

**Determinação de Faixas de Salvaguarda considerando
diferentes cenários de Subida do Nível Médio do Mar e
impactos associados: O Caso de estudo da Arriba da Bafureira**

Bruno Correia Carvalho de Aguiar

**Relatório de Estágio de Mestrado em Gestão do Território –
Área de Especialização em Deteção Remota e Sistemas de
Informação Geográfica**

Versão corrigida e melhorada após defesa pública

Setembro, 2023

**Determinação de Faixas de Salvaguarda considerando
diferentes cenários de Subida do Nível Médio do Mar e
impactos associados: O Caso de estudo da Arriba da Bafureira**

Bruno Correia Carvalho de Aguiar

**Relatório de Estágio de Mestrado em Gestão do Território –
Área de Especialização em Deteção Remota e Sistemas de
Informação Geográfica**

Versão corrigida e melhorada após defesa pública

Setembro, 2023

Relatório de Estágio apresentado para o cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão do Território especialização em Detecção Remota e Sistemas de Informação Geográfica, realizada sob a orientação científica da Professora Doutora Rossana Estanqueiro, do Professor Doutor Carlos Pereira da Silva e do Doutor Luís Pedro Almeida.

Declaro que este Relatório de Estágio é o resultado da minha investigação pessoal e independente. O seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto, nas notas e na bibliografia.

O candidato,

Lisboa, ____ de _____ de 2023

Declaro que este Relatório de Estágio se encontra em condições de ser apresentado a provas públicas:

A orientadora,

Lisboa, ____ de _____ de 2023

O coorientador

Lisboa, ____ de _____ de 2023

Agradecimentos

Todo o trabalho desenvolvido nos últimos meses, inclusive o presente relatório só foi possível com o apoio de algumas pessoas. Por isso, demonstro-lhes o meu sincero agradecimento:

Em primeiro queria expressar os meus agradecimentos aos meus Pais, pelos esforços empreendidos para que eu continuasse a investir na minha formação e por sempre me apoiarem nas minhas decisões.

Ao meu orientador na organização, ao Doutor Luís Pedro Almeida, agradeço a oportunidade que me deu de estagiar numa entidade como o CoLAB Atlantic +, onde a conjugação do mundo empresarial com o mundo da investigação torna-se um todo, na qual considero ter adquirido conhecimentos e ter desenvolvido competências na área da Gestão do Risco Costeiro. Quero salientar ainda, o facto da oportunidade que tive com este estágio em poder aprender com uma pessoa tão instruída e tão boa na partilha de conhecimentos, que sempre se preocupou em partilhar informação sobre o local e explicar o historial geomorfológico como também me apoiou na construção dos modelos necessários para a projecção de novos cenários. Agradeço todo o apoio prestado e a confiança demonstrada

Aos meus orientadores de estágio dentro do meio académico, à Professora Doutora Rossana Estanqueiro e ao Professor Doutor Carlos Pereira da Silva, por me terem aceitado como seu orientando e a todo o apoio que me prestaram, conselhos e disponibilidade para saídas de campo e reuniões.

E por último, mas não menos importante os meus amigos, que tanto gosto e apoio, entre os quais destaco o Julio Borba, o Dalton Esteves, o Carlos Lidon, a Andréia Correia, o Miguel Alves, a Tayna Puga, a Isabella Puga e o Diogo Martins. Foram pessoas que sempre me apoiaram e que mesmo estando longe dos mesmos sempre me proporcionaram momentos de felicidades que irei relembrar para sempre.

**DETERMINAÇÃO DE FAIXAS DE SALVAGUARDA CONSIDERANDO
DIFERENTES CENÁRIOS DE SUBIDA DO NÍVEL MÉDIO DO MAR E
IMPACTOS ASSOCIADOS: O CASO DE ESTUDO DA ARRIBA DA BAFUREIRA**

BRUNO CORREIA CARVALHO DE AGUIAR

Resumo

PALAVRAS-CHAVE: Cascais; Erosão Costeira; Ritmo de Recuo; Projeções para 2050 e 2100; Faixa de Salvaguarda

Este relatório resulta das atividades desenvolvidas durante um estágio realizado no Laboratório CoLAB +Atlantic entre Outubro de 2022 e Abril de 2023, , durante o qual se tentou recolher o máximo de informação possível sobre as condições fisiográficas e topográficas existentes na Arriba da Bafureira, de forma a compreender o tipo de instabilidades, caracterizando a evolução morfológica, para um período compreendido entre 1995 e 2021, incluindo a quantificação das áreas horizontais da crista perdidas, o respetivo ritmo de recuo e, ainda a projeção das faixas de salvaguarda para os anos de 2050 e 2100 e a identificação dos elementos expostos.

Posto isto é importante salientar que as arribas possuem instabilidade e um risco associado que, com o desenvolvimento das comunidades junto a estas estruturas, não só aumenta, como também todos os parâmetros acoplados ao fator risco (exposição e vulnerabilidade). A arriba da Bafureira (Concelho de Cascais) foi identificada, através do Plano Nacional de Ação Litoral XXI como de prioridade de intervenção “*Elevada*” para a sua estabilização.

Os resultados revelam que este local apresenta um ritmo de recuo de cerca de 0,10 m/ano, com um deslocamento horizontal médio de 2.9 m colocando diversas infraestruturas em risco caso este ritmo se mantenha constante.

**DETERMINATION OF SAFEGUARD RANGES CONSIDERING DIFFERENT
SCENARIOS OF SEA LEVEL RISE AND ASSOCIATED IMPACTS: A CASE
STUDY OF THE BAFUREIRA CLIFF**

BRUNO CORREIA CARVALHO DE AGUIAR

Abstract

KEYWORDS: Cascais; Coastal Erosion; Rate of change; Projections for 2050 and 2100; Safeguarding Coastline

This report is the result of activities carried out during an internship at the Atlantic CoLAB+ Laboratory between October 2022 and April 2023. During this period, efforts were made to gather as much information as possible about the physiographic and topographic conditions existing at the Bafureira Cliff, to understand the type of instabilities characterizing its morphological evolution for a period between 1995 and 2021. This includes quantifying the lost horizontal crest areas, their respective rate of retreat, projecting safeguard ranges for the years 2050 and 2100, and identifying exposed elements.

Having said that, it is important to emphasize that the cliffs have instability and an associated risk that, with the development of communities near these structures, not only increases but also all the parameters linked to the risk factor (exposure and vulnerability). The Bafureira cliff (Cascais Municipality) has been identified, through the National Coastal Action Plan XXI, as a *'High'* priority for stabilization intervention.

The results reveal that this location is experiencing a retreat rate of about 0.10 meters per year, with an average horizontal displacement of 2.9 meters, putting several infrastructures at risk if this rate remains constant.

Índice

Agradecimentos.....	i
Resumo	ii
Abstract	iii
Índice de Figuras.....	vi
Índice de Tabelas	viii
Lista de Abreviaturas	ix
Introdução	1
Capítulo I – Enquadramento Empresarial e Temático	4
1.1. Caracterização da Instituição onde se realizou o Estágio.....	4
1.2. Questões Técnicas que surgiram durante o Estágio.....	5
1.3. As Zonas Costeiras	7
1.4. Morfologia de Arribas e Instabilidades.....	9
1.4.1. Tipologia de Arribas e Instabilidades.....	10
1.5. As Alterações Climáticas	13
1.5.1. A Subida do Nível Médio do Mar.....	15
Capítulo II – Localização e Características da Praia da Bafureira	17
2.1. Localização da Área de Estudo.....	17
2.1.1. Condições Fisiográficas da Praia da Bafureira.....	19
2.1.2. Variações Topográficas da arriba entre 2014 e 2021.....	23
Capítulo III – Fontes, Material e Métodos.....	25
3.1. Fontes de Informação.....	25
3.2. Materiais.....	27
3.3. Metodologia	27
3.3.1. Análise Histórica e Tendência Evolutiva da Crista da Arriba.....	27
3.3.2. Modelo “ <i>Scape</i> ” e projeção da posição da crista da arriba	32

3.3.3. Determinação da tendência evolutiva da Subida do Nível Médio do Mar com dados de altimetria por satélite	35
3.3.4. Projeção e determinação da faixa de salvaguarda.....	39
Capítulo IV – Resultados e Discussão	41
4.1. Evolução da Crista da Arriba entre 1995 e 2021	41
4.1.1. Quantificação do deslocamento horizontal	41
4.1.2. Ritmo de variação da crista da arriba.....	42
4.2. Projeção da posição da crista da arriba para 2050 e 2100	44
4.3. Projeção das faixas de salvaguarda e determinação dos elementos expostos ..	46
4.3.1. Instrumentos de gestão territorial para o estabelecimento das faixas de salvaguarda: A Adequabilidade das Faixas.....	48
Referências Bibliográficas.....	54

Índice de Figuras

Figura 1 - Enquadramento geográfico da praia da Bafureira.....	2
Figura 2 - Governação do CoLAB +Atlantic.....	4
Figura 3 - Sistemas litorais distintos: a) costa alta e rochosa (Benagil, Lagos); b) costa baixa e arenosa com sistema dunar (Quiaios); c) litoral de arriba em Portugal Continental.	8
Figura 4 - Componentes de uma arriba e respetiva área superior (Praia da Bafureira, Cascais -29/03/2023).....	9
Figura 5 - Representação Esquemática dos três estágios principais de uma arriba (modificado de Emery & Kuhn (1982).	11
Figura 6 - Fatores que influenciam a erosão das arribas marinhas..	11
Figura 7 - Enquadramento Geográfico do concelho de Cascais e respetiva área de estudo.	18
Figura 8 – Altura da Arriba da Bafureira e respetivas curvas de nível.	19
Figura 9 – Condições fisiográficas da praia da Bafureira.	20
Figura 10 – Enquadramento geomorfológico da arriba da Bafureira: θ – filão de rocha basáltica, C1Ro – Formação de Rodízio (Arenitos e conglomerados), C2Cn – Formação de Caneças (rochas calcárias e areníticas); polígono a vermelho determina a face da arriba.....	21
Figura 11 – Imagem frontal da arriba da Bafureira, destacando: os três filões verticais (linha pontilhada em verde); o muro costeiro a poente: a formação de sapas no sopé da arriba; a cavidade na base da arriba e a intervenção com betão projetado nos limites da arriba com o restaurante existente, a nascente.	22
Figura 12 – Localização das ocorrências inventariadas entre os anos de 2010 e 2018.	24
Figura 13 – Etapas envolvidas no processamento e análise da evolução histórica da crista da arriba.....	28
Figura 14 – Informação utilizada para análise da evolução da crista da arriba: linha de base (<i>baseline</i>), definida como o limite externo do parque de estacionamento; 15 linhas com a posição da crista da arriba entre 1995 e 2021; e 190 transectos, ao longo dos quais foram realizadas as análises estatísticas com a ferramenta <i>DSAS</i> [®]	30
Figura 15 – Projeção da posição da crista da arriba para o ano de 2050 tendo em conta o ritmo de recuo.	33

Figura 16 – Erro associado ao intervalo de confiança do ritmo de recuo compreendido entre os anos de 1995 e 2021.	34
Figura 17 - Página do <i>Copernicus Marine Service</i> para o <i>download</i> de dados de altimetria por satélite, coma área delimitada para este estudo de caso e coordenadas.	36
Figura 18 – Determinação de um ponto de interesse para representação gráfica das anomalias do nível médio do mar e respetiva taxa de evolução.	37
Figura 19 – Esquerda: Variação das anomalias do nível médio do mar entre 1995 e 2021. Direita: Taxa de evolução do nível médio do mar entre 1995-2021.....	37
Figura 20 – Projeções globais de Subida do nível médio do mar de acordo com os RCP's 4.5 e 8.5..	38
Figura 21 – Projeção da crista da arriba através de pontos para 2050 e 2100 através do MatLab.....	39
Figura 22 – Projeções da crista da arriba para os anos de 2050 e 2100, utilizando apenas o ritmo de recuo como variável (linha vermelha) e o modelo <i>sape</i> (transectos a azul).40	
Figura 23 – Setores da arriba da Bafureira com maior instabilidade evolutiva (círculos a vermelho).	41
Figura 24 – Resultados do recuo horizontal absoluto da crista da arriba da Bafureira entre 1995 e 2021.	42
Figura 25 – Resultados do ritmo de recuo horizontal da crista da arriba da Bafureira.	43
Figura 26 – Projeção futura das várias posições da crista da arriba para 2050, tendo em conta os diferentes cenários.	44
Figura 27 - Projeção futura das várias posições da crista da arriba para 2100, tendo em conta os diferentes cenários.	45
Figura 28 - Faixa de Salvaguarda nos três cenários para o horizonte temporal de 2100, tendo em conta o Uso e Ocupação do solo do Plano Diretor Municipal de Cascais.	47
Figura 29 – Faixa de Salvaguarda nos três cenários para o horizonte temporal de 2050, tendo em conta o Uso e Ocupação do solo do Plano Diretor Municipal de Cascais.	47
Figura 30 – Espacialização do tipo de ocupação do solo afetado, mediante as classes do PDM de Cascais, tendo por base o modelo <i>Scape</i>	48
Figura 31 – Espacialização do regime de salvaguarda aos riscos costeiros em litoral de arriba, tendo em conta o uso e ocupação do solo do PDM de Cascais.	49
Figura 32 - Espacialização do tipo de ocupação do solo afetado, mediante as classes do PDM de Cascais, tendo por base os critérios de delimitação da Agência Portuguesa do Ambiente.	50

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Desafios Estratégicos do CoLAB Atlantic +.	5
Tabela 2 – Classificação movimento de vertentes.....	12
Tabela 3 – Síntese das Variações do nível do mar de acordo com diferentes estudos. 16	
Tabela 4 – Inventário temporal e espacial de movimento de massa em vertente na arriba da Bafureira, ocorridos naturalmente e provocados de 2010 a 2021. Também consta na tabela as medidas legais de proibição do uso da praia publicadas no mesmo período.23	
Tabela 5 – Fontes de Base Cartográfica utilizadas para a elaboração do relatório.....	26
Tabela 6 – Materiais utilizados para a obtenção dos resultados.....	27
Tabela 7 – Ortofotomapas utilizados para análise da crista da arriba com a respetiva indicação do tamanho do pixel e erro associado à georreferenciação.	28
Tabela 8 – Síntese dos parâmetros considerados para aplicação da extensão <i>DSAS</i> [®] . 29	
Tabela 9 – Metadados do Produto utilizado para determinação da taxa de SNMM. ...	35
Tabela 10 – Projeção da subida do nível médio do mar (metros) tendo em conta os RCP's de acordo com o IPCC.....	38

Lista de Abreviaturas

AEA – Agência Europeia do Ambiente

ANI – Agência Nacional de Inovação

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

CCP – Código de Contratos Públicos

CM-Cascais – Câmara Municipal de Cascais

DGT – Direção Geral do Território

DSAS® - *Digital Shoreline Analysis System®*

ENAAC 2020 – Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas 2020

GEE – Gases Efeito de Estufa

IPPC – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

NSM – *Net Shoreline Movement*

PAAACC - Plano de Ação para Adaptação às Alterações Climáticas de Cascais

PDM – Plano Diretor Municipal

POC-ACE – Programa da Orla Costeira Alcobaça-Cabo Espichel

POOC Cidadela-Forte São Julião da Barra – Plano de Ordenamento da Orla Costeira Cidadela-Forte São Julião da Barra

RCP – *Representative Concentration Pathway*

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

SNMM – Subida do Nível Médio do Mar

WCI – *Confidence interval of weighted linear regression*

WLR – *Weighted Linear Regression*

Introdução

O presente relatório foi desenvolvido no âmbito da componente não letiva em conformidade com o regulamento do Mestrado de Gestão do Território especialização em Deteção Remota e Sistemas de Informação Geográfica, da Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, da Universidade Nova de Lisboa, constituindo o requisito final necessário para a finalização do 2º ano de mestrado.

O estágio foi orientado pela Professora Doutora Rossana Estanqueiro, coorientado pelo Professor Doutor Carlos Pereira da Silva ambos da Faculdade de Ciências Sociais e Humanas e pelo Doutor Luís Pedro Almeida da CoLAB +Atlantic. Este teve a duração de 7 meses, tendo início a 10 de outubro de 2022 e o fim a 10 de abril de 2023.

Através da minha licenciatura em Gestão marinha e Costeira e de uma unidade curricular do Mestrado em Gestão do Território em específico - SIG e Ordenamento do Litoral, adquiri uma enorme vontade em estudar e investigar cada vez mais sobre os ecossistemas marinhos e costeiros e compreender como é que o homem pode gerir todo o território litoral em busca de um equilíbrio. Assim sendo, foi-me sugerida esta instituição para realizar um estágio que podia enriquecer ainda mais a minha vontade em compreender estes ecossistemas, como também dar-me uma perspetiva técnico-científica em ambiente empresarial. Demonstrando como a experiência obtida através de trabalho de campo é o método mais eficaz para aquisição de novos conhecimentos e desenvolvimento de competências.

Porém, todo o trabalho de campo deve ser reconciliado de forma equilibrada com a pesquisa de documentos que possam fomentar o desenvolvimento de novas competências, bem como o tratamento dos respetivos dados obtidos (Fontinha, 2017).

Posto isto, são objetivos deste trabalho a monitorização da praia da Bafureira (Fig. 1), mais propriamente a vertente rochosa que se encontra nesta praia e demonstrar a relevância que um acompanhamento regular do litoral, aliado ao uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), beneficiando o processo de tomada de decisão e acrescentando precisão metodológica a toda gestão do litoral/espço público.



Figura 1 - Enquadramento geográfico da praia da Bafureira.

Pretende-se igualmente com este relatório descrever as metodologias do trabalho em curso, desenvolvido pelo CoLAB +Atlantic em 2021, que surgiu através do procedimento de Consulta Prévia adotado nos termos da alínea c) do n.º 1 do artigo 20º do Código do Contratos Públicos (CCP), especificamente no Proc.º 72/DCOP/2021 emitido pela Câmara Municipal de Cascais, que teve como objetivo principal o estudo prévio de monitorização da arriba da Bafureira.

Este trabalho, no qual este relatório se integra, foi resultado de um serviço chamado 'eye-coast', desenvolvido pelo CoLAB +Atlantic com a finalidade de apoiar as entidades na tomada de decisão no que toca aos riscos costeiros, prevenir acidentes decorrentes de perigos costeiros e assegurar sistemas litorais mais seguros.

Isso é feito por meio da tomada de decisões precisas de gestão costeira, baseadas na ciência, promovendo um aumento dos conhecimentos para uma gestão eficiente do risco costeiro e também apoiando os municípios na implementação do XXI Plano de Ação do Litoral Português.

Assim sendo, para fazer face aos objetivos supracitados, a metodologia adotada para este trabalho passa por consolidar os conhecimentos e competências adquiridos em contexto académico, através do contacto direto com este tipo de entidades, como também a compreensão e execução de trabalhos práticos focados na proteção costeira/gestão do risco, desenvolvendo sempre medidas preventivas contra os diversos riscos costeiros (erosão costeira, derrocadas/desabamentos, ou mesmo destruição dos habitats, etc.).

No que concerne à estrutura do relatório, este está estruturado em 6 partes:

No primeiro capítulo é apresentado uma descrição da entidade onde decorreu o estágio; seguido de um enquadramento teórico, de acordo com a temática abordada durante o estágio, sendo abordados conceitos teóricos considerados relevantes para as atividades desenvolvidas. Nesta parte do relatório pretende-se ainda destacar o CoLAB +Atlantic como associação sem fins lucrativos e a sua iniciativa em contexto empresarial e de investigação e abordar alguns temas pertinentes na gestão do litoral.

O segundo capítulo tem como objetivo a caracterização do local geográfico onde foram desenvolvidos os trabalhos executados em estágio, primeiramente no contexto geográfico do Município de Cascais e, mais concretamente, na Praia da Bafureira.

O terceiro capítulo é dedicado à metodologia, no qual são destacadas e enunciadas as formas de aquisição, exploração, aplicação de métodos e técnicas de tratamento e apuramento de dados em SIG para obtenção de resultados. Além disso, é discutido como esses métodos contribuíram para a realização deste relatório ao longo do tempo.

No quarto capítulo, são apresentados os resultados, que se referem à dinâmica da crista da arriba, tendo em conta o seu recuo horizontal e o seu ritmo de recuo ao longo dos anos (1995-2021), a projeção da crista da arriba, para 2050 e 2100, tendo em conta diversos cenários que tiveram por base um modelo para arribas que recuam por movimentos de massa impulsionados pela erosão da base da arriba e ainda a quantificação das áreas abrangidas pela faixas de salvaguarda projetadas tendo por base esse modelo como também os critérios definidos pela Agência Portuguesa do Ambiente.

Por fim, as conclusões finais retiradas do estudo efetuado e às considerações finais do estágio realizado e como este funcionou.

Capítulo I – Enquadramento Empresarial e Temático

1.1. Caracterização da Instituição onde se realizou o Estágio

O estágio foi efetuado na entidade privada CoLAB +Atlantic, um Laboratório Colaborativo Português materializado através de uma associação sem fins lucrativos. Este Laboratório Colaborativo faz parte da Agência Nacional de Inovação (ANI) que promove o financiamento de laboratórios colaborativos pela Europa. Existem 35 laboratórios em Portugal, como o CoLAB +Atlantic que se dedicam à produção e disseminação do conhecimento e interligam o mundo empresarial ao mundo científico. O CoLAB +Atlantic tem instalações na zona de Alcântara, mais propriamente no edifício Diogo Cão, Doca de Alcântara Norte.

O CoLAB +Atlantic possui uma equipa multidisciplinar de profissionais e empresas como a *WAVEC – Offshore Renewables*, entre outras, que através do compartilhamento de informação e recursos promovem o desenvolvimento científico em diversos ramos ligados ao oceano, tais como: economia azul, ciências do mar, alterações climáticas, comunicação de ciência e literacia do oceano (CoLAB Atlantic+, 2023a). A estrutura do CoLAB +Atlantic, assenta numa estrutura hierarquizada com cooperação de diferentes entidades ligadas à inovação tecnológica e a diversas áreas da engenharia (CoLAB Atlantic+, 2023a) (Fig. 2).

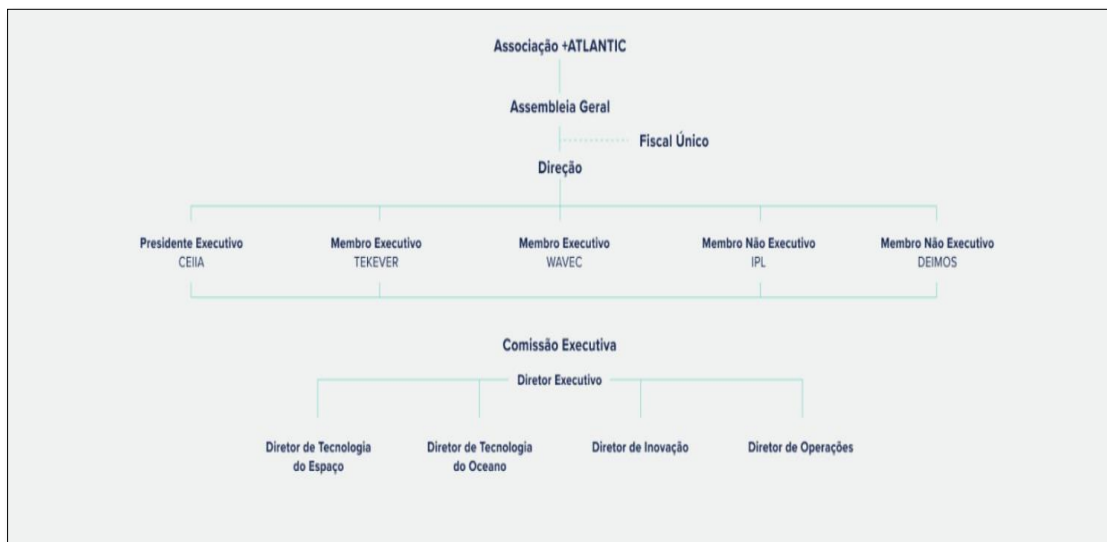


Figura 2 - Governação do CoLAB +Atlantic. **Fonte:** CoLAB Atlantic+ (2023a).

Segundo CoLAB Atlantic+ (2023a) faz parte da sua visão “transformar dados do oceano em produtos de informação com valor acrescentado”. Como entidade privada o CoLAB +Atlantic detém determinados desafios estratégicos como mostra a tabela 1.

Tabela 1 – Desafios Estratégicos do CoLAB Atlantic +. **Fonte:** Adaptado de CoLAB Atlantic+, (2023a).

<i>Economia Azul</i>	<i>Zonas Costeiras</i>	<i>Gestão do Atlântico</i>
Assegurar a sustentabilidade de alimentos provenientes do mar	Melhorar a resposta às alterações climáticas em cidades costeiras	Melhorar o conhecimento sobre as interfaces oceano-terra-atmosfera
Otimizar o transporte marítimo e as atividades portuárias	Monitorizar e modelar serviços ecossistémicos e a saúde	Apoiar soluções para um <i>Digital Twin</i> do oceano

Esta é uma empresa que detém diversos projetos ligados à modelação de dados, à divulgação científica e ao processamento de dados, de forma a criar uma “ponte” entre o mundo da investigação e o empresarial (público ou privado) e ainda entre municípios que pretendam tomar melhores decisões para o seu território. Isto é o caso da Câmara Municipal de Cascais que através do procedimento de estudo prévio, que foi realizado pelo CoLAB +Atlantic em 2021, identificou situações de instabilidade persistente, na arriba da Bafureira, principalmente em três setores.

1.2. Questões Técnicas que surgiram durante o Estágio

A integração no CoLAB +Atlantic foi bastante positiva. Assim que foi apresentada a ideia de estágio e o projeto a integrar, em reunião com os orientadores académicos e o possível orientador da instituição de acolhimento Doutor Luís Pedro Almeida, foram fornecidos diversos documentos (relatórios, apresentações, etc.) referentes ao estudo prévio realizado no ano de 2021, como também os diversos dados em formato *shapefile*, de forma a proceder-se à sua georreferenciação, desenvolvidos pelo próprio Doutor Luís Pedro Almeida e alguns elementos do CoLAB +Atlantic.

Para além da integração na equipa foi muito importante todas as reuniões de acompanhamento com o Doutor Luís Pedro Almeida ao longo de todo o trabalho realizado, permitindo que novas ideias fossem surgindo, e o trabalho fosse aprimorado à medida que a monitorização da praia da Bafureira foi sendo feita. Tendo em conta que uma monitorização da arriba da Bafureira já tinha sido feita no ano 2021, foi necessário incrementar novos critérios que de alguma forma fossem complementar este estudo, como a Subida do Nível Médio do Mar (SNMM) ou as alterações climáticas no estudo de litorais rochoso. A liberdade para poder explorar novos critérios e novas visões sobre este projeto foi fulcral para a concretização deste relatório, pois sempre foi demonstrado uma enorme receptividade a novas formas de explorar este tema.

