

Avaliação de Impactes Ambientais dos Processos Erosivos Costeiros no Setor Rabo de Peixe – Ribeira Grande, Ilha de São Miguel, Açores

Dissertação de Mestrado

Ana Rita Moniz Botelho

Mestrado em

Ambiente, Saúde e Segurança



Ponta Delgada
2023

Avaliação de Impactes Ambientais dos Processos Erosivos Costeiros no Setor Rabo de Peixe – Ribeira Grande, Ilha de São Miguel Açores

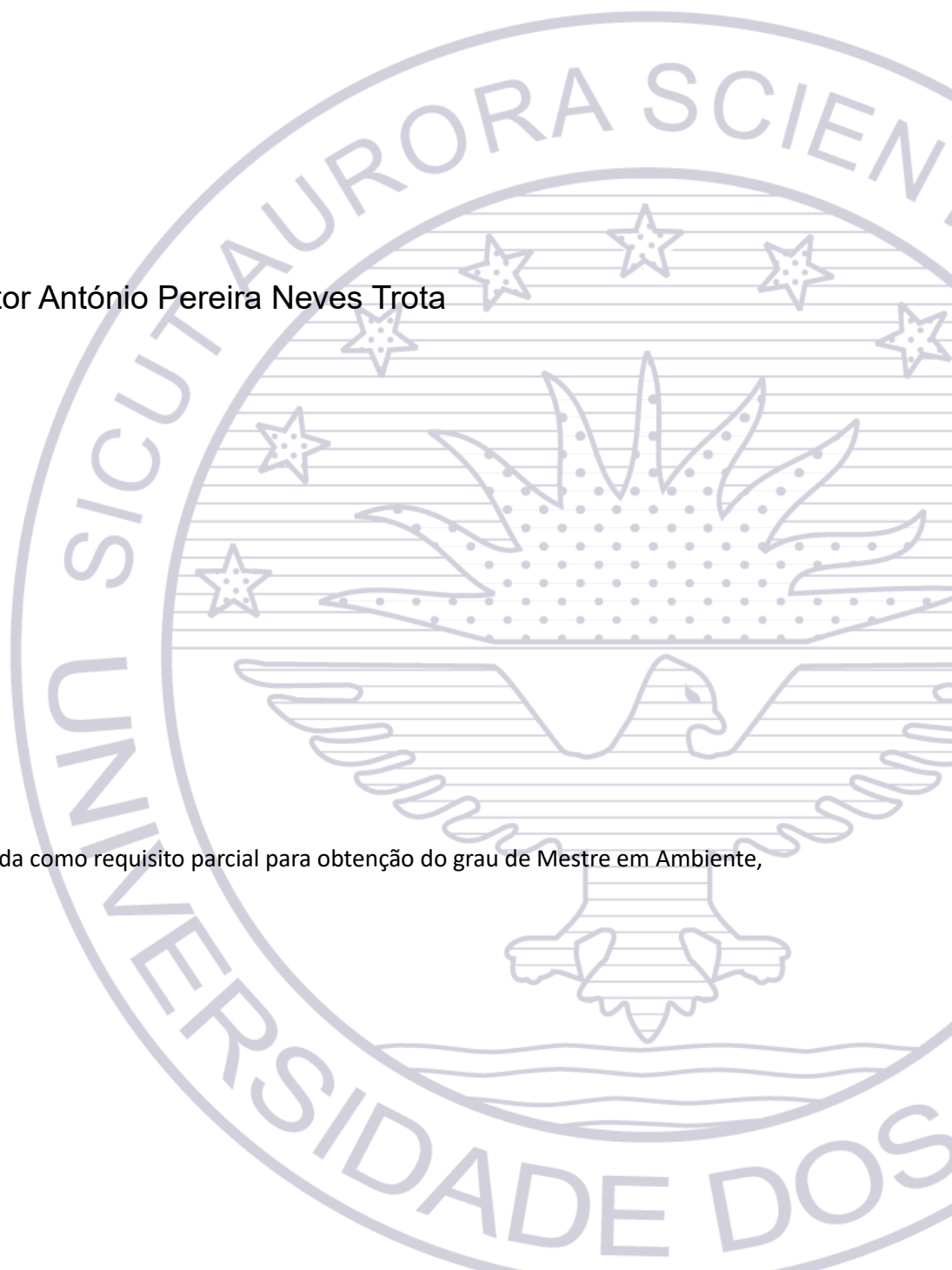
Tese de Mestrado

Ana Rita Moniz Botelho

Orientador

Professor Doutor António Pereira Neves Trota

Tese de Mestrado submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ambiente, Saúde e Segurança.



Agradecimentos

A realização da presente dissertação não terá sido possível sem o auxílio de algumas pessoas e entidades às quais gostaria de exprimir os meus sinceros agradecimentos:

Ao Professor Doutor António Neves Trota, orientador deste trabalho, por ter acreditado em mim desde o início, e pela dedicação e disponibilidade para esclarecer qualquer dúvida suscitada durante o desenvolvimento do estudo conducente à presente dissertação, e pela sua capacidade científica que promoveu um agradável ambiente de trabalho, assim como uma aprendizagem lucrativa, ao qual se deve a conclusão desta dissertação de mestrado.

À Secretaria Regional do Ambiente e Alterações Climáticas, Direção Regional do Ordenamento do Território e dos Recursos Hídricos, em particular à técnica Lorena da Silva, pela cedência dos dados geográficos, nomeadamente, as fotografias aéreas antigas e os ortofotomapas referentes à área de estudo.

À Camara Municipal da Ribeira Grande, Divisão de Obras e Urbanismo, em particular à Arquitecta Catarina Vieira, pela cedência dos dados cartográficos referentes à área de estudo.

Ao Doutor Paulo Jorge Borges, pela cedência da sua Tese de Doutoramento, *“Ambientes Litorais nos Grupos Central e Oriental do Arquipélago dos Açores, Conteúdos e Dinâmica de Microescala”*, para auxílio na caracterização do litoral da área de estudo, assim como para posterior comparação de taxas de recuo.

À Secretaria Regional do Turismo, Mobilidade e Infraestruturas, Divisão Regional das Obras Públicas, em particular ao Topógrafo Luís Dias e ao seu assistente Roberto Freitas, pela dedicação e disponibilidade nas tarefas de levantamento fotográfico com drone, levantamento topográfico GNSS e posterior tratamento dos dados.

À empresa R5e Consulting Engineers, Lda., em especial à Doutora Caroline Ferreira, pelo auxílio e prestimoso apoio no tema da agitação marítima e deriva sedimentar da área de estudo, nomeadamente na interpretação dos dados.

Resumo

A Região Autónoma dos Açores, constituída por ilhas e ilhéus, apresenta uma extensa faixa costeira, sendo, por isso, alvo privilegiado da ação erosiva marinha, do oceano Atlântico. Dependendo das características geológicas das formações costeiras, da tipologia da agitação marítima e da orientação e morfologia da orla costeira, a ação erosiva pode ser intensificada. Estas zonas são frequentemente habitadas e ocupadas por infraestruturas, tais como estradas e portos. O recuo da linha de costa causado pela ação erosiva resulta na destruição dos terrenos emersos e das infraestruturas que os ocupam, dando origem, por vezes, a fortes impactes ambientais, nomeadamente os de cariz económico e social.

A aposta na gestão integrada da componente ambiental contribui para a diminuição ou eliminação de impactes ambientais adversos, assim como na melhoria da qualidade de vida das pessoas e na prevenção de riscos.

Este trabalho tem como objetivo o estudo da evolução dos processos de erosão costeiros recentes, praia e arriba, no setor Rabo de Peixe – Ribeira Grande, para um período de análise de 11 anos (2006 – 2017), e a avaliação dos impactes ambientais resultantes desses processos, nomeadamente a contabilização das habitações e as infraestruturas demolidas, assim como proceder ao cálculo da área costeira perdida e a taxa de recuo associada.

Em síntese, os resultados obtidos apontam, numa frente costeira de 13,2 km e numa faixa de 563.503 m², para uma perda total de 279 edifícios entre 2006 e 2017, sendo que mais de 50% deste valor corresponde a habitações. A freguesia de Rabo de Peixe foi aquela onde se verificou a maior perda de habitações junto ao litoral, cerca de 137, parte delas associada à perda de área costeira de 9.289 m², o que corresponde a um recuo médio da frente costeira de 1,41 m em 11 anos e uma taxa de recuo média de 0,13 m/ano. Os restantes setores de arriba analisados apresentam perdas de edificado menos expressivas.

Os impactes ambientais negativos sociais e económicos para a área de estudo são muito significativos para o curto período em avaliação, 2006-2017. Assumindo que um valor atual de 106 euros por metro quadrado da área, estimam-se perdas de

2.014.424 euros, apenas considerando a área perdida. Estes impactes irão muito provavelmente ser agravados com as alterações climáticas, nomeadamente pelo aumento da agitação marítima e pela subida do nível médio das águas do mar. Entre as medidas mais eficazes para mitigar os efeitos dessas alterações climáticas referem-se o ordenamento do território, nomeadamente a proibição de novas edificações e a deslocalização de pessoas das zonas de perigo, e a execução de obras de reforço costeiro, designadamente as obras aderentes.

Palavras-Chave: Erosão Costeira; Taxa de Recuo; Alterações Climáticas; Risco Geológico; Agitação Marítima; Impactes Ambientais.

Abstract

The Autonomous Region of the Azores, made of nine islands and several islets, has an extensive coastal area, being, therefore, the target for terrain erosion processes by sea waves action. Depending on the coastal geological characteristics, the typology of the sea turbulence, and the orientation and morphology of the coastline, the erosive action could be severe. These areas are often inhabited and occupied by infrastructure such as roads and ports. The retreat of the coastline caused by erosive action results in the destruction of the emerged lands and local infrastructures, sometimes giving rise to large economic losses with a strong social impact.

The commitment to the integrated management of the environmental component contributes to the reduction or elimination of adverse environmental impacts, as well as to the improvement of people's quality of life and risk prevention.

This work aim study is the evolution of recent coastal erosion processes, beach and cliff, in the Rabo de Peixe – Ribeira Grande sector, for an analysis period of 11 years (2006 – 2017), and the assessment of the environmental impacts resulting from these processes, namely the accounting of demolished housing and infrastructure, as well the calculation of coastal lost area and the associated retreat rate.

In summary, the obtained results point to a coastal front of 13.2 km and a range of 563.503 m², for a total loss of 279 buildings between 2006 and 2017, more than 50% of this value corresponds to housing losses. The parish of Rabo de Peixe was the one where there was the greatest loss of housing along the coast, about 137, part of them associated with the loss of coastal area of 9.289 m², which corresponds to an average retreat of the coastal front of 1,41 m in 11 years and an average retreat rate of 0,13 m/year. The remaining cliff sectors analyzed have less significant building losses.

