seu desempenho económico através do *VAL* e do *RBC*. Nesta análise, mantiveram-se os resultados físicos obtidos através do modelo numérico LTC e apenas se alteraram os valores económicos considerados anteriormente, na secção 4.3 e no Capítulo 5. Os valores económicos analisados neste capítulo são os custos de intervenção (secção 6.1), os custos de demolição e relocalização (secção 6.2), os valores do território (secção 6.3), onde se pode manter ou alterar o uso do solo, e a taxa de desconto (secção 6.4). Importa referir que no cenário da retirada do esporão sul de Esmoriz, os custos de intervenção envolvidos correspondem apenas aos custos de manutenção das obras de defesa costeira existentes. Os custos de manutenção do esporão sul de Esmoriz foram subtraídos, o que resulta em custos acumulados negativos e, por este motivo, o *RBC* não foi avaliado neste cenário, em nenhuma das secções do presente capítulo.

6.1. Custos de intervenção

Para cada um dos 6 cenários foram realizadas duas análises de sensibilidade onde se optou por reduzir e aumentar em 50% os custos de intervenção, sendo que estes custos incluem os custos de manutenção das obras de defesa costeira já existentes no concelho de Ovar e os custos associados à nova intervenção. Relativamente às obras de defesa costeira existentes, consideraram-se os 6 esporões e as 7 obras longitudinais aderentes identificadas na secção 4.3, e mantiveram-se as intervenções de manutenção de 2 em 2 anos e de 5 em 5 anos para os esporões, e apenas intervenções de manutenção de 5 em 5 anos para as obras longitudinais aderentes. Na Tabela 6.1 e na Tabela 6.2 apresentam-se, respetivamente, os custos de manutenção dos esporões e das obras longitudinais aderentes adotados nas análises

de sensibilidade, tendo em conta os valores anteriormente definidos no cenário de “não intervenção”.

Tabela 6.1 – Custos de manutenção dos esporões adotados nas análises de sensibilidade.

L (m)	Custo de manutenção (€)					
	2 em 2 anos			5 em 5 anos		
	Redução de 50%	Base	Aumento de 50%	Redução de 50%	Base	Aumento de 50%
100	10 000	20 000	30 000	25 000	50 000	75 000
150	16 875	33 750	50 625	42 188	84 375	126 563
200	25 000	50 000	75 000	62 500	125 000	187 500

Tabela 6.2 – Custos de manutenção das obras longitudinais aderentes adotados nas análises de sensibilidade.

L (m)	Custo de manutenção de 5 em 5 anos (€)		
	Redução de 50%	Base	Aumento de 50%
50	5 132	10 263	15 395
100	10 263	20 526	30 789
200	20 526	41 052	61 578
550	56 447	112 893	169 340
850	87 236	174 471	261 707

No que diz respeito aos custos das novas intervenções, e começando pela alimentação artificial de sedimentos em Esmoriz, com um volume de 5 000 000 m³, considerou-se um custo unitário do material de 1 €/m³ e de 3 €/m³, sendo que o custo definido no cenário base foi de 2 €/m³. Quanto aos cenários de proteção com recurso a estruturas costeiras, apresenta-se na Tabela 6.3 os custos de intervenção adotados nas diferentes análises de sensibilidade. Para a construção e prolongamento de esporões mantiveram-se as operações de manutenção da estrutura de 2 em 2 anos e de 5 em 5 anos, com um custo estimado igual a 10% do custo de primeiro investimento para operações de manutenção de 2 em 2 anos e de 25% do custo de primeiro investimento para operações de 5 em 5 anos. Anteriormente tinham sido definidos custos de construção e de manutenção das obras longitudinais aderentes de 684,20 €/m e de 205,26 €/m, respetivamente, considerando operações de manutenção de 5 em 5 anos com um custo estimado igual a 30% do custo de primeiro investimento. Nas análises de sensibilidade, quando se reduzem os custos de intervenção das

obras longitudinais aderentes em 50%, obtém-se um custo de construção de 342,10 €/m e um custo de manutenção de 102,63 €/m, e quando os custos sofrem um aumento de 50% assume-se um custo de construção de 1 026,30 €/m e um custo de manutenção de 307,89 €/m.

Tabela 6.3 – Custos de intervenção adotados nas análises de sensibilidade dos cenários com estruturas costeiras.

Cenário	Custo total (€)		
	Redução de 50%	Base	Aumento de 50%
Prolongamento do esporão norte do Furadouro	150 000	300 000	450 000
Construção do esporão em Maceda	168 750	337 500	506 250
Prolongamento da obra longitudinal aderente do Furadouro	17 105	34 210	51 315
Construção da obra longitudinal aderente em Cortegaça	171 050	342 100	513 150

Na Figura 6.1 apresenta-se o desempenho económico dos 6 cenários para cada uma das situações. De um modo geral, e comparando com os cenários base, quando se reduzem os custos em 50% verificam-se maiores ganhos económicos ao fim dos 20 anos, ao contrário do que acontece quando se aumentam os custos em 50%, onde se obtêm menores ganhos económicos, sendo que os cenários da alimentação artificial de sedimentos em Esmoriz e da construção do esporão em Maceda, passam a registar perdas económicas ao fim dos 20 anos (valores negativos para o VAL). Quando ocorre uma redução nos custos, o cenário da alimentação artificial de sedimentos em Esmoriz destaca-se dos outros cenários, isto porque é o que necessita de um maior esforço financeiro de primeiro investimento (5 000 000 €), e ainda assim é o que consegue obter maiores ganhos económicos aos 20 anos (6 905 617 €). Por outro lado, tanto na situação base como na situação em que os cenários sofreram um aumento dos custos de intervenção, verifica-se que a retirada do esporão sul de Esmoriz regista maiores ganhos económicos ao fim dos 20 anos, iguais a 2 627 025 € e a 2 868 919 €, respetivamente. Importa realçar que este cenário assume um comportamento contrário ao dos restantes cenários, pelo que se registam maiores ganhos quando ocorre um aumento dos custos de manutenção das obras existentes e menores ganhos quando se opta por reduzir os

custos, pois o cenário prevê a redução do número de obras existentes. Relativamente ao *RBC*, e tendo como referência os cenários base, quando se reduzem os custos obtêm-se maiores valores para o *RBC*, e quando se aumentam os custos registam-se menores valores para o *RBC*. Neste indicador económico, o cenário que se destaca mais é o prolongamento da obra longitudinal aderente do Furadouro, isto porque tem um custo de intervenção muito pequeno comparativamente aos restantes cenários. No cenário base, o *break-even* foi atingido logo aos 2 anos e obteve-se um *RBC* igual a 23,96. Quando ocorre uma redução nos custos, este cenário atinge o *break-even* também aos 2 anos e regista um *RBC* superior ao fim dos 20 anos (47,91) e, quando ocorre um aumento nos custos o *break-even* é atingido um ano mais tarde (3 anos) e regista-se um *RBC* inferior ao do cenário base (15,97).

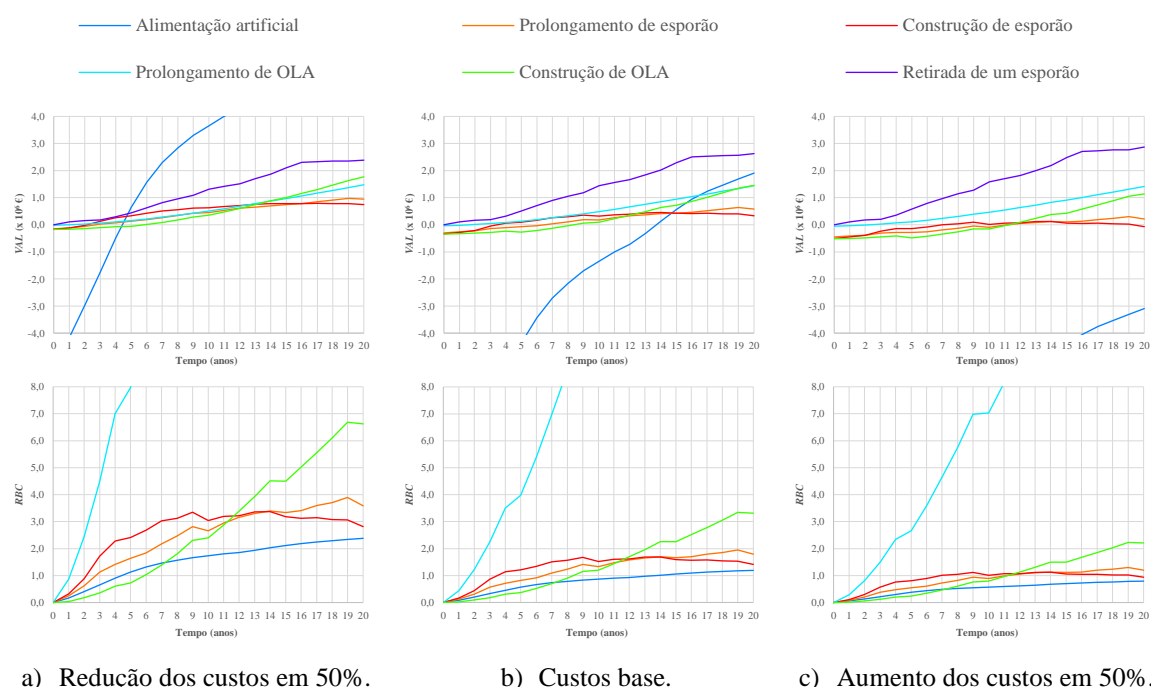


Figura 6.1 – Desempenho económico dos 6 cenários, por alteração dos custos de intervenção.

6.2. Custos de demolição e realocização

Nas estratégias de demolição e realocização apresentadas na secção 5.3 apenas se subtraíram os custos de manutenção das obras de defesa costeira em análise, pelo que não foram considerados custos de demolição das obras nem custos de realocização da população. Estes custos serão alvos de estudo nesta secção, para o cenário da retirada do esporão sul de Esmoriz, pelo que se adotou um custo de demolição base de 1 000 000 €, um

custo de realoção base de 5 000 000 €, e um custo de demolição e de realoção base de 6 000 000 €, que corresponde à soma dos dois anteriores. Tendo em conta os custos de demolição e realoção anteriormente definidos, foram efetuadas duas análises de sensibilidade onde se reduziram e se aumentaram estes valores em 50%. Na Figura 6.2 encontra-se o desempenho económico dos diferentes cenários para cada situação.