Assim, rapidamente foi-se ganhando uma autonomia para a concretização das diversas tarefas propostas, fossem estas de base teórica (ex: análise do Programa da Orla Costeira Alcobaça-Capo Espichel (POC-ACE), Plano de Ação do Litoral XXI, etc.) ou de uma base mais prática, como por exemplo a elaboração de modelos numéricos que incorporassem as variáveis estatísticas concebidas pelo *plug-in DSAS*[®] adaptado para o *software ArcMap 10.8*.

Com a oportunidade de poder estagiar no CoLAB +Atlantic durante 7 meses é perceptível que em contexto empresarial o trabalho desenvolvido nunca é feito apenas por uma pessoa e este não é realizado utilizando apenas uma ferramenta, ou seja, é necessário deter uma formação bastante alargada de conhecimentos científicos, por mais básicos que sejam e, possuir uma vontade em querer aprender novas ferramentas de trabalho que permitam atingir os objetivos pretendidos.

Em suma, este relatório apesar de ter uma base de investigação/científica teve como objetivo auxiliar diretamente a CM-Cascais na tomada de decisão, referente à praia da Bafureira e a todas as infraestruturas que estão neste local, ou seja, este relatório permite através de uma cartografia de risco com uma determinada incerteza associada, demonstrar como esta praia está exposta a diversos riscos costeiros pondo em perigo pessoas e infraestruturas.

1.3. As Zonas Costeiras

As zonas costeiras apresentam uma ampla diversidade de serviços extremamente importantes para a humanidade a nível social, económico e ambiental. De acordo com o European Environment Agency (2013), cerca de 40% (502 milhões de habitantes) da população da UE vive a menos de 50 km do mar e quase 40 % do PIB é gerado nestas regiões. Contudo, o aumento significativo da densidade populacional e da oferta de serviços nestas zonas têm vindo a ser prejudicial para o ambiente, acentuando o nível de poluição e a erosão excessiva de determinadas áreas. Ao considerar igualmente as alterações climáticas, acrescentam-se ainda a Subida do Nível Médio do Mar (SNMM), o aumento de eventos extremos, inundações e a própria erosão costeira, que por sua vez tornam as zonas litorais mais vulneráveis a potenciais perigos e riscos. Fatores como a litoralização, a sobrecarga dos serviços ecossistémicos e as alterações climáticas põem em causa o sistema litoral, que por si só já consiste num sistema complexo e bastante dinâmico.

Segundo Alveirinho Dias, J. (2004) os sistemas litorais são definidos como interface entre a geosfera, a hidrosfera, a atmosfera e a biosfera. Sendo que esses sistemas podem estar agrupados em diversas formas, seja em acumulação de sedimentos (dunas, restingas ou praias) ou em litorais rochosos (arriba, plataforma de abrasão, ilhéus). É perceptível como o litoral está em constante mudança seja através de processos marinhos, eólicos ou ainda hídricos continentais, e que a frequência dos mesmo ou ainda a sua magnitude pode ser amplificada pelo homem, com a sua ocupação excessiva, a construção de infraestruturas em sistemas de praia-duna ou em sistemas rochosos (Ramos-Pereira, Ana., 2004).

Esta é uma situação que é retratada em Portugal, em que de acordo com ANPC (2010) *“a intensa concentração demográfica e de atividades económicas, os fluxos turísticos sazonais, a ocupação desordenada do território, o desrespeito pela capacidade de carga dos locais (...)”* (pp. 108), levam a que haja um aumento da perigosidade associada aos fenómenos extremos e aos riscos naturais, que por consequência faz aumentar a vulnerabilidade dos bens e pessoas expostos a estas situações.

As situações acima referidas devem-se essencialmente á forma como a gestão costeira tem sido realizada em Portugal e como os processos de cooperação e tomada de decisão têm sido muitas vezes negligenciados. A existência de inúmeras instituições com diversos tipos de jurisdições leva a que haja “mal-entendidos” e que por vezes os planos ou programas delimitados apenas tenham uma componente teórica, sem nenhuma concretização prática, devido essencialmente às burocracias criadas (Ramos-Pereira, Ana., 2008). Este cenário do ordenamento dos sistemas litorais, tem conduzido a inúmeros problemas/conflitos, principalmente nos sistemas baixos e arenosos, como os de praia ou de sapal (ex: Ria de Aveiro ou Ria Formosa). Porém em Portugal (Figura 1c) dos 835km de costa, mais de metade, cerca de 443km (53%) apresentam uma morfologia rochosa, ou seja, um litoral constituído por arribas (Marques, 2009).



Figura 3 - Sistemas litorais distintos: **a)** costa alta e rochosa (Benagil, Lagos); **b)** costa baixa e arenosa com sistema dunar (Quiaios); **c)** litoral de arriba em Portugal Continental. **Fonte:** **a)** e **b)** Fotografia do autor; **c)** DGT., (2023).

Assim sendo é necessário compreender este tipo de litoral e de que forma as arribas sem a devida monitorização podem levar a determinados riscos.

1.4. Morfologia de Arribas e Instabilidades

A morfologia deste tipo de costa é muito variável, e devem ser contabilizadas as diversas características presentes nestes ecossistemas, como a sapa, na qual essa variação se deve essencialmente à ação direta da água do mar e ao espraio da onda na base, formando uma configuração côncava (zona cavada) na base da arriba, que demonstra erosão direta. Nesses ecossistemas, observa-se também a praia subjacente, que por vezes é resultado do próprio desmantelamento da arriba, essencialmente pela erosão da própria estrutura em eventos extremos. É importante destacar o perfil morfológico desta estrutura (Fig. 4), que por sua vez, depende da natureza das rochas que a constituem, da morfologia e da intensidade e frequência com que atuam os agentes externos (Teixeira, 2009). Por fim, tem-se a plataforma de abrasão, cuja visualização só é possível quando o mar se encontra distante da falésia. Dessa forma, tem-se a indicação de que a arriba já esteve na posição dessa plataforma de abrasão e foi sendo escavada, acabando por cair.



Figura 4 - Componentes de uma arriba e respetiva área superior (Praia da Bafureira, Cascais -29/03/2023).

A parte superior da arriba, em que se verifica a transição da face da arriba para a parte superior, mais plana, ainda não modelada pela evolução da vertente costeira, designa-se por crista da arriba (Fig. 4). A base da arriba define-se, frequentemente, por uma zona de escavação provocada pela atuação das ondas e é a evolução progressiva desta base que retira sustentação à parte subjacente da arriba, acabando esta por cair, o que vai originar o recuo na direção ao continente, da face da arriba.

1.4.1. Tipologia de Arribas e Instabilidades

As arribas são estruturas naturais que adquirem diferentes formas ao longo do tempo. Esta evolução geomorfológica deve-se aos efeitos erosivos e a fenómenos de instabilidade a que se encontram sujeitas. Assim, a sua classificação pode ser feita de acordo com a atuação de agentes externos.

Nas arribas costeiras a atuação dos processos marinhos é dominante, porém os processos subaéreos ou biológicos também são muito importantes. São denominadas de arribas ativas, as que são maioritariamente influenciadas por processos marinhos (Fig. 5). É a conjugação destes processos que, interagindo com as camadas mais resistentes e com as superfícies de fraqueza estrutural, que definem a forma do perfil da arriba. Quando a atuação dos processos marinhos é muito superior à dos processos subaéreos, o perfil da arriba apresenta tendência para a verticalidade e os ângulos correspondentes à crista e à base tendem a ser retos. À medida que os processos subaéreos vão adquirindo importância crescente relativamente aos processos marinhos, o perfil resultante apresenta tendência para ser mais suave, com menor pendor e com ângulos obtusos na base e na crista da arriba. Quando os processos marinhos deixam de atuar na base da arriba, o perfil desta modifica-se, os materiais provenientes de processos subaéreos sobre a arriba deixam de ser retirados pela agitação marítima e acumulam-se junto à base, constituindo um talude. A arriba marinha designa-se por arriba inativa (Fig. 5) (Anexo A - Figura A1. 1).

Se a arriba continua, durante muito tempo, sem atuação dos processos marinhos, os processos subaéreos vão erodindo a sua parte superior e depositando os materiais junto à base, onde se vai desenvolver um depósito de sopé. Desta forma a arriba passa-se a designar por arriba fóssil (Fig. 5).

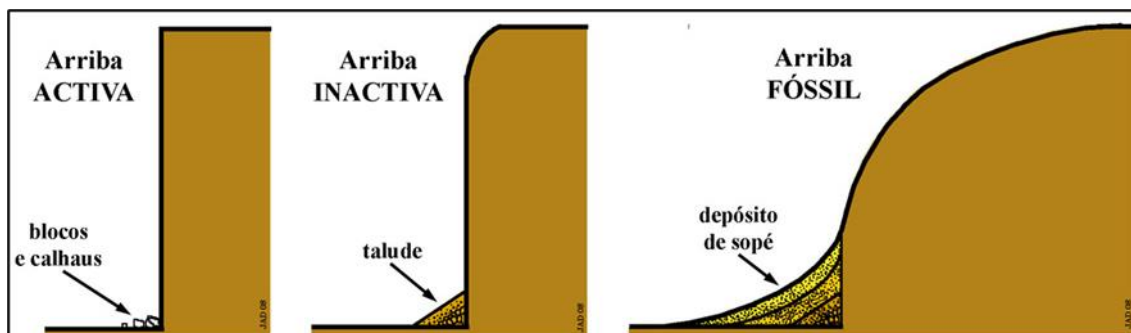


Figura 5 - Representação Esquemática dos três estágios principais de uma arriba (modificado de Emery & Kuhn (1982). Fonte: APRH (2007).

Apesar destes processos serem os que influenciam mais o desenvolvimento das arribas o estudo do seu recuo/evolução não é simples. Estas estruturas geomorfológicas para além de sofrerem com fatores marinhos ou subaéreos, podem ainda ser afetadas por fatores biológicos, com particular ênfase nos antropozoicos (Dias, 1988) (Fig. 6).

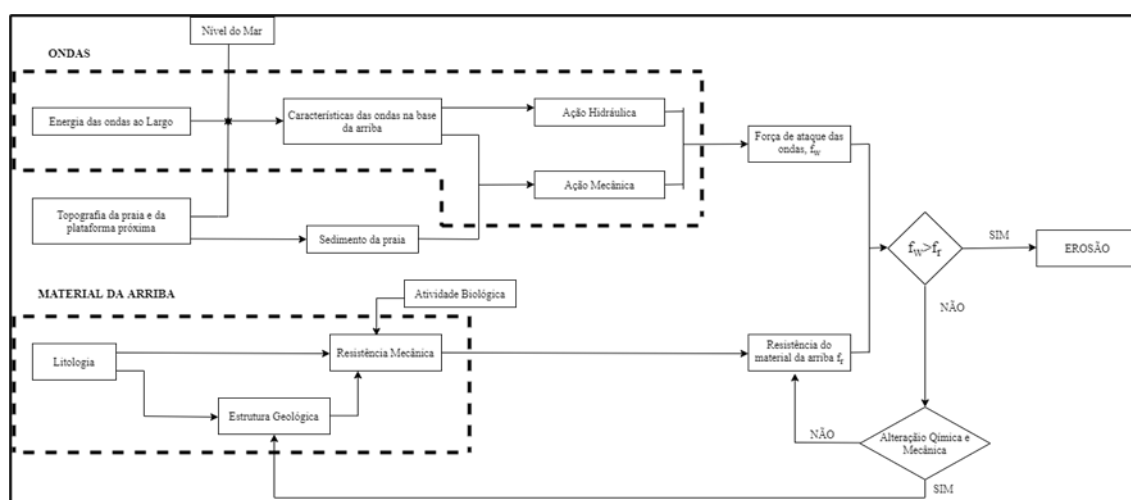


Figura 6 - Fatores que influenciam a erosão das arribas marinhas. Fonte: Adaptado de Dias, João. M. A. (1988).

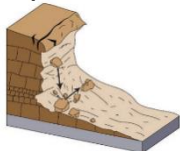

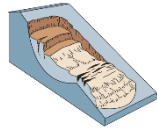
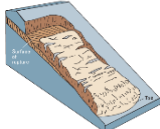
Assim, as arribas podem ser caracterizadas de diversas formas de acordo com a sua morfologia, tendo em conta os diversos parâmetros como a homogeneidade litológica, o tipo de materiais ou mesmo pelo tipo de perfil da face da arriba. Todos estes fatores contribuem para que o recuo destes sistemas ocorra sob a forma de diferentes tipos de movimentos de massa, que por sua vez, são esporádicos e imprevisíveis, tornando assim difícil a sua observação, medição e monitorização (Del Río & Gracia, 2009).

Os movimentos de massa ocorrem em diferentes tipos: rotacionais, translacionais e deslizamentos de terras (Violante, 2009), sendo que estes implicam a mobilização de

volumes variáveis de material que vão desde pequenos blocos decimétricos a milhares de metros cúbicos.

Em grande parte da litologia, o aumento do declive proporcionado pela erosão na base, como também a falta de sustentação/suporte na base, provocada pela energia das ondas, propicia a ocorrência de movimentos de massa das vertentes. Estes estão dependentes do tipo de rocha e da respetiva estrutura, bem como o clima que pode facilitar ou não certos tipos de meteorização (química nos climas tropicais, mecânica nos climas frios e áridos). Desta forma, os movimentos translacionais, caracterizam-se como movimentos verticais, ou seja, significa a queda de um bloco ou então queda de toda a arriba que está sob uma sapa. Os movimentos rotacionais, devem-se essencialmente a uma maior erosão da sapa na base sendo que o bloco acaba por cair para a frente. Estes caracterizam-se por serem pequenos movimentos de massa com elevada frequência, ou seja, acontece muitas vezes ter-se pequenos blocos a caírem ao longo do ano. Contudo dentro dos movimentos rotacionais existem ainda eventos de grande dimensão com baixa frequência, por exemplo o desmoronamento de toda uma arriba (Tab. 2).

Tabela 2 – Classificação movimento de vertentes. **Fonte:** Highland & Bobrowsky,(2008); Sunamura,(1992).

TIPO DE MOVIMENTO	TIPO DE MATERIAL			DESCRIÇÃO
	Rocha	Grosseiro	Fino	
Queda/Desabamento (<i>fall</i>) 	Queda de Blocos	Queda de Detritos	Queda de Terras	Desprendimento de solo ou rocha, que por ação da gravidade, move os materiais em queda livre ou rolamento
Tombamento (<i>topple</i>) 	Tombamento de blocos	Tombamento de detritos	Tombamento de terras	Rotação do material de um ponto situado abaixo do seu centro de gravidade.
Deslizamento (<i>slide</i>)  Rotacional  Translacional	Deslizamento do material rochoso	Deslizamento de detritos	Deslizamento de terras	<p>O material desloca-se ao longo da superfície de rotura.</p> <p>O material desloca-se ao longo de uma superfície relativamente plana.</p>

Para além de serem identificados os perigos associados à dimensão que estes volumes de material possuem, os seus respetivos movimentos de massa têm a agravante de serem imprevisíveis e de carácter instantâneo, impossibilitando a sua previsão a curto prazo. É fulcral que haja uma monitorização como também o registo de indícios introdutórios da iminência de um movimento de massa, como a identificação de fraquezas, a fratura de rocha, a queda de pequenos blocos ou o estalar de raízes (Bird., (1990) cit. em (Aleixo Pinto & Vinhas, 2011)). Posto isto, a monitorização é importante para que se possa acompanhar as tendências evolutivas destes locais, como também identificar e priorizar intervenções necessários que possam vir a preservar e valorizar todo o sistema.

De acordo com a (APA, ARH Norte, ARH Centro, ARH Tejo e Oeste e ARH Algarve, 2017) *“A monitorização fornece a base técnica e científica sólida que é fundamental para o planeamento e gestão costeira, designadamente para os novos Programas da Orla Costeira e para a determinação das intervenções de proteção/defesa tendentes a mitigar as situações de risco para pessoas e bens, contribuindo para uma maior racionalidade e sustentabilidade das opções tomadas, a par com a otimização dos recursos humanos e financeiros.”* (p. 15).

1.5. As Alterações Climáticas

Para além dos fatores acima enunciados promotores de instabilidades, como é o caso das ondas que por consequência levam à erosão costeira, existem outros que devem ser contabilizados quando se pretender elaborar uma cartografia de risco a médio/longo prazo, que neste caso são as alterações climáticas, mas mais especificamente a SNMM.

De acordo com o IPCC (2014) os cenários mais recentes apontam para um aumento da temperatura médio global entre os 0,3º C e os 0,7º C no período de 2016-2035 e 0,3º C – 4,8º C para o período de 2081-2100, levando a que haja uma aproximação da temperatura média global próxima dos 1,5º C, que por consequente irá afetar os sistemas biofísicos e humanos (Anexo A - Figura A1. 2). Desta maneira é evidente que as alterações climáticas são um fenómeno do presente e devem-se essencialmente a um aumento dos Gases com Efeito de Estufa (GEE), resultantes de atividade antrópica. Estes gases têm contribuído significativamente para um aumento da temperatura média do

ar e dos oceanos, que por consequência leva a um degelo generalizado das calotes polares e a um aumento do nível médio dos oceanos, pondo em perigo diversas localidades em termos globais e regionais (IPCC, 2013).

Deste modo, é possível que as emissões antrópicas de GEE continuem a aumentar levando consequentemente a um aumento de outros fenómenos, tornando imperativo que haja a construção de estratégias que possam mitigar os impactos derivados das alterações climáticas, como foi feito em Portugal, em 2010, com a elaboração da Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas, através da Resolução do Conselho de Ministros n.º 24/2010, e posteriormente revista pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 56/2015 aprovando a Estratégia Nacional para Adaptação às Alterações Climáticas 2020 (ENAAC, 2020). Por outro lado, para além da elaboração de estratégias a nível nacional e regional é necessário ainda obter projeções¹ sobre o clima futuro. Para isso são elaborados modelos que permitem a construção de inúmeros cenários que “*simulam a evolução do vento, temperatura, precipitação, humidade do solo, área coberta de neve, extensão das calotes polares, circulação oceânica e outras variáveis [...] para períodos da ordem de décadas a séculos.*” (Santos *et al.*, 2002).

Posto isto, as projeções elaboradas pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) baseiam-se em 4 cenários: os *Representative Concentration Pathways* (RCP), sendo eles enumerados da seguinte forma: RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 e RCP 8.5.

O RCP 2.6 estabelece dentro do seu contexto que as emissões de GEE globais atingiram o seu pico entre 2010 e 2020, começando possivelmente a diminuir substancialmente após essa data, algo que não tem sido cumprido pelos diversos países que se comprometeram para a diminuição dos GEE. No cenário 4.5 as emissões terão o seu pico no ano de 2040, após esta data é expectável um decréscimo das emissões. O cenário RCP 6.0 terá o seu pico em 2080 e por fim, o cenário RCP 8.5 as emissões continuam a aumentar no decorrer do século XXI (IPCC, 2013).

¹ O termo projeção é utilizado ao invés de previsão, uma vez que se conhece as leis da probabilidade a que está associada, no entanto, não é possível fazer algo do género para o clima futuro (Santos & Miranda, 2006).

Assim, para o diagnóstico neste trabalho foram escolhidos os RCP's 4.5 e 8.5, devido essencialmente ao número de anos que estes agrupam desde 2040 a 2100.

O município de Cascais elaborou o seu próprio Plano para adaptação às alterações climáticas, Plano de Ação para Adaptação às Alterações Climáticas de Cascais (PAAACC), sendo que este foi o primeiro plano de ação municipal para adaptação às alterações climáticas que resultou de um processo de planeamento estratégico e investigação científica (Dinis *et al.*, 2018). Assim sendo, é perceptível que o município de Cascais que possui uma zona costeira bastante diversificada e em termos demográficos extremamente complexa, tenha definido o parâmetro de SNMM como de extrema importância.

Através de diagnósticos que incorporem tanto as projeções baseadas em modelos quanto os planos/estratégias definidos para as alterações climáticas, é possível determinar quais serão os impactos futuros das alterações climáticas, tendo em conta os cenários descritos acima, e quais serão os locais que serão mais afetados pelas alterações na temperatura, na precipitação e na SNMM, além de identificar quais as medidas mais adequadas para esses locais.

1.5.1. A Subida do Nível Médio do Mar

Perante a situação atual e a complexa evolução das alterações climáticas, existem determinados parâmetros que aumentam a degradação dos sistemas marinhos e costeiros, como é o caso da SNMM, que por consequência promove uma maior erosão costeira e destruição da biodiversidade, sendo necessário compreender este elemento a uma escala global e as respetivas projeções determinadas pelo IPPC, de forma a poder-se incorporar este fator no diagnóstico em questão.

De acordo com o IPPC (2014) os últimos cálculos apontam para uma SNMM entre 1901-2010 de $1,7 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm/ano}$, sendo que entre 1993 e 2010 é possível observar uma aceleração significativa de cerca de $3,2 \text{ mm} \pm 0,4 \text{ mm/ano}$. Para se obter estes resultados as estimativas são compostas por séries de dados com mais de 50 anos, normalmente adaptadas de marégrafos, como é o caso do marégrafo de Cascais e Lagos, que possuem dados instrumentais desde 1882 e 1908 (Crisóstomo *et al.*, 2005 cit. em Trindade, 2010).

De forma, a analisar a SNMM e poder estimar uma evolução temporal para esta última década foram compilados alguns dos resultados obtidos pelos autores enunciados na Tabela 3.

Tabela 3 – Síntese das Variações do nível do mar de acordo com diferentes estudos. **Fonte:** Adaptado de Carvalho, 2013, p. 19.

Autor	Período de Dados	Subida Nível do Mar
IPCC (2007)	1993-2003	3,1 mm ± 0,7 mm/ano
Andrade <i>et al.</i> (2008)	2000-2008	2,9 mm ± 0,4 mm/ano
Antunes e Taborda (2009)	1990-2008	2,1 mm/ano
Antunes (2010)	2000-2009	2,6 mm ± 0,3 mm/ano
Antunes (2011)	2000-2010	4,8 mm/ano
IPCC (2014)	1993-2010	3,2 mm ± 0,4 mm/ano
Leuliette <i>et al.</i> (2016); Beckley <i>et al.</i> (2017)	1992-2016	3,3 mm/ano
Antunes (2019)	1992-2016	3,0 mm/ano

Existem diversos estudos para além dos enunciados na Tabela 3 que acrescentam outros valores nas variações do nível do mar. No entanto, existe um consenso pela comunidade científica de que a SNMM é evidente e de que a mesma é resultado das alterações climáticas. De acordo com Trindade (2010), *“A forma como as variações positivas continuadas do nível médio do mar afetam e afetarão os sistemas litorais dependerá do tipo de sistema, dos ritmos locais de subida e do ritmo de fornecimento de sedimentos de cada sistema. Com maior ou menor intensidade a faixa litoral encontra-se já sujeita a processos erosivos predominantemente marinhos que tendem a deslocar a linha de costa para o interior, substituindo os processos continentais [...]”* (pp. 85).

Capítulo II – Localização e Características da Praia da Bafureira

2.1. Localização da Área de Estudo

Este relatório incidiu sobre a praia da Bafureira, que se localiza no sul do concelho de Cascais, que por sua vez pertence à Área metropolitana de Lisboa e ao distrito de Lisboa. O concelho de Cascais subdivide-se em 4 freguesias, ao longo de uma área de 97,4 km², contando com 214 124 habitantes, segundo os censos de 2021.

A praia da Bafureira, dentro de um contexto territorial é bastante complexa, sendo abrangida por diversos instrumentos de gestão territorial, nomeadamente o Plano Diretor Municipal (PDM) de Cascais que estabelece a estratégia de desenvolvimento territorial, a política municipal de ordenamento do território e de urbanismo e as demais políticas urbanas. O PDM de cascais foi elaborado em 1997 e tem sofrido várias revisões. Em 1998, através da Resolução do Conselho de Ministros n.º 123/98, surgiu o Plano de Ordenamento da Orla Costeira Cidadela-Forte São Julião da Barra (POOC Cidadela-Forte São Julião da Barra), que possuía uma extensão de 10 km, criado devido a este troço de costa ser considerado como um espaço de desenvolvimento estratégico, onde os objetivos se concentravam na valorização, qualificação e requalificação da frente de praias urbanas.

Atualmente a praia da Bafureira, como todo o concelho de Cascais são abrangidos pelo Programa da Orla Costeira Alcobaça-Cabo Espichel (POC-ACE) (Fig. 7), aprovado pela Resolução do Concelho de Ministros n.º 66/2019, de 11 de abril. No entanto, existem ainda normas e diretivas do POC-ACE que têm por base o POOC Cidadela-Forte São Julião da Barra, o que leva a uma confusão para as diversas entidades como o próprio município e particulares, principalmente quando é necessário produzir cartografia de risco consistente e com normas/diretivas concretas que tenham por base a evolução real da arriba.

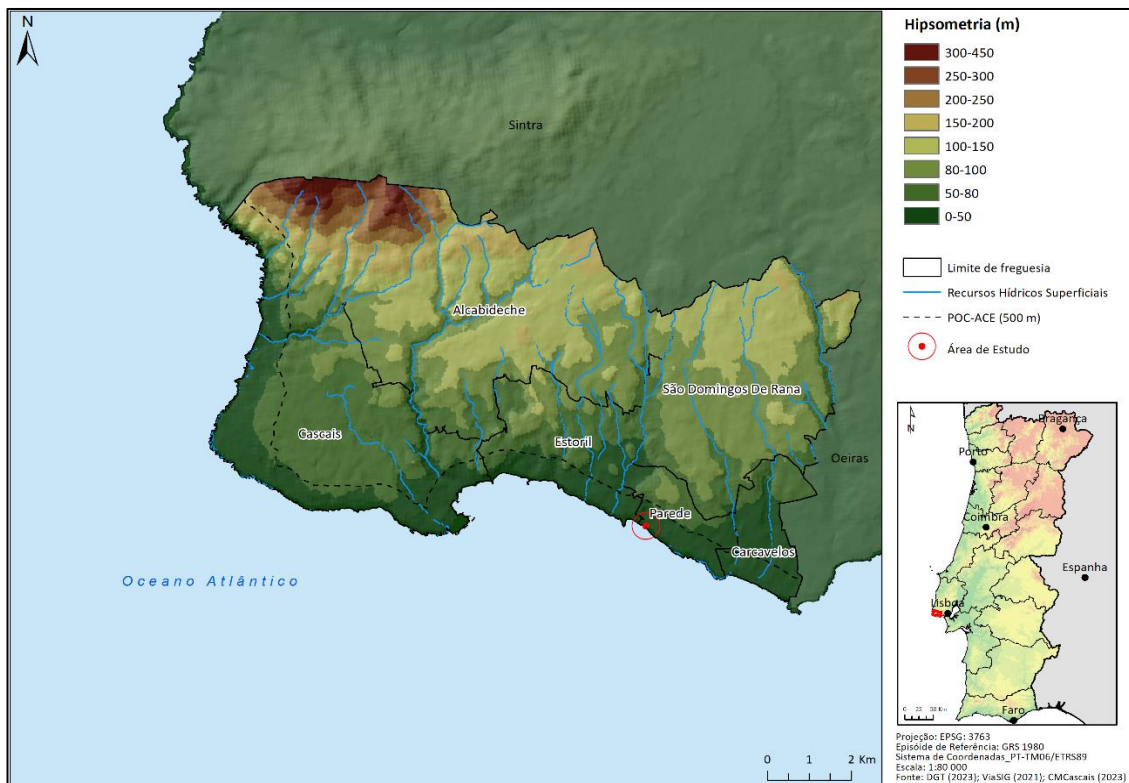


Figura 7 - Enquadramento Geográfico do concelho de Cascais e respetiva área de estudo.