The negative social and economic environmental impacts for the study area are very significant for the short period under evaluation, 2006-2017. Assuming a current value of 106 euros per square meter of the area, losses of 2.014.424 euros are estimated, just considering the area itself. These impacts will most likely be aggravated by climate change, namely the ongoing increase in maritime agitation and the rise in the mean sea level. Among the most effective measures to mitigate the effects of climate

change are land planning, including the prohibition of new buildings and the relocation of people from danger zones, and the execution of coastal reinforcement works, including adherent coastal infrastructures.

Key words: Coastal Erosion; Retreat Rate; Climate Change; Geological Risk; Maritime Agitation; Environmental Impacts.

Índice Geral

Agradecimentos	i
Resumo	ii
<i>Abstract</i>	iv
Índice Geral	vi
Índice de Figuras.....	viii
Índice de Tabelas	xi
Índice de Anexos	xiii
Lista de Acrónimos	xv
1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Estrutura.....	3
2. ENQUADRAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO	5
2.1 Localização Geográfica	5
2.2 Caracterização Climática	7
2.3 Enquadramento Geológico.....	9
2.3.1 Enquadramento Geodinâmico	9
2.3.2 Caracterização Geomorfológica	10
2.4 Enquadramento Socioeconómico	13
3. ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS.....	16
3.1 Conceito e Previsão	16
3.2 Arquipélago dos Açores.....	17
3.3 Efeitos Sobre a Orla Costeira	18
4. DINÂMICA COSTEIRA E PROCESSOS DE EVOLUÇÃO COSTEIRA	21
4.1 Marés.....	23
4.2 Ondulação	23
4.3 Deriva Litoral e Transporte de Sedimentos	24
4.4 Fatores Gerais da Erosão Costeira	26
4.5 Processos de Evolução das Arribas.....	27
4.5.1. Evolução e Dinâmica da Faixa Litoral.....	27

4.5.2 Sistema de Classificação Borges	31
4.5.3 Sistemas de Evolução das Arribas Costeiras.....	32
4.5.3.1 Mecanismos de Evolução	33
4.5.3.2 Caracterização do Litoral Norte da Ilha de São Miguel – Caso de Estudo	34
5. MÉTODOS E TÉCNICAS APLICADAS NA AVALIAÇÃO DO RECUO DA LINHA DE COSTA	43
5.1 Definição de Linha de Costa	43
5.2 Digitalização de Elementos.....	46
5.3 Aplicação de Técnicas Fotogramétricas.....	47
5.4 Análise Granulométrica da Areia das Praias.....	52
6. EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA NO SETOR RABO DE PEIXE – RIBEIRA GRANDE	57
6.1 Trabalhos Anteriores Sobre a Evolução da Linha de Costa.....	57
6.2 Modelação da agitação marítima na área de estudo e da deriva sedimentar.....	58
6.3 Análise da Evolução, por Freguesias, do Edificado entre 2006 – 2017	63
6.4 Análise da Evolução, Por Setores, do Edificado entre 2006 – 2017	68
6.5 Determinação das Áreas Perdidas e Taxas de Recuo	73
7. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	77
7.1 Análise e Discussão do Edificado.....	77
7.2 Análise e Discussão da Área Perdida e Taxa de Recuo	78
7.3 Análise com as Alterações Climáticas.....	79
8. CONCLUSÕES	81
Referências Bibliográficas	83
Anexos	90

Índice de Figuras

Figura 1 - Localização geográfica do arquipélago dos Açores. Coordenadas geográficas datum WGS84 (Marques, 2013).	5
Figura 2 – Divisão administrativa da ilha de São Miguel (Medeiros, 2010).	6
Figura 3 – Delimitação da área de estudo (Google Earth, 2023).....	6
Figura 4 – Principais estruturas tectónicas da RAA. Legenda: CMA – Crista Média Atlântica; ZFEA – Zona de Fratura Este dos Açores; FG – Falha da Glória; RT – Rift da Terceira (Pacheco <i>et al.</i> , 2013).....	9
Figura 5 – Ortofotomapa da ilha de São Miguel das unidades geomorfológicas definidas por Zbyszewski <i>et al.</i> (1958b, 1958b) e Zbyszewski (1961) para a ilha de S. Miguel, com a delimitação da área de estudo. Base: Carta Militar de Portugal, Açores, folhas 26-34, Instituto Geográfico do Exército (2001, 2002 e 2003); Projeção UTM, Zona 26S; Datum WGS84 (Carmo, 2013).	11
Figura 6 – Excerto da carta geológica de Moore (1990) com indicação dos setores avaliados.	13
Figura 7 – Zonas Ameaçadas pelo Mar na RAA (Fonte: Equipa técnica, com base no Reserva Ecológica – RAA Tabela de Referência Regional (2016, <i>in</i> PRAC , 2017).....	20
Figura 8 – Diferentes limites no litoral (Barroco <i>et al.</i> , 2012).....	21
Figura 9 – Vista da costa de Rabo de Peixe, freguesia de Calhetas, onde a costa é composta por uma série de escoadas lávicas de natureza basáltica (Data: 17/02/2022). 22	
Figura 10 – (a) Praia de Santa Bárbara; e (b) Areal do Monte Verde. (Google Earth, 2023). 26	
Figura 11 – (a) Vista da arriba da Praia de Santa Bárbara; e (b) vista da costa da zona do Bandedo, área com edificações em risco.	27
Figura 12 – Esquema exemplificador de situação de <i>newjersyization</i> (Borges <i>et al.</i> , 2009). 29	
Figura 13 – Esquema exemplificador de situação de <i>santabarbarização</i> (Borges <i>et al.</i> , 2009).....	30
Figura 14 – Sistema de evolução das arribas costeiras (adaptado de Sunamura, 1992). 33	

Figura 15 – Mecanismos de evolução do litoral. Legenda: MR – material resistente; MB – material brando (Borges, 2003).	34
Figura 16 – Morro de Santana, na costa norte da ilha de São Miguel, exemplo de litoral com mecanismos de evolução do Tipo I em costa de tefra (Data: 15/02/2022).	35
Figura 17 – Morro de Santana, na costa norte da ilha de São Miguel, exemplo arriba em processo de erosão diferencial (Data: 15/02/2022).	37
Figura 18 – Calhetas de Rabo de Peixe, na costa norte da ilha de São Miguel, exemplo de litoral com mecanismos de evolução do Tipo II em costa de mista com praia de cascalho/blocos angulosos (proteção costeira recente) (Data: 18/02/2022).	38
Figura 19 – Calhetas de Rabo de Peixe, na costa norte da ilha de São Miguel, exemplo de litoral com mecanismos de evolução do Tipo III em costa mista (Data: 17/02/2022)... ..	39
Figura 20 – Santana, na costa norte da ilha de São Miguel; exemplo de litoral com mecanismos de evolução do Tipo IV, em costa de escoada lávica com arribas mergulhantes (Data: 15/03/2022).	40
Figura 21 – Bandejo, na costa norte da ilha de São Miguel. Exemplo de litoral com mecanismos de evolução do Tipo IV em costa de escoada lávica com arribas mergulhantes (Data: 15/03/2022).	41
Figura 22 – Calhetas, na costa norte da ilha de São Miguel. Exemplo de litoral com mecanismos de evolução do Tipo IV em costa de escoada lávica com blocos angulosos e uma ocorrência de movimento de vertente (Data: 17/02/2022).	42
Figura 23 – Processo fotogramétrico (adaptado de Oliveira, 2005).	48
Figura 24 – Localização das áreas fotografadas no processo fotogramétrico. (Google Earth, 2023).	49
Figura 25 – Exemplos da escolha dos pontos de controlo de terreno.	50
Figura 26 – Exemplos da georreferenciação de um ponto de controlo de terreno (dia 16/10/2021 na freguesia de Rabo de Peixe.	51
Figura 27 – Ambiente de trabalho Agisoft ilustrando o ortofotomapa e as curvas de nível calculadas para a praia de Santa Bárbara.	52
Figura 28 – Localização das amostras recolhidas na praia de Santa Bárbara. (Google Earth, 2023).	53

Figura 29 – Localização das amostras recolhidas na praia do Monte Verde. (Google Earth, 2023).....	54
Figura 30 – Exemplo da recolha da amostra n.º 1, na praia de Santa Bárbara.	54
Figura 31 – Amostras das praias de Santa Bárbara e Monte Verde após as 24 horas na estufa.	55
Figura 32 – Conjunto de peneiros da série ASTM e peneirador mecânico.	56
Figura 33 - Localização dos dados de agitação marítima, a vermelho, e posição dos levantamentos de drone, a laranja. (Google Earth, 2023).	59
Figura 34 - Rosa de direções frequentes entre 1993 e 2020.	60
Figura 35 – Levantamento topográfico da praia de Santa Bárbara em 2021. (Google Earth, 2023).....	62
Figura 36 – Levantamento topográfico da praia de Santa Bárbara em 2022. (Google Earth, 2023).....	62
Figura 37 - Diferença do levantamento de 2022 com o de 2021. (Google Earth, 2023).	62
Figura 38 – Perfil transversal executado sobre a diferença de levantamentos.	63
Figura 39 – Raio de 50 m que delimita a área de estudo. (Google Earth, 2023).....	64
Figura 40 – Localização dos setores de arriba. (Google Earth, 2023).....	68
Figura 41 – Exemplo da erosão ocorrida no setor 2, freguesia de Rabo de Peixe, no período 2006 – 2017. Base: Ortofotomapa da área de estudo referente ao ano 2017, fornecido pela SRTMI.....	75
Figura 42 – Exemplo da erosão ocorrida no setor 3, freguesia de Rabo de Peixe, no período 2006 – 2017. Base: Ortofotomapa da área de estudo referente ao ano 2017, fornecido pela SRTMI.....	75
Figura 43 – Exemplo da erosão ocorrida no setor 6, na praia de Santa Bárbara, no período 2006 – 2017. Base: Ortofotomapa da área de estudo referente ao ano 2017, fornecido pela SRTMI.....	76

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Resumo de dados estatísticos simplificados do regime de agitação marítima na costa norte da ilha de São Miguel (modificado de Borges, 2003). H_s [s] – média e desvio padrão da altura significativa das ondas (média anual); $H_{s_{max}}$ - altura significativa máxima; H_{max6} – maior altura observada na série; T_{pot} – período equivalente de potência; V_m – rumo médio vetorial de potência.....	24
Tabela 2 – Sistema de classificação do litoral (Borges, 2003).....	31
Tabela 3 – Principais características dos ortofotomapas utilizados neste trabalho.....	45
Tabela 4 – Principais características da cartografia utilizada neste trabalho	46
Tabela 5 – Principais características sobre os voos realizados.	49
Tabela 6 – Principais características sobre as amostras recolhidas.....	53
Tabela 7 – Abertura de peneiros da série ASTM utilizada.....	56
Tabela 8 – Resumo das taxas de recuo históricas no litoral norte da ilha de São Miguel. 57	
Tabela 9 – Valores dos diâmetros característicos das amostras de solo (areias) colhidas na praia de Santa Bárbara.....	60
Tabela 10 - Resumo da evolução do edificado geral por freguesias 2006 – 2017.....	65
Tabela 11 - Resumo da evolução das barracas por freguesias 2006 – 2017.	65
Tabela 12 - Resumo da evolução das ruínas por freguesias 2006 – 2017.	66
Tabela 13 - Resumo da evolução das indústrias por freguesias 2006 – 2017.	66
Tabela 14 - Resumo da evolução dos recintos desportivos por freguesias 2006 – 2017. 67	
Tabela 15 - Resumo da evolução das estradas por freguesias 2006 – 2017.	67
Tabela 16 - Resumo da evolução dos estacionamento por freguesias 2006 – 2017. ...	68
Tabela 17 – Resumo da evolução do edificado geral 2006 – 2017. Qt. – Quantidade em numérico.	69
Tabela 18 – Resumo da evolução das barracas 2006 – 2017.	70
Tabela 19 – Resumo da evolução das ruínas 2006 – 2017.	70
Tabela 20 – Resumo da evolução dos edifícios industriais 2006 – 2017.....	71
Tabela 21 – Resumo da evolução dos recintos desportivos 2006 – 2017.....	72