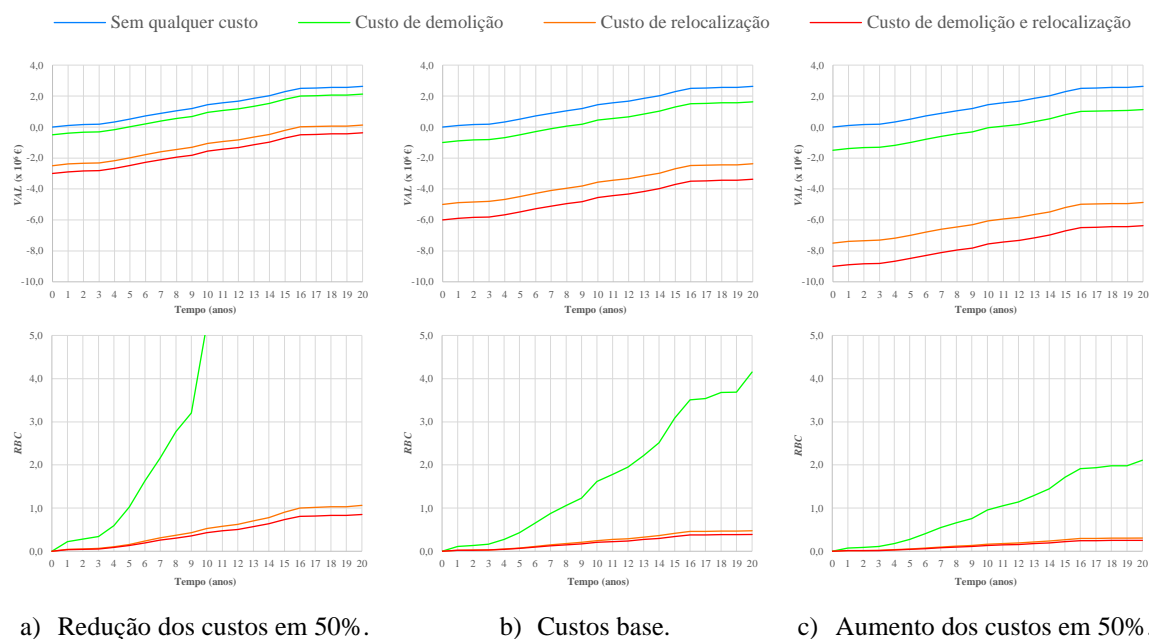


Figura 6.2 – Desempenho económico da retirada do esporão sul de Esmoriz consoante os custos de demolição e de realoção.

Importa referir que o cenário que não tem qualquer custo de demolição e/ou realoção encontra-se representado em todos os gráficos sem ter sofrido qualquer ajuste. De um modo geral, constata-se que quando se reduzem os custos, obtêm-se maiores valores para o VAL e para o RBC, e quando se aumentam os custos, regista-se uma redução no VAL e no RBC. Os diferentes cenários de análise de sensibilidade geram valores para o VAL inferiores ao do cenário que não tem qualquer custo associado (2 627 025 €), isto porque incluem os custos de demolição e/ou realoção. Quando se considera apenas o custo de demolição, constata-se que se registam ganhos económicos ao fim dos 20 anos, nomeadamente de 2 127 025 € quando ocorre uma redução nos custos de 50%, de 1 627 025 € na situação base, e de 1 127 025 € quando os custos sofrem um aumento de 50%. Considerando o custo de realoção, só quando este sofre uma redução de 50%, é que se registam ganhos económicos aos 20 anos (127 025 €). Assim, pode-se concluir que a retirada do esporão sul de Esmoriz não compensa, economicamente, se se considerarem os custos de demolição e

de realocização, devido ao facto de ser necessário um maior esforço financeiro de primeiro investimento. Relativamente ao *RBC*, destaca-se o cenário que engloba apenas o custo de demolição por ser o menor custo, registando-se valores superiores a 1 para o *RBC* em qualquer situação, e atingindo assim o *break-even*. De notar que, quando ocorre uma diminuição dos custos e se considera apenas o custo de realocização, também se verifica um *RBC* ligeiramente superior a 1 (1,06) e o *break-even* é atingido aos 16 anos.

6.3. Valores do território

Na apresentação do cenário de “não intervenção” (secção 4.3) definiram-se os valores do território para cada uma das zonas: para a zona urbana considerou-se um valor de 60 €/m²/ano, a zona urbana/rural representa um valor de 25 €/m²/ano, a zona de praia assume um valor de 10 €/m²/ano e para a zona de floresta adotou-se 1 €/m²/ano. No entanto, o valor atribuído ao território é um fator determinante para a avaliação económica da solução, isto porque, a eficácia da mesma solução de intervenção costeira, com o mesmo comportamento físico (evolução da linha de costa ao longo do tempo) depende do valor atribuído a cada zona de território do domínio de cálculo (Lima, 2018). Assim, com base nos 6 cenários em estudo, foram efetuadas análises de sensibilidade onde se consideraram diferentes valores do território, alterando ou não o uso do solo, de forma a avaliar a respetiva influência nos resultados.

6.3.1. Mantendo o uso

Nas análises de sensibilidade efetuadas optou-se por manter o uso do solo e alterar apenas os valores do território, reduzindo e aumentando os valores de base em 50%. Na Tabela 6.4 apresentam-se os valores do território adotados para cada situação, consoante o uso do solo.

Tabela 6.4 – Valores do território adotados nas análises de sensibilidade, consoante o uso do solo.

Zona de território	Valor do território (€/m ² /ano)		
	Redução de 50%	Base	Aumento de 50%
Urbana	30,0	60,0	90,0
Urbana/rural	12,5	25,0	37,5
Praia	5,0	10,0	15,0
Floresta	0,5	1,0	1,5

Através da Figura 6.3 constata-se que, comparando com a situação base, quando se desvaloriza as zonas do domínio de cálculo ocorre uma diminuição no *VAL* e no *RBC*, conseqüente da diminuição do total de benefícios e, na situação contrária, quando se valoriza mais as zonas de território aumentando os respetivos valores, verifica-se um aumento nas curvas do *VAL* e do *RBC*, que deriva do aumento dos benefícios. Os cenários da alimentação artificial de sedimentos em Esmoriz, do prolongamento do esporão norte do Furadouro e da construção do esporão em Maceda, registam perdas económicas ao fim dos 20 anos quando se reduzem os valores do território, o que não acontecia na situação base.

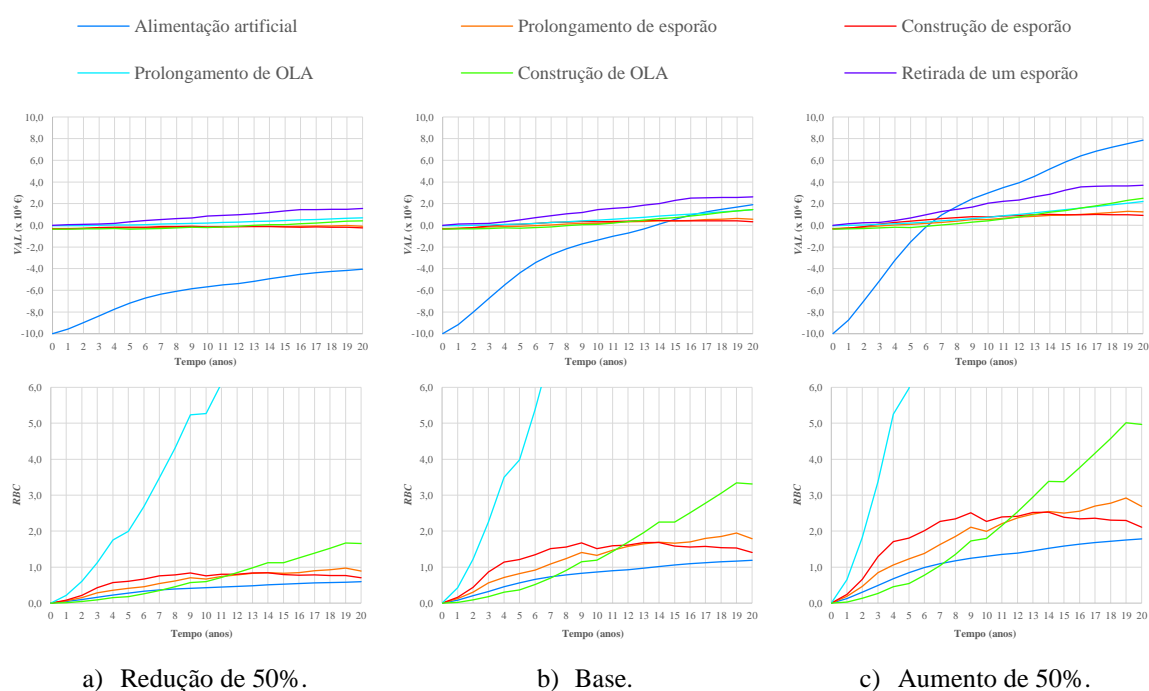


Figura 6.3 – Desempenho económico dos 6 cenários em função dos valores do território e mantendo o uso do solo.

Por outro lado, quando os valores do território sofrem um aumento de 50%, verificam-se maiores ganhos económicos para todos os cenários aos 20 anos, destacando o cenário da alimentação artificial de sedimentos no setor de Esmoriz, que regista um *VAL* de 7 858 425 €. No que diz respeito ao *RBC*, verifica-se que quer na situação base como também quando se aumentam os valores do território, todos os cenários obtêm valores superiores a 1 ao fim dos 20 anos, atingindo assim o *break-even*. Quando se opta por reduzir os valores do território, os mesmos cenários (a alimentação artificial de sedimentos em Esmoriz, o prolongamento do esporão norte do Furadouro e a construção do esporão em Maceda) obtêm valores para o *RBC* inferiores a 1, ao fim dos 20 anos, não atingindo assim

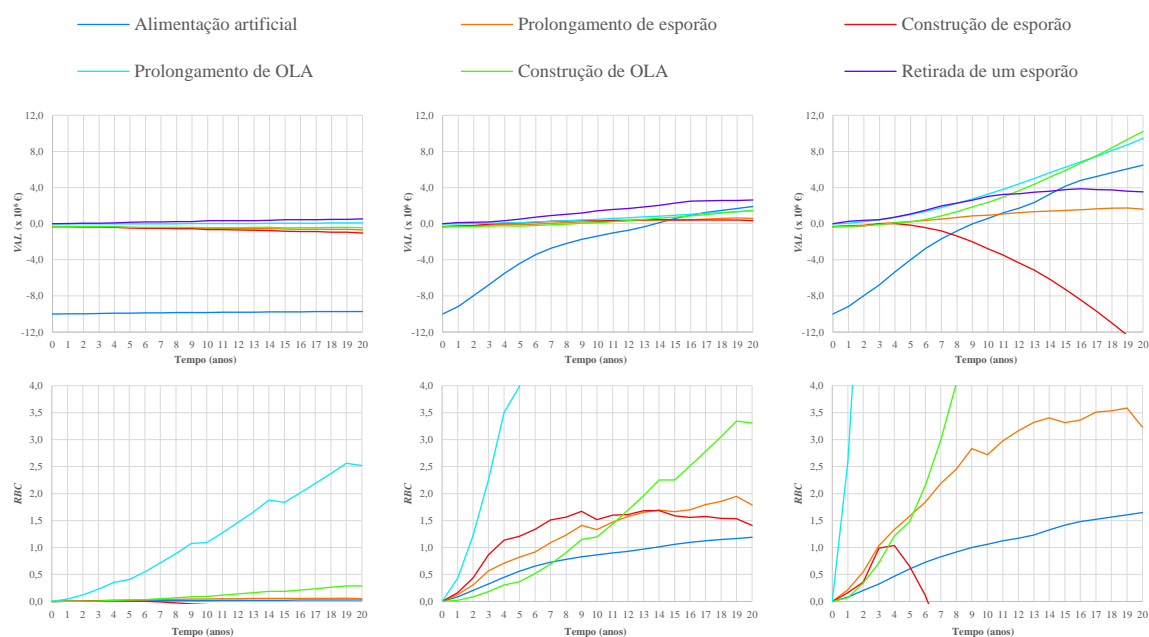
o *break-even*. Por fim, e em qualquer uma das situações, destaca-se o prolongamento da obra longitudinal aderente do Furadouro por ser o cenário que tem menores custos de intervenção, registando assim um *RBC* de 35,93, na situação mais favorável (valorização das zonas de território).