Nos diversos instrumentos de gestão territorial acima enunciados, é possível observar e analisar as evidências de que esta praia apresenta um elevado risco e necessidade de uma monitorização constante, identificadas na Carta de Suscetibilidades (B)² II do PDM, onde se encontram identificadas as áreas de instabilidade da arriba, conforme os artigos 20.º e 27.º (Anexo A - Figura A1. 3). Para além destes sinais de suscetibilidade, a praia da Bafureira dispõe de serviços como o *Sunset Beach Club Bafureira* – Estabelecimento de Restauração no topo da arriba e é procurada, essencialmente, por ser abrigada do vento e pelas suas condições para desportos náuticos.

Esta praia é considerada do tipo urbano com uma capacidade de carga atual de 53 utentes e designada como Zona de Interesse Biofísico das Avenças (APA, 2018), resultado das limitações de segurança existentes já detetadas.

² Nos elementos constituintes do PDM o concelho de Cascais é dividido em duas secções sendo que o lado oeste é representado pela letra “A” e o lado este pela letra “B”.

2.1.1. Condições Fisiográficas da Praia da Bafureira

Esta praia é composta por um segmento de arribas verticais, visíveis desde o final da praia de São Pedro do Estoril até à praia da Bafureira, interrompidas por um edifício de restauração. Possui uma extensão lateral de aproximadamente 200 metros e uma altura variável entre 7,00m e 21,00m, porém os valores mais frequentes estão compreendidos entre 11,00m e 17,00m (Fig. 8).

Ao longo de toda a sua extensão encontra um setor de maior acumulação de areia e maior acessibilidade (setor A), e outro acessível apenas em baixa-mar (setor B), que divide o espaço com enormes blocos e fragmentos rochosos, resultante de vários eventos de erosão. Através dos perfis delimitados é possível observar-se as diferentes alturas ao longo de toda a extensão da arriba, sendo que o setor C é o que apresenta uma maior altura como também uma maior acumulação de blocos no sopé da arriba. Os perfis podem ser analisados em detalhe através do Anexo A - Figura A1. 4.

O sector C é habitualmente frequentado por banhistas, que aproveitam a sombra dos blocos para se estabelecerem por mais tempo, principalmente durante a época balnear mesmo com a informação sobre o risco de queda de blocos da arriba.



Figura 8 – Altura da Arriba da Bafureira e respetivas curvas de nível.

O declive é um dos parâmetros que estabelece a estabilidade dos solos e rochas e representa uma forte influência na velocidade do escoamento superficial (Penacho, 2012). Através do Modelo Digital do Terreno desenvolvido pela Agência Portuguesa do Ambiente, no âmbito do Programa de Monitorização da Faixa Costeira de Portugal Continental – *COSMO*, é possível observar que o valor mais alto é de 85º no lado nascente e mínimos de 1-2º em partes da arriba onde a crista se encontra recuada em relação à base.

A arriba da Bafureira está integrada numa estrutura geológica diversa, esta é caracterizada por uma sucessão de camadas de arenitos com leves intercalações de argilas, margas e calcários (Matildes, 2016). Ainda de acordo com Matildes (2016) “A existência de níveis mais resistentes (calcários e arenitos) e de baixa resistência (margas e argilas), leva a que a sua evolução geomorfológica se processe por erosão diferencial levando à geração de camadas mais salientes sem suporte, [...]” (pp. 75).

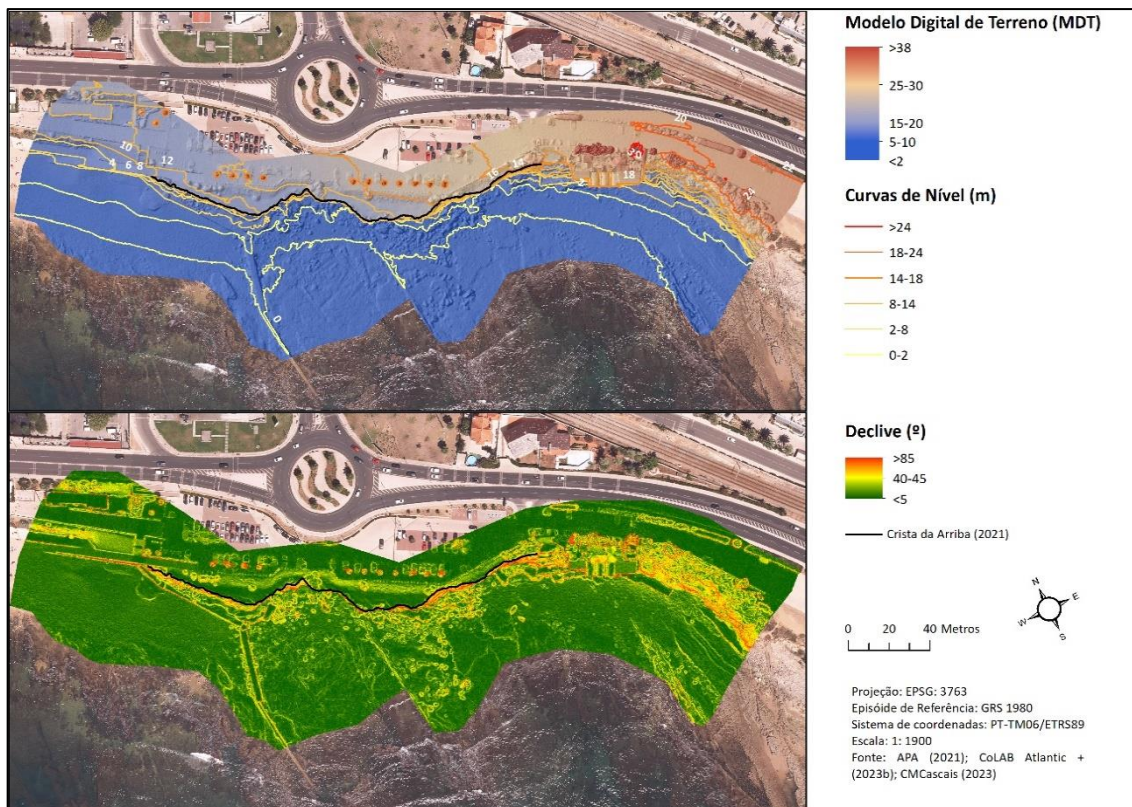


Figura 9 – Condições fisiográficas da praia da Bafureira.

Através da Figura 10 é possível analisar as diversas falhas que cortam as camadas sedimentares, como também, a composição desta arriba desde o filão identificado na zona central, até à formação de arenitos/conglomerados (Matildes, 2016).

As rochas sedimentares que afloram na arriba da Bafureira estão datadas do Cretácico Inferior, são de natureza variada e as suas características refletem as condições de deposição e os paleoclimas que contribuíram para a sua génese.

Nesta arriba existiu ainda alguma deformação das rochas ocorrida após a sua génese, revelada pela disposição das camadas sedimentares inclinadas em monoclinal e pelas falhas que as cortam e deslocam colocando lado a lado estratos de idades diferentes.

Destaca-se ainda que no sector poente, o contacto entre a praia e o sopé da arriba, é protegido por um muro costeiro, enquanto no extremo nascente a face da arriba foi intervencionada com betão projetado (Fig. 11).

Através do perfil frontal da arriba é possível observar algumas fraturas existentes, como também as infraestruturas de proteção utilizadas para a salvaguarda dos bens e serviços identificados na praia da Bafureira.



Figura 10 – Enquadramento geomorfológico da arriba da Bafureira: β – filão de rocha basáltica, C1Ro – Formação de Rodízio (Arenitos e conglomerados), C2Cn – Formação de Caneças (rochas calcárias e areníticas); polígono a vermelho determina a face da arriba. **Fonte:** Matildes, (2016), pp. 75.



Figura 11 – Imagem frontal da arriba da Bafureira, destacando: os três filões verticais (linha pontilhada em verde); o muro costeiro a poente: a formação de sapas no sopé da arriba; a cavidade na base da arriba e a intervenção com betão projetado nos limites da arriba com o restaurante existente, a nascente.

A evolução de arribas litorais resulta fundamentalmente da ocorrência de movimentos de massa de vertente de diferentes tipos e dimensões. Esta evolução pode ser analisada através da quantidade de material instabilizado (desabamentos, deslizamentos ou outros) ou do recuo das arribas. Posto isto, para se compreender as condições da arriba da Bafureira e compreender o porquê da sua monitorização foi realizado uma compilação dos principais eventos de movimento de massa nos últimos 10 anos, que posteriormente irá complementar o estudo da evolução da crista da arriba entre os anos de 1995 e 2021. Este inventário teve por base documentos que a CoLAB +Atlantic teve acesso em parceria com a APA e CM-Cascais.

2.1.2. Variações Topográficas da arriba entre 2014 e 2021

A arriba da Bafureira tem apresentado situações de instabilidade de carácter evolutivo acentuado. Segundo Taborda et al., (2010) o setor de São Pedro do Estoril até à praia das Avencas é um dos troços com maior ocorrência de movimentos de vertente do Concelho de Cascais nas últimas oito décadas, com uma velocidade média de recuo de 0.010 m/ano.

De acordo com Marques *et al.*, (2013), este setor entre o período de 1938 e 2008, apresentou 21 instabilidades que afetaram a crista da arriba e já na última década, foram registadas seis ocorrências entre quedas de blocos e medidas de saneamento (queda provocada) de blocos instáveis, bem como a adoção de restrições de uso da praia da Bafureira durante períodos para críticos (Tabela 4).

Tabela 4 – Inventário temporal e espacial de movimento de massa em vertente na arriba da Bafureira, ocorridos naturalmente e provocados de 2010 a 2021. Também consta na tabela as medidas legais de proibição do uso da praia publicadas no mesmo período. **Fonte:** CoLAB Atlantic+ (2023b).

Ano	Descrição da Ocorrência	Localização
01/2010	Ocorrência 77: Queda de blocos de média dimensão da base da arriba após passagem de tempestade.	Lado nascente da arriba
06/2010	Ocorrência 375: Medida de Saneamento da arriba de um bloco com fissura visível.	Lado nascente da arriba
11/2011	Ocorrência 509: Rotura do muro de proteção da agitação marítima e de suporte às escadas de acesso à praia da Bafureira, deixando vulnerável e exposta a área da plataforma existente.	Lado nascente, juntamente ao restaurante
04/2012	Portaria n.º114/2012: suspensão do uso da praia da Bafureira até conclusão da obra de reparação do referido muro e zona adjacente.	Toda a extensão da praia
10/2014	Ocorrência 420: Queda de blocos em vertente, em área assinalada como área de risco.	Lado nascente da arriba
05/2015	Medida de Saneamento na crista da arriba: queda controlada de bloco de pequena dimensão com fissura evidente.	Lado nascente da arriba
07/2017	Edital n.º6/DPM/2017 (Agência Portuguesa do Ambiente): suspensão do uso da praia da Bafureira por tempo indeterminado.	Toda a extensão da praia
07/2018	Ocorrência 323: Queda de bloco de grande dimensão e posterior saneamento dos blocos ainda instáveis na crista da arriba	Lado nascente da arriba

Através da Figura 12 juntamente com a tabela 4 verifica-se que o setor nascente da arriba da Bafureira é aquele que mais movimentos de massa e intervenções antrópicas (saneamento e recuperação do muro de proteção marítima junto ao restaurante) sofreu nos últimos dez anos.



Figura 12 – Localização das ocorrências inventariadas entre os anos de 2010 e 2018. **Fonte:** CoLAB Atlantic+ (2023b)

Capítulo III – Fontes, Material e Métodos

Para atingir os objetivos definidos para o estudo da evolução da arriba da Bafureira, a fim de tratar os dados com vista à realização do zonamento através de faixas de salvaguarda associadas à SNMM, foi necessário utilizar um extenso conjunto de métodos e técnicas. Como tal, no presente estudo, encontram-se agrupados em 5 partes essenciais, nomeadamente, (i) as fontes de informação adquiridas de base teórica ou cartográfica, (ii) os programas utilizados e o respetivo *hardware*, (iii) a análise histórica e respetiva tendência evolutiva da arriba, (iv) a projeção e determinação das faixas de salvaguarda de acordo com o modelo *Scape* e por fim (v) a determinação da vulnerabilidade dos elementos expostos face ao recuo da arriba.

3.1. Fontes de Informação

De modo a delimitar o sistema litoral anteriormente definido, analisar a sua evolução e as faixas de salvaguarda pretendidas foi necessário cartografar o mesmo através de diversos elementos adaptados de diferentes fontes. Para isso, a CoLAB +Atlantic utilizou ortofotomapas e fotografias aéreas que, através de uma seleção criteriosa permitiu uma análise do recuo da arriba da Bafureira e a respetiva medição do recuo horizontal.

Para além dos ortofotomapas utilizados durante a análise, outras fontes foram consideradas para a elaboração dos mapas, como o *site* GeoCascais da CM-Cascais para a obtenção de diversos dados como curvas de nível, recursos hídricos superficiais ou ainda o uso e ocupação do solo de acordo com o Plano Diretor Municipal. Foram ainda utilizados dados provenientes da Agência Europeia do Ambiente (AEA) e do programa *Copernicus* para a obtenção dos dados correspondentes à SNMM para os períodos pretendidos (Tab. 5).

Tabela 5 – Fontes de Base Cartográfica utilizadas para a elaboração do relatório.

Dados Utilizados	Fontes de Informação
Regiões Administrativas e respetivos municípios	DGT., (2023)
Altimetria (Curvas de nível)	CMCascais., (2023)
Hipsometria	
Faixas de Salvaguarda – POC-ACE	
Recursos Hídricos Superficiais	
Demarcação da Jurisdição da Autoridade Nacional da Água	
Uso e Ocupação do Solo (PDM Cascais)	CoLAB Atlantic +., (2023b)
Ortofotomapas (1995 – 2021)	
Modelo Digital de Elevação	
Cristas Arriba (1995 – 2021)	APA., (2021)
Modelo Digital de Elevação (DEM) da arriba da Praia da Bafureira	
<i>Urban Atlas 2018 – Copernicus Land Monitoring Service</i>	EEA., (2021)
<i>Global mean sea level projections up to 2100 for the three representative concentration pathways (RCP's)</i>	EEA., (2019)
<i>Global Ocean Gridded Sea Surface Heights and Derived Variables Reprocessed 1993 Ongoing</i>	Copernicus Marine Service., (2022)

Este inventário, por sua vez, veio contribuir para a elaboração da cartografia temática apresentada e para obtenção dos resultados apresentados. Assim, desde o início do projeto foi utilizado sempre o mesmo sistema de coordenadas (EPSG: PT-TM06/ETRS89) e se fosse necessário eram realizadas as operações de transformação, através do *software* ArcMap 10.8.

3.2. Materiais

Para a aquisição, processamento e interpretação dos dados produzidos e utilizados no presente trabalho, os seguintes equipamentos e *softwares* foram utilizados (Tab. 5):

Tabela 6 – Materiais utilizados para a obtenção dos resultados.

Hardware	Desktop 16GB, Intel® Core™ i7-11370H @3.30GHz, GeForce GTX 1080	Equipamento Informático	Processamento, manipulação e interpretação de dados
	Qgis 3.22.12 ArcMap 10.8		Cartografia; manipulação e interpretação de dados
Software	Agisoft Metashape Professional (64bit)		Processamento fotogramétrico
	MatLab R2022b		Processamento e manipulação de dados; projeção de dados

3.3. Metodologia

3.3.1. Análise Histórica e Tendência Evolutiva da Crista da Arriba

A metodologia para este presente trabalho foi a convencional, quando é necessário realizar uma monitorização de uma zona costeira. Tradicionalmente, a evolução da erosão em sistemas rochosos, como as arribas, é quantificada através da análise do ritmo de recuo da crista da arriba (m/ano), a partir de fotografias aéreas verticais. Posto isto, para se caracterizar esse ritmo de recuo, tendo em conta os anos estabelecidos (1995-2021), foram estabelecidas as seguintes etapas: aquisição dos dados (ortofotomapas), processamento (georreferenciação e digitalização) e análise dos resultados obtidos (Fig. 13).

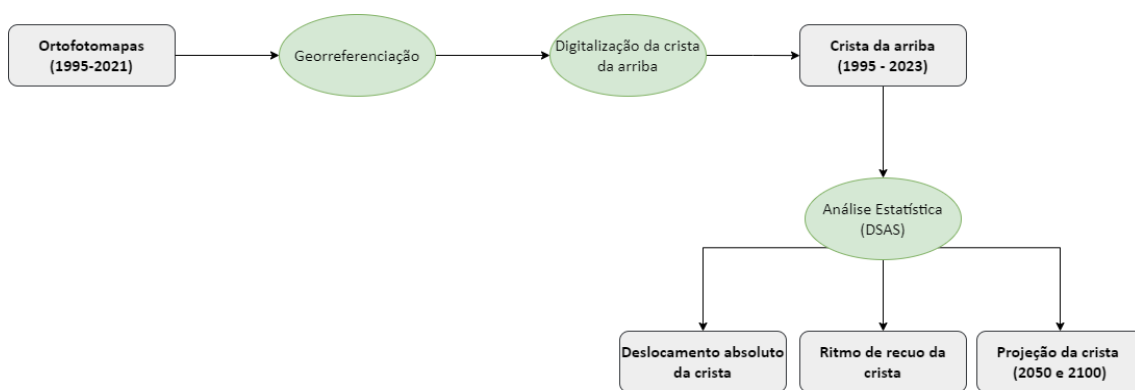


Figura 13 – Etapas envolvidas no processamento e análise da evolução histórica da crista da arriba.

Os ortofotomapas utilizados foram previamente georreferenciados (através do *software* ArcMap 10.8) utilizando como base cartográfica de referência o ortofotomapa de 2020, cedido pela CM-Cascais (Anexo A - Figura A1. 5). Desta forma foi garantido a coincidência espacial entre os ortofotomapas, e conseqüentemente minimizados os erros de digitalização da posição da crista da arriba, como é possível observar através da Tabela 7.

Tabela 7 – Ortofotomapas utilizados para análise da crista da arriba com a respetiva indicação do tamanho do pixel e erro associado à georreferenciação. **Fonte:** CoLAB Atlantic+ (2023b)

Fonte	Ano	Tamanho do pixel (m)	Erro de georreferenciação (m)
Atlantic+	2021	0.03	0.028
CM-Cascais	2020	0.1	Base Cartográfica
CM-Cascais	2019	0.1	0.1
CM-Cascais	2018	0.1	0.25
CM-Cascais	2017	0.1	0.08
CM-Cascais	2015	0.15	0.015
CM-Cascais	2013	0.15	0.04
CM-Cascais	2010	0.15	0.05
CM-Cascais	2009	0.15	0.022
CM-Cascais	2008	0.15	0.08
CM-Cascais	2007	0.15	0.08
CM-Cascais	2005	0.15	0.06
CM-Cascais	2000	0.2	0.21
CM-Cascais	1999	0.15	0.23
DGT	1995	1	1.5

A crista da arriba foi rigorosamente digitalizada nos diferentes ortofotomapas (Tab. 7) utilizando uma escala cartográfica 1:100, resultando num total de 15 elementos vetoriais (linhas da crista da arriba). Após a georreferenciação dos ortofotomapas e respetiva digitalização da crista da arriba de acordo com os respetivos anos foi utilizado o *Digital Shoreline Analysis System (DSAS®)*, que funciona como uma extensão do ArcMap 10.8. Esta extensão permite o cálculo do ritmo de variação da linha de costa a partir das suas múltiplas posições (Thieler *et al.*, 2009).

O DSAS® utiliza o método de medição métrica sucessiva através de perfis transversais entre a linha de base (*baseline - Linha de referência a partir do qual são gerados os transectos*) e os vários posicionamentos da linha de costa para calcular os ritmos de variação (Thieler *et al.*, 2009), posto isto é necessário ter em conta diversos parâmetros como a posição das várias linhas, a definição de uma linha base (*baseline*), que para presente caso utilizou-se o limite marítimo do estacionamento, o número de transectos (perfis) e a sua equidistância, as incertezas do traçado das várias linhas derivadas das fontes de informação adquirida e o método estatístico a ser utilizado para os cálculos. Deste modo, foram definidos 190 transectos com um espaçamento de 1 metro (Tab. 8; Fig. 14).

Tabela 8 – Síntese dos parâmetros considerados para aplicação da extensão DSAS®.

MÉTODO DSAS®	
Período (Cristas da arriba)	- 1995 - 1999 - Década de 2000 (2000/2005/2007/2008/2009/2010) - Década de 2010 (2015/2017/2018/ 2019/ 2020) - 2021
Linha de base (<i>baseline</i>)	Limite Marítimo do estacionamento
Comprimento da linha de base	190 m
Distância entre transectos	1 m
Comprimento dos transectos	25 m
Número dos transectos	190
Métodos estatísticos	- Net Shoreline Movement (NSM) - Weighted Linear Regression (WLR) - End Point Rate (EPR) - Linear Regression Rate (LRR) - Shoreline Change Envelope (SCE) - Least Median of Squares (LMS)

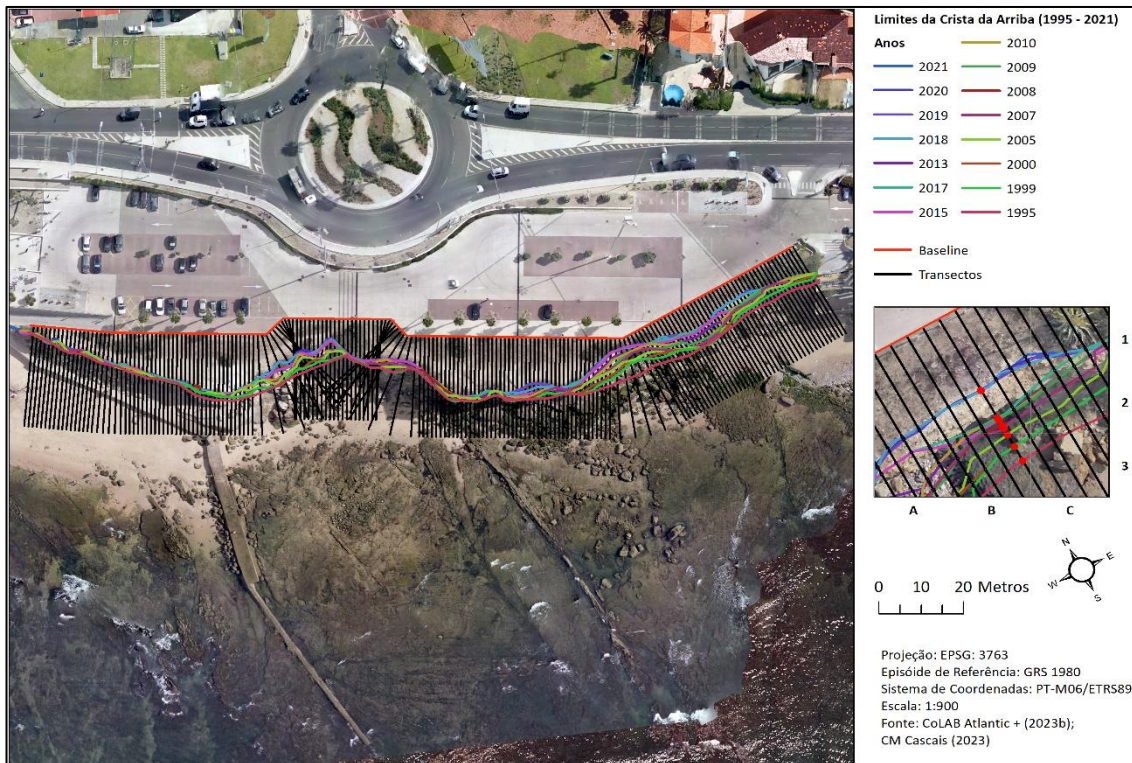


Figura 14 – Informação utilizada para análise da evolução da crista da arriba: linha de base (*baseline*), definida como o limite externo do parque de estacionamento; 15 linhas com a posição da crista da arriba entre 1995 e 2021; e 190 transectos, ao longo dos quais foram realizadas as análises estatísticas com a ferramenta *DSAS*[®].

Em cada transecto o software *DSAS*[®] determina a intersecção com todas as linhas da crista da arriba e calcula a distância entre a *baseline* e a respetiva linha da crista. Com a informação da distância entre a *baseline* e as diferentes posições da linha da crista da arriba o *software DSAS*[®] determina um conjunto de parâmetros estatísticos, descritivos da evolução da crista da arriba. Cada método estatístico utilizado no cálculo do ritmo de variação da linha de costa é baseado em diferentes pressupostos estatísticos relacionados com a variação da posição da linha de costa ao longo do tempo (1995-2021) (Thieler *et al.*, 2009).

De acordo com a Tabela 8 o *DSAS*[®] disponibiliza sete métodos estatísticos: ***Net Shoreline Movement*** (NSM) que indica uma distância e não um ritmo. Este método está associado diretamente às datas de apenas duas linhas de costa, medindo a distância entre a linha de costa mais antiga e mais recente, representando assim a sua distância total (Thieler *et al.*, 2009); ***Weighted Linear Regression*** (WLR) para este método é valorizado a informação mais confiável, sendo que a essa é lhe atribuída uma maior importância ou peso, de modo a determinar a linha que se ajusta melhor ao modelo, ou

seja para o cálculo do ritmo de variação da linha de costa, é atribuído uma maior importância aos pontos cuja incerteza seja menor. O peso (w) é definido pela função da variação na incerteza da medição (e) (Thieler *et al.*, 2009) (eq. 1):

$$W = 1/(e^2) \quad (\text{eq. 1})$$

em que,

e corresponde ao valor de incerteza da linha de costa.

Esta situação é retratada na Fig. 14 onde é possível observar os diferentes pontos (pontos vermelhos) que intersectam os transectos e que através dos mesmo é possível analisar a regressão linear para aquele específico transecto, que apresenta um ritmo de variação de -0.17 m/ano (Anexo A - Figura A1. 6);

O método **End Point Rate** (EPR) corresponde a uma taxa que é calculada através da divisão da distância da variação da linha de costa, entre a mais antiga e a mais recente. Este método apresenta uma vantagem em comparação com os anteriores pois apenas são necessárias duas datas de linha de costa (Anexo A - Figura A1. 7) (Thieler *et al.*, 2009); **Shoreline Change Envelope** (SCE), este método fornece uma distância e não uma taxa e corresponde à distância entre a linha de costa mais distante e mais próxima da linha de base de cada perfil (Thieler *et al.*, 2009); **Linear Regression Rate** (LRR), é um método de alguma complexidade em que de acordo com Himmelstoss *et al.*, (2018), a taxa LRR pode ser determinada pelo ajuste da linha de regressão dos mínimos quadrados para todos os pontos de linha de costa que cruzam um perfil particular, ou seja, a taxa LRR é representada pelo declive da linha de ajuste (Anexo A - Figura A1. 8); por fim tem-se o método estatístico **Least Median of Squares** (LMS), e através do mesmo é possível estimar a regressão de forma mais robusta, minimizando a influência de anomalias na equação da regressão linear. Este método no *software DSAS*[®], segue a mesma lógica que o método estatístico LRR (Himmelstoss *et al.*, 2018).