Tabela 22 – Resumo da evolução das estradas 2006 – 2017.	72
Tabela 23 – Resumo da evolução dos estacionamento 2006 – 2017.	73
Tabela 24 – Principais dados analisados em cada setor de arriba entre 2006 e 2017...	74

Índice de Anexos

ANEXO I – Delimitação da Linha de Costa – Interface mar / terra 2006	91
ANEXO II - Delimitação da Linha de Costa – Interface mar / terra 2017	92
ANEXO III – Delimitação da Linha de Costa – Limite da Arriba 2006.....	93
ANEXO IV - Delimitação da Linha de Costa – Limite da Arriba 2017	94
ANEXO V – Edificado e Infraestruturas 2006	95
ANEXO VI – Edificado e Infraestruturas 2017	96
ANEXO VII – Ortofotomapa de Zona Urbana em Rabo de Peixe	97
ANEXO VIII – Ortofotomapa de Zona Urbana em Ribeira Seca	98
ANEXO IX – Ortofotomapa da Praia de Santa Bárbara – 1.º Levantamento	99
ANEXO X – Ortofomapa da Praia de Santa Bárbara – 2.º Levantamento	100
ANEXO XI – Ortofotomapa da Praia de Santa Bárbara – 3.º Levantamento	101
ANEXO XII – Localização do Setor 1	102
ANEXO XIII - Localização do Setor 2	103
ANEXO XIV - Localização do Setor 3.....	104
ANEXO XV - Localização do Setor 4.....	105
ANEXO XVI - Localização do Setor 5.....	106
ANEXO XVII - Localização do Setor 6.....	107
ANEXO XVIII - Localização do Setor 7.....	108
ANEXO XIX - Localização do Setor 8.....	109
ANEXO XX – Edificado e Infraestruturas no Setor 1 - 2006	110
ANEXO XXI – Edificado e Infraestruturas no Setor 1 - 2017	111
ANEXO XXII – Edificado e Infraestruturas no Setor 2 - 2006	112
ANEXO XXIII – Edificado e Infraestruturas no Setor 2 - 2017	113
ANEXO XXIV – Edificado e Infraestruturas no Setor 3 – 2006	114
ANEXO XXV – Edificado e Infraestruturas no Setor 3 – 2017	115
ANEXO XXVI – Edificado e Infraestruturas no Setor 4 – 2006	116
ANEXO XXVII – Edificado e Infraestruturas no Setor 4 – 2017	117
ANEXO XXVIII – Edificado e Infraestruturas no Setor 5 – 2006	118
ANEXO XXIX – Edificado e Infraestruturas no Setor 5 – 2017.....	119

ANEXO XXX – Edificado e Infraestruturas no Setor 6 – 2006.....	120
ANEXO XXXI – Edificado e Infraestruturas no Setor 6 – 2017.....	121
ANEXO XXXII – Edificado e Infraestruturas no Setor 7 – 2006.....	122
ANEXO XXXIII – Edificado e Infraestruturas no Setor 7 – 2017.....	123
ANEXO XXXIV – Edificado e Infraestruturas no Setor 8 – 2006	124
ANEXO XXXV – Edificado e Infraestruturas no Setor 8 – 2017	125
ANEXO XXXVI – Rasto da demolição das habitações no setor 2	126

Lista de Acrónimos

AC - Alterações Climáticas

BM - Baixa Mar

CMA - Crista Média Atlântica

FG - Falha da Glória

GEE - Gases com Efeito de Estufa

GNSS - Global Navigation Satellite Systems (Sistema Global de Navegação por Satélite)

HWL - High Water Line (Linha de Preia-mar)

IPCC - Intergovernmental Painel Climate Change

LNEC - Laboratório Nacional de Energia e Geologia

MHWL - Mean High Water Line / Shoreline (Linha Média das Preia-mar Vivas)

PGRH-A - Plano de Gestão da Região Hidrográfica dos Açores

PM - Preia Mar

PRAC - Plano Regional das Alterações Climáticas dos Açores

QGIS - Quantum GIS

RAA - Região Autónoma dos Açores

REAA - Relatório do Estado do Ambiente dos Açores

RG – Ribeira Grande

SIG - Sistemas de Informação Geográfica

SRAAC - Secretaria Regional do Ambiente e Alterações Climáticas

SRTMI - Secretaria Regional do Turismo, Mobilidade e Infraestruturas

SRTOP - Secretaria Regional dos Transportes e Obras Públicas (SRTOP)

ZAM - Zonas Ameaçadas pelo Mar

ZFAG - Zona de Fratura Açores-Gibraltar

ZFEA - Zona de Fratura Este dos Açores

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

1.1 Enquadramento

A presente dissertação insere-se no âmbito do Mestrado em Ambiente, Saúde e Segurança (9ª edição), ministrado pela Faculdade de Ciências e Tecnologias, Departamento de Biologia da Universidade dos Açores, e intitula-se *Avaliação de Impactes Ambientais dos Processos Erosivos Costeiros no Setor Rabo de Peixe – Ribeira Grande, Ilha de São Miguel, Açores*.

O concelho da Ribeira Grande, na ilha de São Miguel, localiza-se na zona norte da ilha e é constituído pelas freguesias de Pico da Pedra, Rabo de Peixe, Santa Bárbara, Ribeira Seca, Conceição, Matriz, Ribeirinha, Porto Formoso, São Brás, Maia, Lomba da Maia, Fenais da Ajuda e Lomba de São Pedro. O setor alvo de estudo abrange, apenas, a faixa costeira que inclui, de oeste para este, as freguesias de Rabo de Peixe, Ribeira Seca, Conceição e Matriz.

Segundo o Plano Regional das Alterações Climáticas dos Açores (PRAC, 2017), o a Ribeira Grande é o terceiro concelho da ilha de São Miguel com mais população a habitar em zonas ameaçadas pelo mar, cerca de 11,5%, observando-se uma significativa litoralização dos aglomerados populacionais.

Na faixa costeira assiste-se, de uma forma global, a um processo de evolução natural designado por Erosão Costeira. É um processo costeiro que devido aos agentes forçadores leva ao recuo da linha de costa. Ao adicionar os efeitos das alterações climáticas, este processo de erosão poderá intensificar-se.

As alterações climáticas constituem um problema global e são consideradas umas das maiores ameaças ambientais, sociais e económicas no planeta Terra. Segundo algumas previsões (e.g. IPCC, 2022) ocorrerá um aumento global da temperatura, uma subida do nível do mar e uma maior frequência de fenómenos meteorológicos extremos.

Os Açores, tendo em conta as suas características geográficas e morfológicas, apresentam uma elevada vulnerabilidade às alterações climáticas. Em consequência, estão previstos, à escala regional, impactes ambientais e socioeconómicos severos. A

subida do nível do mar irá provocar uma pressão circundante nas ilhas, dando origem a uma série de ameaças aos recursos, ecossistemas e infraestruturas costeiras (PRGH-A, 2021).

Para a orla costeira, as consequências decorrentes das alterações climáticas mais agravantes são a subida do nível médio do mar e a modificação do regime de agitação marítima. Tendo em consideração que o setor costeiro aqui estudado possui uma forte densidade de ocupação humana, com presença de áreas de suscetibilidade elevada a movimentos de vertente e com risco de cheias elevado, é crucial o estudo e análise da evolução destas áreas costeiras e os impactes ambientais que irá provocar na sociedade, em geral.

Trabalhos anteriores (Borges, 2003), para a última metade do século XX, referem períodos com taxas de recuo expressivas em determinados locais, como é o caso da Praia de Santa Bárbara e do Areal (Praia) do Monte Verde.

No presente trabalho é feita uma análise à evolução do setor costeiro estudado, para um período de 11 anos (2006 – 2017), relativamente ao processo de erosão e as consequências observadas no edificado urbano costeiro, nomeadamente nas habitações (demolições versus novas construções) e nas infraestruturas presentes nessa faixa costeira. Esta análise foi realizada tendo por base os ortofotomapas e os dados cartográficos de 2006 e 2017, utilizando um Sistema de Informação Geográfica (SIG) para posterior tratamento e interpretação dos dados.

1.2 Objetivos

A execução da presente dissertação de mestrado tem por objetivo o estudo da evolução dos processos de erosão costeiros recentes, quer na zona de praia, quer na zona de arriba, no setor Rabo de Peixe – Ribeira Grande (13,2 km) e a avaliação dos impactes ambientais resultantes desses processos, nomeadamente a contabilização das habitações e as infraestruturas demolidas, assim como proceder ao cálculo da área costeira perdida e a taxa de recuo associada.

Para a concretização deste estudo foram executadas as seguintes tarefas: identificação de cartografia e ortofotomapas e/ou fotografia aérea antiga para a área de estudo; comparação dos dados disponíveis para a faixa costeira do setor em causa; identificação das alterações observadas entre os anos analisados; e a caracterização e registo do comportamento da linha de costa, durante o período da elaboração do presente trabalho, no setor alvo de estudo.

Estas tarefas visaram a avaliação da taxa de erosão, a quantificação da perda de área e, conseqüentemente, a quantificação da perda de edificado.

1.3 Estrutura

A presente dissertação encontra-se estruturada em 8 capítulos, incluindo a introdução (capítulo 1) e as conclusões (capítulo 8).

O segundo capítulo incide sobre o enquadramento e a caracterização da área de estudo, a nível geológico, climatológico e socioeconómico.

O terceiro capítulo apresenta uma abordagem sobre as alterações climáticas a nível mundial e do arquipélago dos Açores, referindo as conseqüências que estas podem ter sobre a Orla Costeira.

No quarto capítulo é efetuada uma descrição da dinâmica costeira e dos processos de evolução da mesma, fazendo uma pequena abordagem sobre o clima de agitação marítima presente na área de estudo, incluindo o regime de marés, a ondulação e a deriva sedimentar litoral presente ao longo do torço costeiro analisado. Neste capítulo são ainda apresentados os fatores que contribuem para o recuo das arribas e é feita uma caracterização do litoral da área de estudo com base no sistema de classificação do litoral desenvolvido por Borges (1995 e 2003) e nos mecanismos de evolução do litoral definidos por Borges (2003).