6.3.2. Alterando o uso

Considerando apenas a zona de floresta e a zona urbana, que correspondem à zona com o menor valor do território (1 €/m²/ano) e à zona mais valiosa (60 €/m²/ano), respetivamente, começou-se por definir dois cenários extremos que foram aplicados em cada um dos 6 cenários: no primeiro cenário assumiu-se que todo o domínio de cálculo é constituído por floresta e vale 1 €/m²/ano e, no segundo cenário, considerou-se que a totalidade do domínio de cálculo é zona urbana, com um valor do território igual a 60 €/m²/ano.

Na Figura 6.4 apresenta-se o desempenho económico dos 6 cenários na situação base e na aplicação dos cenários extremos. Comparando a situação base com aquela em que o domínio de cálculo é considerado na totalidade como uma zona de floresta, verifica-se que ocorre uma diminuição significativa tanto no *VAL* como no *RBC*, devido ao baixo valor do território. Dos 6 cenários, apenas o prolongamento da obra longitudinal aderente do Furadouro e a retirada do esporão sul de Esmoriz registam ganhos económicos ao fim dos 20 anos, de 95 539 € e de 534 761 €, respetivamente, sendo que o prolongamento da obra longitudinal aderente é o único que atinge o *break-even* (aos 9 anos) devido ao baixo custo de intervenção. O cenário de construção do esporão em Maceda toma valores negativos para o *RBC* na maioria do período de análise devido à predominância dos benefícios negativos. Por outro lado, quando se considera que o domínio de cálculo equivale à zona mais valiosa (zona urbana), constata-se que ocorre um aumento dos valores nas curvas do *VAL* e do *RBC*, o que resulta em maiores ganhos económicos e maiores valores para o *RBC* ao fim dos 20 anos, à exceção do cenário de construção do esporão em Maceda. Este cenário corresponde a um comportamento de perda de território e ao longo do tempo, os benefícios negativos vão sendo cada vez maiores, fazendo com que se registem cada vez mais perdas económicas, que rondam os 13 milhões de euros aos 20 anos, e valores negativos para o *RBC*. Por fim, os cenários de prolongamento da obra longitudinal aderente do Furadouro e de construção da obra longitudinal aderente em Cortegaça registam os maiores ganhos

económicos ao fim dos 20 anos, respetivamente, de 9 447 514 € e de 10 216 020 €, sendo que atingem o *break-even* logo nos primeiros anos de simulação.



a) Zona de floresta (menos valiosa). b) Zonas de território base. c) Zona urbana (mais valiosa).

Figura 6.4 – Desempenho económico dos 6 cenários por alteração do uso do solo para a zona de floresta e a zona urbana.

De seguida, com base nas áreas de acreção e de erosão obtidas através do modelo numérico LTC para cada um dos 6 cenários e também tendo em conta os valores de base do território, optou-se por aumentar uma classe no valor do território, nas zonas em que ocorre um ganho de área, e reduziu-se uma classe ao valor do território, nas zonas em que se perdia área, ou seja, onde ocorre erosão, alterando assim o uso do solo em função dos benefícios.

Através da Figura 6.5 verifica-se que, comparando a situação base com a situação após a alteração das classes de uso do território em função dos benefícios, dá-se um aumento significativo nos resultados obtidos aos 20 anos, para ambos os indicadores económicos (VAL e o RBC). Este aumento ocorre devido à valorização das zonas onde se verificam ganhos de área (benefício positivo) e à desvalorização das zonas onde há perda de território (benefício negativo). Os cenários da alimentação artificial de sedimentos no setor de Esmoriz e a retirada do esporão sul de Esmoriz registam maiores valores para o VAL, respetivamente de 4 819 105 € e de 7 563 516 €, sendo que ambos os cenários já registavam os maiores valores para o VAL na situação base. No que diz respeito ao RBC, tanto na situação base como após a alteração das classes de uso do território, os cenários do prolongamento da obra

longitudinal aderente do Furadouro e da construção da obra longitudinal aderente em Cortegaça obtêm maiores valores para o *RBC*, chegando a tomar valores de 61,08 e de 8,56, respetivamente.

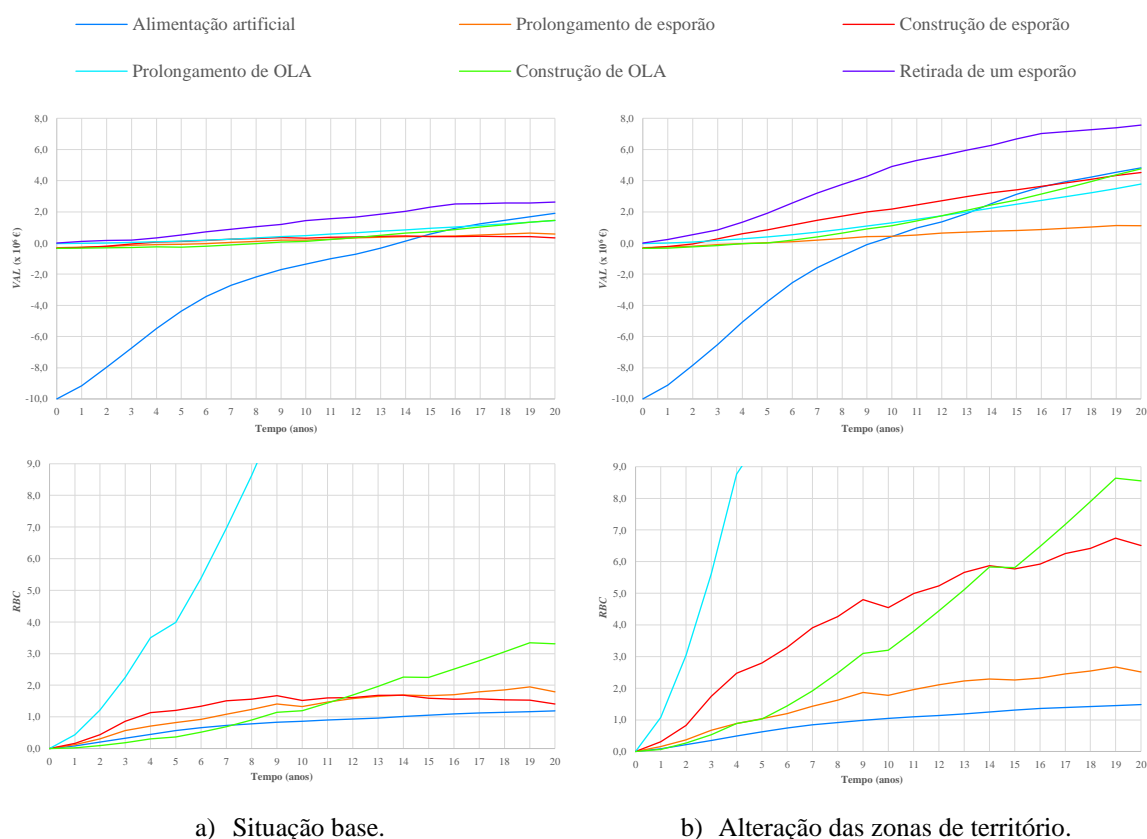


Figura 6.5 – Desempenho económico dos 6 cenários por alteração das zonas de território, em função dos benefícios.

6.4. Sensibilidade à taxa de desconto

Nas situações em que os custos e os benefícios de uma solução são quantificados em termos económicos ao longo do tempo, como acontece na análise custo-benefício, é necessário atualizar o valor desses custos e benefícios para um ano de referência, para que seja possível realizar comparações. Deste modo, a necessidade de atualizar os custos e os benefícios distribuídos num longo período de tempo, tornam o desempenho das opções e os resultados da avaliação sensíveis à seleção do valor mais adequado para a taxa de desconto, r (Lima, 2018). Assim, foram efetuadas duas análises de sensibilidade à taxa de desconto de base ($r = 3,0\%$) considerando os 6 cenários e aplicando dois valores distintos para a taxa

de desconto (1,5% e 4,5%), de forma a avaliar a influência deste parâmetro nos resultados obtidos para o desempenho económico (Figura 6.6).

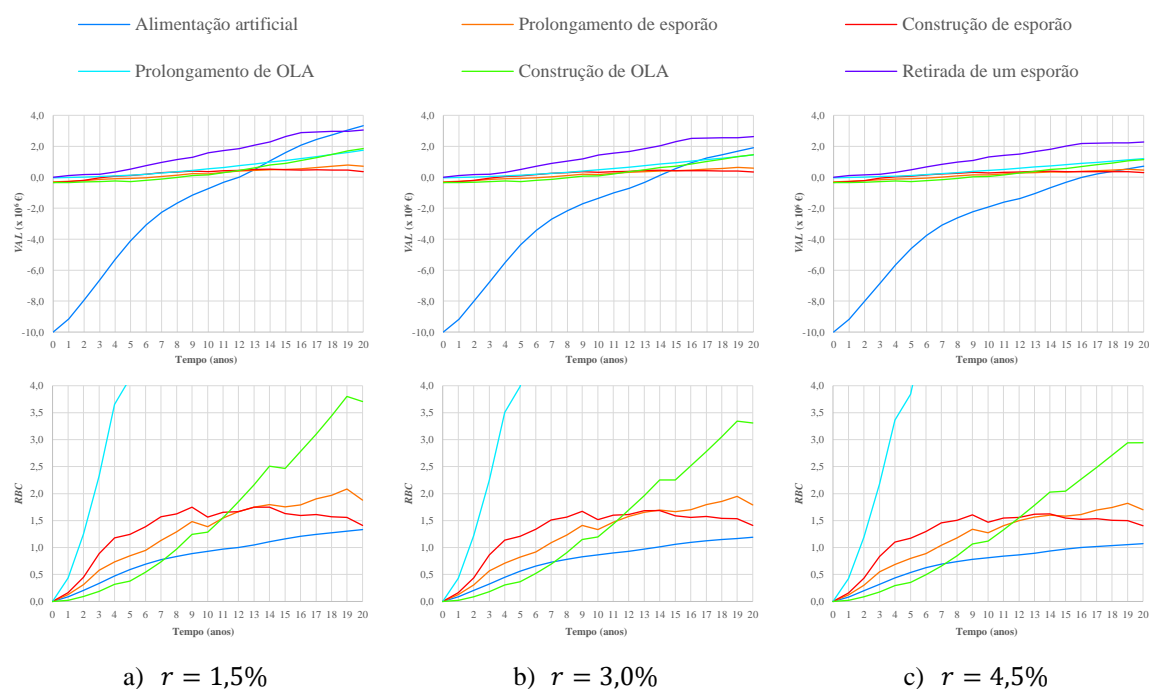


Figura 6.6 – Desempenho económico dos 6 cenários, por alteração da taxa de desconto.