Posto isto no presente trabalho foram analisados os seguintes parâmetros: **1)** deslocamento horizontal total da arriba (NSM); **2)** ritmo de recuo da arriba (WLR); e **3)** projeção da posição da crista da arriba para 2050 e 2100 tendo em conta o ritmo de recuo e SNMM. Este último parâmetro consiste numa estimativa estatística, assumindo

que a arriba tem um comportamento linear e considerando as incertezas associadas à regressão linear do método estatístico WLR.

3.3.2. Modelo “*Scape*” e projeção da posição da crista da arriba

Para se proceder à projeção da crista da arriba foi utilizado um modelo, modelo *Scape* (*Soft Cliff and Platform Erosion*), desenvolvidos por Brooks e Spencer (2012) e posteriormente Castedo *et al.*, (2015). Este modelo tem como intuito facilitar o processo de tomada de decisão devido aos parâmetros que o constituem, possibilitando a projeção da linha de costa para o intervalo temporal pretendido (2050 e 2100). Este intervalo temporal foi escolhido mediante os cenários criados pelo IPCC, tendo em conta os RCP's.

Para aplicação do mesmo é importante ter acesso a informações precisas acerca do ritmo de recuo, definir-se uma tendência desde o passado até à atualidade, bem como projetar o ritmo de recuo para o futuro. Porém, esse desenvolvimento carece de métodos analíticos para a sua previsão (Brooks e Spencer, 2012).

Este modelo foi desenvolvido e aplicado para arribas que recuam por movimentos de massa impulsionados pela erosão da base da arriba, sendo que a plataforma rochosa da base é assumida como um regulador central do recuo da costa. É expresso da seguinte forma:

$$R_n = R_1 \times \sqrt{\frac{S_2}{S_1}} \quad (\text{eq. 2})$$

em que,

R_n indica a futura posição da linha da crista da arriba (m/ano), S_2 designa as futuras projeções do nível médio do mar (mm/ano), R_1 representa o ritmo de recuo da linha da crista da arriba (m/ano) no período estudado e S_1 representa a taxa de subida do nível médio do mar durante o período estudado (mm/ano).

Este modelo possibilitou a incorporação do ritmo de recuo atual da crista da arriba da Bafureira para os horizontes temporais estabelecidos de 2050 e 2100 mediante algumas alterações na equação como também a construção de vários *scripts* no MatLab (ver anexos).

De forma a estabelecer uma projeção da crista da arriba tendo em conta apenas os valores do ritmo de recuo da arriba foi utilizada a seguinte expressão:

$$R_n = \sqrt{((R_1 \times n)^2)} \quad (\text{eq. 3})$$

em que,

R_n corresponde à distância de recuo que a atual crista da arriba vai sofrer, num determinado tempo, tendo como base o ano de 2022 e considerando um aumento constante do nível do mar, R_1 (dados provenientes da *Weighted Linear Regression*) é o ritmo de variação da crista da arriba (m/ano) durante o período estudado, n é o número de anos que se pretende projetar (28 e 78 anos) (ver em anexos).

A figura 15 apresenta os diversos transectos elaborados para calcular o ritmo de recuo, e através dos quais foi possível projetar determinados pontos (a vermelho) que indicam a futura posição da crista da arriba para o horizonte temporal de 2050.

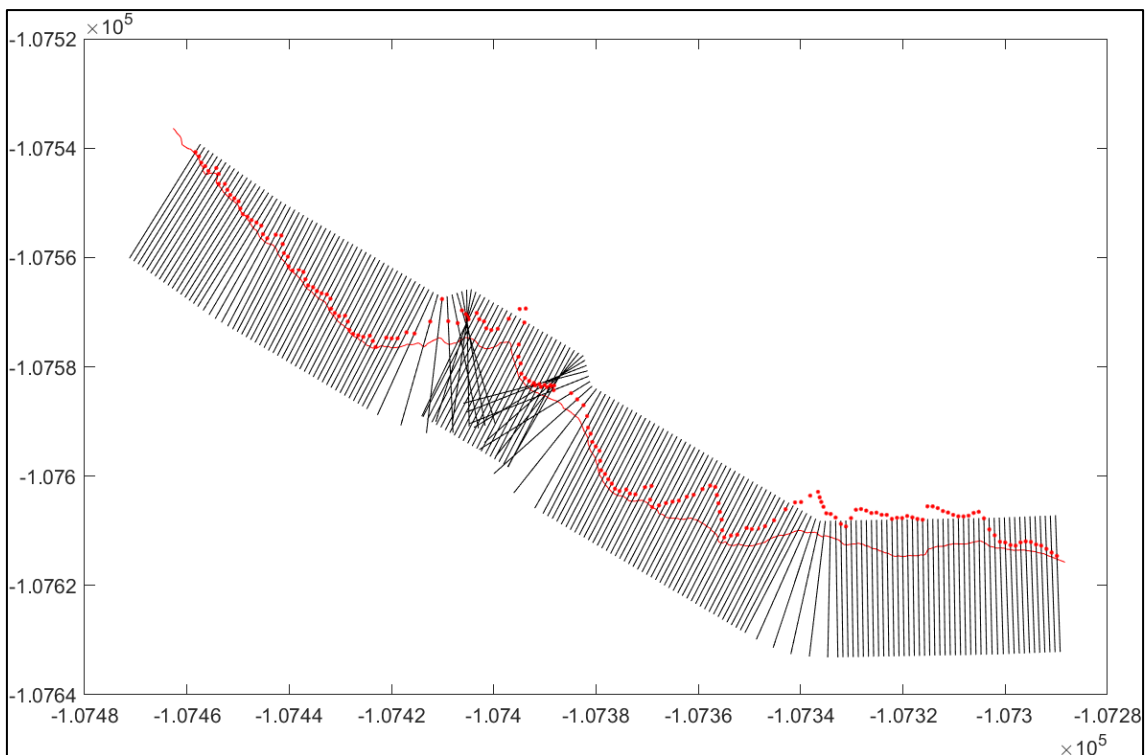


Figura 15 – Projeção da posição da crista da arriba para o ano de 2050 tendo em conta o ritmo de recuo.

Os mesmos procedimentos realizados para a projeção da crista da arriba para o ano de 2050, foram concebidos de igual forma para a projeção da crista para o horizonte temporal de 2100, sendo necessário apenas mudar o tempo futuro desejado ($n = 78$ anos).

É importante salientar que a projeção dos elementos identificados acima como as projeções que acrescentem a SNMM, estão sujeitas a incertezas e nomeadamente a um intervalo de confiança, assim através dos dados produzidos pelos transectos e a sua respetiva tabela de atributos, é possível analisar o intervalo de confiança do WLR, que corresponde a outro parâmetro criado pelo *software DSAS®*, como um complemento estatístico dos métodos enumerados acima. Este parâmetro designa-se por ser Erro Padrão do Ritmo de Recuo com Intervalo de Confiança e é representado pela sigla WCI.

Com a determinação dos métodos estatísticos pelo *software*, este parâmetro é representado por WCI99, ou seja, sendo o ritmo de recuo médio 0,10 m/ano, o intervalo de confiança de 99% (WCI99) existe um erro associado ao mesmo de 0,52. Portanto esse intervalo de confiança em torno do ritmo de recuo é de $0,10 \pm 0,52$, existe assim uma confiança de 99% de que o ritmo de recuo está entre os -0,42 e 0,62 m/ano (Figura 16).

Para a produção do gráfico abaixo, foi construído um *script*, identificado nos anexos, escolhendo os parâmetros WLR e WCI99.

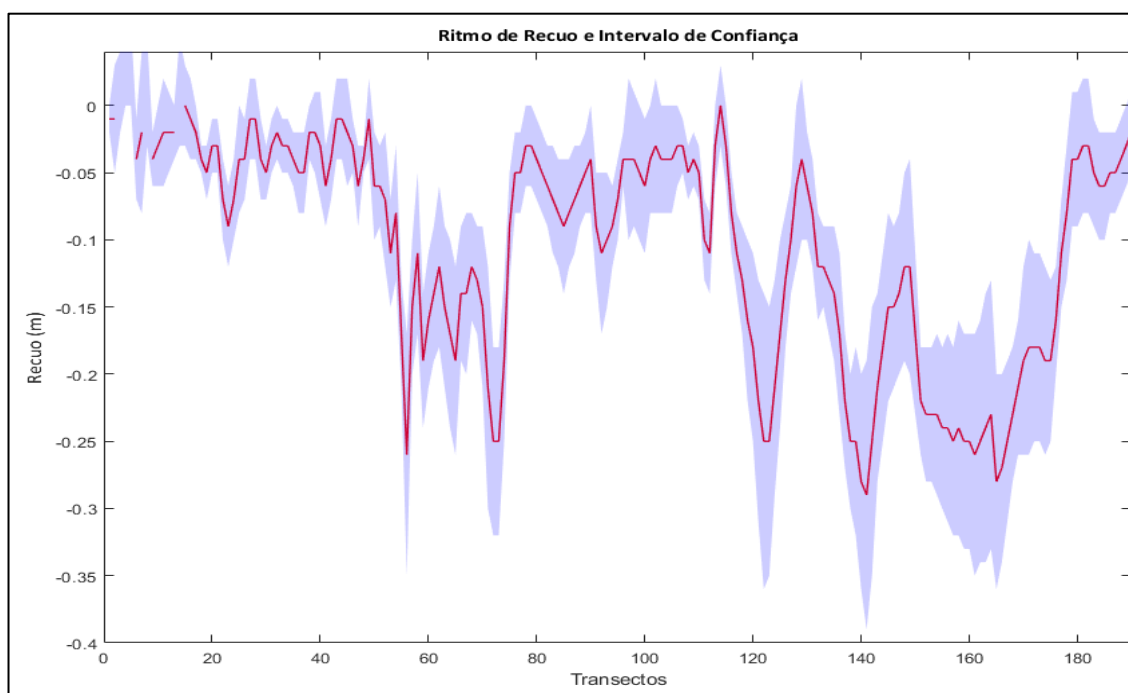


Figura 16 – Erro associado ao intervalo de confiança do ritmo de recuo compreendido entre os anos de 1995 e 2021.

Assim, tendo por base o modelo *Scape* a projeção da crista da arriba tendo em conta apenas o seu ritmo de recuo, vai gerar uma nova *shapefile* para os respetivos horizontes temporais, porém estruturas como as arribas estão dependentes de outros fatores, visto que as arribas são locais que estão sob influência de diversos processos nomeadamente a erosão costeira, inundações ou galgamentos todos estes agravados pela SNMM.

3.3.3. Determinação da tendência evolutiva da Subida do Nível Médio do Mar com dados de altimetria por satélite

Para a determinação da variável S_I foi necessário recorrer a dados de altimetria por satélite, provenientes do site *Copernicus Marine Service* (<https://data.marine.copernicus.eu/products>). A primeira etapa para a obtenção destes dados consiste em fazer o registo na página, pois só assim é possível descarregar o produto pretendido. Em seguida o produto escolhido para esta análise consiste numa grelha global do oceano (*Global Ocean Gridded L 4 Sea Surface Heights And Derived Variables Reprocessed 1993 Ongoing*) composta por diferentes variáveis como mostra a tabela 9.

Tabela 9 – Metadados do Produto utilizado para determinação da taxa de SNMM. **Fonte:** Copernicus Marine Service, (2022).

Global Ocean Gridded L4 Sea Surface Heights and Derived Variables Reprocessed 1993 Ongoing	
ID do Produto	<i>SEALEVEL_GLO_PHY_L4_MY_008_047</i>
Fonte	Observações por satélite
Extensão Temporal	Oceano Global; Oceano Ártico; Lat -90º a 90º; Long -180º a 180º
Resolução Temporal	Diária e Mensal
Projeção	WGS 84 (EPSG:4326)
Variáveis	Altura da superfície do mar acima do geóide (SSH); Altura da superfície do mar acima do nível do mar (SSH);

Após a escolha deste produto para ser descarregado, é necessário delimitar alguns parâmetros, pois para este caso em concreto é necessário escolher a resolução temporal de 1995 a 2021, como também um conjunto de coordenadas específico, para isso a opção escolhida para o *download* é a MOTU. Através da página o *site* permite-nos delimitar a área pretendida para a análise como também as datas pretendidas (1995-2021) e a variável escolhida será a altura da superfície do mar acima do nível do mar que se refere à distância entre a superfície do mar e a altura média da terra (ou do geóide). É uma medida da altura da superfície do mar acima de um ponto de referência, geralmente o geóide ou o nível médio do mar (NMM). A altura da superfície do mar pode variar devido a diversos fatores, incluindo marés, correntes, ventos e mudanças de temperatura (Fig. 17).



Figura 17 - Página do *Copernicus Marine Service* para o *download* de dados de altimetria por satélite, como área delimitada para este estudo de caso e coordenadas.

Após esta metodologia foi feito o *download* de um ficheiro em formato netcdf que através do mesmo é possível elaborar um *script* em MatLab que permitirá analisar a taxa de evolução do nível médio do mar. Este ficheiro ao ser aberto em MatLab com a função "*ncdisp (filename)*" vai disponibilizar uma visualização de toda a informação sobre o ficheiro, desde a variável (*sla – sea level anomaly*) a ser usada, como também a latitude e longitude. Assim com a extração dos dados pretendidos, consegue-se através da linha

de código em anexo, extrair toda a informação da série temporal (1995-2021) devido essencialmente à escolha de um ponto de interesse como mostra a figura 18.

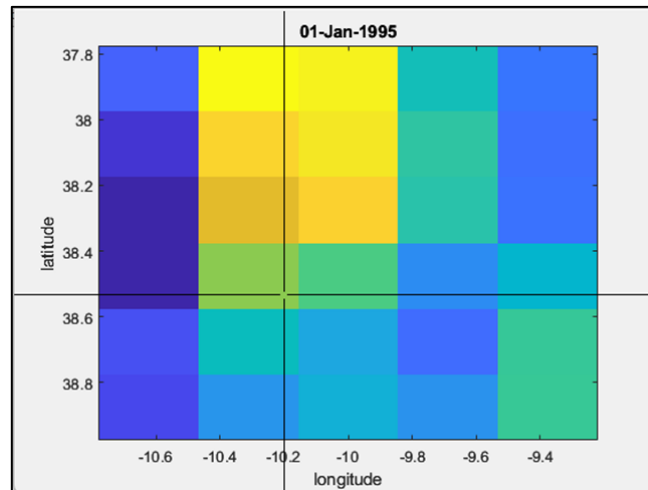


Figura 18 – Determinação de um ponto de interesse para representação gráfica das anomalias do nível médio do mar e respetiva taxa de evolução.

Com a determinação deste ponto vão ser extraídos pelo programa um gráfico de anomalias do nível do mar e ainda outro que representa a taxa de evolução do nível médio do mar, que por sua vez o valor obtido dessa mesma taxa vai ser incorporado no modelo *Scope*, como a variável S_1 , sendo neste caso *Sea Level Rise*/SLRp = ± 3.5 mm/ano.

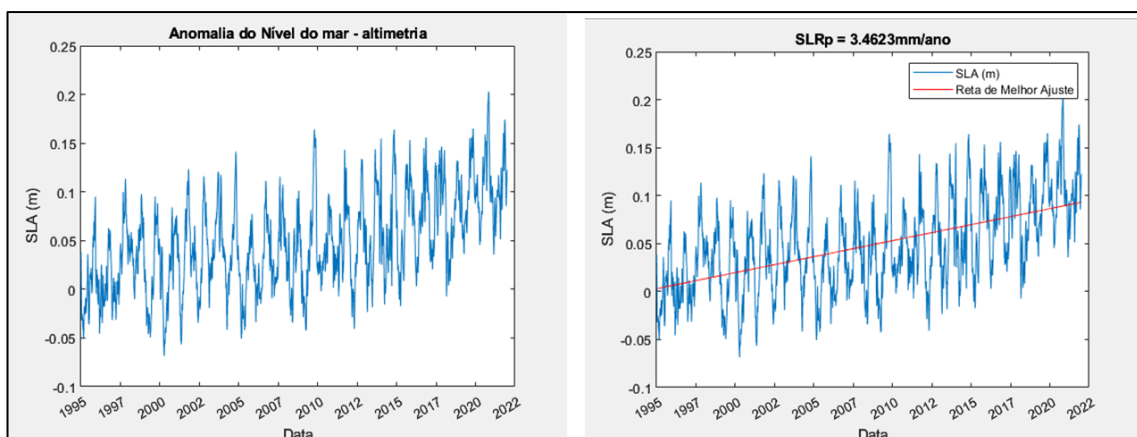


Figura 19 – **Esquerda:** Variação das anomalias do nível médio do mar entre 1995 e 2021. **Direita:** Taxa de evolução do nível médio do mar entre 1995-2021.

Para a determinação da variável S_2 foram utilizados dados provenientes da Agência Europeia do Ambiente, através do site (https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/projected-global-mean-sea-level/#tab-chart_2), dados estes provenientes do relatório especial do IPCC “*The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*” (IPCC, 2022). Os dados foram escolhidos mediante os RCP’s 4.5 e 8.5 do IPCC, para os anos de 2022, 2050 e 2100 e transformados para mm/ano, respetivamente, como mostra a tabela 10.

Tabela 10 – Projeção da subida do nível médio do mar (metros) tendo em conta os RCP’s de acordo com o IPCC. Fonte: (EEA, 2019).

	2022	2050	2100
RCP 4.5	= 0.089 m	= ±4.9 mm/ano	= ±6.0 mm/ano
RCP 8.5	= 0.094 m	= ±6.1 mm/ano	= ±9.1 mm/ano

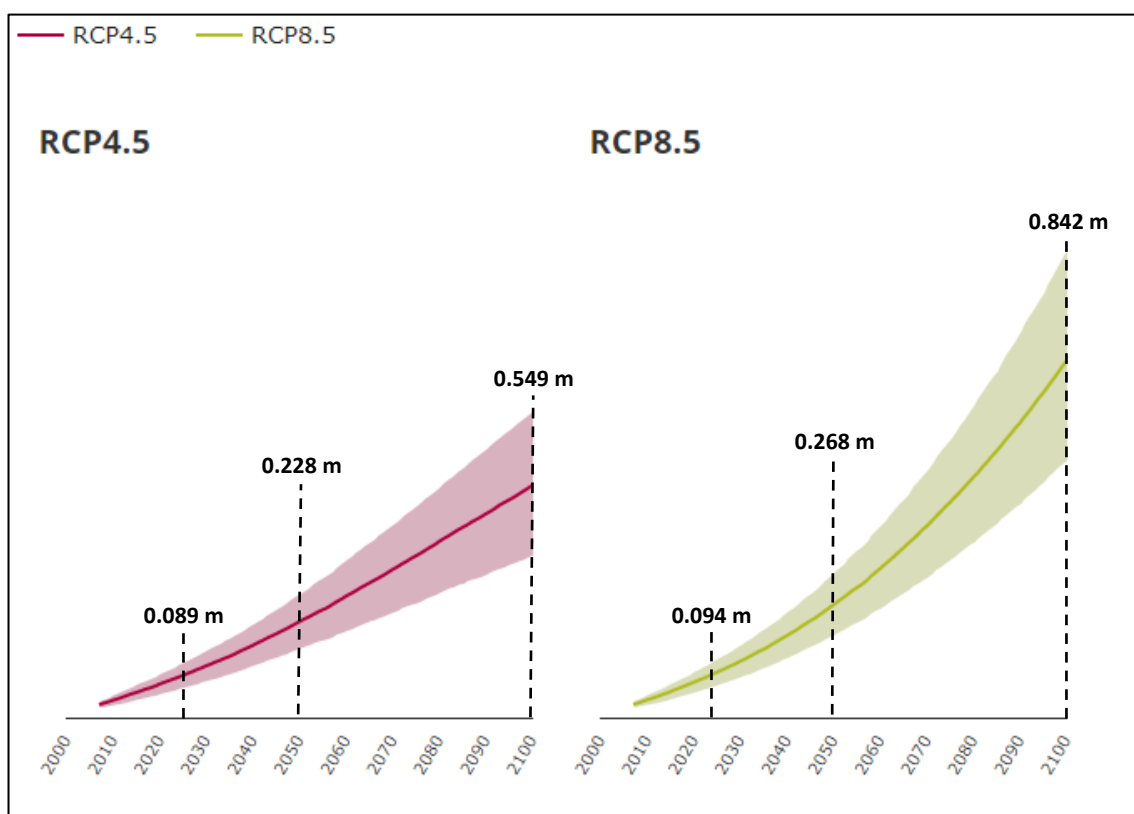


Figura 20 – Projeções globais de Subida do nível médio do mar de acordo com os RCP’s 4.5 e 8.5. Fonte: EEA., (2019).

Após a transformação dos valores de metros para mm/ano, e adequar o número de anos pretendidos foram construídos 4 *scripts*, ou seja, dois para o ano de 2050 para os RCP’s 4.5 e 8.5 e outros dois para o cenário temporal de 2100 para os respetivos RCP’s.

OS *scripts* elaborados tiveram por base o modelo *scape* que levaram a uma projeção da crista da arriba para os horizontes temporais pretendidos, que por sua vez foi transformada em formato *shapefile*, como mostra as seguintes figuras, onde os pontos a vermelho correspondem à projeção tendo em conta o ritmo de recuo da arriba mais a SNMM. Foram escolhidos os cenários mais graves dos RCP's como exemplo de representação em MatLab.

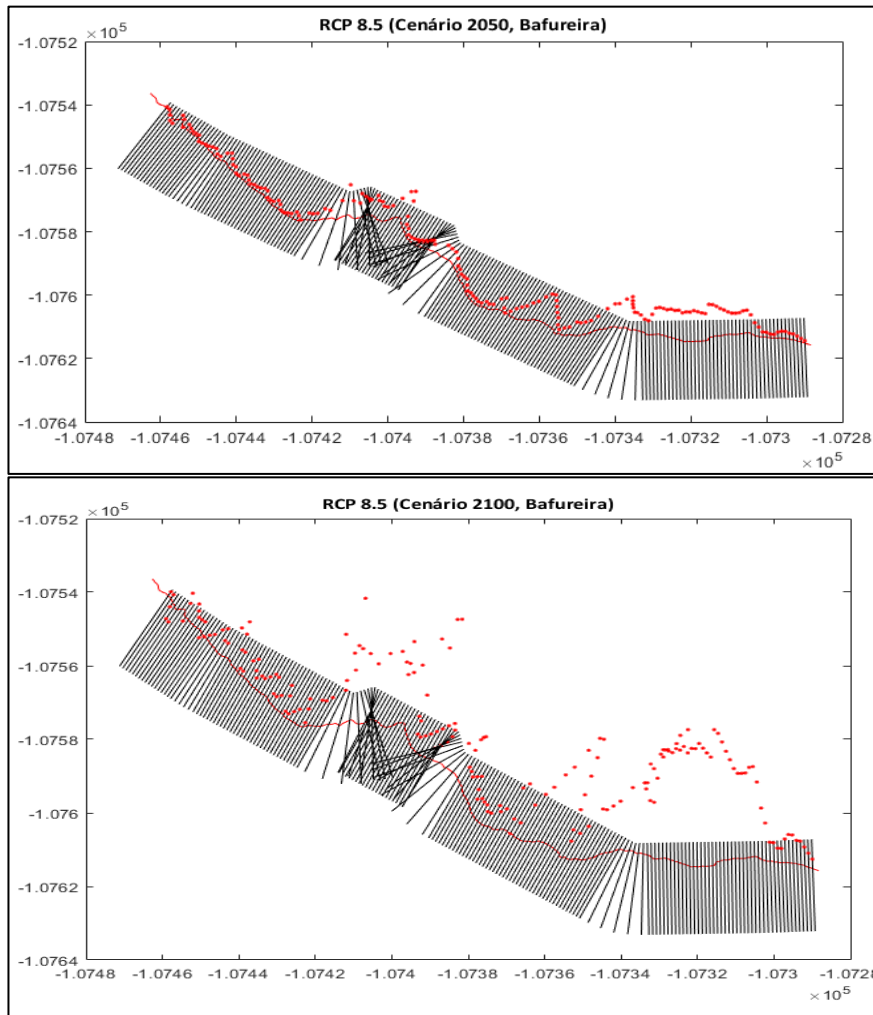


Figura 21 – Projeção da crista da arriba através de pontos para 2050 e 2100 através do MatLab.

3.3.4. Projeção e determinação da faixa de salvaguarda

Para a projeção das faixas de salvaguarda, foram tidos em conta os valores da projeção das cristas para os diversos cenários, no entanto como as arribas são estruturas que não têm tanta dinâmica morfológica como os sistemas arenosos, foram adotados apenas os valores máximos de cada projeção promovendo um maior intervalo de

confiança para toda a estrutura, como mostra a figura 22. Os segmentos a azul são representados pelos transectos que por sua vez contêm informação sobre o ritmo de recuo da arriba mais a SNMM como foi demonstrado pelo modelo *sape* e a linha vermelha é a projeção contabilizando apenas o ritmo de recuo da arriba e associado por sua vez a um comportamento linear ao longo do tempo. A construção do *script* para a elaboração destes 4 gráficos encontra-se nos anexos.

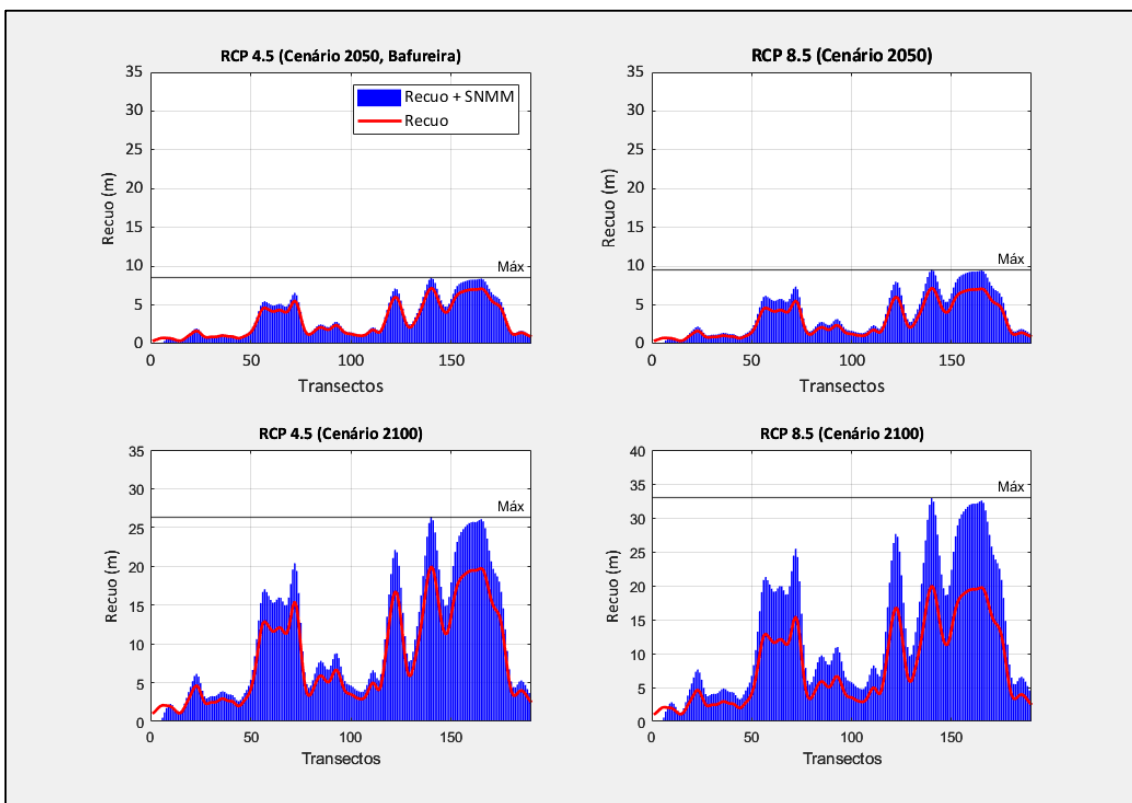


Figura 22 – Projeções da crista da arriba para os anos de 2050 e 2100, utilizando apenas o ritmo de recuo como variável (linha vermelha) e o modelo *sape* (transectos a azul).