O quinto capítulo refere-se à descrição das metodologias e técnicas aplicadas quer na recolha de dados, quer no tratamento e interpretação dos mesmos. São descritas as técnicas aplicadas na definição da linha de costa e dos elementos urbanísticos e na recolha de dados, nomeadamente no levantamento fotográfico com

recurso a drone. São, ainda, abordados os métodos utilizados na classificação do ambiente sedimentar da praia de Santa Bárbara.

No sexto capítulo é analisada a evolução da linha de costa no setor Rabo de Peixe – Ribeira Grande. Esta análise incide sobre o comportamento do litoral num período de 11 anos, avaliando a evolução urbana numa faixa de 13,2 km de linha de costa, com um raio de 50 m a partir da linha de arriba, totalizando uma área de 563.503 m². Para a execução desta análise, numa primeira fase, foram digitalizados a linha de costa e os elementos urbanísticos abrangidos na faixa em estudo para ambos os anos 2006 e 2017, incluindo: edificado geral (habitações, estabelecimentos públicos / comerciais, edifícios em fase de construção); barracas (garagens, oficinas, áreas de serviço / apoio a habitações ou estabelecimentos comerciais); indústrias (fábricas); ruínas; recintos desportivos; estacionamento; e estradas.

No capítulo 7 discutem-se os resultados obtidos ao nível das alterações do edificado urbano, do recuo da linha de costa, as taxas de erosão costeira e da área perdida. Tecem-se ainda considerações sobre as consequências das alterações climáticas para a área em estudo e as medidas de mitigação mais eficazes.

No capítulo 8 são apresentadas as principais conclusões do estudo efetuado.

2. ENQUADRAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 Localização Geográfica

O Arquipélago dos Açores localiza-se no Oceano Atlântico Norte, cerca de 1.600 km de Portugal Continental e a, aproximadamente, 3.900 km da América do Norte, estende-se ao longo de uma faixa de cerca de 600 km de comprimento, segundo a direção WNW-ESSE, entre as latitudes 36° 55' e 39° 43' Norte e as longitudes 24°46' e 31° 16' Oeste.

O arquipélago é constituído por nove ilhas, agrupadas geograficamente em três grupos, (1) o grupo Ocidental composto pelas ilhas das Flores e do Corvo, (2) o grupo Central formado pelas ilhas Terceira, Graciosa, São Jorge, Pico e Faial, e (3) o grupo Oriental que é constituído pelas ilhas São Miguel e Santa Maria (Figura 1).

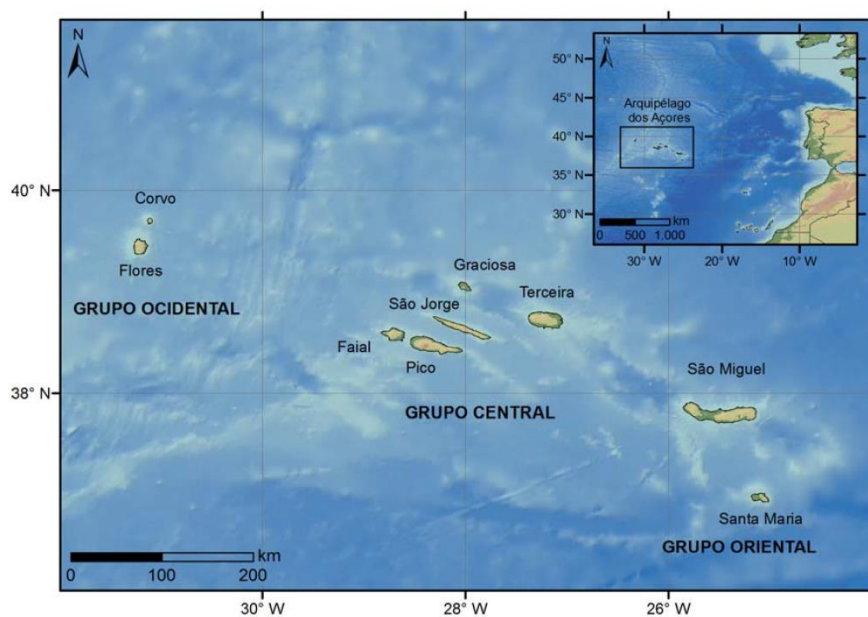


Figura 1 - Localização geográfica do arquipélago dos Açores. Coordenadas geográficas datum WGS84 (Marques, 2013).

A ilha de São Miguel é a maior e mais populosa ilha dos Açores, tem cerca de 756 km², com um comprimento e largura de 64 e 16 km, e situa-se entre as latitudes 37° 42' e 37° 54' N e as longitudes 25° 51' e 25° 08' W (Carmo, 2013). A ilha é composta por seis concelhos: Ponta Delgada, Lagoa, Vila Franca, Ribeira Grande, Povoação e Nordeste (Figura 2).

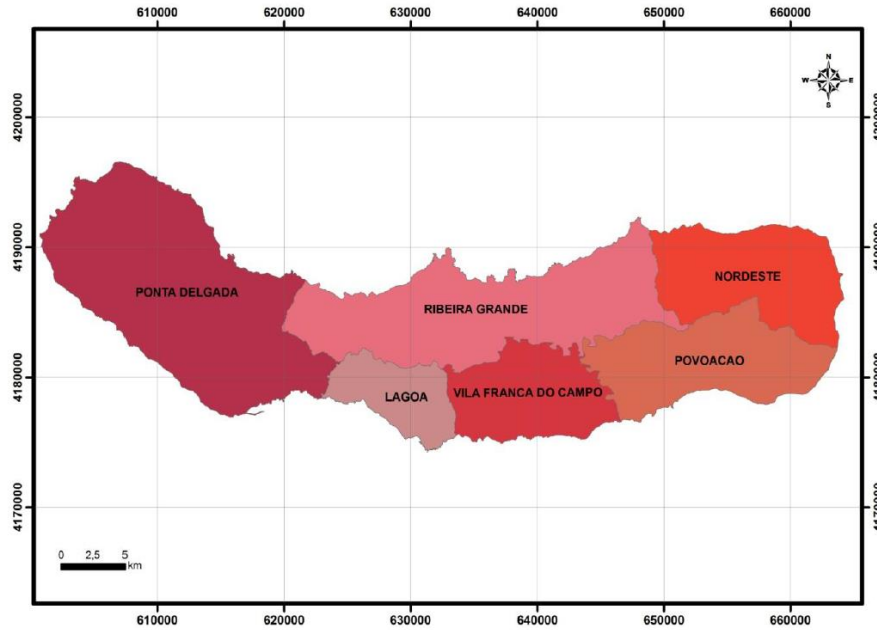


Figura 2 – Divisão administrativa da ilha de São Miguel (Medeiros, 2010).

A área de estudo proposta no âmbito do presente trabalho corresponde ao troço costeiro situado na parte central da ilha de São Miguel, mais concretamente entre as freguesias Rabo de Peixe (37°49' N e 25°36' W) e Matriz (37°49' N e 25°31' W), do concelho da Ribeira Grande (Figura 3).

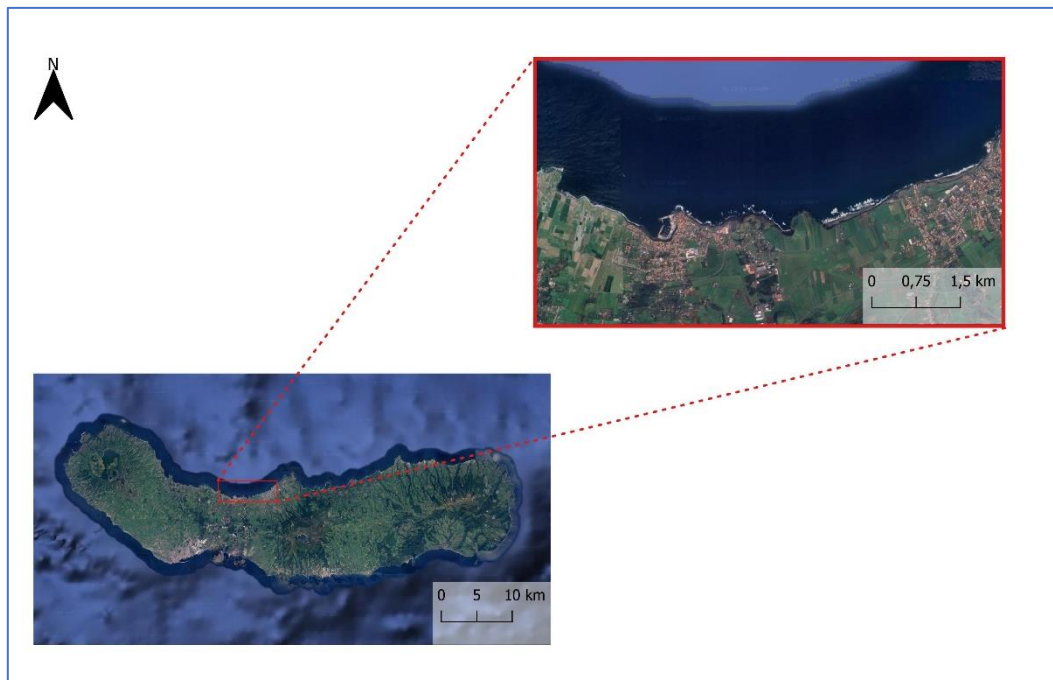


Figura 3 – Delimitação da área de estudo (Google Earth, 2023).

2.2 Caracterização Climática

O Arquipélago dos Açores localiza-se em plena bacia do Atlântico Norte, num cinturão subtropical de células de altas pressões (anticlones) do Hemisfério Norte, a norte da influência dos ventos Alísios, numa zona de transição e de confrontação de massas de ar tropical e de massa de ar mais frio de origem polar. Uma vez que as ilhas se encontram afastadas das costas continentais, as massas de ar que chegam ao arquipélago são confrontadas com a evolução da temperatura superficial das águas do mar que trazem ao longo do seu percurso vapor de água e características termodinâmicas que marcam, em larga medida, o clima local de cada uma das ilhas (Azevedo, 2001).

Segundo Azevedo (2001, 2006) existe um campo de pressão atmosférica sobre o Atlântico que determina a dinâmica do clima do arquipélago. Associados ao regime geral de circulação atmosférica, condicionado pela massa do continente americano e pela massa aquática atlântica, existem cristas e talwegues barométricos, sob os quais sobrepõem-se os anticlones semipermanentes atlântico subtropicais dos quais se destaca o designado Anticiclone dos Açores, forte influenciador das condições meteorológicas do arquipélago. No inverno o Anticiclone dos Açores encontra-se posicionado mais a sul, permitindo a descida da Frente Polar, ficando mais próxima do arquipélago, e nos meses de verão observa-se o contrário, ou seja, o Anticiclone posiciona-se mais a norte, conduzindo ao afastamento da Frente Polar e das perturbações que lhe estão associadas para latitudes mais elevadas (Marques, 2013).