É possível constatar que quanto maior for o valor da taxa de desconto, menor será a eficácia económica, ou seja, ocorre uma diminuição nos valores obtidos para o *VAL* e para o *RBC*. Para uma taxa de desconto de 1,5%, regista-se o maior ganho económico (3 329 105 €), que corresponde ao cenário da alimentação artificial de sedimentos em Esmoriz. Constata-se também que a influência da taxa de desconto no *RBC* é pouco significativa, visto que todos os cenários atingem o *break-even* no mesmo ano que na situação base ($r = 3,0\%$), à exceção do cenário da alimentação artificial de sedimentos em Esmoriz, que atingia o *break-even* aos 14 anos na situação base e passou a atingi-lo aos 12 anos quando a taxa de desconto é de 1,5%, e aos 16 anos para uma taxa igual a 4,5%. Por outro lado, a influência da variação da taxa de desconto no *VAL* depende de cenário para cenário, sendo mais significativa no cenário da alimentação artificial de sedimentos em Esmoriz.

6.5. Síntese

Foram definidos como representativos das estratégias de mitigação 6 cenários base e começou-se por efetuar análises de sensibilidade nos custos de intervenção, reduzindo e

aumentando estes em 50%. De um modo geral, verificou-se que quando se reduziram os custos de intervenção, obtiveram-se melhores resultados para o desempenho económico (aumento do *VAL* e do *RBC*), e na situação contrária, quando se aumentaram os custos de intervenção, ocorreu uma diminuição em ambos os indicadores económicos (Figura 6.1). No que diz respeito ao *VAL*, destacou-se o cenário da alimentação artificial de sedimentos em Esmoriz quando se reduziram os custos, por ser o cenário que tem um maior esforço financeiro de primeiro investimento, e ainda assim obtém maiores ganhos económicos ao fim dos 20 anos, quando comparado com os restantes cenários. Por outro lado, quando se aumentaram os custos de intervenção, destacou-se o cenário da retirada do esporão sul de Esmoriz por registar maiores ganhos económicos quando comparado com a situação base, devido ao facto de se subtraírem os custos de manutenção do esporão, o que resulta num total de custos acumulados negativo e um aumento no *VAL*. Quanto ao *RBC*, destacou-se o cenário do prolongamento da obra longitudinal aderente do Furadouro em todas as situações, por ser aquele que apresenta menores custos de intervenção, atingindo assim o *break-even* logo nos 2/3 primeiros anos.

Os resultados obtidos para o desempenho económico através das análises de sensibilidade dos custos de demolição e de realocização, dependem dos valores base adotados e do cenário que foi alvo de estudo, pelo que não é possível tirar conclusões generalizadas. À semelhança do que acontecia nos custos de intervenção, quando se reduziram os custos de demolição e/ou realocização obtiveram-se maiores valores para o *VAL* e para o *RBC*, e quando se aumentaram os mesmos custos, registou-se uma redução no *VAL* e no *RBC* (Figura 6.2). Em qualquer das situações, o cenário que incluía apenas o custo de demolição registou ganhos económicos ao fim dos 20 anos, e destacou-se também nos resultados obtidos para o *RBC*, por ser o menor custo, registando valores significativamente superiores a 1 e atingindo assim o *break-even*. Por outro lado, quando se pretende considerar o custo de realocização, este só é viável se for reduzido em 50%, obtendo-se ganhos económicos e um *RBC* superior a 1, e atingindo também o *break-even*. Considerar em simultâneo os custos de demolição e de realocização no cenário da retirada do esporão sul de Esmoriz, não é viável em nenhuma das situações testadas, registando-se perdas económicas aos 20 anos.

Os valores do território foram alvos de duas análises diferentes: na primeira pretendia-se manter o uso do solo e aumentar e reduzir em 50% os valores previamente definidos para o

uso do solo em cada zona de território; na segunda análise definiram-se dois cenários, um considerando todo o território com valores extremos e outro, que consiste em aumentar uma classe ao valor do uso do território nas zonas onde se verificam ganhos de área e reduzir uma classe ao valor do uso do solo nas zonas onde se perde território. Na primeira análise verificou-se uma diminuição no *VAL* e no *RBC* quando se reduziram os valores do território, e um aumento dos valores nas curvas do *VAL* e do *RBC* quando se valorizaram as zonas de território (Figura 6.3). Quando se reduziram-se os valores do território em 50%, alguns cenários deixaram de ser economicamente viáveis, nomeadamente, a alimentação artificial de sedimentos em Esmoriz, o prolongamento do esporão norte do Furadouro e a construção do esporão em Maceda. Por outro lado, quando os valores do território sofreram um aumento de 50%, todos os cenários aumentaram os ganhos económicos. Mais uma vez, em todas as situações, destacou-se o prolongamento da obra longitudinal aderente do Furadouro, devido ao seu baixo custo de intervenção. Na segunda análise, e começando pelos cenários de valores extremos (Figura 6.4), quando o domínio de cálculo é considerado na sua totalidade como uma zona de floresta, verificou-se uma diminuição significativa nos respetivos indicadores económicos devido ao baixo valor do território, sendo que apenas os cenários da retirada do esporão sul de Esmoriz e do prolongamento da obra longitudinal aderente do Furadouro registaram ganhos económicos ao fim dos 20 anos (este último obteve também valores superiores a 1 para o *RBC* e atingiu o *break-even* antes de estarem concluídos os 20 anos). Quando o domínio de cálculo equivale à zona de território mais valiosa (zona urbana), constatou-se que todos os cenários registam maiores ganhos económicos, à exceção do cenário da construção do esporão em Maceda, que assume um comportamento decrescente ao longo do tempo. Relativamente ao *RBC*, todos os cenários obtiveram valores superiores a 1 e atingiram o *break-even* durante o horizonte temporal, à exceção do cenário da construção do esporão em Maceda, devido ao facto do total de benefícios ser negativo. Ainda no âmbito da segunda análise, e para cada um dos 6 cenários, optou-se por aumentar e diminuir uma classe de território, tendo em conta se representava um benefício positivo ou negativo (Figura 6.5). Assim, foi possível constatar que após a alteração dos valores das classes de território, ocorreu um aumento significativo nos resultados obtidos aos 20 anos para todos os cenários, e em ambos os indicadores económicos (*VAL* e o *RBC*), devido à valorização das zonas onde se verificaram ganhos de área (benefícios positivos) e à desvalorização das zonas onde ocorreram perdas de território (benefícios negativos).

Por último, efetuaram-se análises de sensibilidade à taxa de desconto (Figura 6.6) e concluiu-se que quanto maior for o valor da taxa de desconto, menor será a eficácia económica de cada um dos cenários, ocorrendo uma diminuição nos valores obtidos para o *VAL* e para o *RBC*. O maior ganho económico aconteceu para a taxa de desconto mais baixa (1,5 %), em particular no cenário da alimentação artificial de sedimentos em Esmoriz. De um modo geral, pode-se constatar que a taxa de desconto tem pouco influência no *RBC*, visto que todos os cenários atingiram o *break-even* exatamente no mesmo ano que na situação base, à exceção da alimentação artificial de sedimentos em Esmoriz. O mesmo não se verifica no *VAL*, visto que a influência da taxa de desconto varia de cenário para cenário, sendo que foi mais significativa no cenário da alimentação artificial de sedimentos em Esmoriz.

Capítulo 7

CONSIDERAÇÕES FINAIS

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Face aos problemas de erosão costeira sentidos no litoral português, é cada vez mais importante discutir a viabilidade de diferentes estratégias de mitigação da erosão costeira, não só a nível físico, mas também a nível económico, com o objetivo de escolher a melhor intervenção a adotar em cada situação específica. Assim, no presente trabalho considerou-se a frente litoral do concelho de Ovar como caso de estudo, por ser uma zona de elevada vulnerabilidade, colocando em risco pessoas e bens, e pretendeu-se avaliar a viabilidade de diferentes estratégias de mitigação da erosão costeira, a partir da modelação numérica da posição da linha de costa, juntamente com a aplicação da análise custo-benefício, para um horizonte temporal de 20 anos. Foram também realizadas comparações entre diversas soluções do mesmo tipo de estratégia. Por outro lado, e tendo em conta que a estimativa dos valores económicos está associada a uma elevada incerteza e que deve ser alvo de uma análise cuidada, realizaram-se análises de sensibilidade a vários valores económicos (custos de intervenção, custos de demolição e realocização, valores do território e taxa de desconto), de modo a compreender a influência destes, nos resultados obtidos através da análise custo-benefício. Neste último capítulo, pretende-se resumir o trabalho desenvolvido na dissertação, destacando as principais conclusões e propostas de desenvolvimentos futuros.

7.1. Conclusões

Uma análise custo-benefício envolve a identificação e quantificação dos custos e benefícios associados a cada solução para mitigar a erosão costeira. A quantificação dos custos de uma intervenção de defesa costeira deve ser alvo de uma análise cuidada, visto que é necessário ter em conta diversos aspetos, dependendo do tipo de intervenção. Quando se pretende intervir com obras de defesa costeira, é importante ter em conta o local de implantação, as dimensões e a profundidade em que terão de ser implantadas as obras, os materiais utilizados, a frequência de manutenção e etc. O custo das estratégias de alimentação artificiais de sedimentos depende essencialmente da localização da intervenção, da extensão e da frequência no tempo, do espaçamento temporal, do material utilizado e do volume de

sedimentos depositado. No presente trabalho, os valores adotados para os custos de construção e de manutenção consoante o tipo de estratégia, foram estimados com base nos trabalhos de Lima (2018) e Roebeling *et al.* (2018). De notar que o XD-Coast não foi utilizado neste trabalho, devido ao facto de terem sido adotados valores estimados para o custo das diferentes obras de defesa costeira, mesmo sem as dimensionar. Com base nas áreas de território ganhas ou perdidas, que resultam da simulação da posição da linha de costa ao longo do tempo através do modelo LTC, é necessária a atribuição de um valor económico ao território para converter essas áreas num valor monetário, permitindo assim quantificar os benefícios. Nessa atribuição é essencial ter-se em conta o valor ambiental e paisagístico da zona costeira e a ocupação humana do seu território. Por simplificação, os valores do território adotados neste trabalho, foram novamente estimados com base nos trabalhos de Lima (2018) e Roebeling *et al.* (2018). Após a quantificação dos custos e dos benefícios, foi possível avaliar a viabilidade económica de qualquer solução de mitigação da erosão costeira através da aplicação da análise custo-benefício, determinando os seguintes indicadores económicos: o valor atual líquido (*VAL*), o rácio benefício-custo (*RBC*) e o *break-even*.