Através dos máximos calculados foi possível adotar um valor para a representação cartográfica das faixas de salvaguarda em contexto do uso e ocupação do solo para este local do município de Cascais. Assim, os valores em metros utilizados para a representação das faixas de salvaguarda para o ano de 2050, foram de 8.4 metros (RCP 4.5) e 9.5 metros (RCP 8.5). Por outro lado, para o ano de 2100 as faixas de salvaguarda apresentam-se com valores muito maiores, respetivamente, 26.4 metros (RCP 4.5) e 33.0 metros (RCP 8.5). Posto isto é perceptível que com o aumento mais acentuado da taxa de SNMM, maior será o efeito sentido em sistemas rochosos como estes, principalmente arribas que sofrem com erosão maioritariamente pela base/sopé.

Capítulo IV – Resultados e Discussão

4.1. Evolução da Crista da Arriba entre 1995 e 2021

4.1.1. Quantificação do deslocamento horizontal

Tal como debatido no capítulo III, tendo em conta as condições topográficas do local ao longo dos anos e a sua análise através da extensão *DSAS*[®] é possível quantificar o deslocamento horizontal absoluto da crista da arriba (*NSM*). Deste modo, entre 1995 e 2021 a arriba da Bafureira recuou em média 2.9 m, contudo os resultados mostram que existe uma grande variabilidade espacial (Fig. 24). As secções da arriba expostas ao quadrante sul apresentam valores de recuo superiores ao valor médio, podendo observar-se um valor máximo de recuo de 8.2 m no setor nascente da arriba (Fig. 24). Os restantes setores apresentam valores de recuo inferiores à média, colocando em evidência a importante variabilidade espacial da evolução da crista da arriba, e sugerindo que o valor médio observado tem pouco significados para explicar o comportamento evolutivo da arriba.

Através da Figura 23 consegue-se analisar as diferenças entre os setores sudoeste (**A**) e sul (**B**), destacando a elevada erosão a que o setor sul está sujeito devido essencialmente à ação do mar, ao contrário do setor sudoeste que está protegido pelo muro de proteção. É expectável que esta situação continue a ocorrer com o aumento de fenómenos extremos e a SNMM, promovendo um aumento da erosão na base levando por fim ao deslocamento de blocos rochosos, que se podem acumular na base ou nas imediações.

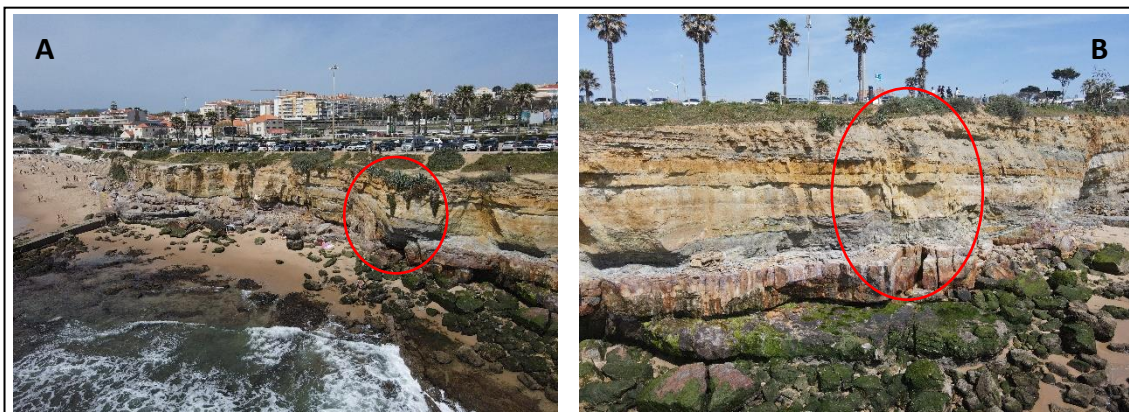


Figura 23 – Setores da arriba da Bafureira com maior instabilidade evolutiva (círculos a vermelho).

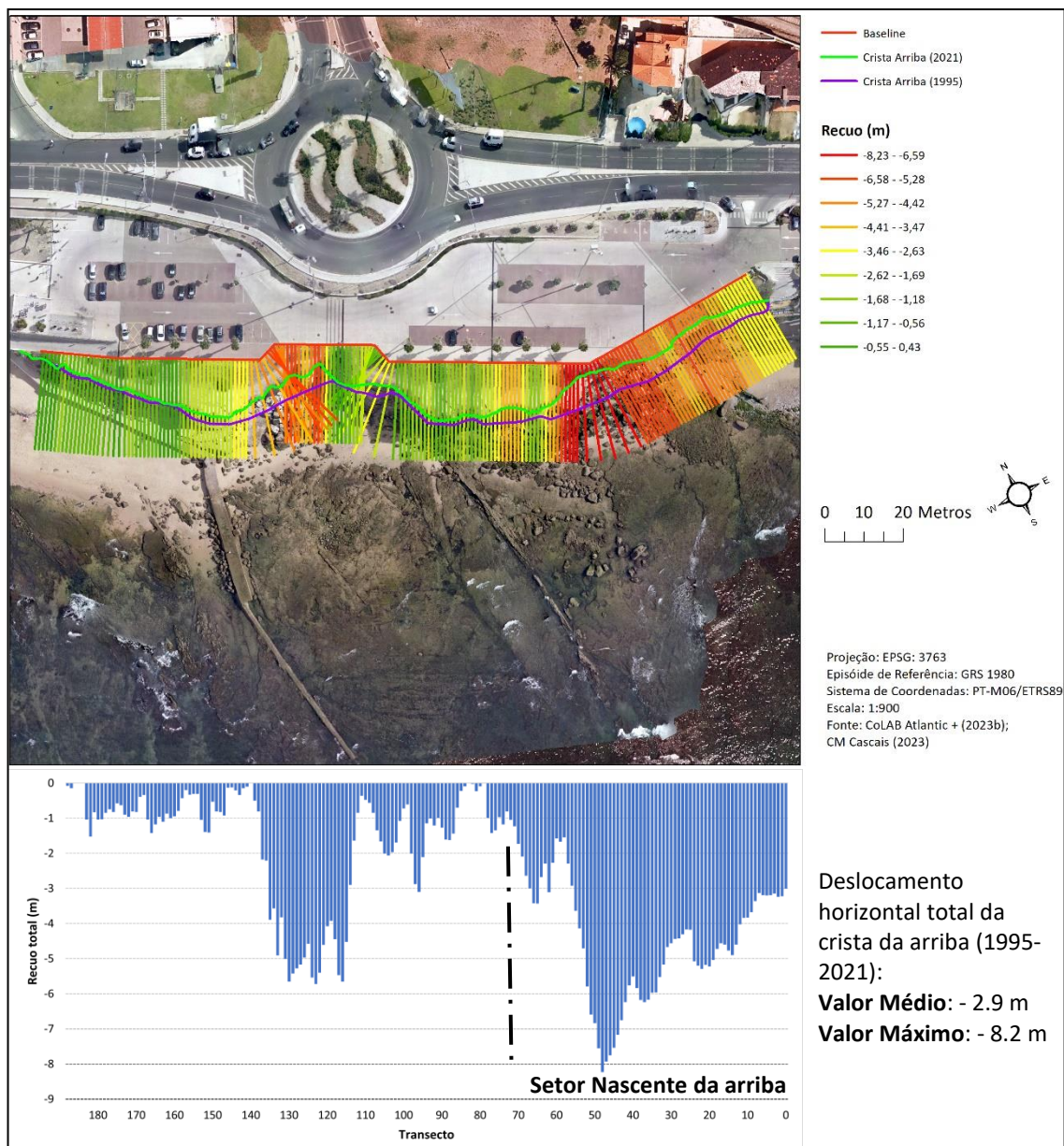


Figura 24 – Resultados do recuo horizontal absoluto da crista da arriba da Bafureira entre 1995 e 2021.

4.1.2. Ritmo de variação da crista da arriba

Os resultados do cálculo do ritmo de variação da crista da arriba ao longo dos diferentes transectos permitiram identificar que, de forma análoga ao observado para os resultados do deslocamento horizontal absoluto, existe uma importante variabilidade espacial, com os setores expostos ao quadrante sul a apresentarem as maiores variações de recuo (Fig. 25). Os resultados mostram que em média a crista da arriba está a recuar a uma velocidade de 0,10 m/ano, contudo, em alguns transectos

localizados nas faces da arriba exposta a sul a velocidade de recuo é superior a 0,20 m/ano, podendo em alguns casos chegar até 0,29 m/ano (Figura 25).

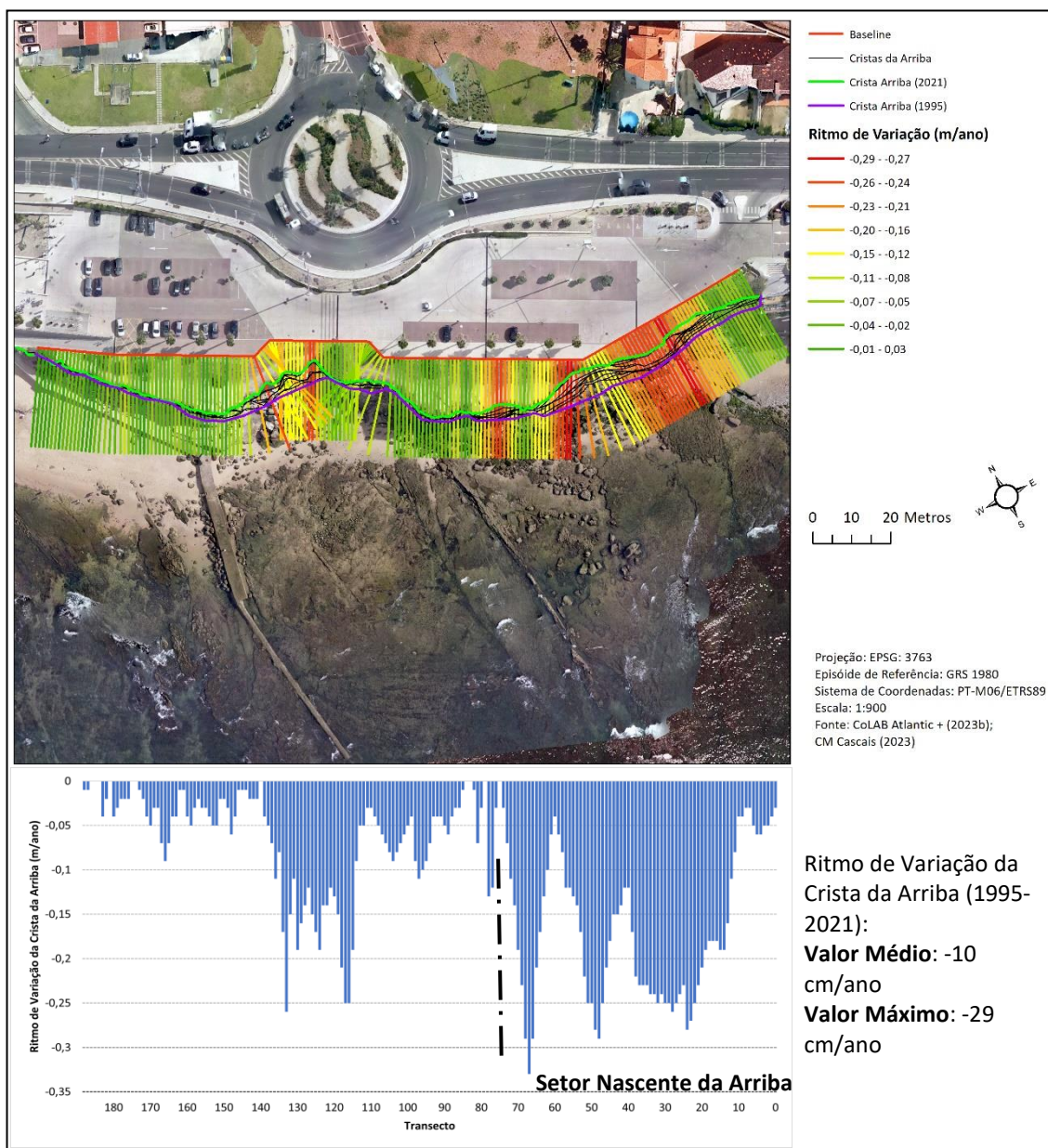


Figura 25 – Resultados do ritmo de recuo horizontal da crista da arriba da Bafureira.

Deste modo é possível concluir que o quadrante sul é o que está mais sujeito à erosão marítima ou a outros fenómenos que possam pôr em causa a estabilidade da arriba. Na generalidade, os resultados obtidos estão acima dos valores expectáveis para esta zona, em que de acordo com (Taborda et al., 2010) a velocidade média de recuo para a praia das Avencas e para a praia da Bafureira é de 0,010 m/ano entre os anos de 1942-2008.

4.2. Projeção da posição da crista da arriba para 2050 e 2100

As zonas costeiras são um sistema dinâmico por natureza e estes locais sofrem mudanças a curto e longo prazo (Sunamura, 1992). Posto isto é importante poder-se prever uma nova posição da linha nos sistemas de arriba/praias, de forma a apoiar a tomada de decisão em termos da orla costeira e ordenamento do território, contabilizando as alterações climáticas, em que para este presente estudo, foi considerado o parâmetro da SNMM. Estas projeções são baseadas nos ritmos de recuos de anos anteriores e na aplicação de métodos analíticos (Castedo *et al.*, 2015).

Aplicando o modelo empírico desenvolvido por Castedo *et al.*, (2015) e Brooks e Spencer (2012), como mencionado no capítulo III, é possível obter uma nova projeção da crista da arriba para os anos de 2050 e 2100. Os resultados das projeções da posição da crista da arriba para os anos de 2050 e 2100, mostram que se a velocidade (ritmo) de recuo da crista da arriba se mantiver constante, a posição da crista da arriba poderá ultrapassar a posição atual do limite externo do parque de estacionamento no topo da arriba para ambos os horizontes temporais, ou ainda ultrapassar toda a extensão do parque de estacionamento no quadrante central e sul (Figura 26).

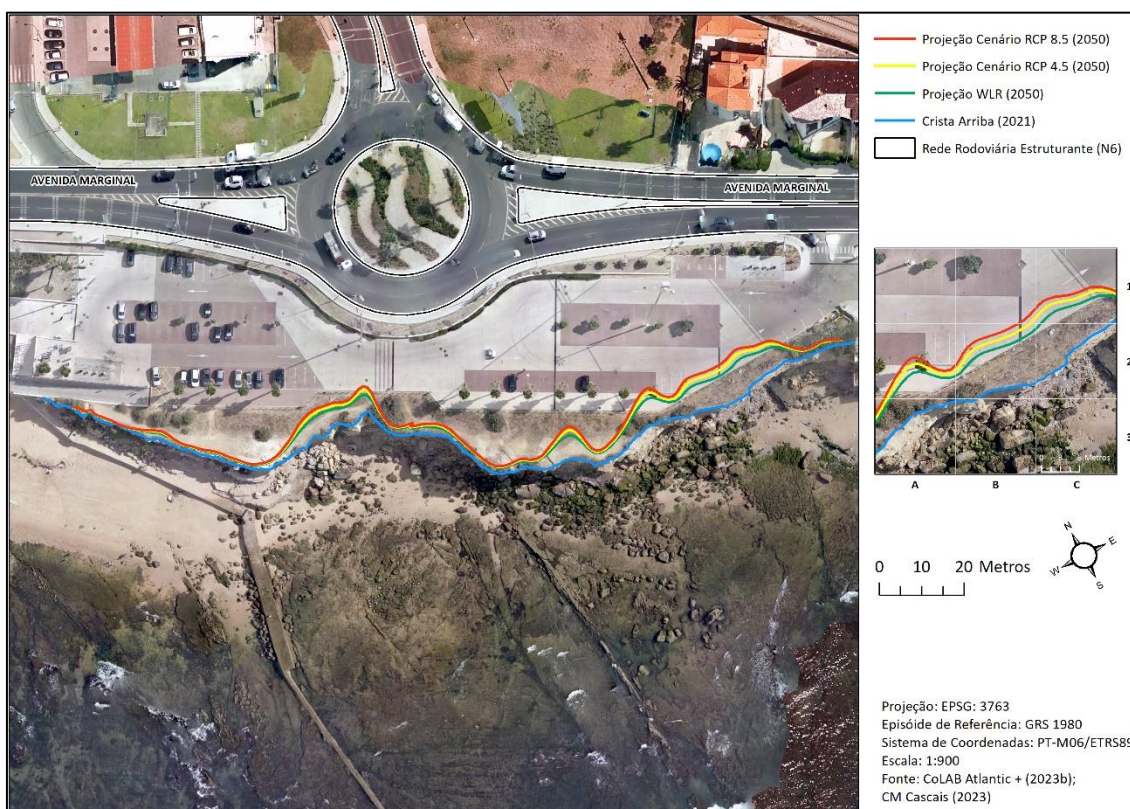


Figura 26 – Projeção futura das várias posições da crista da arriba para 2050, tendo em conta os diferentes cenários.

Através destas projeções é possível analisar que para o ano de 2100 e de acordo com as projeções de SNMM para os cenários do IPCC, os sectores mais afetados serão os que estão expostos ao quadrante sul e os mais vulneráveis à erosão de acordo com os resultados obtidos no presente trabalho. É importante salientar que para ambos os cenários temporais é necessário considerar as incertezas associadas a estas projeções, e que num cenário mais pessimista, os resultados obtidos podem-se agravar, contudo é importante também considerar que este resultado assume que a arriba se comporta de uma forma linear no tempo, o que nem sempre é o caso dado a elevada complexidade da resposta morfológica e processos envolvidos (e.g., ação hidrodinâmica da agitação marítima, processos de meteorização química, biológica e física, a subida do nível médio do mar, ou até a variabilidade espacial da litologia da arriba) (Figura 27).

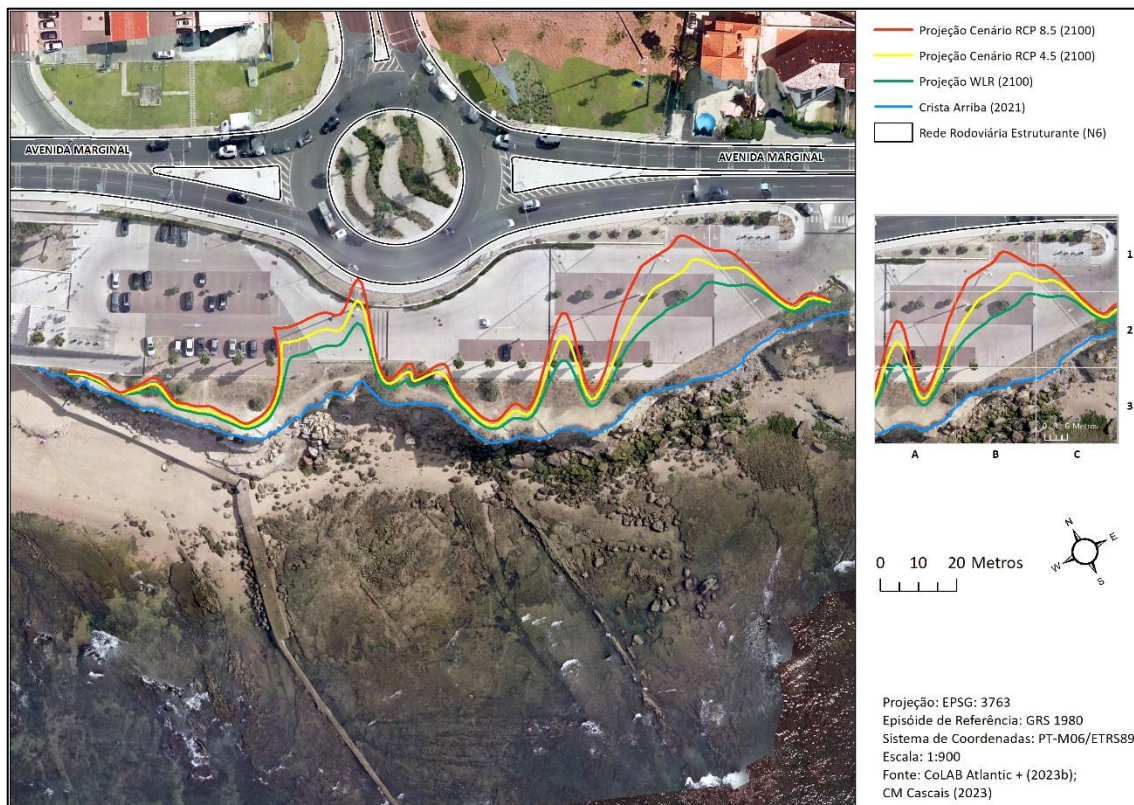


Figura 27 - Projeção futura das várias posições da crista da arriba para 2100, tendo em conta os diferentes cenários.

4.3. Projeção das faixas de salvaguarda e determinação dos elementos expostos

Com a aplicação do modelo *scape* e da determinação dos valores máximos para cada projeção, dependendo do horizonte temporal, é possível definir as faixas de salvaguarda para este local. Estas Faixas de Salvaguarda têm por base as indicações do Plano Diretor Municipal de Cascais e no Programa da Orla Costeira Alcobaça-Capo Espichel (POC-ACE) e que através dos princípios consagrados nestes instrumentos de gestão territorial é possível identificar as áreas (m²) abrangidas pelas faixas de salvaguarda tendo em conta a classificação e qualificação do solo do PDM de Cascais (DMEI, 2013).

A identificação das categorias representadas nas seguintes figuras teve em conta o documento “Classificação e Qualificação do Solo”, juntamente com a plataforma *GeoCascais* de forma a analisar os espaços ocupados pelas faixas de salvaguarda para os diferentes cenários. Posto isto foram identificadas até 3 categorias, sendo que o parque de estacionamento e o passeio são considerados espaços de equipamentos, porém, são apresentados nas figuras como outros tipos de solo apenas para facilitar a visualização (DMEI, 2013):

- “**Espaço Verde de Proteção e Conservação**, que corresponde a áreas de elevado grau de naturalidade, onde é necessário preservar e reforçar os seus valores naturais e paisagísticos ao suporte do equilíbrio da estrutura ecológica urbana” (pp. 15);

- “**Espaço de Equipamentos**, correspondendo a áreas de domínio público ou privado afetas ou a afetar estabelecimentos, de carácter público ou privado, de utilização coletiva ou destinados à prestação de serviços aos cidadãos , designadamente no âmbito da saúde, desporto, segurança pública e proteção civil” (pp. 13);

- **Rede Rodoviária Estruturante** (Nacional 6), constitui uma via de maior interesse nacional, servindo de apoio a vários itinerários que servem de apoio a toda a rede rodoviária nacional.

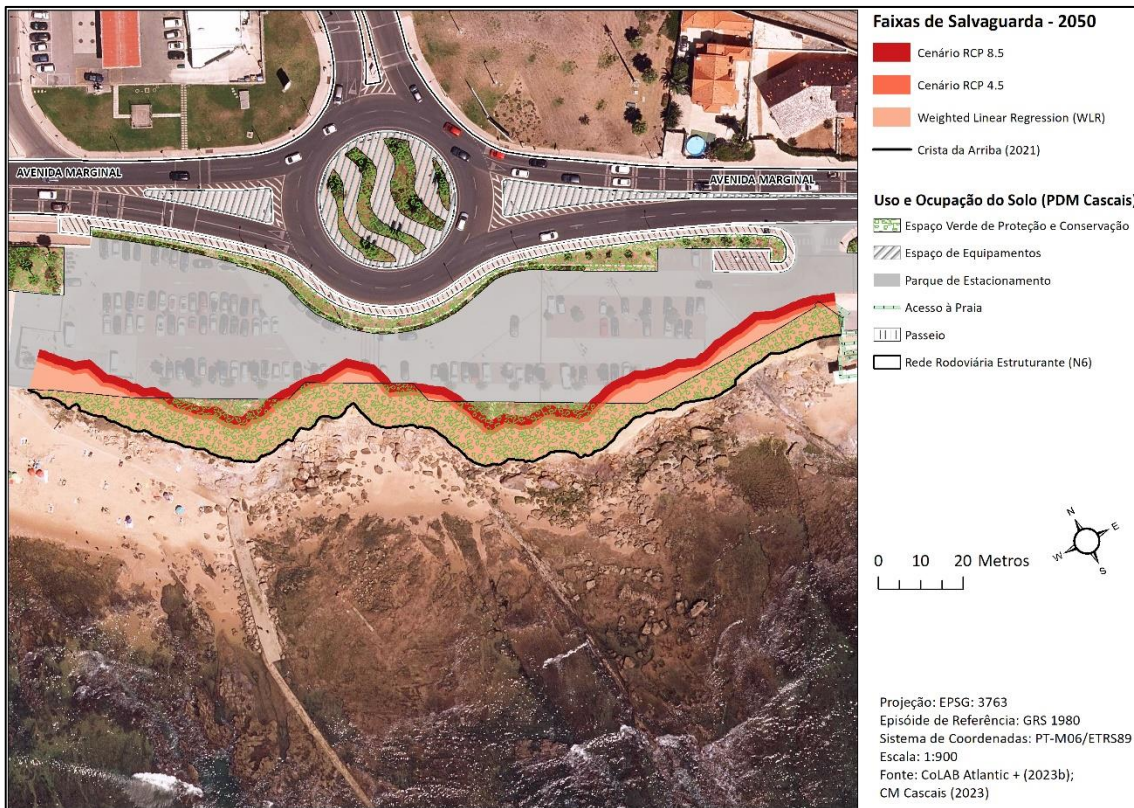


Figura 29 – Faixa de Salvaguarda nos três cenários para o horizonte temporal de 2050, tendo em conta o Uso e Ocupação do solo do Plano Diretor Municipal de Cascais.