Os invernos podem ser chuvosos, mas, não tão rigorosos. A precipitação ocorre durante todo o ano, mesmo nos meses de estio, embora nestes com menor expressão. Os verões são mais amenos e significativamente ensolarados, em comparação com o resto do ano. Contudo, os dias de céu completamente limpo são raros. No final do verão e no outono observa-se períodos de tempestades, mesmo que estes sejam mais frequentes no inverno. As tempestades violentas são fortemente marcadas pelos diversos episódios de precipitação ora intensa, ora persistente que provocam impactos nas redes de drenagem, podendo também, desencadear fenómenos de erosão e deslizamentos de terras decorrentes da saturação e alteração da agregação dos solos e estabilidades de vertentes e taludes (Azevedo, 2011).

De um modo geral, o clima do arquipélago é marcado pela sua amenidade térmica, pelos elevados índices de humidade do ar (contudo mais elevada no inverno do que no verão), por taxas de insolação pouco elevadas, por chuvas regulares e abundantes e por um regime de ventos vigorosos que circulam o arquipélago (Azevedo, 2001). No entanto, observa-se uma sazonalidade no clima das ilhas.

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima das Ilhas do Arquipélago dos Açores está integrado na categoria dos climas temperados, caracterizados por apresentarem verão e inverno com temperaturas médias para o mês mais frio entre -3 a 18°C (Azevedo, 2001). No entanto, a sazonalidade do seu clima, bem como a sua amenidade fazem com que o clima seja chuvoso temperado com verão seco, mas que a temperatura média do mês mais quente não ultrapassa em média os 22°C.

Na Ilha de São Miguel o clima é marcado pelo facto desta fazer parte do grupo de ilhas mais meridionais do arquipélago, dada a sua localização geográfica o clima possui características mais “mediterrâneas”, decorrente de uma latitude mais baixa, de uma maior influência das massas de ar com características menos oceânicas do que as observadas nas restantes ilhas, bem como de uma menor exposição aos fenómenos frontais da circulação geral que, ao deslocarem de oeste para leste, vão perdendo virulência ao longo do seu trajeto (Azevedo, 2001).

No que toca à precipitação, na Ilha de São Miguel a precipitação média anual ao nível do mar encontra-se próxima dos 700 mm, sendo por norma abundante. A precipitação caracteriza-se por alguma irregularidade inter-anual cuja amplitude pode atingir os 1000 mm. Durante todos os meses do ano ocorre precipitação, verificando-se, entretanto, dois períodos distintos em relação ao regime pluviométrico. Os meses de outubro a março concentram 70% da precipitação total do ano, assim como compreendem dois terços dos dias com precipitação (Azevedo, 2001).

Na costa norte da Ilha de São Miguel, a temperatura do ar média anual é mais baixa do que na restante ilha, isto deve-se à circulação dos quadrantes norte que transportam ar mais frio e seco, bem como o ângulo de incidência mais desfavorável da radiação solar. Segundo Azevedo (2001) a humidade do ar tende a ser inferior na costa norte em comparação com a observada na costa sul, isto acontece devido às massas de

ar tropical que assolam Ilha a sul, em oposição ao ar mais seco de providência mais setentrional, bem como aos fenómenos de condensação e deposição da água nas zonas mais altas.

2.3 Enquadramento Geológico

2.3.1 Enquadramento Geodinâmico

As ilhas que constituem o Arquipélago dos Açores são estruturas vulcânicas que afloram da designada Plataforma dos Açores, de forma aproximadamente triangular e uma crosta oceânica de espessura anormalmente elevada. Esta plataforma possui uma morfologia complexa e expressa pela existência de fossas e cristas submarinas.

Sob o ponto de vista tectónico, os Açores localizam-se na zona de junção tripla das placas litosféricas Norte-americana, Euroasiática e Núbia, originando importantes sistemas de fraturas. Neste enquadramento, assumem especial relevo a Crista Média Atlântica, a Zona de Fratura Açores-Gibraltar, que inclui *Rift* da Terceira e a Falha Glória, e a Zona de Fratura Este dos Açores (Pacheco *et al.*, 2013; Trota, 2009) (Figura 4).

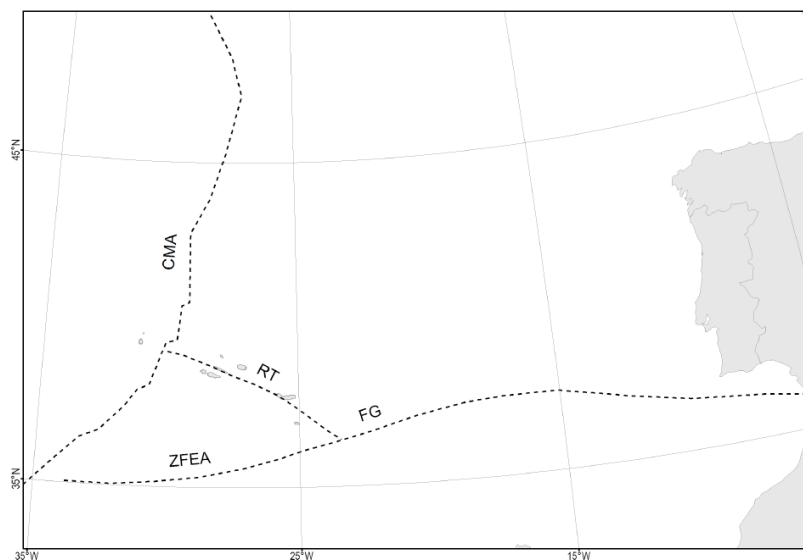


Figura 4 – Principais estruturas tectónicas da RAA. Legenda: CMA – Crista Média Atlântica; ZFEA – Zona de Fratura Este dos Açores; FG – Falha da Glória; RT – Rift da Terceira (Pacheco *et al.*, 2013).

A Crista Média Atlântica (CMA) atravessa a região dos Açores entre os grupos Ocidental e Central, e apresenta uma elevada atividade sísmica e vulcânica,

caracterizada pelo seu comportamento distensivo puro, correspondente ao eixo de expansão da crosta oceânica (Vogt e Jung, 2004).

A Zona de Fratura Açores-Gibraltar (ZFAG) prolonga-se desde a CMA até à região Gibraltar. O movimento dextrógiro entre as duas placas, resultante de diferentes taxas de expansão a norte e a sul da junção tripla dos Açores, provoca um movimento de transtensão a ocidente (Rift da Terceira), desligamento puro no setor central (Falha da Glória), e transpressão a oriente (Pacheco *et al.*, 2013).

A ilha de São Miguel é afetada pelos importantes sistemas de fraturas que dominam o Rift da Terceira. O Rift da Terceira (RT) apresenta uma orientação geral WNW-ESSE, definida pelo alinhamento das ilhas dos grupos Central e Oriental, e estende-se desde a CMA até à Falha da Glória. O RT é caracterizado pela sua atividade elevada sob o ponto de vista tectónico e vulcânico, e possui um comportamento distintivo e de desligamento direito (Pacheco *et al.*, 2013).

A Falha da Glória (FG) desenvolve-se segundo a direção E-W para leste da ilha da Santa Maria e apresenta uma movimentação em desligamento direito puro caracterizado por importante atividade sísmica com eventos de magnitude elevada (Laughton *et al.*, 1972).

A Zona de Fratura Este dos Açores (ZFEA) define o limite sul da Plataforma dos Açores e prolonga-se segundo uma direção aproximada E-W entre a CMA e a Falha Glória. A ZFEA é uma estrutura inativa ou com um grau de atividade muito baixo, pois a sismicidade nesta é quase nula.

Devido ao enquadramento geodinâmico da RAA, desde o seu povoamento que se regista uma intensa atividade sísmica (Udías e Buforn, 1998; Nunes, 1991; Nunes *et al.*, 1992; Nunes e Oliveira, 1997) e importante atividade vulcânica (Weston, 1964; Forjaz, 1992; Queiroz *et al.*, 1995; Gaspar e Wallenstein, 1999), principalmente ao longo da Crista Médio-Atlântica e do Rift da Terceira (Wallenstein, 1999).

2.3.2 Caracterização Geomorfológica

A ilha de São Miguel é, na sua generalidade, formada por cinco aparelhos vulcânicos e duas importantes zonas de vulcanismo fissural (Carmo, 2013). De um modo

geral, a ilha é constituída por três aparelhos vulcânicos centrais – Sete Cidades, Fogo e Furnas, entre estes vulcões poligenéticos, desenvolvem-se as zonas de vulcanismo fissural, onde se identificam vários centros monogenéticos na sua maioria de natureza basáltica. As estruturas vulcânicas mais frequentes na ilha de São Miguel são os cones de escórias, que se dispõem em aglomerados condicionados pela tectónica, dominada pela tendência regional (Trota, 2009).

Na abordagem geomorfológica da ilha de São Miguel, Wallenstein (1999), Pacheco *et al.*, (2013) e Carmo (2013) contabilizam, de W para E, oito unidades geomorfológicas distintas, nomeadamente, (1) Maciço Vulcânico das Sete Cidades; (2) Região dos Picos; (3) Maciço Vulcânico de Água de Pau; (4) Planalto da Achada das Furnas; (5) Vulcão das Furnas; (6) Vulcão da Povoação; (7) Região da Tronqueira e do Nordeste; e a (8) Plataforma Litoral Norte (Figura 5).

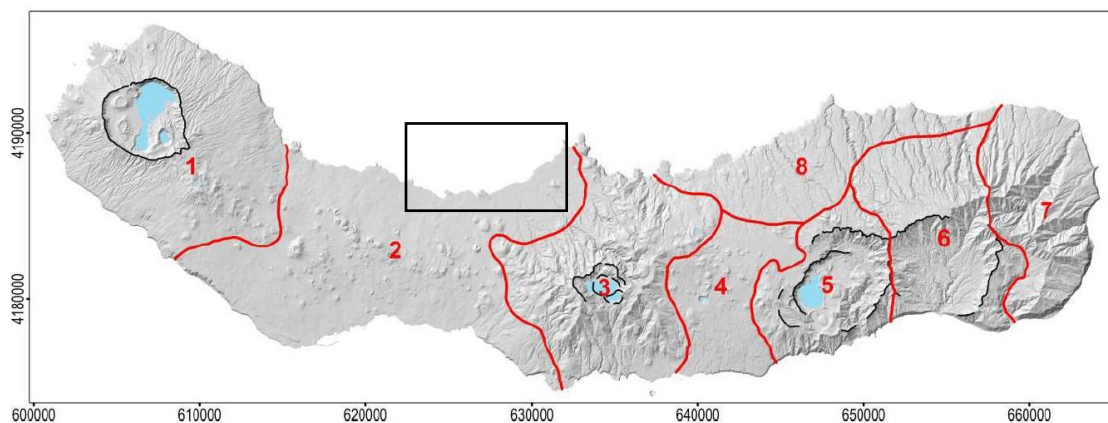


Figura 5 – Ortofotomapa da ilha de São Miguel das unidades geomorfológicas definidas por Zbyszewski et al. (1958b, 1958b) e Zbyszewski (1961) para a ilha de S. Miguel, com a delimitação da área de estudo. Base: Carta Militar de Portugal, Açores, folhas 26-34, Instituto Geográfico do Exército (2001, 2002 e 2003); Projeção UTM, Zona 26S; Datum WGS84 (Carmo, 2013).