Com a breve caracterização da zona de estudo (litoral do concelho de Ovar), identificaram-se as obras de defesa costeira existentes e comprovou-se que o fenómeno da erosão é cada vez mais preocupante nesta zona, com base no défice sedimentar, nas taxas de erosão e no registo de eventos de danos causados pela ação marítima. Assim, antes de se proceder à simulação de qualquer cenário de intervenção, caracterizou-se uma situação de referência, conseguida através da calibração do modelo numérico LTC e que permitiu definir uma base para a simulação de qualquer tipo de cenário. Após a definição da base do modelo LTC, procedeu-se à simulação do cenário de “não intervenção”, onde não existe qualquer intervenção adicional para mitigação da erosão costeira, mas assumiu-se que todas as obras existentes são mantidas. Também se definiram as zonas de território com diferentes usos em cada um dos setores e os custos de manutenção das obras de defesa costeira existentes. Assim, com base nos resultados obtidos através do modelo LTC e da análise custo-benefício, concluiu-se que, no caso de não ser feita qualquer intervenção de defesa costeira, o litoral do concelho de Ovar perde, no total, cerca de 43 ha, o que representa perdas económicas na ordem dos 15,6 milhões de euros, ao fim dos 20 anos de simulação. Estas perdas na zona costeira estão relacionadas com a diminuição do território e o respetivo valor económico do uso do solo, bem como os custos de manutenção das obras de defesa costeira existentes.

A análise custo-benefício permitiu avaliar a viabilidade económica de diferentes cenários de intervenção. No total, foram simulados 72 cenários de intervenção, que se agrupam em três categorias consoante o tipo de estratégia: 25 cenários de estratégias de alimentações artificiais de sedimentos, 41 cenários de estratégias de proteção com recurso a estruturas costeiras e 6 cenários de estratégias de demolição e relocalização.

Através da simulação das alimentações artificiais de sedimentos efetuadas nos setores de Esmoriz, Cortegaça e Furadouro, concluiu-se que, em geral, quanto maior for o volume de sedimentos, mais vantajosa será a solução, tanto a nível físico como económico. No setor de Esmoriz, é mais vantajoso a nível económico realizar a alimentação artificial de sedimentos numa única intervenção, isto porque registou-se um maior *RBC* e menores perdas económicas ao fim dos 20 anos. Fisicamente, compensa mais quando a alimentação artificial é repartida no tempo, obtendo-se um ganho de área ligeiramente superior quando esta é realizada num menor espaço de tempo e com um menor volume de sedimentos. Ao avaliar o espaçamento temporal da alimentação artificial em Esmoriz constatou-se que, economicamente, é melhor realizar a alimentação artificial de sedimentos logo no início. No entanto, quando concluídos os 20 anos de simulação, a situação é fisicamente pior do que se for espaçada no tempo. Avaliando a localização da intervenção, obtiveram-se melhores resultados a nível económico, quando a alimentação artificial é realizada a norte, isto porque esta abrange a zona de território mais valiosa em Esmoriz. Por outro lado, o comportamento físico está dependente da localização da intervenção.

As estratégias de proteção com recurso a estruturas costeiras que foram alvo de estudo, incidiram não só no prolongamento e na construção de esporões, como também no prolongamento e na construção de obras longitudinais aderentes. Após a simulação dos cenários de prolongamento de esporões e da construção de novos esporões, concluiu-se que tanto o desempenho físico como o económico dependem da localização da intervenção e da extensão do prolongamento ou do comprimento do esporão, pelo que não se obtiveram comportamentos semelhantes no mesmo tipo de estratégia. No que diz respeito às obras longitudinais aderentes, foram simulados cenários do prolongamento da obra longitudinal aderente do Furadouro e da construção de uma obra em Cortegaça e outra em Maceda. Para o prolongamento da obra longitudinal aderente do Furadouro é fisicamente viável realizar a intervenção para qualquer prolongamento ocorrendo ganhos de território, enquanto que a nível económico apenas se exclui as duas soluções com os maiores comprimentos e os

maiores custos de intervenção, isto porque obtiveram perdas económicas ao fim dos 20 anos. Na construção de obras longitudinais aderentes nos setores de Cortegaça e de Maceda, é fisicamente vantajoso intervir, verificando-se que quanto maior é o comprimento da obra, maiores são os ganhos de território. Quanto ao desempenho económico, constataram-se comportamentos contrários, pelo que em Cortegaça compensa intervir para qualquer comprimento, ao contrário do setor de Maceda, que não consegue recuperar os custos de intervenção, registando-se assim perdas económicas em todos os comprimentos simulados.

Os 6 cenários das estratégias de demolição e realocização (3 cenários de retirada de esporões e 3 cenários de retirada de obras longitudinais aderentes) permitiram concluir que ao retirar qualquer uma das obras de defesa costeira irá ocorrer maior perda de território do que se as obras fossem mantidas no local. No entanto, economicamente, compensa retirar os dois esporões de Esmoriz, obtendo-se ganhos económicos ao fim dos 20 anos. De modo contrário, a retirada das obras longitudinais aderentes registaram perdas económicas, isto porque defendem em parte ou até mesmo na totalidade, a zona mais valiosa do seu setor.

Assim, após a aplicação da análise custo-benefício aos diferentes cenários simulados, concluiu-se que, os resultados obtidos para os cenários dentro do mesmo tipo de estratégia variam consoante a localização da intervenção e as zonas de território que a intervenção irá defender, pelo que não é possível estabelecer uma conclusão global para todas as estratégias de mitigação da erosão costeira.

Com base nos cenários de intervenção simulados, selecionaram-se os 6 melhores cenários consoante o tipo de estratégia, que permitiram realizar análises de sensibilidade aos valores económicos (custos de intervenção, custos de demolição e realocização, valores do território e taxa de desconto), sendo que se mantiveram os resultados físicos obtidos através do modelo numérico LTC. Nos custos de intervenção efetuaram-se duas análises de sensibilidade, onde estes sofreram uma redução e um aumento de 50%. Já era exetável que quando se reduziram os custos, se obtivesse um melhor desempenho económico para os diferentes cenários através do aumento do *VAL* e do *RBC*, destacando-se o cenário da alimentação artificial de sedimentos (maior esforço financeiro de primeiro investimento). Por outro lado, quando se aumentaram os custos, verificou-se uma diminuição em ambos os indicadores económicos. A retirada do esporão sul de Esmoriz assume um comportamento contrário relativamente ao *VAL*, devido ao facto de se subtraírem os custos de manutenção do esporão, o que resulta num total de custos acumulados negativo, e onde se destaca quando os custos de intervenção

sofrem um aumento de 50%. Quanto ao *RBC*, e em qualquer situação, destacou-se o cenário do prolongamento da obra longitudinal aderente do Furadouro, isto porque os custos de intervenção são algo inferiores aos custos dos restantes cenários.

À semelhança do que se verificou nos custos de intervenção, quando se reduziram os custos de demolição e/ou realocização, obteve-se um aumento no *VAL* e no *RBC*, e quando se aumentaram os mesmos custos, registou-se uma descida nos respetivos indicadores económicos. Também se constatou que o cenário que incluía apenas o custo de demolição é viável em qualquer situação, visto que obteve ganhos económicos ao fim dos 20 anos e atingiu o *break-even*. Por outro lado, considerar apenas o custo de realocização, só é vantajoso se o custo for reduzido em 50%. Assim, concluiu-se que considerar em simultâneo os custos de demolição e de realocização, não é viável em nenhuma das situações testadas, obtendo-se perdas económicas e valores para o *RBC* inferiores a 1, ao fim dos 20 anos.

Para os valores do território realizaram-se duas análises distintas, aplicadas aos 6 cenários referidos. Na primeira análise, onde se manteve o uso do solo, verificou-se uma diminuição em ambos os indicadores económicos (*VAL* e *RBC*) quando os valores do território sofrem uma redução de 50%, e um aumento nos mesmos indicadores, quando se valorizam as zonas de território também em 50%. Ao desvalorizar as zonas de território, alguns cenários deixaram de ser economicamente viáveis, enquanto que na situação contrária, todos os cenários reforçaram os ganhos económicos ao fim dos 20 anos. Na segunda análise, e relativamente aos cenários de valores extremos, constatou-se que quando o domínio de cálculo é considerado na sua totalidade como uma zona de floresta, ocorre uma diminuição significativa no *VAL* e no *RBC*, devido ao baixo valor do território. Na situação contrária, quando o domínio de cálculo equivale à zona urbana (zona mais valiosa), verificou-se que todos os cenários registam maiores ganhos económicos, à exceção da construção do esporão de Maceda que assume um comportamento decrescente ao longo do tempo. Quando se pretendeu aumentar ou reduzir uma classe ao valor do uso do solo, concluiu-se que houve um aumento significativo nos respetivos indicadores económicos em todos os cenários, devido à valorização das zonas onde ocorrem ganhos de área e à desvalorização das zonas onde se verificam perdas de território.

Por último, para avaliar a sensibilidade à taxa de desconto efetuaram-se duas análises em cada um dos 6 cenários, nomeadamente com os valores de 1,5% e de 4,5%, sendo que o

valor base adotado foi de 3,0%. Estas análises permitiram concluir que quanto maior for o valor da taxa de desconto, menor será a eficácia económica de cada cenário, o que se reflete numa diminuição dos indicadores económicos (*VAL* e *RBC*). A variação da taxa de desconto teve pouca influência no *RBC*, visto que a maioria dos cenários atingiram o *break-even* exatamente no mesmo ano que na situação base. Por outro lado, a influência da variação da taxa de desconto no *VAL* depende de cenário para cenário, sendo mais significativa no cenário da alimentação artificial de sedimentos em Esmoriz.

Através das análises de sensibilidade efetuadas, concluiu-se que a alteração dos valores económicos tem uma influência significativa nos resultados obtidos a partir da análise custo-benefício (à exceção da taxa de desconto), verificando-se que em algumas análises de sensibilidade, alguns dos 6 cenários considerados, deixaram de ser economicamente viáveis. Assim, na adoção dos valores económicos deve ser feita uma análise cuidada.