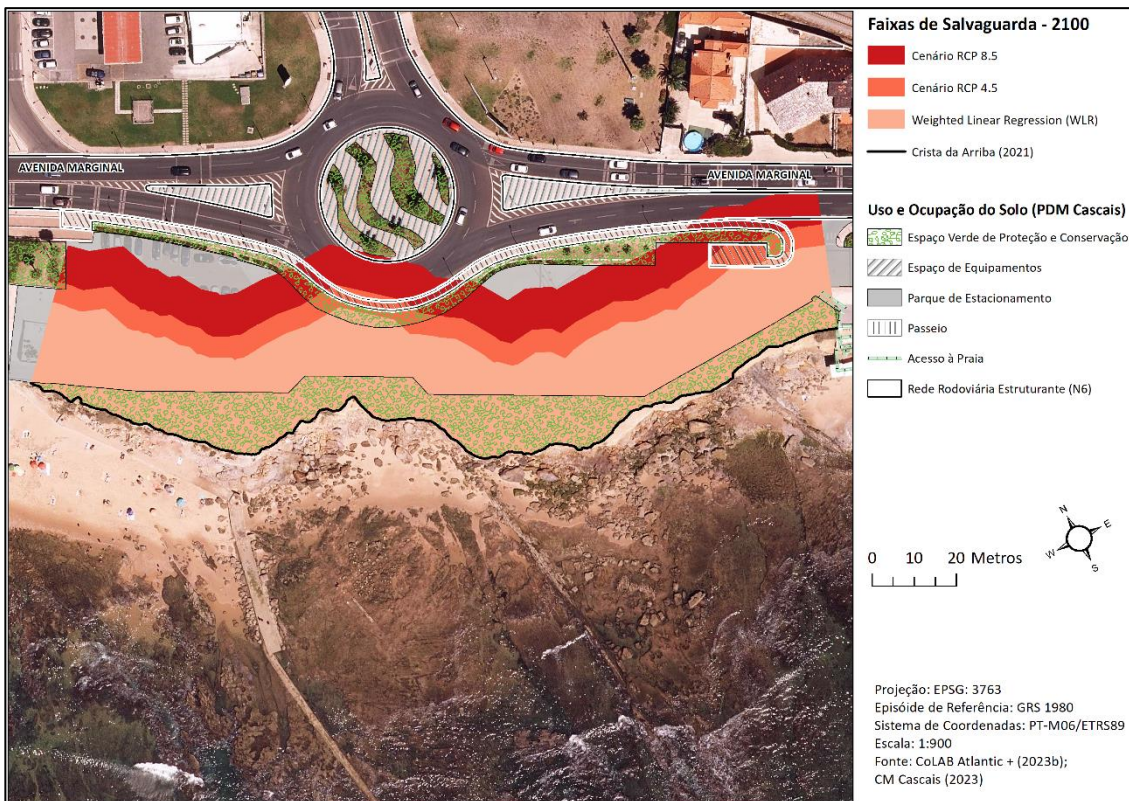


Figura 28 - Faixa de Salvaguarda nos três cenários para o horizonte temporal de 2100, tendo em conta o Uso e Ocupação do solo do Plano Diretor Municipal de Cascais.

A análise dos elementos expostos dentro das faixas de salvaguarda para ambos os horizontes temporais foi realizada com base no uso e ocupação do solo do PDM de Cascais e teve como objetivo compreender que o uso do solo, a população e o edificado serão afetados face às projeções da posição da linha da crista da arriba.

Com esta análise é possível observar que, em ambos os diversos cenários e horizontes temporais, a classe denominada por espaço verde de proteção e conservação, como também o parque de estacionamento são as classes mais afetadas pelo eventual recuo da crista da arriba. É importante salientar que para o pior cenário de 2100 a Rede Rodoviária estruturante (Avenida Marginal) fica exposta ao recuo da arriba levando a um enorme problema em termos de mobilidade, pois esta estrutura consiste numa das principais vias de comunicação entre Cascais e Lisboa (Figura 30).

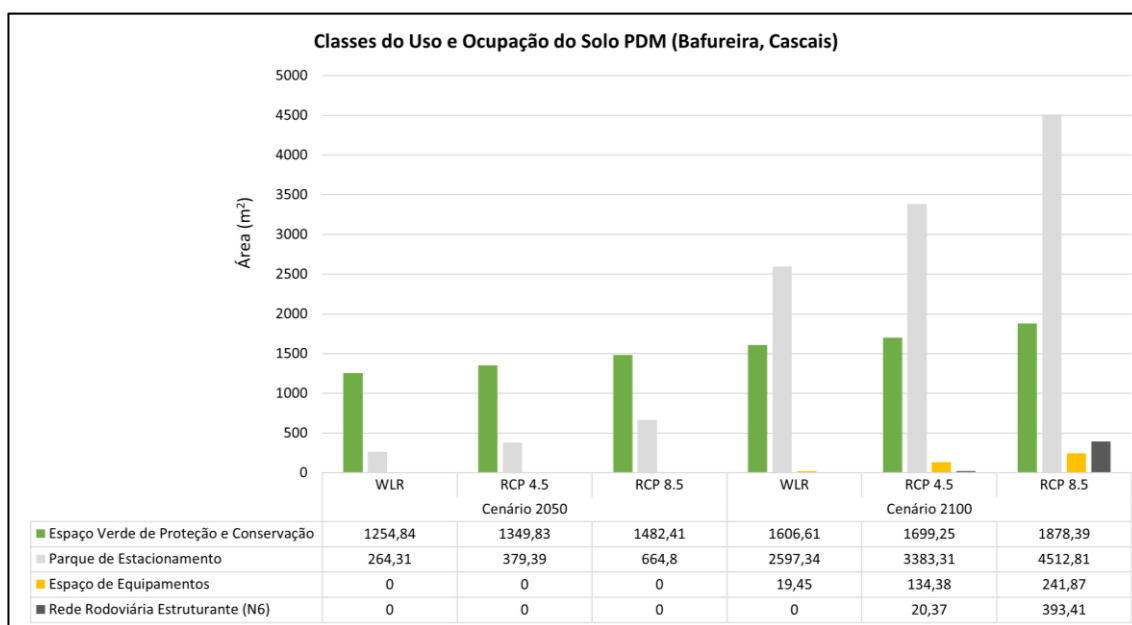


Figura 30 – Espacialização do tipo de ocupação do solo afetado, mediante as classes do PDM de Cascais, tendo por base o modelo *Scape*.

4.3.1. Instrumentos de gestão territorial para o estabelecimento das faixas de salvaguarda: A Adequabilidade das Faixas

O estabelecimento deste tipo de faixas corresponde a princípios considerados nos instrumentos de gestão territorial, tais como nos Planos de Ordenamento da Orla Costeira (POOC's) e posteriormente os Programas da Orla Costeira (POC's). Posto isto estas faixas seguem determinados parâmetros e condições que maioritariamente são definidas pela Agência Portuguesa do Ambiente, mediante a totalidade dos eventos de

recuo inventariados por fotointerpretação durante determinados períodos, assim este trabalho teve também como objetivo a comparação do modelo definido para estes resultados com o modelo definido pela APA para o local em questão. A APA, consoante o relatório de 2013 “*Estudo da Adequabilidade das faixas de risco/salvaguarda definidas no POOC em vigor*” contabilizou 20 movimentos que causaram recuos compreendidos entre 1 metros e 7 metros para o sector de Cidadela-Forte de São Julião da Barra. Posto isto e atendendo à dimensão do recuo máximo a APA propôs que a Faixa de risco adjacente à crista fosse igual a 0.8 vezes a altura da arriba, com valor mínimo de 8 metros (APA, 2013). Estes fatores levam à elaboração de duas faixas de salvaguarda que fazem parte da Zona Terrestre de Proteção dos POC’s e consistem em dois níveis: “Nível I - áreas adjacentes à crista da arriba, ou de outras vertentes em domínio costeiro, com maior probabilidade de serem afetadas por movimentos de massa de vertente de diferentes tipos e dimensões; Nível II, áreas que acrescem à Faixa de Salvaguarda para Terra de Nível I, tendo como função adicional a absorção de potenciais movimentos de massa de vertente com larguras atípicas.” (pp. 85, APA., 2018).



Figura 31 – Espacialização do regime de salvaguarda aos riscos costeiros em litoral de arriba, tendo em conta o uso e ocupação do solo do PDM de Cascais.

De forma a analisar os critérios propostos pela APA com os resultados do modelo *scape*, foram calculadas as áreas (m²) ocupadas pelas faixas de salvaguarda, como forma de comparação entre resultados.

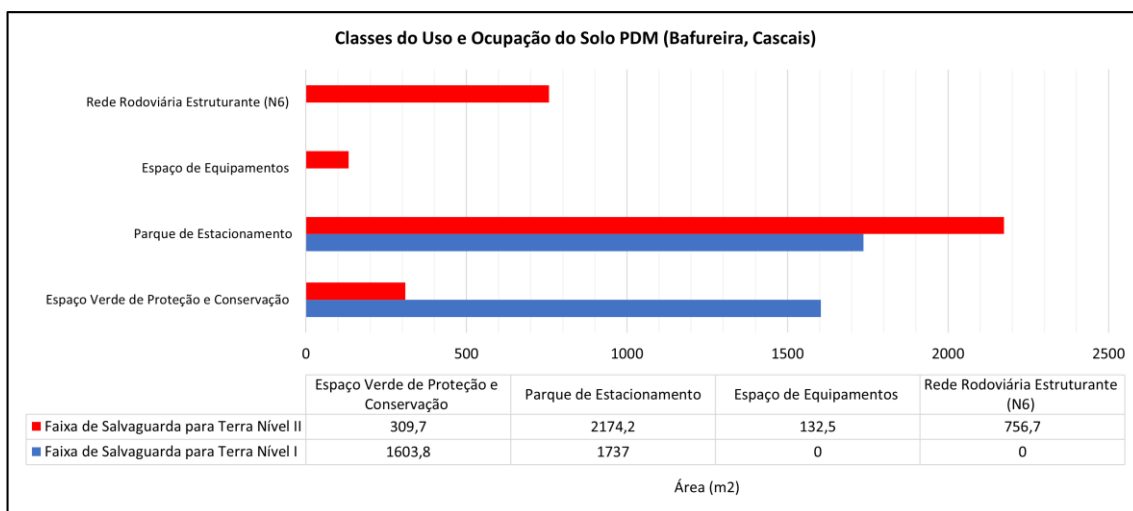


Figura 32 - Espacialização do tipo de ocupação do solo afetado, mediante as classes do PDM de Cascais, tendo por base os critérios de delimitação da Agência Portuguesa do Ambiente.

Posto isto é possível analisar que a delimitação de faixas tendo em conta o modelo *scape*, que por sua vez foi adotado o valor máximo de cada projeção, abrange áreas maiores tanto para 2050 como para 2100, levando a uma maior salvaguarda de bens e pessoas, como é o caso do parque de estacionamento que só através da projeção do ritmo de recuo para 2100 abrange uma maior área do que a Faixa de Salvaguarda para Terra Nível II. Com esta análise é possível ainda identificar que a Faixa de Salvaguarda Nível I corresponde às faixas de salvaguarda para 2050 tendo em conta o modelo *scape* e a Faixa nível II assemelha-se também às faixas de salvaguarda para 2100, porém com a adoção de valor máximo de recuo para toda a vertente existe um maior raio de salvaguarda, que por sua vez não é considerado na Figura 31.

Com a análise da cartografia de risco definida pela APA, como também dos documentos produzidos por esta instituição é perceptível de que a APA como muitas outras organizações considera apenas os movimentos da vertente e o seu ritmo de recuo não pondo questões como a SNMM, dentro da produção de uma cartografia de risco.

Torna-se, pois, perceptível como modelos que englobem outros fatores para além dos movimentos de recuo da arriba são uma mais-valia para a tomada de decisões das instituições sobre os riscos da erosão costeira.

Existe ainda outra componente que foi pensada para esta análise e que é bastante usada em países como os Estados Unidos e que tem um enorme benefício para os municípios que consiste na quantificação das perdas do solo em valores monetários, ou seja, a conversão de área para custos pode ser útil para avaliar os impactos das alterações climáticas na gestão costeira. Ao relacionar as mudanças na área afetada por eventos climáticos extremos, como tempestades, inundações e erosão costeira, com os custos associados à reparação de infraestruturas e prejuízos económicos, é possível ter uma melhor compreensão dos custos financeiros das alterações climáticas para a gestão costeira. Para realizar desta conversão, é necessário pensar primeiro identificar as áreas costeiras que estão em risco devido às alterações climáticas. Em seguida, é preciso avaliar os custos associados à proteção dessas áreas, como a construção de infraestruturas de proteção costeira, a realocação de infraestruturas ou a restauração dos ecossistemas marinhos e costeiros. Esses custos podem incluir investimentos iniciais, bem como custos de manutenção contínuos.

Com essas informações, é possível calcular os custos totais das alterações climáticas na gestão costeira, fornecendo uma base para a tomada de decisões informadas sobre a adaptação e a mitigação desses impactos. No entanto, é importante lembrar que a conversão de área para custos é apenas uma das muitas ferramentas disponíveis para avaliar os impactos das alterações climáticas e que é necessário levar em consideração outros fatores, como os impactos sociais e ambientais, como também deter um conhecimento vasto sobre o valor das infraestruturas e do solo afetado pelos fenómenos extremos, sendo que esta foi a principal razão para não se prosseguir com a quantificação dos custos de perda do solo.

Capítulo V – Considerações Finais

A implementação de faixas de salvaguarda e a gestão das arribas são medidas essenciais para lidar com a erosão costeira e a subida do nível médio do mar em áreas críticas de instabilidade potencial, como a praia da Bafureira em Cascais. A implementação destas faixas ajuda a proteger as zonas costeiras e as populações que aí habitam, permitindo a adaptação às alterações climáticas e minimizando a perda de equipamentos e infraestruturas de cariz economicamente importantes. Além disso, a gestão adequada das arribas é fundamental para a prevenção de deslizamentos de terra e colapsos, garantindo a segurança de pessoas e bens.

Através dos resultados obtidos é possível compreender que a monitorização costeira é um instrumento fundamental para a gestão da zona costeira, permitindo identificar e priorizar intervenções necessárias que preservem e valorizem especificidades geográficas de cada sector costeiro. Para tal, deve-se adequar os diferentes métodos de estudo/monitorização a cada local, tendo em conta o tipo de objeto de estudo, ou seja, devem ser consideradas diferentes metodologias de monitorização dependendo dos objetivos a serem cumpridos. Para o caso da arriba da Bafureira, uma arriba de difícil acesso e de alguma instabilidade associada, utilizaram-se métodos outrora utilizados para estudos de monitorização semelhantes, como as fotografias aéreas com recurso a UAV's, também conhecidos como drones, como também uso de fotografias aéreas para a reconstrução 3D de ambientes costeiros (Almeida *et al.*, 2019).

Os métodos usados para este estudo são considerados de baixo custo e de alta resolução, no entanto, é importante salientar que um projeto desta magnitude com um maior intervalo temporal poderá levar a melhores resultados, com a utilização de métodos *in situ*, tais como a utilização de levantamentos topográficos baseados em Sistemas de navegação por Satélite (GPS – *Global Positionin System*), como o RTK-GPS, ou ainda a utilização de tecnologia LiDAR, para obtenção de uma nuvem de pontos 3D da face da arriba com uma resolução ainda mais precisa, ainda assim para a utilização de ambas as metodologias devem ser considerados parâmetros como a segurança e instabilidade do local de estudo, as condições da operação e de que forma vão ser adquiridos os dados e de que forma estes vão ser processados.

A aplicação de todas estas metodologias com a fotogrametria, a fotointerpretação e a utilização de veículos aéreos não tripulados, levam a uma série de produtos que podem ser processados e analisados através de ferramentas SIG, permitindo assim: *i)* a atualização da cartografia de risco para o município; *ii)* um auxílio para delimitação das faixas de salvaguarda, com maior rigor; *iii)* a interpretação dos processos erosivos da arriba e a deteção de alterações nestes sistemas; *iv)* a determinação de ritmos de recuo e cálculos de áreas.

Deste modo é perceptível como os SIG incorporam um “papel” importante para a monitorização de zonas costeiras e como estas ferramentas podem apoiar uma melhor tomada de decisão, no entanto, é importante lembrar que estas metodologias são apenas parte da solução para a adaptação às mudanças climáticas e a proteção da costa. É necessário adotar uma abordagem holística e integrada, envolvendo a cooperação entre várias entidades e a participação da comunidade local, para uma gestão sustentável e eficaz da zona costeira. A implementação de faixas de salvaguarda bem projetadas é uma parte importante dessa abordagem, mas deve ser vista como parte de um conjunto de medidas que devem ser adotadas para lidar com as mudanças climáticas e a erosão costeira, tendo sempre em conta o fator de incerteza associado, pois os resultados obtidos neste relatório devem ser compreendidos como uma primeira abordagem, visto que os resultados da subida do nível médio do mar são apenas projeções contempladas para os cenários RCP 4.5 e 8.5, de acordo com o IPCC.

Por fim, recomenda-se para trabalhos futuros, seja para a praia da Bafureira como também para outros sistemas de arriba, que sejam considerados de elevada instabilidade ou que possam levar à perda de bens e pessoas, uma monitorização constantes desses locais apoiada por estudos prévios acompanhados por metodologias que não contabilizem apenas o fator de recuo por si só, mas também fatores externos como a subida do nível médio do mar ou a ocorrência de eventos extremos; a utilização de ferramentas como os SIG para o apoio na tomada de decisão levando a que as autarquias tomem decisões de forma holística considerando todas as possibilidades sobre o determinado território, conjugando os fatores ambientais com os fatores socioeconómicos; e ainda a contabilização dos custos associados à perda de território com a erosão costeira.

Referências Bibliográficas

- Almeida, L. P. et al., “Deriving high spatial-resolution coastal topography from sub-meter satellite stereo imagery,” *Remote Sens.*, vol. 11, no. 5, 2019, doi: 10.3390/rs11050590.
- Andrade, C., Taborda, R., Marques, F., Freitas, M. da C., Antunes, C., Mendes, T., & Carreira, D. (2008). *Alterações Climáticas no município de Sintra. Zonas Costeiras in Plano Estratégico do concelho de Sintra face às Alterações Climáticas.*
- ANPC. (2010). *Riscos Costeiros—Estratégias de prevenção, mitigação e protecção, no âmbito do planeamento de emergência e do ordenamento do território* (Cadernos Técnicos PROCIV N.º 15). Autoridade Nacional de Protecção Civil.
- Antunes, C. (2010). *Monitorização da variação do nível médio do mar.* 1as Jornadas de Engenharia Hidrográfica, Lisboa.
- Antunes, C. (2011). Monitoring sea level change at Cascais tide gauge. *Journal of Coastal Research (Proceedings of the 11th International Coastal Symposium)*, 870–874.
- Antunes, C. (2019). Assessment of Sea Level Rise at West Coast of Portugal Mainland and Its Projection for the 21st Century. *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(3), Artigo 3. <https://doi.org/10.3390/jmse7030061>
- Antunes, C., & Taborda, R. (2009). Sea level at Cascais tide gauge: Data, Analysis and results. *Journal of Coastal Research*, 218–222.

APA. (2013). *Estudo do litoral na área de intervenção da APA, I.P./ARH do Tejo. Estudo da adequabilidade das faixas de risco/salv guarda definidas no POOC em vigor.* (Consultoria para a Criação e Implementação de um Sistema de Monitorização do Litoral abrangido pela área de Jurisdição da ARH do Tejo”, realizado pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL), para a Agência Portuguesa do Ambiente, I.P. / Administração da Região Hidrográfica do Tejo (APA, I.P. /ARH do Tejo). Entregável 1.3.3.a).

APA. (2018). *Relatório do Programa. Programa da Orla Costeira Alcobaça-Capo Espichel.* biodesign e Agência Portuguesa do Ambiente.

APA. (2021). *Cosmonline.* <https://cosmo.apambiente.pt/data>

APA, ARH Norte, ARH Centro, ARH Tejo e Oeste e ARH Algarve. (2017). *Plano de Ação Litoral XXI* (pp. 1–125). Agência Portuguesa do Ambiente - Departamento do Litoral e Proteção Costeira. <https://apambiente.pt/agua/plano-de-acao-litoral-xxi>

APRH. (2007). *Glossário RGCI, A, Arriba.* Revista de Gestão Costeira Integrada. <https://www.aprh.pt/rgci/glossario/arriba.html>

Beckley, B. D., Callahan, P. S., Hancock III, D. W., Mitchum, G. T., & Ray, R. D. (2017). On the “Cal-Mode” Correction to TOPEX Satellite Altimetry and Its Effect on the Global Mean Sea Level Time Series. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 122(11), 8371–8384. <https://doi.org/10.1002/2017JC013090>

Bird, E. C. F. (2008). *Coastal geomorphology: An introduction* (2nd ed). Wiley.

Brooks, S. M., & Spencer, T. (2012). Shoreline retreat and sediment release in response to accelerating sea level rise: Measuring and modelling cliff line dynamics on the Suffolk Coast, UK. *Global and Planetary Change*, 80–81, 165–179. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2011.10.008>

Carreira, D. (2021, novembro 21). *Altimetria Portugal 25m | Via SIG*. <https://blog.viasig.com/2021/11/altimetria-portugal-25m/>

Carvalho, I. (2013). *Impactes do storm surge em Portugal Continental: Do clipping da imprensa regional aos dados oceanográficos* [Dissertação de Mestrado]. Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa.

Cascais. (2023). *PDM – Compilação dos elementos constituintes em vigor*. Cascais Tudo começa nas pessoas. <https://www.cascais.pt/pdm-compilacao-dos-elementos-constituintes-em-vigor>

Castedo, R., de la Vega-Panizo, R., Fernández-Hernández, M., & Paredes, C. (2015). Measurement of historical cliff-top changes and estimation of future trends using GIS data between Bridlington and Hornsea – Holderness Coast (UK). *Geomorphology*, 230, 146–160. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.11.013>

CMCascais. (2023). *GeoCascais*. <https://geocascais.cascais.pt/>

CoLAB Atlantic +. (2023a). *CoLAB +ATLANTIC*. <https://colabatlantic.com/>

CoLAB Atlantic +., (2023b). Material fornecido pelo CoLAB +Atlantic para a produção de mapas.

Copernicus Marine Service. (2022). *Global Ocean Gridded L 4 Sea Surface Heights And Derived Variables Reprocessed 1993 Ongoing.*

https://data.marine.copernicus.eu/product/SEALEVEL_GLO_PHY_L4_MY_008_047/description

Del Río, L., & Gracia, F. J. (2009). Erosion risk assessment of active coastal cliffs in temperate environments. *Geomorphology*, 112(1), 82–95.

<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.05.009>

DGT. (2023). *Carta Administrativa Oficial de Portugal 2021*. SNIG.

<https://www.dgterritorio.gov.pt/cartografia/cartografia-tematica/caop>

Dias, João. M. A. (1988). Aspectos geológicos do Litoral Algarvio. *Geonovas*, 113–128.

Dias, João. M. A. (2004). *A história da evolução do litoral português nos últimos vinte milénios.*

<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4445.2567>

Dinis, J., Lopes, G. P., & Campos, I. (2018). *Plano de Ação para Adaptação às Alterações Climáticas de Cascais*. EMAC - Cascais Ambiente.

Direção-Geral de Política do Mar. (2012). *Estratégia Nacional para o Mar 2013-2020.*

<https://www.dgpm.mm.gov.pt/enm>

DMEI. (2013). *Plano Diretor Municipal (Revisão). 5. Classificação e Qualificação do solo.*

Direção Municipal Estratégia Inovação e Qualificação e Câmara Municipal de Cascais.

- EEA. (2019). *Projected rise in global mean sea level—European Environment Agency* [Data Visualization]. https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/projected-global-mean-sea-level/#tab-chart_2
- EEA. (2021). *Urban Atlas 2018—Copernicus Land Monitoring Service*. Urban Atlas LCLU 2018. <https://land.copernicus.eu/local/urban-atlas/urban-atlas-2018>
- European Environment Agency. (2013). *Balancing the future of Europe’s coasts—Knowledge base for integrated management* (N.º 12). Publications Office of the European Union.
- Fontinha, F. (2017). Saídas de Campo no Ensino da Geografia: Uma Metodologia Ainda Atual? *Revista de Educação Geográfica | U.P., 1, Artigo 1*. <https://ojs.letras.up.pt/index.php/GETUP/article/view/2160>
- Highland, L. M., & Bobrowsky, P. (2008). The Landslide Handbook—A Guide to Understanding Landslides. Em *The Landslide Handbook—A Guide to Understanding Landslides* (USGS Numbered Series N.º 1325; Circular, Vol. 1325, p. 147). U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/cir1325>
- Himmelstoss, E. A., Henderson, R. E., Kratzmann, M. G., & Farris, A. S. (2018). Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 5.0 user guide. Em *Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 5.0 user guide* (USGS Numbered Series N.º 2018–1179; Open-File Report, Vols. 2018–1179). U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/ofr20181179>
- IPCC. (2007). *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (p. 996). Cambridge University Press, United Kingdom and New York.

IPCC. (2013). *Climate Change 2013 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>

IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]*. Cambridge University Press, United Kingdom and New York.

IPCC. (2022). *The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157964>

Marques, F. (2009). Sea cliff instability hazard prevention and planning: Examples of practice in Portugal. *Journal of Coastal Research*, *SI 56*, 856–860.

Marques, F. M. S. F., Matildes, R., & Redweik, P. (2013). Sea cliff instability susceptibility at regional scale: A statistically based assessment in the southern Algarve, Portugal. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, *13*(12), 3185–3203. <https://doi.org/10.5194/nhess-13-3185-2013>

Matildes, R. M. H. (2016). *Técnicas de teledeteção de alta resolução aplicadas à monitorização 3D de arribas litorais: Adequabilidade, modelação da informação e resultados*. <https://repositorio.ul.pt/handle/10451/25380?mode=full>

Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento Do Território. (2012, abril 27). *Portaria 114/2012, de 27 de Abril*. Diários da República.

<https://dre.tretas.org/dre/291169/portaria-114-2012-de-27-de-abril>

National Oceanic and Atmospheric Administration Laboratory for Satellite Altimetry, Leuliette, E., & Nerem, S. (2016). Contributions of Greenland and Antarctica to Global and Regional Sea Level Change. *Oceanography*, 29(4), 154–159.

<https://doi.org/10.5670/oceanog.2016.107>

Penacho, N. D. C. (2012). *Caracterização, evolução e análise de suscetibilidade à ocorrência de instabilidades das arribas do arco Baleal—Bom Sucesso (Peniche-Óbidos)* [Tese de Mestrado, Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências].

<https://repositorio.ul.pt/handle/10451/8947>

Pinto, C., & Vinhas, A. (2011). *Riscos Costeiros em litoral de arriba: Planeamento e medidas de gestão operacional*. 1–13.