A área de estudo delimitada para a elaboração da presente dissertação de mestrado está inserida no Sistema Vulcânico Fissural dos Picos, localizado entre os vulcões das Sete Cidades e do Fogo.

Limitado a N e a S pela linha de costa e a NW e SE pelo Maciço das Sete Cidades e pelo Maciço de Fogo, respetivamente, desenvolve-se o Sistema Vulcânico Fissural do Picos (Região dos Picos), que corresponde a uma zona de vulcanismo fissural, com um

comprimento de 22 km, uma largura máxima de 12 km e uma área emersa de 190 km² (Carmo, 2013). Este sistema desenvolve-se ao longo de um sistema de estruturas tectono-vulcânicas com direção geral NW-SE, e a sua extensão caracteriza-se, maioritariamente, pouco elevada, dominada pela presença de diversos centros emissores, essencialmente, cones de escórias e escoadas lávicas associadas à atividade eruptiva do Vulcão do Fogo, vulcanismo basáltico. Ocasionalmente, observam-se alguns *maars*, cones de pedra pomes, estruturas hidrovulvânicas (e.g. Morro das Capelas, Ilhéu de S. Roque) e domos (e.g. zona do Pico do Fogo) (Pacheco *et al.*, 2013; Carmo, 2013).

Uma vez que o vulcanismo dominante na região é o basáltico, a sua superfície topográfica é fortemente marcada pela presença de extensos afloramentos de escoadas lávicas e piroclastos de natureza basáltica (*s.l.*). Ainda assim, nas zonas não afetadas por episódios vulcânicos basálticos recentes predomina a cobertura por produtos piroclásticos de natureza traquítica (*s.l.*), resultante de atividade registada nos vulcões poligenéticos vizinhos (Pacheco *et al.*, 2013).

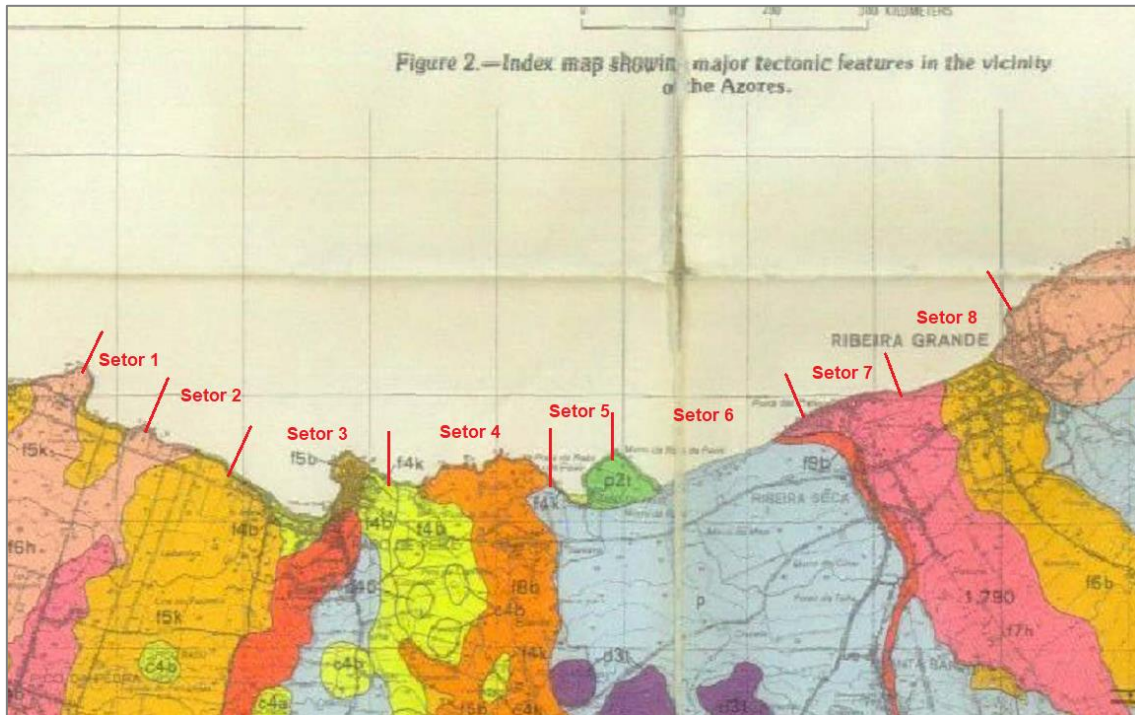
Na parte central da Região dos Picos, o ponto mais alto atinge os 487 m, no vértice geodésico da Serra Gorda, a partir do qual desenvolvem-se para N e para S vertentes suaves, e para NW e SE vertentes mais acentuadas, devido à sobreposição aos flancos dos vulcões centrais adjacentes, atingindo alturas de 875 m e 653 m respetivamente (Carmo, 2013; Gomes, 2013). A partir do alinhamento NW-SE se desenvolvem escoadas lávicas para norte e para sul, em concordância com o sistema regional definido pelo Rift da Terceira, e encontram-se, na maioria, abaixo dos 250 m.

Ainda na zona central, as linhas de água são praticamente inexistentes ou pouco pronunciadas, sendo que o seu desenvolvimento apenas é significativo na vizinhança dos vulcões das Sete Cidades e do Fogo, onde o declive é mais acentuado. (Carmo, 2013; Gomes, 2013).

Em relação ao litoral, a linha de costa apresenta-se ligeiramente sinuosa, composta, maioritariamente, por arribas baixas, com alturas inferiores a 50 m, constituídas, principalmente, por escoadas lávicas (Carmo, 2013).

Segundo o mapa geológico de Moore (1990) a área de estudo da presente dissertação é composta, maioritariamente, por rochas basálticas, nomeadamente, por

depósitos de “*spatter*” (salpicos) e escoadas lávicas *aa* e *pahoehoe*. A sul do porto de pescas de Rabo de Peixe, e na envolvente das praias de Santana e de Santa Barbara, encontram-se depósitos de pedra-pomes traquítica e no Morro de Santana afloram depósitos piroclásticos de fluxo e de queda (Figura 6).



- Escoadas lávicas *aa* e *pahoehoe* com idade entre 5 a 10 mil anos.
- Depósitos de “*spatter*” e escoadas lávicas *aa* e *pahoehoe* com idade entre 3 a 5 mil anos.
- Depósitos de “*spatter*” e escoadas lávicas *aa* e *pahoehoe* com idade entre 10 a 30 mil anos.
- Escoadas lávicas *aa* e *pahoehoe* com idade entre 750 a 1500 anos.
- Escoadas lávicas *aa* e *pahoehoe* da erupção do Fogo em 1652.
- Escoadas lávicas *aa* e *pahoehoe* com idade entre 1500 a 3000 anos.
- Depósitos de pedra-pomes traquitos.
- Depósitos piroclásticos.

Figura 6 – Excerto da carta geológica de Moore (1990) com indicação dos setores avaliados.

2.4 Enquadramento Socioeconómico

O concelho com maior número de habitantes da ilha de São Miguel é Ponta Delgada, com 68.809, seguido por Ribeira Grande, com 32.112, Lagoa, com 14.442, Vila Franca, com 11.229, Povoação, com 6.327, e Nordeste, com 4.937 habitantes (Censos, 2021).

Em todas as ilhas da RAA existem zonas ameaçadas pelo mar, afetando um total de cerca de 14.327 alojamentos, sendo 11.803 edifícios exclusivamente residenciais. Uma vez que a ilha de São Miguel apresenta o maior número de efetivo populacional, em comparação com as restantes ilhas do arquipélago, verifica-se que apresenta um maior número de habitantes que residem em zonas ameaçadas pelo mar, cerca de 57,6% do total (PRAC, 2017).

A ocupação humana do setor alvo de estudo, no litoral norte do concelho da Ribeira Grande, é marcada por uma significativa litoralização dos aglomerados populacionais.

No concelho da Ribeira Grande a principal atividade económica é, essencialmente, o setor primário na área da agropecuária. Os bovinos e os suínos constituem as principais espécies de criação de gado, observando-se, no entanto, a criação de aves.

A área agrícola do concelho da RG ocupa 57,5% da área do concelho, sendo o cultivo praticado em pequenas explorações, destacando-se o cultivo de ananás dos Açores, do tabaco, do chá e da chicória, para além das culturas forrageiras, das culturas permanentes de batata, cítricos e frutos subtropicais, das culturas industriais, dos prados, pastagens permanentes e prados temporários.

A área de floresta ocupa 19,2% do concelho, o que corresponde a 524 ha, destacando-se os cedros, os zimbros e os loureiros como espécies mais abundantes.

O setor secundário do concelho da RG é diversificado, podendo encontrar-se indústrias de laticínios relacionadas com a atividade agropecuária, assim como indústrias têxteis, de mobiliário, de tabaco e de bebidas licorosas.

No setor terciário as principais atividades e atrações turísticas no concelho, assim como na restante ilha consistem no golfe, no ténis, na vela, no Windsurf, no remo, nas escaladas, nos passeios, no mergulho, na observação e na fotografia submarinas e na pesca.

Na área de estudo as atividades principais desenvolvidas são do setor terciário. Destaca-se o turismo associado ao surf na praia de Santa Bárbara, nomeadamente a

construção recente de edificado, incluindo restaurantes e bares, parques de estacionamento e diversas infraestruturas turísticas.

3. ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

3.1 Conceito e Previsão

As Alterações Climáticas (AC) constituem um problema global e são vistas como uma das maiores ameaças ambientais, sociais e económicas que o planeta Terra e a humanidade enfrentam nos dias de hoje (REAA, 2017). Atualmente, e segundo o Relatório Especial do Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC, na sigla inglesa), já são notórios os impactos negativos das alterações climáticas e previsões desfavoráveis (IPCC, 2022).

A atmosfera é 99% constituída por oxigénio e azoto, existindo, no entanto, outros gases em pequenas quantidades, entre eles os Gases com Efeito de Estufa (GEE) que têm a capacidade de reter a radiação infravermelha emitida pela Terra, impedindo-a de escapar para o espaço, provocando o fenómeno designado de efeito de estufa. Esse determina o clima e influencia a temperatura da Terra. Dos GEE, o CO₂ é responsável por 63% do aquecimento global, e a sua concentração atual na atmosfera é de 40% mais elevada do que no início da era industrial.

Os modelos de previsão mais recentes (IPCC, 2022) para o fenómeno das AC apontam que ocorrerá um aumento global da temperatura, uma subida do nível das águas do mar e uma maior frequência de fenómenos meteorológicos extremos, tais como as chuvas torrenciais, as secas prolongadas, as ondas de calor e os tornados. O aquecimento global é o principal desencadeador desses fenómenos que, por sua vez, já são sentidos na maior parte da superfície terrestre.

A temperatura global da Terra continua a aumentar e se as emissões de CO₂ e outros gases com efeito de estufa não forem reduzidas de forma intensa, o aquecimento global poderá ultrapassar os 2°C ainda durante o século XXI. O cenário mais pessimista sobre o aumento da temperatura refere que o aquecimento global ultrapassa os 2°C por volta de 2050 e chegaria a 4,4°C até ao fim do século (IPCC, 2022).