De notar que as análises custo-benefício aplicadas nos cenários de intervenção e nos cenários económicos, baseiam-se nos resultados obtidos através do modelo numérico LTC e nos valores económicos adotados no presente trabalho, pelo que as conclusões tiradas através dessas análises são sensíveis à variabilidade dos parâmetros de entrada do modelo, assim como dos valores económicos adotados.

7.2. Desenvolvimentos futuros

Com o agravamento dos problemas de erosão costeira é cada vez mais importante aprofundar o estudo de estratégias de mitigação da erosão costeira, com o objetivo de discutir a viabilidade de diferentes soluções em cada situação específica, quer a nível físico quer a nível económico, de modo a escolher a melhor solução para travar o recuo da posição da linha de costa. Assim, devido à diversidade de cenários de intervenção que possam ser simulados no litoral do concelho de Ovar, considera-se que ainda há muito para explorar neste âmbito de estudo, visto que no presente trabalho foram apenas simulados alguns cenários dentro de cada tipo de estratégia, não considerando, por exemplo, a conjugação de dois ou mais tipos de estratégias, dentro do mesmo cenário.

Os custos de intervenção foram estimados com base noutros trabalhos, pelo que têm sempre uma incerteza associada à sua estimativa. Devido ao facto de os custos de intervenção terem

uma grande influência nos resultados obtidos através da análise custo-benefício, sempre que possível, esta incerteza deve ser mitigada através da orçamentação direta consoante o tipo de estratégia, ou então com o auxílio das entidades responsáveis pela gestão do litoral, de modo a que se obtenham resultados mais representativos da realidade. No que diz respeito aos valores do território para a quantificação dos benefícios, estes devem ser estabelecidos consoante a ocupação e uso do solo, identificando as atividades económicas, a densidade de ocupação urbana, a população residente, os equipamentos coletivos dos aglomerados urbanos e etc., sendo que a sua estimativa acarreta também uma incerteza associada.

Tendo sido aplicado a um caso de estudo (litoral do concelho de Ovar), o trabalho desenvolvido nesta dissertação, pretende contribuir para o estudo e discussão de diferentes estratégias de mitigação da erosão costeira, auxiliando também as entidades responsáveis pelo planeamento e gestão das zonas costeiras que têm a seu cargo a tomada de decisão, de modo a escolherem as melhores soluções de intervenção para colmatar o fenómeno da erosão. Neste âmbito, refere-se o Projeto INCCA que ainda se encontra numa fase inicial de desenvolvimento e que terá como objetivo caracterizar melhor os custos de intervenção e os valores do território consoante a ocupação e uso do solo, aplicados ao caso de estudo de Ovar, contribuindo também para o apoio à tomada de decisão sobre o planeamento e gestão do litoral.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APA (2012). Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Douro RH3. Agência Portuguesa do Ambiente, Relatório Técnico (citado em GTL, 2014).

APA (2018). Programa de Monitorização da Faixa Costeira de Portugal Continental – COSMO. Agência Portuguesa do Ambiente. <https://cosmo.apambiente.pt/> (última visualização a 17 de setembro de 2020).

Barata, P. e Pinto, B. (2016). ClimAdaPT.Local – Manual Avaliação Económica de Opções de Adaptação. Lisboa, 22 p. ISBN: 978-989-99697-4-2.

Burcharth, H. F., Hughes, S. A. (2006). Types and Functions of Coastal Structures. Coastal Engineering Manual, Part VI: Design of Coastal Project Elements, Chapter 2, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC, 48 p.

Coelho, C. (2005). Riscos de Exposição de Frentes Urbanas para Diferentes Intervenções de Defesa Costeira. Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 404 p.

Coelho, C. e Veloso-Gomes, F. (2005). Um Modelo de Previsão de Evolução de Zonas Costeiras Arenosas, a Médio e Longo Termo. 4º Congresso Luso Moçambicano de Engenharia, Maputo, Moçambique, pp. 425-439.

Coelho, C., Silva, R., Veloso-Gomes, F. e Taveira-Pinto, F. (2006). Avaliação de Riscos. Modelos de Previsão da Evolução da Configuração Costeira. 1as Jornadas de Hidráulica Recursos Hídricos e Ambiente, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, pp. 17-25.

Coelho, C., Pereira, C., Costa, S. e Lima, M. (2015). A Erosão Costeira, as Tempestades e as Intervenções de Defesa Costeira no Litoral do Concelho de Ovar, Portugal. Capítulo 3. Ressacas do Mar Gestão Costeira. pp. 331-367.

Coelho, C., Cruz, T. e Roebeling, P. (2016). Longitudinal Revetments to Mitigate Overtopping and Flooding: Effectiveness, Costs and Benefits. In: Ocean and Coastal Management, Volume 134, pp. 93-102.

Cordeiro, M. B. (2016). Custos Associados a Diferentes Estratégias de Adaptação à Erosão

Costeira. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 82 p.

Cruz, T. S. (2015). Análise Custo-Benefício de Obras Longitudinais Aderentes. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 140 p.

DGT (2018). Áreas das Freguesias, Concelhos e Distritos da Carta Administrativa Oficial de Portugal. Ministério do Ambiente – Direção-Geral do Território, Lisboa, Portugal. http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/cartografia/carta_administrativa_oficial_de_portugal_caop/caop__download_/carta_administrativa_oficial_de_portugal__versao_2018__em_vigor/ (última visualização a 5 de dezembro de 2019).

Dodet, G., Bertin, X. e Taborda, R. (2010). Wave a Climate Variability in the North-East Atlantic Ocean over the Last Six Decades. In: Ocean Modelling, Volume 31, pp. 120-131.

Fernandes, C. (2017). Análise do Desempenho de Obras Longitudinais Aderentes e Quebramares Destacados. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 129 p.

Google Earth (2020). <https://earth.google.com/web> (última visualização a 27 de janeiro de 2020).

GTL (2014). Gestão da Zona Costeira – O Desafio da Mudança. Relatório do Grupo de Trabalho do Litoral, Dezembro de 2014, 237 p.

Hidrotécnica Portuguesa (1988) – Problemas Litorais. Troços Cascais – S. Julião da Barra. Direção-Geral de Portos. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, Lisboa. Volume 1, 105 p (citado em GTL, 2014).

INE (2012). Censos 2011 Resultados Definitivos – Região Centro. Instituto Nacional de Estatística, I.P., Lisboa. ISBN: 978-989-25-0184-0.

Lima, M. (2011). Programação de Métodos de Pré-Dimensionamento de Obras Costeiras. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 131 p.

Lima, M. (2015). Estudos Avançados em Engenharia Civil – Modelo Numérico LTC. Relatório Final, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 76 p. (não publicado).

Lima, M. (2018). Ferramenta Numérica de Análise do Impacto de Intervenções de Defesa Costeira na Evolução da Linha de Costa: Custos e Benefícios. Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 294 p.

Lima, M. e Coelho, C. (2017). O Modelo de Evolução da Linha de Costa LTC: Pressupostos, Evolução, Validação e Aplicação. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, Volume 17, Issue 1, pp. 5-17. ISSN: 1646-8872.

Lima, M., Coelho, C. e Cachim, P. B. (2013). Programming Methods for Pre-Design of Coastal Structures. V International Conference on Computational Methods in Marine Engineering, Marine 2013, 29 a 31 de maio, Hanburgo, Alemanha, pp. 868-879. ISBN: 978-849414074-7.

Magalhães, F. (1999). Os Sedimentos da Plataforma Continental Portuguesa: Contrastes Espaciais, Perspetiva Temporal, Potencialidades Económicas. Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal (citado em GTL, 2014).

Maia, A., Bernardes, C. e Alves, M. (2015). Cost-Benefit Analysis of Coastal Defenses on the Vagueira and Labrego Beaches in North West Portugal. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, Volume 15, Issue 1, pp. 81-90. ISSN: 1646-8872.

Marinho, B. (2013). Procedimentos no Estudo de Obras de Defesa Costeira. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 145 p.

Micore (2010). Micore Wave Data Download. <http://disempla.fc.ul.pt/Micore/WaveDownload.html> (última visualização a 7 de dezembro de 2019).

Narra, P. (2018). CERA: Análise de Risco à Erosão Costeira baseada em Sistemas de Informação Geográfica. Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 262 p.

OEH (2018). Guidelines for Using Cost-Benefit Analysis to Assess Coastal Management Options. Office of Environment and Heritage, 34 p. ISBN: 978-1-925753-82-0.

Oliveira, A. (2012). Discussão do Custo e Benefício das Intervenções de Defesa Costeira. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 85 p.

Oliveira, I. M., Valle, A. F. e Miranda, F. (1982). Littoral Problems in the Portuguese West Coast. *Coastal Eng. 1982 Proceeding*, III, 1951-1969 (citado em GTL, 2014).

Pereira, A. (2008). Modelação da Agitação Marítima em Zonas Costeiras. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa,

Portugal, 80p.

Pereira C. e Coelho, C. (2011). Base de Dados da Ação Marítima sobre o Litoral: Trechos Esmoriz – Furadouro e Vagueira – Mira. Relatório Técnico, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro (não publicado).

Pereira, C. e Coelho, C. (2013a). Mapa de Risco das Zonas Costeiras por Efeito da Ação Energética do Mar. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, Volume 13, Issue 1, pp. 27-43. ISSN: 1646-8872.

Pereira, C. e Coelho, C. (2013b). ADAPTARia: Modelação das Alterações Climáticas no Litoral da Ria de Aveiro – Estratégias de Adaptação para Cheias Costeiras e Fluviais (Projeto PTDC/AAC-CLI/100953/2008). Tarefa 5 – Relatório Final, novembro de 2013, 61 p.

Pita, C. (1985). Considerações sobre a Observação de Quebra-Mares de Talude. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Memória N° 647, 17 p. (citado em Lima, 2018).

POC (2015). Avaliação Ambiental Estratégica do Programa de Orla Costeira de Ovar – Marinha Grande. Relatório Ambiental, 159 p.

Pombo, R. N. (2016). Inundações Costeiras: Caudais de Galgamento e Consequências Associadas. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 118 p.

Reis, E. (2010). Evolução da Linha de Costa e Defesa das Zonas Costeiras – Análise Custo/Benefício. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 75 p.

Roebeling, P., Coelho, C. e Reis, E. (2011). Coastal Erosion and Coastal Defense Interventions: a Cost-Benefit Analysis. *Journal of Coastal Research*, SI 64 (Proceedings of the 11th International Coastal Symposium), Szczecin, Poland, pp. 1415-1419. ISSN: 0749-0208.

Roebeling, P., Rocha, J., Alves, H., Rodríguez-Blanco, M. e Fonseca, S. (2012). Assessing the Cost-Effectiveness of Reduced N-Fertilizer Application Rates and Alternative Application Regimes in the Cértima Catchment. *Proceedings of the 21st Century Watershed Technology Conference and Workshop Bari, Italy*. Doi: 10.13031/2013.41448.