Decreto-Lei n.º. 124/2019, n.º I série, n.º. 131, Ministério do Ambiente e Transição Energética, 59 (2019). <https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/124-2019-124256708>

Ramos-Pereira, A. (2004). O espaço litoral e a sua vulnerabilidade. *GeoINova (Ambiente e Mudanças Globais)*, 9, 33–43.

Ramos-Pereira, A. (2008). Sistemas Litorais: Dinâmicas e Ordenamento. *Finisterra*, XLIII, 5–29.

Santos, F., Forbes, K., & Moita, R. (2002). *Sumário Executivo e Conclusões. In: Mudança Climática em Portugal. Cenários, Impactes e medidas de Adaptação.* ([Santos, F. D.; K. Forbes&R. Moita (eds.)]). Gradiva.

Santos, F., & Miranda, P. (2006). *Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e medidas de Adaptação.* Gradiva. <http://cciam.fc.ul.pt/prj/siam/>

Taborda, R., Andrade, C., Marques, F., Freitas, M. da C., Rodrigues, R., Antunes, C., & Pólvara, C. (2010). *Zonas Costeiras. Plano Estratégico de Cascais Face às Alterações Climáticas* [Relatório Técnico não publicado].

Thieler, E. R., Himmelstoss, E. A., Zichichi, J. L., & Ergul, A. (2009). The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 4.0—An ArcGIS extension for calculating shoreline change. Em *The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 4.0—An ArcGIS extension for calculating shoreline change* (USGS Numbered Series N.º 2008–1278; Open-File Report, Vols. 2008–1278). U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/ofr20081278>

Trindade, J. (2010). *Dinâmica morfossedimentar de praias dominadas por sistemas de arriba (Peniche—Cascais)* [Doutoramento em Geografia, Especialidade Geografia Física]. Universidade Aberta.

Violante, C. (2009). Rocky coast: Geological constraints for hazard assessment. *Geological Society, London, Special Publications*, 322, 1–31. <https://doi.org/10.1144 / SP322.1>

Anexos

Matriz de perfis de arribas abrangendo os três aspetos litológicos e os quatro graus de atividade de erosão marinha (M) versus a erosão sub-aérea (SA).

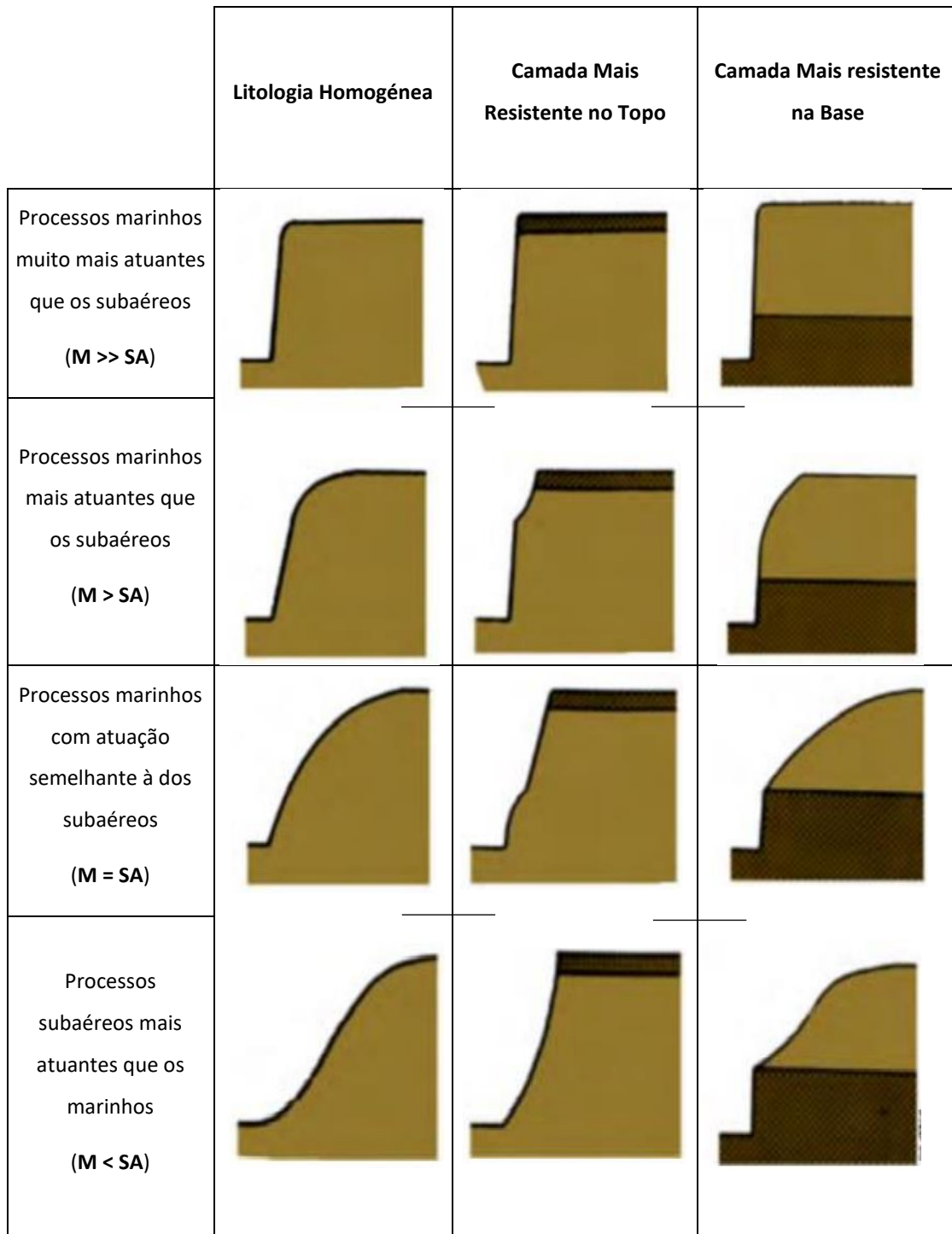


Figura A1. 1 – Caracterização dos processos de acordo com as camadas de uma arriba e sua litologia.
Fonte: Dias João, M. A. (1988).

Alteração da temperatura média global anual da superfície em relação ao período de 1886-2005 e respetivas previsões de acordo com os diferentes RCP's.

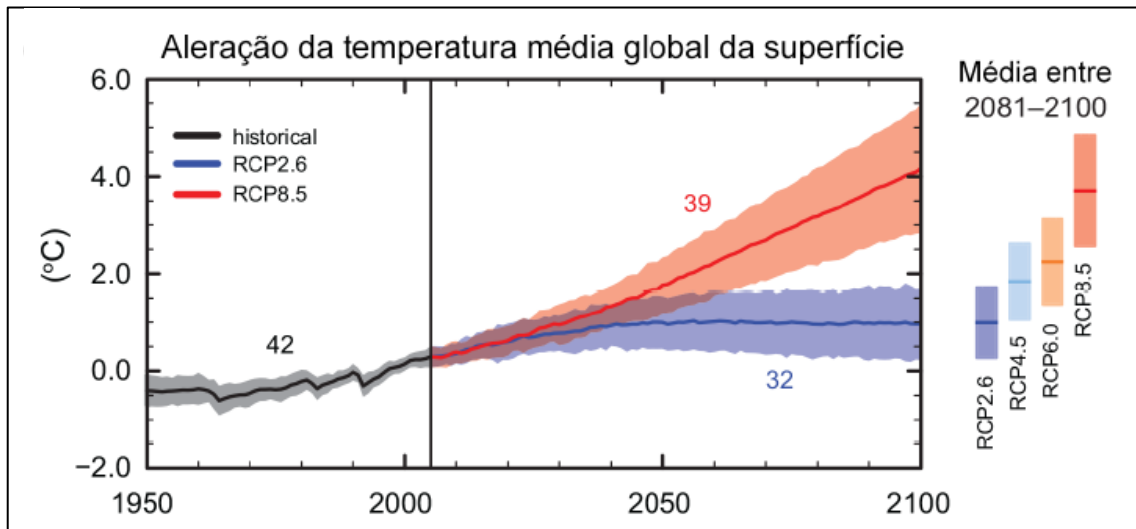


Figura A1. 2 – Temperatura media global e respetivas previsões para os RCP's 2.6 e 8.5. **Fonte:** IPCC, (2013).

Carta “B” de suscetibilidades, no concelho de Cascais, com destaque para as instabilidades em arribas na praia da Bafureira.

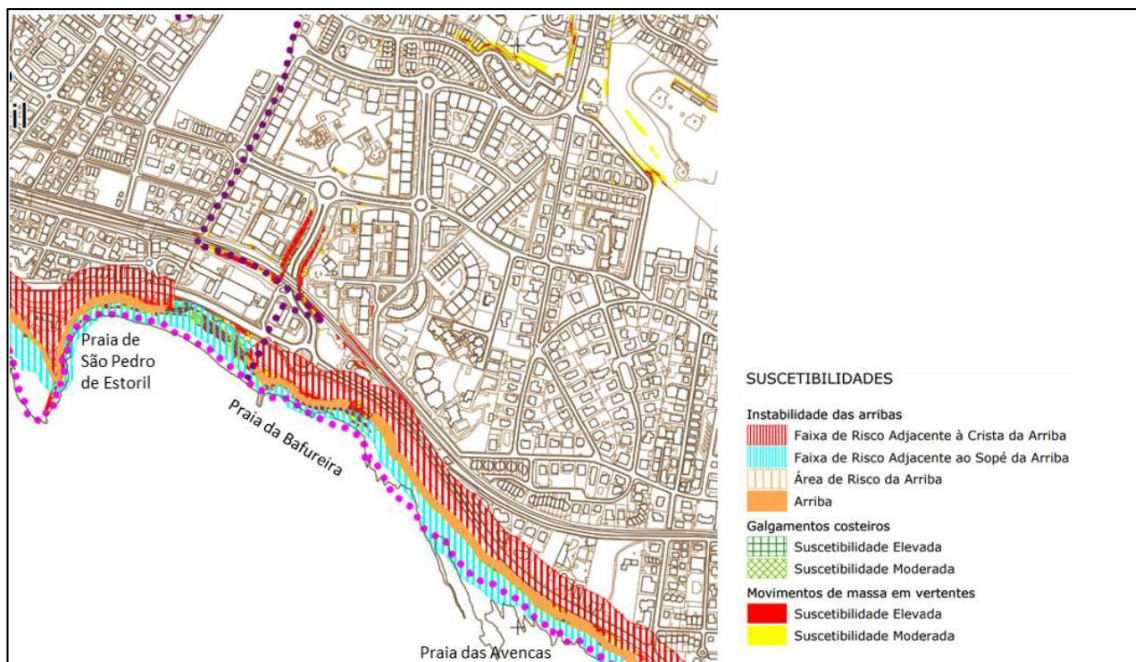


Figura A1. 3 – Mapa de Suscetibilidade – II B do Plano Diretor Municipal (PDM) de Cascais, com foco na praia da Bafureira. **Fonte:** Cascais, (2023).

Perfis de elevação da arriba da Bafureira, onde é possível observar as diferenças da altura, principalmente entre o perfil A) e o perfil C).

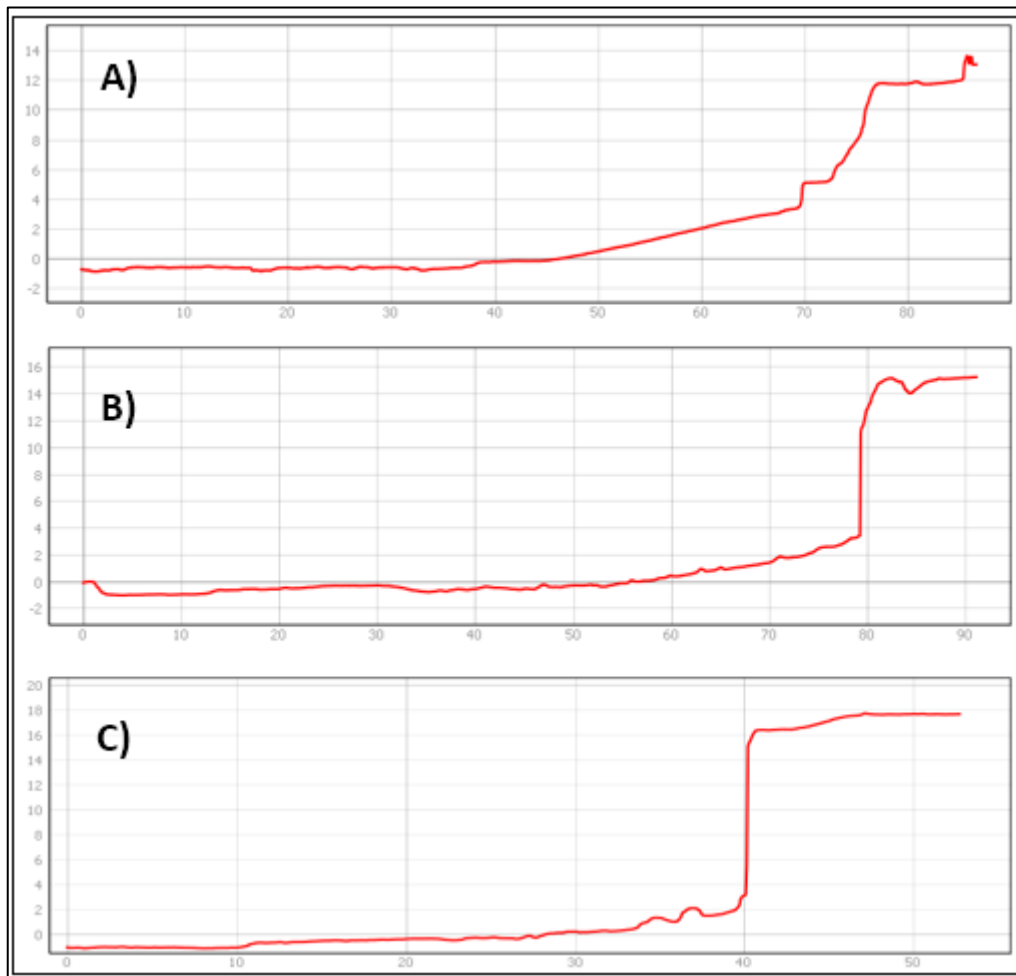


Figura A1. 4 – Perfis de elevação da arriba. A) Perfil Poente; B) Perfil Central; C) Perfil Nascente.

Janelas de georreferenciação no *software* ArcMap 10.8 para os anos de 1995 e 2021.

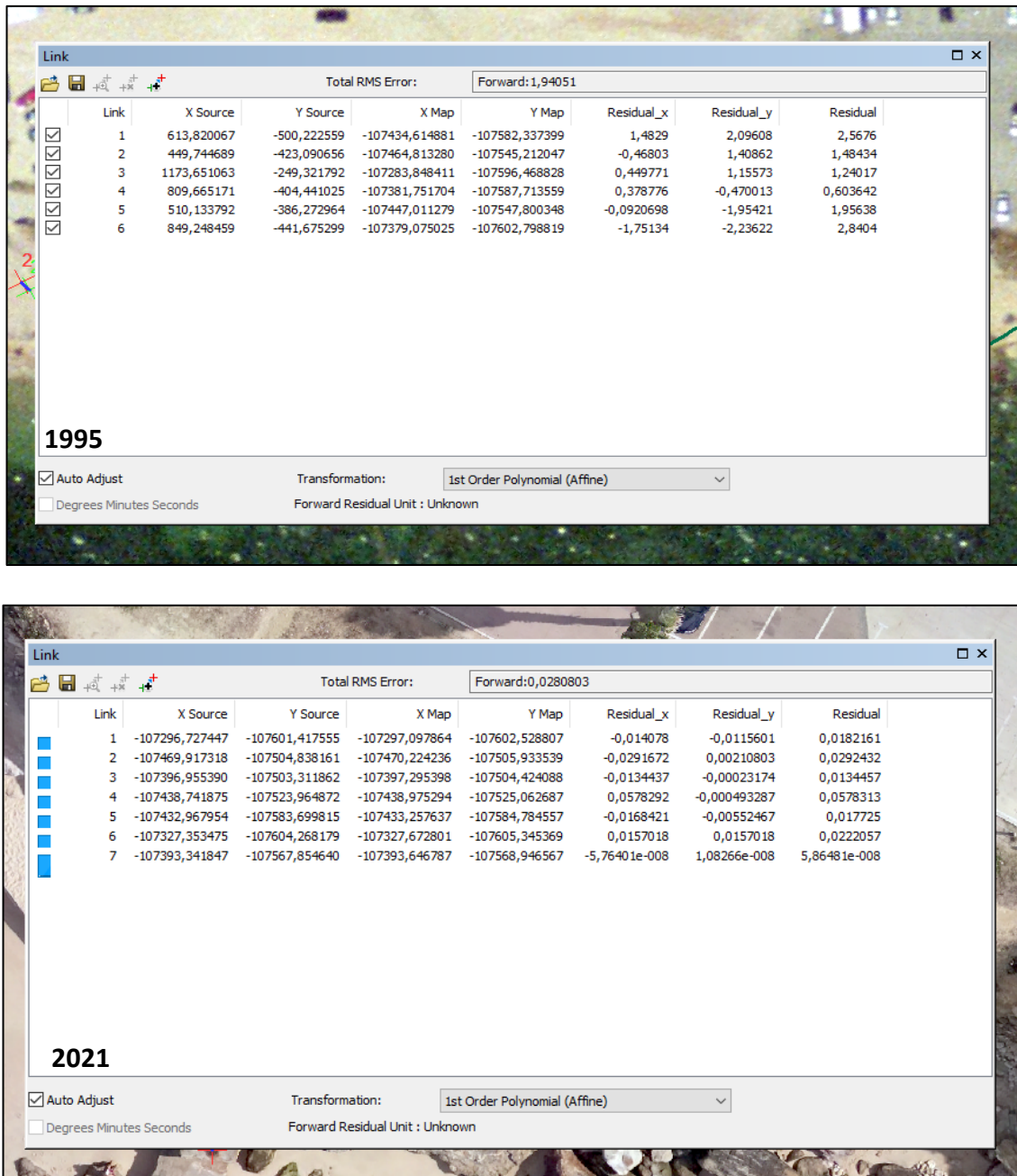


Figura A1. 5 – Georreferenciação dos ortofotomapas de 1995 e 2021 para a praia da Bafureira.

Método estatístico “*Weighted Linear Regression*” com um ritmo de variação da linha de costa de -0.17 m/ano.

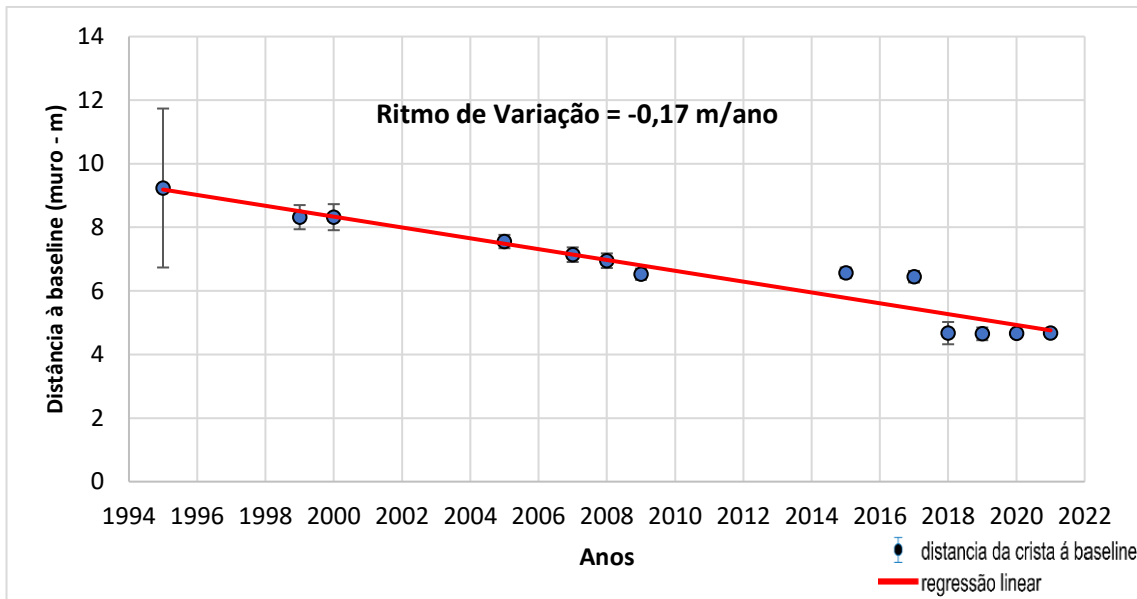


Figura A1. 6 – Método estatístico “*Weighted Linear Regression*” e respetiva regressão linear de acordo com o perfil da Figura 14.

Método estatístico “*End Point Rate*” (EPR), sendo que este é representado por uma taxa onde os cálculos têm por base a linha de costa mais antiga e a mais recente.

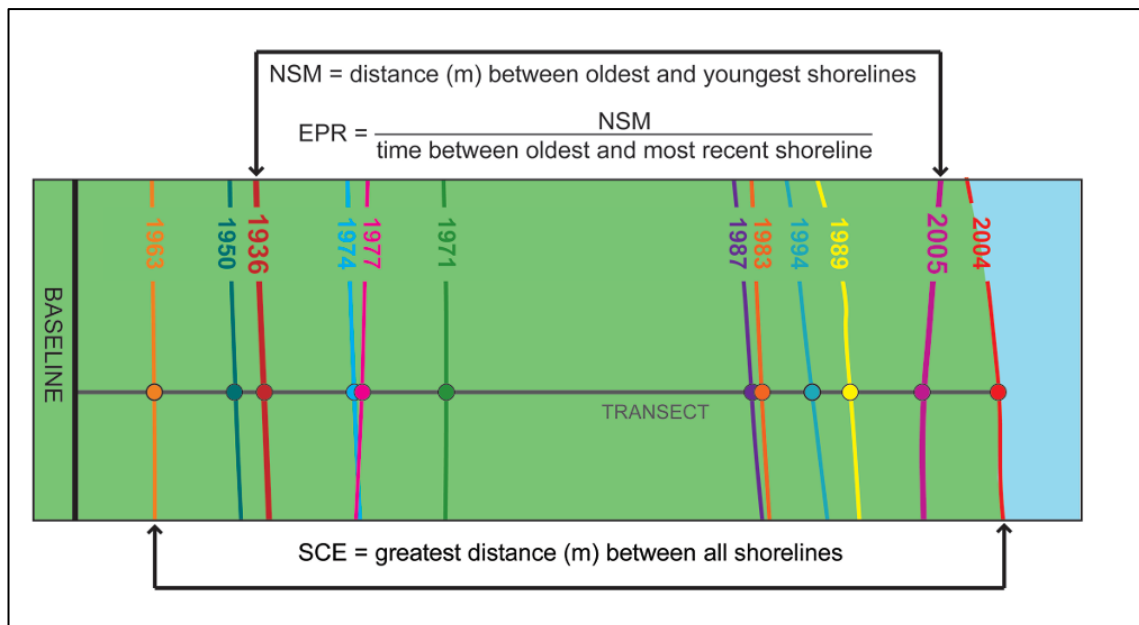


Figura A1. 7 - Um conjunto de dados da linha de costa incluindo a *baseline* (preto), transectos (cinzento), e dados da linha de costa para ilustrar a relação entre as estatísticas de alteração da linha de costa: O EPR é a distância NSM dividida pelo tempo entre a linha de costa mais antiga (1936, vermelho) e a mais recente (2005, magenta) (69 anos, neste exemplo). **Fonte:** Himmelstoss *et al.*, (2018), pp. 48.

Método estatístico “*Linear Regression Rate*” (LRR), representado pelo declive da linha de ajuste da regressão linear.

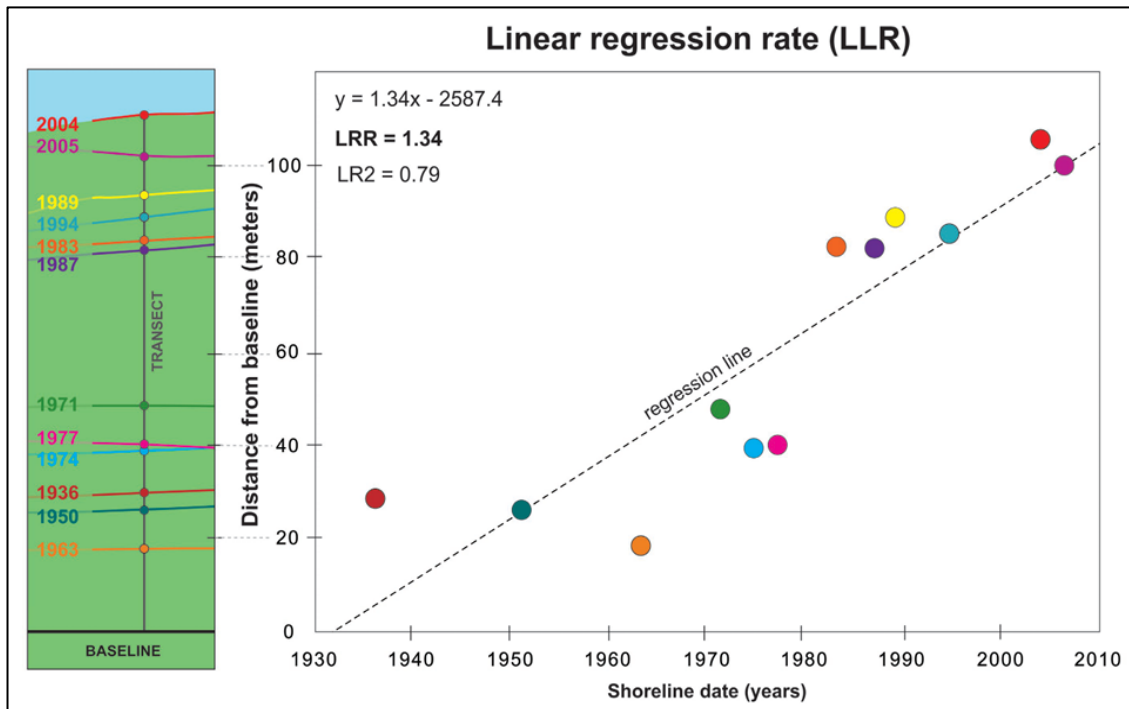


Figura A1. 8 - Um conjunto de dados da linha de costa (linha de base [preto], transectos [cinzento], e linhas de costa) para descrever a relação entre os dados do tempo e do espaço no mapa, e tal como apresentado em forma gráfica como distância da linha de base em relação à data da linha de costa. A taxa de regressão linear (LRR) foi determinada traçando as posições de intersecção da linha de costa (distância da linha de base) em relação ao tempo (anos) e calculando a equação de regressão linear de $y = 1,34x - 2587,4$. A inclinação da equação que descreve a linha é a taxa (1,34 metros por ano). **Fonte:** Himmelstoss *et al.*, (2018), pp.49.