O aumento do nível médio das águas do mar é um dos impactos mais gravosos decorrentes das alterações climáticas. A nível global, o mar subiu cerca de 20 centímetros entre 1901 e 2018, mas, nas primeiras décadas do século XX observa-se uma subida de 1,3 milímetros anualmente e, atualmente, está a subir 3,7 milímetros por ano

(Frederikse *et al.*, 2020). De acordo com os modelos mais pessimistas das AC (IPCC, 2022), está prevista uma subida do nível das águas de mar entre 2 a 3 metros nos próximos dois mil anos, caso o aquecimento global se mantiver nos 1,5 graus, como previsto.

A subida do nível das águas do mar poderá colocar milhões de pessoas da África Subsaariana, América Latina e do Sudoeste Asiático em perigo, obrigando estas a abandonar as suas casas. O mesmo poderá acontecer às populações das regiões costeiras e ilhas, que serão ameaçadas pelo mar. As chuvas torrenciais, as secas prolongadas, as ondas de calor e os tornados são fenómenos meteorológicos extremos serão cada vez mais frequentes (Rodrigues, *et. al.*, 2019).

De acordo com a publicação da *Nature Geoscience* (2021), um outro fenómeno decorrente das alterações climáticas é o enfraquecimento das correntes marítimas do atlântico que podem trazer consequências para a Europa, tais como invernos mais rigorosos, maior frequência de tempestades, ondas de calor mais intensas e a subida do nível médio das águas do mar.

O aumento do nível do dióxido de carbono na atmosfera contribuiu para o aquecimento global e, o aumento da temperatura tem severas consequências que vão desde a saúde até à economia. Em Portugal estima-se que cerca de 200 pessoas morrem por ano devido às alterações climáticas (Cruz, 2021). O IPCC (2019) prevê cenários climáticos gravosos para Portugal, mostrando que o aumento da temperatura poderá chegar a 5°C em 2100 (Rodrigues *et. al.*, 2019).

Assim, para mitigar e, quiçá, inverter os efeitos das AC, será fulcral definir limitações nas emissões de dióxido de carbono em todos os setores de atividade humana, de modo a impedir o aumento das temperaturas globais, contribuindo para a redução do risco sobre pessoas, animais e o próprio ambiente.

3.2 Arquipélago dos Açores

O arquipélago dos Açores apresenta uma linha de costa com uma extensão total de cerca de 1.170 km, marcada por uma variabilidade geomorfológica que se deve à origem vulcânica das ilhas (PRAC, 2017).

As ilhas do arquipélago dos Açores apresentam uma elevada vulnerabilidade às alterações climáticas, pois, tendo em conta as características geográficas e morfológicas dos territórios insulares de origem vulcânica e, mesmo, perante um cenário de menores amplitudes de variação climática expectável, estão previstos, à escala regional, impactos ambientais e socioeconómicos mais problemáticos (PGRH-A, 2021).

Um dos efeitos previsíveis das AC será o aumento da virulência dos episódios meteorológicos extremos, nomeadamente, a ocorrência de períodos prolongados de seca ou a concentração dos fenómenos de precipitação, o que terá implicações nas reservas hídricas, nos processos de escoamentos e nos riscos associados à ocorrência de cheias e de movimentos de vertente. Haverá também um incremento da severidade climática, que afetará a operacionalidade do setor dos transportes, com impactos na produtividade e na economia devido à dependência que o território insular tem de acessibilidades aéreas e marítimas.

Uma outra consequência das alterações climáticas é a designada de subida do nível do mar, que poderá provocar uma pressão circundante nas ilhas, desencadeando uma série de ameaças aos recursos, ecossistemas e infraestruturas costeiras, assim como às populações e territórios mais periféricos.

A orla costeira da região Açores é uma das realidades territoriais mais vulneráveis às alterações climáticas, constituindo um espaço prioritário de intervenção na adaptação às alterações climáticas, dada a sua elevada vulnerabilidade e forte densidade de ocupação humana.

3.3 Efeitos Sobre a Orla Costeira

Segundo o Guia Técnico para o Litoral (2012), a orla costeira é considerada a zona mais vulnerável da totalidade do conjunto de unidade biofísicas da RAA. Essa vulnerabilidade poderá amplificar-se com as alterações climáticas devido aos múltiplos efeitos que estas podem produzir (PRAC, 2017).

No litoral ocorre um processo de evolução natural designado de Erosão Costeira que provoca o recuo da linha de costa e, ao adicionar os impactos produzidos pelas alterações climáticas, o processo de erosão poderá intensificar-se, além das cheias e inundações resultantes da precipitação e da agitação marítima.

Na orla costeira as consequências decorrentes das alterações climáticas mais importantes são a subida do nível médio do mar e a modificação do regime de agitação marítima. Estas consequências produzem impactes na orla costeira ao nível do balanço sedimentar e podem traduzir-se no estabelecimento ou variação da intensidade da erosão, assim como na modificação da frequência e intensidade de inundações costeiras e, ainda, alterações na qualidade da água de estuários, lagunas e aquíferos costeiros.

De acordo com a análise efetuada no PRAC (2017) observa-se que toda a faixa costeira analisada na presente dissertação é classificada como zona ameaçada pelo mar, com presença de áreas de suscetibilidade elevada a movimentos de vertente e com elevado risco de cheias fluviais.

Nas áreas costeiras, onde os impactes serão mais evidentes, ao adicionar a elevada vulnerabilidade presente, pode ocorrer um agravamento da tendência erosiva existente e ocorrência de fenómenos de galgamento e inundação costeira.

Os locais com forte densidade de ocupação humana, protegidos ou não por infraestruturas de proteção costeira, constituem uma preocupação adicional, com particular relevância para as áreas do litoral cujo conteúdo morfológico se associa a substrato rochoso brando e ou friável e de baixa altitude (praias, dunas, ilhas-barreira, barreiras arenosas e zonas húmidas).

A subida do nível médio do mar irá favorecer a inundação costeira e será particularmente importante nos locais em que a morfologia apresenta baixas altitudes.

A futura modificação do regime de agitação marítima prevista em cenários de alterações climáticas, tem potencial para incrementar o transporte sólido litoral à custa de variação da distribuição anual de alturas e do rumo das ondas, prevendo-se o agravamento da intensidade dos processos erosivos em determinados troços costeiros (PRAC, 2017).

O Programa Regional para as Alterações Climática dos Açores (PRAC, 2017) prevê que a sobrelevação marítima de origem meteorológica seja maior e mais frequente, provocando um maior número de eventos de inundações e galgamentos costeiros em relação ao presente. Estes eventos, por sua vez, serão agravados devido à subida do nível

médio das águas do mar, que, no caso dos Açores, poderá alcançar um metro, até ao final do século (PGRH-A, 2021).

Segundo o que consta no PGRH-A (2021), as causas para a elevação do nível médio do mar estão associadas à expansão termal dos oceanos, devido ao aumento do volume específico da água do mar por aumento da temperatura, e ao derretimento das calotes glaciares e outras formas de gelo.

No âmbito do Programa Regional para as Alterações Climáticas dos Açores (PRAC, 2017) são identificadas Zonas Ameaçadas pelo Mar (ZAM) (Figura7), determinadas pelo estudo “Reserva Ecológica Regional – Caracterização dos Perigos em termos dos Recursos Naturais e delimitação das respetivas Áreas Vulneráveis a considerar no Ordenamento do Território da Região Autónoma dos Açores”. Esta determinação teve por base os *run-ups* definidos por Borges (2003) para os Açores e extrapolados para eventos extremos recentes, tempestades do século e eventos de natureza tsunamigénica (PGRH-A, 2021). Assim, constata-se que praticamente todas as ilhas têm a quase totalidade do seu perímetro costeiro ameaçado pelo mar (PRAC, 2017).

Importa frisar que no âmbito do PRAC (2017) que para a análise das zonas de risco apenas foi considerado o risco elevado, sendo que existem outras categorias de risco que, por impossibilidade metodológica, não foram consideradas, podendo estas afetar áreas extensas do território açoriano.

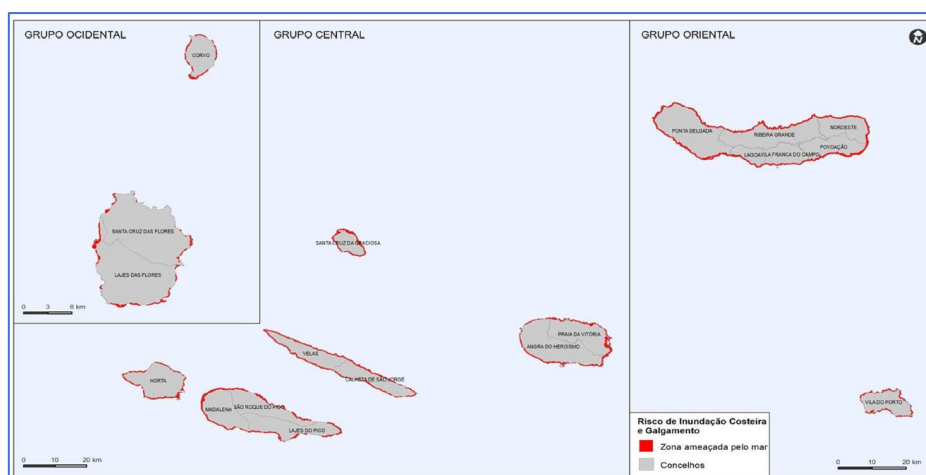


Figura 7 – Zonas Ameaçadas pelo Mar na RAA (Fonte: Equipa técnica, com base no Reserva Ecológica – RAA Tabela de Referência Regional (2016, in PRAC , 2017).

4. DINÂMICA COSTEIRA E PROCESSOS DE EVOLUÇÃO COSTEIRA

A Estratégia Nacional para a Gestão Integrada da Zona Costeira (ENGIZC, 2009) dota os seguintes conceitos (Barroco *et al.*, 2012) (Figura 8):

- I. **Zona Costeira** – “porção de território influenciada direta e indiretamente, em termos biofísicos, pelo mar (ondas, marés, ventos, biota ou salinidade) e que tem, para o lado de terra, a largura de 2 km, e para o lado do mar o limite das águas territoriais, incluindo o leito (12 milhas náuticas)”.
- II. **Orla Costeira** – “porção do território onde o mar, coadjuvado pela ação eólica, exerce diretamente a sua ação e que se estende, a partir da margem até 500 m, para o lado de terra e, para o lado do mar, até à batimétrica dos 30 m”.
- III. **Linha de Costa** – “fronteira entre a terra e o mar, assumindo-se como referencial a linha da máxima preia-mar de águas-vivas equinociais”.
- IV. **Litoral** – “termo geral que descreve as porções de território que são influenciadas direta e indiretamente pela proximidade do mar”.