Roebeling, P., d’Elia, E., Coelho, C. e Alves, T. (2018). Efficiency in the Design of Coastal Erosion Adaptation Strategies: An Environmental-Economic Modelling Approach. In: *Ocean and Coastal Management*, Volume 160, pp. 175-184.

Silva, R. (2010). Avaliação Experimental e Numérica de Parâmetros Associados a Modelos de Evolução da Linha de Costa. Tese de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 488 p.

Vasconcellos, M. e Garcia, M. (2009). Fundamentos de Economia. Editora Saraiva. 3ª edição (citado em Cordeiro, 2016).

Vicente e Clímaco (2012). Trecho de Costa do Douro ao Cabo Mondego: Caracterização Geral do Processo Erosivo. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Relatório 253/2012 – DHA-NEC (citado em GTL, 2014).

Zerbe, R. O. e Dively, D. D. (1994). Benefit-Cost Analysis in Theory and Practice. Harper Collins College Publishers, New York, USA. ISBN: 9780673180667 (citado em Cruz, 2015, Coelho *et al.*, 2016 e Lima, 2018).

ANEXOS

ANEXO A

O Anexo A é composto pela Tabela A.1 e apresenta uma descrição das intervenções que foram realizadas nas obras de defesa costeira entre 1999 e 2011, incluindo também os custos de cada intervenção, segundo Coelho *et al.* (2015). O tipo de intervenção está dividido em diferentes categorias, tais como, obras planeadas de defesa costeira, OD, intervenções de emergência, IE, intervenções de recuperação do cordão dunar, RCD, e intervenções de ordenamento e requalificação da marginal costeira, O&R (Coelho *et al.*, 2015). Como foi referido na secção 3.6, podem ser encontrados mais dados sobre intervenções realizadas na zona costeira de Ovar em Pereira e Coelho (2011) e Cruz (2015).

Tabela A.1 – Intervenções realizadas na zona costeira de Ovar, entre 1999 e 2011 (Coelho *et al.*, 2015).

Intervenção	Tipo	Localização	Entidade	Data	Valor (€)
Reparação dos rombos na obra longitudinal aderente (OLA3) de Esmoriz, no troço a sul do esporão sul de Esmoriz	OD	Esmoriz	INAG	2001	112 558,73
Manutenção do esporão norte (E1)	OD	Esmoriz	INAG	2002	124 174,00
Intervenção de emergência de correção das dunas artificiais da Barrinha	IE	Esmoriz	CCDR Centro	2005	98 414,80
Demolição do equipamento da Junta de Freguesia de Esmoriz	O&R	Esmoriz	CCDR Centro	2006	11 495,00
Intervenção de emergência e gestão da abertura da Barrinha	IE	Esmoriz	CCDR Centro	2007	30 000,00
Tapamento de rombo no dique norte e gestão do dique fusível da Barrinha	RCD	Esmoriz	CCDR Centro	2008	18 500,00
Gestão do dique fusível da Barrinha	RCD	Esmoriz	ARH Centro	2009	44 280,00

Tabela A.1 (continuação) – Intervenções realizadas na zona costeira de Ovar, entre 1999 e 2011 (Coelho *et al.*, 2015).

Intervenção	Tipo	Localização	Entidade	Data	Valor (€)
Requalificação dos passadiços de Esmoriz	O&R	Esmoriz	ARH Centro	2011	13 677,60
Limpeza/Requalificação dos passadiços na praia de Esmoriz	O&R	Esmoriz	ARH Centro	2011	20 692,84
Reparação do rombo na obra longitudinal aderente de Cortegaça (OLA4)	OD	Cortegaça	INAG	2001	97 041,13
Reparação da obra longitudinal aderente da praia Velha (OLA4)	OD	Cortegaça	INAG	2002	258 487,26
Intervenção de emergência em Esmoriz e Cortegaça	IE	Esmoriz, Cortegaça	INAG	2001	201 594,16
Intervenção de emergência em Esmoriz e Cortegaça	IE	Esmoriz, Cortegaça	INAG	2007	77 960,87
Intervenção de emergência em Esmoriz e Cortegaça	IE	Esmoriz, Cortegaça	INAG	2008	10 661,00
Intervenção de emergência em Esmoriz e Cortegaça	IE	Esmoriz, Cortegaça	INAG	2008	12 899,31
Limpeza da praia de Maceda	O&R	Maceda	ARH Centro	2009	7 187,40
Reparação do esporão de Maceda (E4), troço poente da obra longitudinal aderente de Esmoriz (OLA3) e do troço sul da escola da obra longitudinal aderente de Cortegaça (OLA4)	OD	Esmoriz, Cortegaça e Maceda	INAG	1999	1 945 899,84
Intervenção de emergência do Furadouro	IE	Furadouro	INAG	2003	71 201,87

Tabela A.1 (continuação) – Intervenções realizadas na zona costeira de Ovar, entre 1999 e 2011 (Coelho *et al.*, 2015).

Intervenção	Tipo	Localização	Entidade	Data	Valor (€)
Intervenção de emergência do Furadouro	IE	Furadouro	ARH Centro	2009	212 688,96
Requalificação ambiental da zona sul do Furadouro	O&R	Furadouro	ARH Centro	2010	294 518,58
Ordenamento de acessos da praia do Furadouro (1ª fase)	O&R	Furadouro	CCDR Centro	2002	128 520,00
Intervenção de emergência da defesa da Avenida Marginal do Furadouro, incluindo recarga da praia	IE	Furadouro	ARH Centro	2010	244 221, 42
Reforço e alargamento da defesa longitudinal adjacente ao enraizamento norte do esporão (OLA5)	OD	Furadouro	ARH Centro	2011	167 326,74
Reparação dos esporões de Esmoriz, Cortegaça, Maceda e Furadouro e das defesas longitudinais aderentes de Esmoriz, Cortegaça e Furadouro	OD	Esmoriz, Cortegaça, Maceda e Furadouro	INAG	2008	5 621 610,36

ANEXO B

O Anexo B é composto pela Tabela B.1, sendo que esta apresenta o registo de eventos e ocorrências relacionados com a ação energética do mar no litoral de Ovar. Como foi referido na secção 3.8, estes dados são provenientes da análise da base de dados de Pereira e Coelho (2011), complementada com Cruz (2015)

Tabela B.1 – Registo de eventos e ocorrências relacionados com a ação energética do mar (Pereira e Coelho, 2011; Cruz, 2015).

Evento			Tipo	Ocorrência
Data	Local			
1857	Jan	Furadouro	DAM	Primeiro registo do avanço do mar. Destruição de palheiros e deslocação de areias.
1863	Dez	Furadouro	DAM	Destruição de 32 palheiros.
1887	Mar	Furadouro	DAM	Destruição de 18 palheiros.
1889	Mar	Furadouro	DAM	Destruição de 2 palheiros.
1912	Fev	Furadouro	RLC	Avanço de cerca de 200 metros entre a capela velha do Senhor da Piedade e o sítio denominado de Boldim. Derrocada de 18 palheiros.
			GAL	
			DAM	
1938	Dez	Furadouro	DAM	Destruição parcial da capela do Senhor da Piedade.
1939	Fev	Furadouro	DAM	Derrube completo da capela do Senhor da Piedade.
1940	-	Furadouro	DAM	Derrube de casas na Avenida Central.
				Derrube de uma casa de um andar.
1950	-	Furadouro	RLC	Grande erosão na praia.
1950	Nov	Furadouro	GAL	Avanço do mar até cerca de 5 metros da capela nova.
1957	Dez	Furadouro	GAL	O mar atingiu os alicerces da capela-mor.

Tabela B.1 (continuação) – Registo de eventos e ocorrências relacionados com a ação energética do mar (Pereira e Coelho, 2011; Cruz, 2015).

Evento			Tipo	Ocorrência
Data	Local			
1958	Ago	Furadouro	GAL	O mar destrói 150 metros de esplanada a partir da Avenida Central, provocando um corte profundo na Avenida Marginal. Estragos na parte sul da praia.
			DAM	
1965	Jan	Furadouro	DAM	Derrube do palheiro da Família Pinto Palavra e do “chalet” do Matos, muito a sul.
1969	Jan	Furadouro	DAM	Destruição de 2 palheiros.
1969	Out	Furadouro	RLC	Enormes prejuízos causados pelos avanços do mar. Desaparecimento de grandes quantidades de areia.
			GAL	
			DAM	
1969	Nov	Furadouro	GAL	O mar entra na Avenida Central e sul da praia.
1971	Jan	Furadouro	GAL	Grande avanço do mar e destruição. O esporão de defesa, frente ao hotel, cedeu, ficando desmantelado em dois sítios.
			DAM	
			DDC	
1981	Dez	Furadouro	GAL	Mar atinge a Avenida Marginal.
1984	Mar	Furadouro	GAL	Mar atinge a Avenida Marginal.
1994	Jan	Cortegaça	RLC	Forte temporal. Entrada do mar junto ao parque de campismo.
			GAL	
		Maceda	DDC	Forte temporal. Destruição de esporão em Maceda.
		Furadouro	DDC	Forte temporal. Destruição de esporão no Furadouro. Rombo na defesa do parque de estacionamento.
1995	Fev	Furadouro	GAL	Galgamentos e destruição da plataforma litoral, destruição dos esporões e erosão dunar.
			DCD	
			DDC	

Tabela B.1 (continuação) – Registo de eventos e ocorrências relacionados com a ação energética do mar (Pereira e Coelho, 2011; Cruz, 2015).

Evento		Tipo	Ocorrência	
Data	Local			
1996	Jan	Esmoriz	Destruição de habitações do Bairro dos Pescadores e do cordão dunar. Rotura a norte do esporão norte.	
				GAL
				DCD
	Cortegaça		DDC	
			RLC	Rombos na defesa aderente. Erosão acentuada na Praia Velha.
			DDC	
Maceda	RLC	Regressão da praia, adjacente ao esporão e rombos no esporão.		
	DDC			
1996	-	Furadouro	DAM	Danos na superestrutura da obra aderente norte do esporão centro e em muros e bancos na Avenida Marginal.
			DDC	
1997	Dez	Esmoriz	GAL	Galgamento da defesa frontal e consequente instabilidade.
			DDC	
1998	Dez	Furadouro	GAL	Rotura pontual na defesa aderente a sul do esporão central e galgamentos a sul do último esporão, que fica soterrado.
			DDC	
2000	Dez	Furadouro	GAL	A cerca de 1 km a sul do Furadouro ocorreu destruição do cordão dunar numa extensão de 70 m e galgamentos, com entrada do mar cerca de 50 m.
			DCD	
2000	Dez	Torrão do Lameiro	DCD	Destruição das dunas primárias, sendo a zona mais afetada a que fica entre a praia do Torrão do Lameiro, onde o mar avançou mais de 10 m, a 500 m a sul do Furadouro.
2001	Jan	Cortegaça	RLC	Recuo da linha de costa com o desaparecimento da areia na Praia Velha.
2001	Fev	Esmoriz	GAL	Galgamentos na obra aderente a norte do esporão sul e invasão do Bairro dos Pescadores.
2001	Fev	Torrão do Lameiro	DCD	Destruição das dunas primárias.