Script para a projeção da crista da arriba para 2050, contabilizando apenas o ritmo de recuo da arriba, utilizando a fórmula apresentada no Capítulo III, página 34.

```
clear all
close all
clc

%% INFORMAÇÕES A SEREM INTRODUZIDAS -- ALTERAR OS NOMES DOS CAMINHOS E
FICHEIROS
addpath('D:\Dados_Atlantic_bafureira\MatLab_Forecast\scripts_matlab\script_fu
nctions\')
nomeCrista =
'D:\Dados_Atlantic_bafureira\Dados_Atlantic_Bruno\2021\Critsa_Arriba\crista_2
021.shp';
nomeTransectos =
'D:\Dados_Atlantic_bafureira\Dados_Atlantic_Bruno\Transectos_95_21\Transectos
95_21.shp';
nome_shapefile = 'proj_50anos_txrecuo.shp'; % NOME DA SHAPEFILE RESULTANTE
proj_anos = 28;

%% ETAPA 1: leitura das shapefiles com crista da arriba e transectos
% leitura da shapefile com a crista da arriba
crista = shaperead(nomeCrista);
Xcrest = crista.X; % variável com a informação X da linha de crista da arriba
Ycrest = crista.Y; % variável com a informação Y da linha de crista da arriba

% leitura da shapefile com os transectos
transectos = shaperead(nomeTransectos);

%% ETAPA 2: calcular a intersecção entre os transectos e linhas de crista e
projetar
plot(Xcrest,Ycrest,'r')
hold on
for i = 1:length(transectos)
    % inicio e fim dos transectos
    x1 = transectos(i).X(1);
    x2 = transectos(i).X(3);
    y1 = transectos(i).Y(1);
    y2 = transectos(i).Y(3);
    % calcular o x,y onde os transectos e linha da crista interseccionam
    [Xi,Yi]=curveintersect(Xcrest,Ycrest,[x1 x2],[y1 y2]);
    % plot(Xi,Yi,'b.')
    plot([x1 x2],[y1 y2],'k')
    % guardar as informações da intersecção
    PT(i).Xini = Xi;
    PT(i).Yini = Yi;
    PT(i).WLR = transectos(i).WLR;
    PT(i).R28 = sqrt((PT(i).WLR * proj_anos)^2); % distancia de recuo para 50
anos
    % calcular o angulo do transecto
    phi = atan2(diff([y1 y2]), diff([x1 x2]));
    % indicar a distancia de recuo
    dx = PT(i).R28;
    Recuo(i) = dx;
    % função para calculo do ponto projetado
```

```

    LineDist = @(V,d,phi) [V(1)+d*cos(phi) V(2)+d*sin(phi); V(1)-d*cos(phi)
V(2)-d*sin(phi)];
    d1X = LineDist([Xi Yi],dx,phi);
    hold on
    plot(d1X(1,1),d1X(1,2),'r.')
    % preparar os dados para guardar numa shapefile
    final.Geometry = 'Line';
%     final(i).BoundingBox = trans(i).BoundingBox
    final.X(i) = d1X(1,1);
    final.Y(i) = d1X(1,2);

end

C = smoothdata(R2,'gaussian',9.5);
C2 = smoothdata(Recuo,'gaussian',9.5);

subplot(2,2,1);bar(1:1:190,C*-1);hold on;plot(1:1:190,C2,'r')
subplot(2,2,2)

final.BoundingBox = [min(final.X) min(final.Y);max(final.X) max(final.Y)];
shp.Geometry = 'Line';
shp.BoundingBox = final.BoundingBox;
shp.X = final.X;
shp.Y = final.Y;
shp.Id = 0;

A = [final.X' final.Y'];
C = smoothdata(A,'gaussian',10);

plot(final.X,final.Y,'r')
hold on
plot(C(:,1),C(:,2),'b')

final.Geometry = 'Line'
final.BoudingBox = [min(C(:,1)) min(C(:,2)); max(C(:,1)) max(C(:,2))];
shp.Geometry = 'Line';
shp.BoundingBox = final.BoundingBox;
shp.X = C(:,1);
shp.Y = C(:,2);
shp.Id = 0

% gravar dados num ficheiro shapefile
shapewrite(shp,nome_shapefile)

```

Script para a projeção da crista da arriba para 2100, contabilizando apenas o ritmo de recuo da arriba, utilizando a fórmula apresentada no Capítulo III, página 34.

```
clear all
close all
clc

%% INFORMAÇÕES A SEREM INTRODUZIDAS -- ALTERAR OS NOMES DOS CAMINHOS E
FICHEIROS
addpath('D:\Dados_Atlantic_bafureira\MatLab_Forecast\scripts_matlab\script_fu
nctions\')
nomeCrista =
'D:\Dados_Atlantic_bafureira\Dados_Atlantic_Bruno\2021\Critsa_Arriba\crista_2
021.shp';
nomeTransectos =
'D:\Dados_Atlantic_bafureira\Dados_Atlantic_Bruno\Transectos_95_21\Transectos
95_21.shp';
nome_shapefile = 'proj_2100_txrecuo.shp'; % NOME DA SHAPEFILE RESULTANTE
proj_anos = 78;

%% ETAPA 1: leitura das shapefiles com crista da arriba e transectos
% leitura da shapefile com a crista da arriba
crista = shaperead(nomeCrista);
Xcrest = crista.X; % variável com a informação X da linha de crista da arriba
Ycrest = crista.Y; % variável com a informação Y da linha de crista da arriba

% leitura da shapefile com os transectos
transectos = shaperead(nomeTransectos);

%% ETAPA 2: calcular a intersecção entre os transectos e linhas de crista e
projetar
plot(Xcrest,Ycrest,'r')
hold on
for i = 1:length(transectos)
    % inicio e fim dos transectos
    x1 = transectos(i).X(1);
    x2 = transectos(i).X(3);
    y1 = transectos(i).Y(1);
    y2 = transectos(i).Y(3);
    % calcular o x,y onde os transectos e linha da crista interseccionam
    [Xi,Yi]=curvintersect(Xcrest,Ycrest,[x1 x2],[y1 y2]);
    % plot(Xi,Yi,'b.')
    plot([x1 x2],[y1 y2],'k')
    % guardar as informações da intersecção
    PT(i).Xini = Xi;
    PT(i).Yini = Yi;
    PT(i).WLR = transectos(i).WLR;
    PT(i).R78 = sqrt((PT(i).WLR * proj_anos)^2); % distancia de recuo para 50
anos
    % calcular o angulo do transecto
    phi = atan2(diff([y1 y2]), diff([x1 x2]));
    % indicar a distancia de recuo
    dx = PT(i).R78;
    Recuo(i) = dx;
    % função para calculo do ponto projetado
```

```

    LineDist = @(V,d,phi) [V(1)+d*cos(phi) V(2)+d*sin(phi); V(1)-d*cos(phi)
V(2)-d*sin(phi)];
    d1X = LineDist([Xi Yi],dx,phi);
    hold on
    plot(d1X(1,1),d1X(1,2),'r.')
    % preparar os dados para guardar numa shapefile
    final.Geometry = 'Line';
%     final(i).BoundingBox = trans(i).BoundingBox
    final.X(i) = d1X(1,1);
    final.Y(i) = d1X(1,2);

end
final.BoundingBox = [min(final.X) min(final.Y);max(final.X) max(final.Y)];
shp.Geometry = 'Line';
shp.BoundingBox = final.BoundingBox;
shp.X = final.X;
shp.Y = final.Y;
shp.Id = 0;

A = [final.X' final.Y'];
C = smoothdata(A,'gaussian',10);

plot(final.X,final.Y,'r')
hold on
plot(C(:,1),C(:,2),'r')

final.Geometry = 'Line'
final.BoudingBox = [min(C(:,1)) min(C(:,2)); max(C(:,1)) max(C(:,2))];
shp.Geometry = 'Line';
shp.BoundingBox = final.BoundingBox;
shp.X = C(:,1);
shp.Y = C(:,2);
shp.Id = 0

% gravar dados num ficheiro shapefile
shapewrite(shp,nome_shapefile)

```

Script para a representação gráfica do ritmo de recuo da arriba de acordo com a incerteza dos dados e o seu intervalo de confiança, utilizando a fórmula apresentada no Capítulo III, página 35.

```
clear all
close all
clc

cd('D:\Dados_Atlantic_bafureira\Dados_Atlantic_Bruno\Transectos_95_21')

% filename = 'transects_distances.dbf';

filename = 'Transectos95_21.dbf';

[num,txt,row] = xlsread(filename);

% intervalo de confiança
[num,txt,row] = xlsread(filename);
WCL = num(:,37)';
WLR = num(:,34)';

x_ax = 1:1:190;
x_ax = fliplr(x_ax);

X_plot = [x_ax, fliplr(x_ax)];
Y_plot = [WLR+WCL, fliplr(WLR-WCL)];

nanos = find(WLR > 0);
WLR(nanos) = NaN;
WCL(nanos) = NaN;

plot(x_ax,WLR,'Linewidth',1,'Color','r')
hold on
fill(X_plot,Y_plot,1,'FaceColor','blue','EdgeColor','none','FaceAlpha',0.2)
axis([0 190 -0.4 0.04])
title('Ritmo de Recuo e Intervalo de Confiança', 'FontName','Calibri',
'FontSize', 12)
xlabel('Transectos')
ylabel('Recuo (m)', 'FontName','Calibri','FontSize',12)
```

Script para a projeção da crista da arriba para 2050, contabilizando o ritmo de recuo da arriba e a subida do nível médio do mar para o RCP 4.5, utilizando a fórmula apresentada no Capítulo III, página 34.

```
clear all
close all
clc

%% INFORMAÇÕES A SEREM INTRODUZIDAS -- ALTERAR OS NOMES DOS CAMINHOS E
FICHEIROS
addpath('D:\Dados_Atlanctic_bafureira\MatLab_Forecast\scripts_matlab\script_fu
nctions\')
nomeCrista =
'D:\Dados_Atlanctic_bafureira\Dados_Atlanctic_Bruno\2021\Critsa_Arriba\crista_2
021.shp';
nomeTransectos =
'D:\Dados_Atlanctic_bafureira\Dados_Atlanctic_Bruno\Transectos_95_21\Transectos
95_21.shp';
nome_shapefile = 'proj_arriba_2050_SNMM_RCP4.5.shp'; % NOME DA SHAPEFILE
RESULTANTE
proj_anos = 28;

S1 = 3.5;
S2 = 4.9;

%% ETAPA 1: leitura das shapefiles com crista da arriba e transectos
% leitura da shapefile com a crista da arriba
crista = shaperead(nomeCrista);
Xcrest = crista.X; % variável com a informação X da linha de crista da arriba
Ycrest = crista.Y; % variável com a informação Y da linha de crista da arriba

% leitura da shapefile com os transectos
transectos = shaperead(nomeTransectos);

%% ETAPA 2: calcular a intersecção entre os transectos e linhas de crista e
projetar
plot(Xcrest,Ycrest,'r')
hold on
for i = 1:1:length(transectos)
    R2(i) = transectos(i).WLR * sqrt(S2/S1)* proj_anos;
    % inicio e fim dos transectos
    x1 = transectos(i).X(1);
    x2 = transectos(i).X(3);
    y1 = transectos(i).Y(1);
    y2 = transectos(i).Y(3);
    % calcular o x,y onde os transectos e linha da crista interseccionam
    [Xi,Yi]=curveintersect(Xcrest,Ycrest,[x1 x2],[y1 y2]);
    % plot(Xi,Yi,'b.')
    plot([x1 x2],[y1 y2],'k')
    % guardar as informações da intersecção
    PT(i).Xini = Xi;
    PT(i).Yini = Yi;
    PT(i).WLR = transectos(i).WLR;
    PT(i).R28 = sqrt((PT(i).WLR * proj_anos)^2); % distancia de recuo para 50
anos
```

```

% calcular o angulo do transecto
phi = atan2(diff([y1 y2]), diff([x1 x2]));
% indicar a distancia de recuo
dx = PT(i).R28;
Recuo(i) = dx
% função para calculo do ponto projetado
LineDist = @(V,d,phi) [V(1)+d*cos(phi) V(2)+d*sin(phi); V(1)-d*cos(phi)
V(2)-d*sin(phi)];
% dx2 = dx + (R2(i)*-1);
dx2 = (R2(i)*-1);
d1X = LineDist([Xi Yi],dx,phi);
d2X = LineDist([Xi Yi],dx2,phi);
dtemp(i) = dx2;

hold on
plot(d1X(1,1),d1X(1,2),'b.')
plot(d2X(1,1),d2X(1,2),'r.')
% preparar os dados para guardar numa shapefile
final.Geometry = 'Line';
% final(i).BoundingBox = trans(i).BoundingBox
final.X(i) = d1X(1,1);
final.Y(i) = d1X(1,2)
final.X(i) = d2X(1,1);
final.Y(i) = d2X(1,2);

end

C = smoothdata(R2,'gaussian',9.5);
C2 = smoothdata(Recuo,'gaussian',9.5);

save('RCP_4_5_2050.mat','C','C2','-mat')

```

Script para a projeção da crista da arriba para 2050, contabilizando o ritmo de recuo da arriba e a subida do nível médio do mar para o RCP 8.5, utilizando a fórmula apresentada no Capítulo III, página 34.

```
clear all
close all
clc

%% INFORMAÇÕES A SEREM INTRODUZIDAS -- ALTERAR OS NOMES DOS CAMINHOS E
FICHEIROS
addpath('D:\Dados_Atlantic_bafureira\MatLab_Forecast\scripts_matlab\script_fu
nctions\')
nomeCrista =
'D:\Dados_Atlantic_bafureira\Dados_Atlantic_Bruno\2021\Critsa_Arriba\crista_2
021.shp';
nomeTransectos =
'D:\Dados_Atlantic_bafureira\Dados_Atlantic_Bruno\Transectos_95_21\Transectos
95_21.shp';
nome_shapefile = 'proj_arriba_2050_SNMM_RCP8.5.shp'; % NOME DA SHAPEFILE
RESULTANTE
proj_anos = 28;

S1 = 3.5;
S2 = 6.2;

%% ETAPA 1: leitura das shapefiles com crista da arriba e transectos
% leitura da shapefile com a crista da arriba
crista = shaperead(nomeCrista);
Xcrest = crista.X; % variável com a informação X da linha de crista da arriba
Ycrest = crista.Y; % variável com a informação Y da linha de crista da arriba

% leitura da shapefile com os transectos
transectos = shaperead(nomeTransectos);

%% ETAPA 2: calcular a intersecção entre os transectos e linhas de crista e
projetar
plot(Xcrest,Ycrest,'r')
hold on
for i = 1:length(transectos)
    R2(i) = transectos(i).WLR * sqrt(S2/S1)* proj_anos;
    % inicio e fim dos transectos
    x1 = transectos(i).X(1);
    x2 = transectos(i).X(3);
    y1 = transectos(i).Y(1);
    y2 = transectos(i).Y(3);
    % calcular o x,y onde os transectos e linha da crista interseccionam
    [Xi,Yi]=curveintersect(Xcrest,Ycrest,[x1 x2],[y1 y2]);
    % plot(Xi,Yi,'b.')
    plot([x1 x2],[y1 y2],'k')
    % guardar as informações da intersecção
    PT(i).Xini = Xi;
    PT(i).Yini = Yi;
    PT(i).WLR = transectos(i).WLR;
    PT(i).R28 = sqrt((PT(i).WLR * proj_anos)^2); % distancia de recuo para 50
anos
    % calcular o angulo do transecto
```

```

    phi = atan2(diff([y1 y2]), diff([x1 x2]));
    % indicar a distancia de recuo
    dx = PT(i).R28;
    Recuo(i) = dx
    % função para calculo do ponto projetado
    LineDist = @(V,d,phi) [V(1)+d*cos(phi) V(2)+d*sin(phi); V(1)-d*cos(phi)
V(2)-d*sin(phi)];
%   dx2 = dx + (R2(i)*-1);
    dx2 = (R2(i)*-1);
    d1X = LineDist([Xi Yi],dx,phi);
    d2X = LineDist([Xi Yi],dx2,phi);
    dtemp(i) = dx2;

    hold on
    % plot(d1X(1,1),d1X(1,2),'b.')
    plot(d2X(1,1),d2X(1,2),'r.')
    title('RCP 8.5 (Cenário 2050,
Bafureira)', 'FontName', 'Calibri', 'FontSize', 12)
    % preparar os dados para guardar numa shapefile
    final.Geometry = 'Line';
%   final(i).BoundingBox = trans(i).BoundingBox
    final.X(i) = d1X(1,1);
    final.Y(i) = d1X(1,2)
    final.X(i) = d2X(1,1);
    final.Y(i) = d2X(1,2);

end

C = smoothdata(R2, 'gaussian', 9.5);
C2 = smoothdata(Recuo, 'gaussian', 9.5);

```

Script para a projeção da crista da arriba para 2100, contabilizando o ritmo de recuo da arriba e a subida do nível médio do mar para o RCP 4.5, utilizando a fórmula apresentada no Capítulo III, página 34.

```
clear all
close all
clc

%% INFORMAÇÕES A SEREM INTRODUZIDAS -- ALTERAR OS NOMES DOS CAMINHOS E
FICHEIROS
addpath('D:\Dados_Atlantic_bafureira\MatLab_Forecast\scripts_matlab\script_functio
ns\')
nomeCrista =
'D:\Dados_Atlantic_bafureira\Dados_Atlantic_Bruno\2021\Critsa_Arriba\crista_2
021.shp';
nomeTransectos =
'D:\Dados_Atlantic_bafureira\Dados_Atlantic_Bruno\Transectos_95_21\Transectos
95_21.shp';
nome_shapefile = 'proj_arriba_2100_SNMM_RCP4.5.shp'; % NOME DA SHAPEFILE
RESULTANTE
proj_anos = 78;

S1 = 3.5;
S2 = 6.1;

%% ETAPA 1: leitura das shapefiles com crista da arriba e transectos
% leitura da shapefile com a crista da arriba
crista = shaperead(nomeCrista);
Xcrest = crista.X; % variável com a informação X da linha de crista da arriba
Ycrest = crista.Y; % variável com a informação Y da linha de crista da arriba

% leitura da shapefile com os transectos
transectos = shaperead(nomeTransectos);

%% ETAPA 2: calcular a intersecção entre os transectos e linhas de crista e
projetar
plot(Xcrest,Ycrest,'r')
hold on
for i = 1:length(transectos)
    R2(i) = transectos(i).WLR * sqrt(S2/S1) * proj_anos;
    % inicio e fim dos transectos
    x1 = transectos(i).X(1);
    x2 = transectos(i).X(3);
    y1 = transectos(i).Y(1);
    y2 = transectos(i).Y(3);
    % calcular o x,y onde os transectos e linha da crista interseccionam
    [Xi,Yi]=curveintersect(Xcrest,Ycrest,[x1 x2],[y1 y2]);
    % plot(Xi,Yi,'b.')
    plot([x1 x2],[y1 y2],'k')
    % guardar as informações da intersecção
    PT(i).Xini = Xi;
    PT(i).Yini = Yi;
    PT(i).WLR = transectos(i).WLR;
    PT(i).R78 = sqrt((PT(i).WLR * proj_anos)^2); % distancia de recuo para 50
anos
    % calcular o angulo do transecto
```

```

    phi = atan2(diff([y1 y2]), diff([x1 x2]));
    % indicar a distancia de recuo
    dx = PT(i).R78;
    Recuo(i) = dx
    % função para calculo do ponto projetado
    LineDist = @(V,d,phi) [V(1)+d*cos(phi) V(2)+d*sin(phi); V(1)-d*cos(phi)
V(2)-d*sin(phi)];
%     dx2 = dx + (R2(i)*-1);
    dx2 = (R2(i)*-1);
    d1X = LineDist([Xi Yi],dx,phi);
    d2X = LineDist([Xi Yi],dx2,phi);
    hold on
    plot(d1X(1,1),d1X(1,2),'b.')
    plot(d2X(1,1),d2X(1,2),'r.')
    % preparar os dados para guardar numa shapefile
    final.Geometry = 'Line';
%     final(i).BoundingBox = trans(i).BoundingBox
    final.X(i) = d1X(1,1);
    final.Y(i) = d1X(1,2)
    final.X(i) = d2X(1,1);
    final.Y(i) = d2X(1,2);

end

C = smoothdata(R2,'gaussian',9.5);
C2 = smoothdata(Recuo,'gaussian',9.5);

save('RCP_4_5_2100.mat','C','C2','-mat')

```

Script para a projeção da crista da arriba para 2100, contabilizando o ritmo de recuo da arriba e a subida do nível médio do mar para o RCP 8.5, utilizando a fórmula apresentada no Capítulo III, página 34.

```
clear all
close all
clc

%% INFORMAÇÕES A SEREM INTRODUZIDAS -- ALTERAR OS NOMES DOS CAMINHOS E
FICHEIROS
addpath('D:\Dados_Atlantic_bafureira\MatLab_Forecast\scripts_matlab\script_fu
nctions\')
nomeCrista =
'D:\Dados_Atlantic_bafureira\Dados_Atlantic_Bruno\2021\Critsa_Arriba\crista_2
021.shp';
nomeTransectos =
'D:\Dados_Atlantic_bafureira\Dados_Atlantic_Bruno\Transectos_95_21\Transectos
95_21.shp';
nome_shapefile = 'proj_arriba_2100_RCP8.5.shp'; % NOME DA SHAPEFILE
RESULTANTE
proj_anos = 78;

S1 = 3.5;
S2 = 9.5;

%% ETAPA 1: leitura das shapefiles com crista da arriba e transectos
% leitura da shapefile com a crista da arriba
crista = shaperead(nomeCrista);
Xcrest = crista.X; % variável com a informação X da linha de crista da arriba
Ycrest = crista.Y; % variável com a informação Y da linha de crista da arriba

% leitura da shapefile com os transectos
transectos = shaperead(nomeTransectos);

%% ETAPA 2: calcular a intersecção entre os transectos e linhas de crista e
projetar
plot(Xcrest,Ycrest,'r')
hold on
for i = 1:length(transectos)
    R2(i) = transectos(i).WLR * sqrt(S2/S1) * proj_anos;
    % inicio e fim dos transectos
    x1 = transectos(i).X(1);
    x2 = transectos(i).X(3);
    y1 = transectos(i).Y(1);
    y2 = transectos(i).Y(3);
    % calcular o x,y onde os transectos e linha da crista interseccionam
    [Xi,Yi]=curveintersect(Xcrest,Ycrest,[x1 x2],[y1 y2]);
    % plot(Xi,Yi,'b.')
    plot([x1 x2],[y1 y2],'k')
    % guardar as informações da intersecção
    PT(i).Xini = Xi;
    PT(i).Yini = Yi;
    PT(i).WLR = transectos(i).WLR;
    PT(i).R78 = sqrt((PT(i).WLR * proj_anos)^2); % distancia de recuo para 50
anos
    % calcular o angulo do transecto
```

```

    phi = atan2(diff([y1 y2]), diff([x1 x2]));
    % indicar a distancia de recuo
    dx = PT(i).R78;
    Recuo(i) = dx
    % função para calculo do ponto projetado
    LineDist = @(V,d,phi) [V(1)+d*cos(phi) V(2)+d*sin(phi); V(1)-d*cos(phi)
V(2)-d*sin(phi)];
%     dx2 = dx + (R2(i)*-1);
    dx2 = (R2(i)*-1);
    d1X = LineDist([Xi Yi],dx,phi);
    d2X = LineDist([Xi Yi],dx2,phi);
    hold on
    %plot(d1X(1,1),d1X(1,2),'b.')
    plot(d2X(1,1),d2X(1,2),'r.')
    title('RCP 8.5 (Cenário 2100,
Bafureira)', 'FontName', 'Calibri', 'FontSize', 12)
    % preparar os dados para guardar numa shapefile
    final.Geometry = 'Line';
%     final(i).BoundingBox = trans(i).BoundingBox
    final.X(i) = d1X(1,1);
    final.Y(i) = d1X(1,2)
    final.X(i) = d2X(1,1);
    final.Y(i) = d2X(1,2);

end

C = smoothdata(R2, 'gaussian', 9.5);
C2 = smoothdata(Recuo, 'gaussian', 9.5);

save('RCP_8_5_2100.mat', 'C', 'C2', '-mat')

```

Script para a projeção gráfica dos 4 cenários, que por sua vez, delimitou a produção cartográfica das faixas de salvaguarda através dos valores máximos.

```
clear all
close all
clc

x_ax = 1:1:190;
x_ax = fliplr(x_ax);

load ('RCP_4_5_2050.mat')
nanos = find(C >0)
C(nanos) = NaN;
data = C*-1
subplot1 = subplot(2,2,1);bar(x_ax,data,'FaceColor','b');
maxData = max(data)
hold on;
set(subplot1,'FontName','Calibri','FontSize',12)
hold on;
dado=C2
plot(x_ax,dado,'Linewidth',2,'Color','r')
yline(maxData,'k-','Máx','LineWidth',1,'Color','k')
axis([0 190 0 35])
title('RCP 4.5 (Cenário 2050, Bafureira)','FontName','Calibri','FontSize',12)
xlabel('Transectos')
ylabel('Recuo (m)','FontName','Calibri','FontSize',12)
grid on
legend('Recuo + SNMM','Recuo','FontName','Calibri','FontSize',12)

load ('RCP_8_5_2050.mat')
nanos = find(C >0)
C(nanos) = NaN;
data=C*-1
subplot1 = subplot(2,2,2);bar(x_ax,data, 'FaceColor', 'b');
maxData = max(data)
set(subplot1, 'FontName', 'Calibri', 'FontSize', 12)
hold on;
dado=C2
plot(x_ax,dado,'Linewidth', 2, 'Color', 'r')
yline(maxData, 'k-', 'Máx','LineWidth',1,'Color','k')
axis([0 190 0 35])
title('RCP 8.5 (Cenário 2050)', 'FontName','Calibri', 'FontSize', 11)
xlabel('Transectos')
ylabel('Recuo (m)','FontName','Calibri','FontSize',12)
grid on

load ('RCP_4_5_2100.mat')
nanos = find(C >0)
C(nanos) = NaN;
data=C*-1
subplot(2,2,3);bar(x_ax,data,'FaceColor', 'b');
maxData = max(data)
set(subplot1, 'FontName','Calibri', 'FontSize', 12)
hold on;
dado=C2
plot(x_ax,dado,'Linewidth', 2, 'Color', 'r')
```

```

yline(maxData, 'k-', 'Máx','LineWidth',1,'Color','k')
axis([0 190 0 35])
title('RCP 4.5 (Cenário 2100)', 'FontName','Calibri', 'FontSize', 12)
xlabel('Transectos')
ylabel('Recuo (m)','FontName','Calibri','FontSize',12)
grid on

```

```

load ('RCP_8_5_2100.mat')
nanos = find(C >0)
C(nanos) = NaN;
data=C*-1
subplot(2,2,4);bar(x_ax,data,'FaceColor', 'b');
maxData = max(data)
set(subplot1, 'FontName','Calibri', 'FontSize', 12)
hold on;
dado=C2
plot(x_ax,dado,'Linewidth', 2, 'Color','r')
yline(maxData, 'k-', 'Máx','LineWidth',1,'Color','k')
axis([0 190 0 40])
title('RCP 8.5 (Cenário 2100)', 'FontName','Calibri', 'FontSize', 12)
xlabel('Transectos')
ylabel('Recuo (m)','FontName','Calibri','FontSize',12)
grid on

```