Tabela B.1 (continuação) – Registo de eventos e ocorrências relacionados com a ação energética do mar (Pereira e Coelho, 2011; Cruz, 2015).

Evento		Tipo	Ocorrência	
Data	Local			
2001	Fev	Furadouro	RLC	Inúmeros galgamentos das obras aderentes a norte e a sul do esporão centro, originando o derrubamento do muro da superestrutura adjacente à Avenida Central. Galgamentos causaram inundações em zonas florestais a sul do Furadouro, com extensões na ordem de centenas de metros. Forte erosão a norte dos dois esporões e degradação do sistema dunar.
			GAL	
			DDC	
			DAM	
			DCD	
2001	Mar	Cortegaça	RLC	Abertura de rombo na defesa aderente. Recuo da linha de costa, com desaparecimento do areal junto ao apoio do Miradouro.
			DDC	
2001	Set	Esmoriz	GAL	Galgamentos na obra aderente junto ao parque de campismo.
		Cortegaça	DDC	Deslizamentos e lombos nas defesas aderentes.
2002	Fev	Cortegaça	RLC	Recuo da linha de costa no esporão sul (o mar está a 4 m dos edifícios)
2002	Mar	Cortegaça	GAL	Arriba de erosão a sul e destruição da defesa frontal.
			DDC	
2002	Jun	Cortegaça	RLC	Recuo da linha de costa a norte do esporão e a sul só há areia em baixa-mar.
2003	Jan	Furadouro	GAL	Destruição a norte do muro, no tardoz da incipiente obra aderente, avançando cerca de 3 m para a frente urbana. Descalçamento da obra aderente a norte numa extensão de 80 m. Galgamentos a norte do esporão central.
			DDC	
2003	Out	Furadouro	GAL	Galgamentos da obra aderente a sul do esporão centro e destruição da cabeça do esporão sul, juntamente com várias roturas pontuais.
			DDC	
2005	Ago	Esmoriz	DDC	Destaque e destruição da cabeça do esporão norte de Esmoriz.
		Cortegaça	DDC	Fragilidades nas obras aderentes.
		Furadouro	DDC	Completa destruição da cabeça do esporão central do Furadouro.

Tabela B.1 (continuação) – Registo de eventos e ocorrências relacionados com a ação energética do mar (Pereira e Coelho, 2011; Cruz, 2015).

Evento		Local	Tipo	Ocorrência
Data				
2005	Set	Furadouro	RLC	Recuo da linha de costa e galgamentos frequentes na obra aderente a sul.
			GAL	
2005	Nov	Esmoriz	GAL	Avanço do mar na Bairro Piscatório de Esmoriz.
2006	Jan	Furadouro	GAL	Galgamentos na marginal do Furadouro.
2006	Nov	Maceda	GAL	Aluimento dos acessos à praia.
2006	Dez	Esmoriz	DDC	Roturas nalguns pontos entre dois esporões (frente á lota).
2007	Fev	Esmoriz	DDC	Rombo na defesa aderente, entre o esporão norte de Esmoriz e o esporão norte de Cortegaça, na zona do Bairro Piscatório.
2007	Mar	Cortegaça	DDC	Destruição do muro do parque de campismo.
2008	Fev	Esmoriz	DDC	Abatimentos e rombos em 4 locais na defesa aderente devido a temporais com ondulação de 4 m de altura.
		Cortegaça	DDC	Danos na estrutura de defesa.
2008	Ago	Esmoriz	GAL	Galgamentos e instabilidade da defesa aderente.
			DDC	
		Cortegaça	GAL	Galgamentos e instabilidade da defesa aderente.
			DDC	
2008	Out	Cortegaça	DDC	Pontos de fragilidade na defesa aderente.
2009	Out	Esmoriz	GAL	Galgamentos no dia 07/10/2009, das 04h29 até às 09h45.
		Furadouro	GAL	Galgamentos no dia 07/10/2009, das 08h09 até às 19h50.
2009	Nov	Esmoriz	GAL	Galgamentos no dia 15/11/2009, das 14h59 até às 21h30.
2010	Jan	Esmoriz	GAL	Galgamentos no dia 12/01/2010, das 08h04 até às 13h30.
		Furadouro	GAL	Estragos na Avenida Marginal devido aos galgamentos.

Tabela B.1 (continuação) – Registo de eventos e ocorrências relacionados com a ação energética do mar (Pereira e Coelho, 2011; Cruz, 2015).

Evento		Tipo	Ocorrência
Data	Local		
2010	Fev	Maceda	Avanço do mar na mata.
2010	Fev	Furadouro	Desaparecimento de praticamente todo o areal em frente à Avenida Central. Danos provocados pela ação do mar.
2010	Out	Esmoriz	Galgamento.
		Furadouro	Galgamento na marginal.
2010	Nov	Esmoriz	Vagas de 6 a 7 metros, com ventos de noroeste. Marés vivas. Ondas inundaram durante a madrugada e tarde (preia-mar) o Bairro dos Pescadores.
		Furadouro	Vagas de 6 a 7 metros, com ventos de noroeste. Marés vivas. Ondas inundaram durante a madrugada e tarde (preia-mar) as ruas do Furadouro.
2012	Dez	Furadouro	Galgamentos a sul do esporão centro, causando a destruição do passadiço da marginal.
2013	Jan	Furadouro	Galgamentos frequentes da defesa aderente, com grande transporte de sedimentos para as estradas, principalmente na zona norte da Avenida Central. Destruição de envidraçados de alguns estabelecimentos.
		Furadouro	
2013	Fev	Furadouro	Acesso impedido em algumas ruas perto da marginal devido à ocorrência de galgamentos e projeção de gravilha e paralelos.

Tabela B.1 (continuação) – Registo de eventos e ocorrências relacionados com a ação energética do mar (Pereira e Coelho, 2011; Cruz, 2015).

Evento		Local	Tipo	Ocorrência
Data				
2013	Mar	Furadouro	GAL	Galgamentos a sul do esporão centro, causando a destruição do passadiço da marginal e a projeção de detritos para as ruas. Marginal com estrada bloqueada.
			DAM	
		Furadouro	DDC	Destruição parcial da superestrutura e patamar superior da obra aderente a sul do esporão centro.
		Furadouro	RLC	Galgamentos na zona central e sul da obra aderente. Transporte considerável de areia para a via pública, cerca de 30 cm de altura. Destruição do passadiço da marginal e projeção de paralelos para as ruas.
			GAL	
			DAM	
		Furadouro	GAL	Galgamentos frequentes causam inundações da marginal e de várias ruas adjacentes com cerca de 15 cm de altura de água constante. Danos em alguns estabelecimentos e viaturas.
			DAM	
		Furadouro	GAL	Galgamentos na marginal e inundações em estabelecimentos comerciais e habitações. Destruição dos muretes de proteção e dos passadiços da marginal.
			DAM	
DDC				
2013	Jun	Maceda	DAM	Muitos destroços na praia em plena época balnear.
2013	Set	Maceda	RLC DCD	Grande erosão na praia em plena época balnear.
2013	Nov	Maceda	RLC DDC	Destruição da raiz do esporão a norte e do remate a sul.
2014	Jan	Furadouro	GAL	Galgamentos com grande caudal e projeções de mais de 6 m de altura.
			DAM	
		Maceda	RLC	Agravamento do estado de destruição da raiz do esporão a norte e a sul. Recuo da posição da linha de costa.
			DDC	

Tabela B.1 (continuação) – Registo de eventos e ocorrências relacionados com a ação energética do mar (Pereira e Coelho, 2011; Cruz, 2015).

Evento		Tipo	Ocorrência	
Data	Local			
2014	Jan	Furadouro	GAL	Galgamentos frequentes. Inundação da marginal e das ruas adjacentes com cerca de 20 cm de altura de água. Destruição dos passadiços a norte.
			DAM	
		Furadouro	DCD	Destruição do remate a sul da obra de defesa aderente. Muitos destroços na zona sul, com grande erosão do cordão dunar.
			DDC	
		Furadouro	DDC	Rotura pontual da obra de defesa aderente, a norte do esporão sul.
Furadouro	RLC	Recuo de cerca de 5 metros da posição da linha de costa.		
2014	Fev	Furadouro	GAL	Galgamentos na marginal com grande caudal. Destruição completa de muretes e passadiços da zona pedonal. Danos em diversas viaturas, estabelecimentos comerciais, esplanadas e restaurantes. Inundações de ruas, afetando várias habitações. Grandes deslocamentos de blocos nas defesas aderentes, causando roturas pontuais.
			DAM	
			DDC	
			RLC	Galgamentos da defesa aderente. Rotura do lado a norte da raiz do esporão e grande erosão no remate a sul. Recuo considerável da posição da linha de costa, na zona do parque de campismo.
		Cortegaça	GAL	
			DCD	
			DDC	
Furadouro	GAL	Galgamentos frequentes.		
2014	Mar	Furadouro	GAL	Galgamentos frequentes. Agravamento da situação estrutural da superestrutura da obra aderente, com a rotura do murete e da zona pedonal adjacente devido a infraescavações. Deslocamentos de blocos do manto resistente da obra aderente a sul, com a ocorrência de duas roturas. Rotura do remate a norte da obra aderente a norte, devido a infraescavações. Inundação de vários estabelecimentos e habitações.
			DAM	
			DDC	

Tabela B.1 (continuação) – Registo de eventos e ocorrências relacionados com a ação energética do mar (Pereira e Coelho, 2011; Cruz, 2015).

Evento		Local	Tipo	Ocorrência
Data				
2014	Mar	Cortegaça	RLC	Recuo considerável da posição da linha de costa, na zona do parque de campismo.
			DCD	Paramento dunar apresenta grande declive e instabilidade, existindo perigo de deslizamento de terras.
		Furadouro	GAL	Galgamentos frequentes das obras aderentes. Inundação de vários estabelecimentos comerciais e habitações.
DAM				
		Furadouro	DDC	Várias roturas pontuais nas obras de defesa aderente.
2014	Out	Furadouro	GAL	Galgamentos na zona sul da marginal.
2015	Jan	Furadouro	GAL	Galgamentos na marginal.
2015	Fev	Furadouro	GAL	Galgamentos frequentes na marginal e da obra de defesa aderente a sul do esporão centro. Inundação das ruas.
			DAM	
2015	Abr	Furadouro	GAL	Galgamentos da obra de defesa aderente a sul do esporão centro.
2015	Set	Furadouro	GAL	Galgamentos da obra de defesa aderente a sul do esporão centro.
2015	Out	Furadouro	GAL	Galgamentos da obra de defesa aderente a sul do esporão centro.