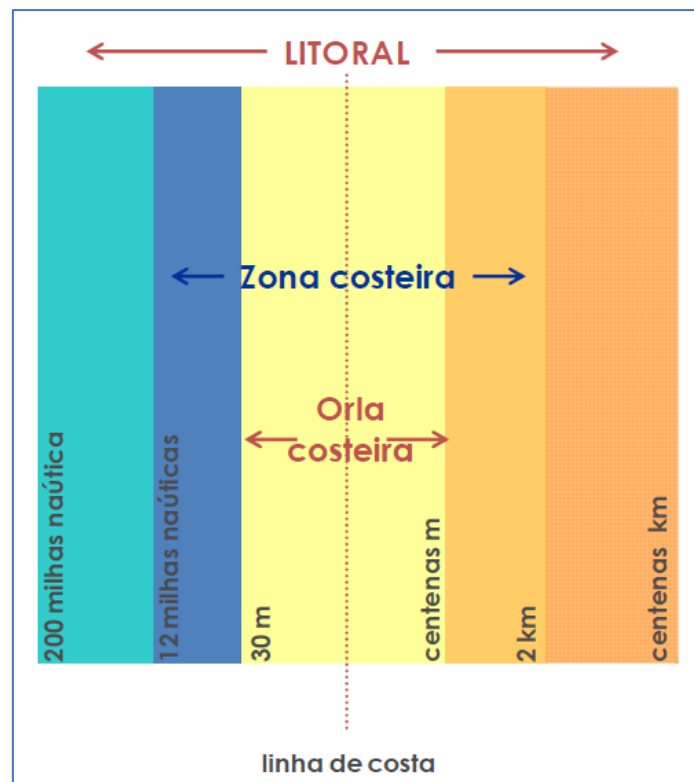


Figura 8 – Diferentes limites no litoral (Barroco *et al.*, 2012).

Segundo Davies (1964), o tipo de maré e a sua amplitude são cruciais para o estudo da dinâmica costeira, pois controlam a amplitude da variação diária do nível do mar e a eficiência das correntes de maré. A variação do nível do mar, por sua vez, determina o grau de concentração do ataque da ondulação num plano particular e também os limites altitudinais, nos quais alguns tipos de ambientes costeiros encontram o seu limite de permanência.

A erosão costeira ocorre devido ao défice sedimentar entre a carga sólida disponível e a capacidade de transporte sedimentar das ações energéticas dos agentes da natureza. Na generalidade das ilhas açorianas, a erosão costeira resulta do desmonte das arribas, o que pode dar origem ao desmoronamento parcial ou total dos edificadros, de estradas e/ou infraestruturas básicas localizadas junto à faixa litoral, provocando situações de perigo à ocupação e facilitando a intrusão salina nos sistemas aquíferos de base (PGRH-A, 2021).

Na costa norte da ilha de São Miguel (Região dos Picos) as arribas são essencialmente talhadas em escoadas lávicas de natureza basáltica *s.l.* ou traquítica (Figura 9), apresentam perfis verticais com a base em contacto direto com o mar (PGRH-A, 2021).



Figura 9 – Vista da costa de Rabo de Peixe, freguesia de Calhetas, onde a costa é composta por uma série de escoadas lávicas de natureza basáltica (Data: 17/02/2022).

As marés e a agitação marítima local originam o clima de agitação e das correntes que, por sua vez, contribuem para a quantidade de sedimentos em suspensão e para a dispersão dos próprios sedimentos nas massas de água. A agitação marítima junto à costa vai depender do estado do mar ao largo, da batimetria da faixa de redução de profundidades e do contorno da linha de costa (PGRH-A, 2021).

4.1 Marés

O regime de marés afeto à faixa costeira dos Açores apresenta uma periodicidade semidiurna regular, ou seja, com dois ciclos preia-mar / baixa-mar diários bem marcados e com amplitude média em águas-vivas que pode variar entre 1 e 1,3 m. Segundo o Instituto Hidrológico (1981), a maré no arquipélago dos Açores enche de W e SW e a vazante propaga-se de E e NE.

A maré astronómica da região Açores é do tipo semidiurno regular, com cotas médias que variam entre Preia Mar (PM) +1,6 e Baixa Mar (BM) + 0,3, em situações de águas-vivas, e PM +1,2 e BM +0,7, em situações de águas mortas. Em situações extremas, as cotas são próximas de PM +1,7 e BM 0,3 (PGRH-A, 2021).

A maré meteorológica, quando ocorre uma sobre-elevação resultante da persistência dos ventos e da agitação ou das variações acentuadas da pressão atmosférica, atinge valores ligeiramente variáveis ao longo da costa (PGRH-A, 2021).

A agitação marítima junto à costa vai depender do estado do mar ao redor, da batimetria da faixa de redução de profundidades e do contorno da linha de costa.

4.2 Ondulação

De acordo com o estudo de Borges (2003) o Grupo Oriental é afetado por um regime de agitação muito energético, com uma distribuição anual de ondulação com rumos de W e NW a serem os que têm maior número de incidências.

Segundo o estudo de Borges (2003), a costa norte da ilha de São Miguel é afetada por um regime de agitação modal de alta energia, com ondulação predominante de NW (Tabela 1).

Tabela 1 – Resumo de dados estatísticos simplificados do regime de agitação marítima na costa norte da ilha de São Miguel (modificado de Borges, 2003). H_s [s] – média e desvio padrão da altura significativa das ondas (média anual); $H_{s_{max}}$ - altura significativa máxima; H_{max6} – maior altura observada na série; T_{pot} – período equivalente de potência; V_m – rumo médio vetorial de potência.

Alvo	H_s [s] (m)	$H_{s_{max}}$ (m)	H_{max6} (m)	Potência (Kwm^{-1})	T_{pot} (s)	V_m (°)
Ponta do Cintrão	1.9	10	19.5	21.6	7.9	333
37°50.9'N	[1.0]					
25°29.5'W						

4.3 Deriva Litoral e Transporte de Sedimentos

A deriva litoral ao longo da costa do setor alvo de estudo do presente trabalho é dirigida para leste em resíduo anual, mesmo que a troca de sedimentos entre células costeiras adjacentes seja pequena, em consequência da combinação de uma costa muito entalhada com um litoral próximo muito inclinado (Borges, 2003).

A praia de Santa Bárbara (Figura 10 (a)) é afetada por um regime de agitação modal de alta energia com uma ondulação predominante de NW. O transporte sedimentar sólido predominante é transversal, sendo o transporte longitudinal praticamente nulo.

Borges (2003) identificou a principal causa para o estabelecimento e desenvolvimento generalizado dos processos erosivos decorrentes na praia de Santa Barbara, que foi a atividade de extração de areia, que se iniciou a meados dos anos 60 do século XX e se estendeu até ao ano de 1995, totalizando cerca de 950.000 m³ (valor subestimado de acordo com o autor) de volume de areia extraída. Esta atividade levou à depauperação sedimentar da praia, com consequências significativas na sua geomorfologia e sedimentologia. Em 1995, quando se fez cessar, por imposição legal, a atividade de extração, a praia encontrava-se com um esgotamento sedimentar e, consequentemente, com um novo equilíbrio dinâmico entre a morfologia residual da baía e a ação forçadora das ondas.

Atualmente, as ondas tocam frequentemente na base da arriba a cada preia-mar, mantendo ativo o processo de erosão da arriba que, nos últimos anos, tem aumentado de intensidade.

A praia do Monte Verde (Figura 10 (b)) é afetada por um regime de agitação modal de alta energia com uma ondulação predominante de NW (Pires, 1995), totalmente exposta aos temporais desse octante e aos proveniente de norte. O transporte sedimentar associado é predominantemente transversal, quer a escalas temporais sazonais, quer mais longas. Já o transporte sedimentar longitudinal tem resíduo de longo termo nulo ou diminuto, sendo, no último caso, dirigido para leste (Borges, 2003).

A praia do Monte Verde durante os anos 70 e 80 do século XX foi utilizada como fonte de areia para a construção civil, tendo sido cessada esta atividade na primeira metade da década de 90. Os padrões da atividade de extração no areal do Monte Verde foram semelhantes aos ocorridos na praia de Santa Barbara, porém menos intensos, devido ao difícil acesso e à proximidade da zona urbana. Conforme consta no estudo de Borges (2003), terão sido extraídos cerca de 620.000 m³ de areia do areal do Monte Verde, acima do nível médio do mar.

Atualmente, na ocorrência de eventos de agitação mais energéticos, há a remoção da película delgada arenosa existente na praia subaérea, ficando um substrato de cascalho descoberto que, por vezes, é remobilizado de modo a produzir bermas curtas (ou cristas) de temporal (Borges, 2003).



Figura 10 – (a) Praia de Santa Bárbara; e (b) Areal do Monte Verde. (Google Earth, 2023).

4.4 Fatores Gerais da Erosão Costeira

A nível global assiste-se a um recuo mais ou menos generalizado da linha de costa, ligado a um comportamento transgressivo do nível médio do mar. A taxa média de elevação do nível do mar foi 1,3 mm/ano entre 1901 e 1971, aumentando para 1,9 mm/ano entre 1971 e 2006, e aumentando ainda mais para 3,7 mm/ano entre 2006 e 2018 (IPCC, 2023).

A vulnerabilidade da faixa costeira à erosão depende de diversos fatores, sendo as características geotécnicas dos terrenos (solos e rochas) o fator com mais influência. Em arribas constituídas por terrenos friáveis, desagregados ou pouco consolidados (e.g. depósitos piroclásticos não consolidados), o processo de erosão é potencialmente mais acelerado, ao contrário do que acontece nas arribas constituídas por rochas mais resistentes (e.g. escoadas lávicas) (PGRH-A, 2021). A título de exemplo, observe-se as figuras 11(a) e 11(b), nas quais é possível ver a arriba da Praia de Santa Barbara, no concelho da Ribeira Grande, constituída essencialmente por depósitos piroclásticos não consolidados, e a costa da zona do Bandejo, em Rabo de Peixe, constituída por escoadas lávicas.



Figura 11 – (a) Vista da arriba da Praia de Santa Bárbara; e (b) vista da costa da zona do Bandejo, área com edificações em risco.

Para além das características geotécnicas dos terrenos, existe um conjunto variado de fatores e processos que contribuem para o recuo das arribas, como por exemplo a atividade sísmica. Os sismos de média a alta magnitude são agentes forçadores da instabilidade das vertentes litorais podendo ser diretamente responsáveis pelo desmonte das arribas ou por potenciar a expansão de fendas de descompressão, bem como a definição e ou desenvolvimento de fendas de tração (Borges, 2003). De entre outros fatores, destacam-se, para além dos eventos tempestuosos, a agitação marítima e as tempestades marítimas, acompanhadas ou não de chuvas intensas.

4.5 Processos de Evolução das Arribas

4.5.1. Evolução e Dinâmica da Faixa Litoral

O rápido crescimento populacional e a expansão económica provocam conflitos entre a ocupação antrópica da faixa litoral e os processos costeiros que se traduzem principalmente pela erosão, pelo assoreamento, pelas transformações sazonais de perfil de praia, pela mobilidade das dunas e pelo galgamento e inundação costeira, no decorrer de eventos tempestuosos (Borges *et al.*, 2009).

Ao longo da faixa costeira existem perigos e riscos associados a quem habita nesta, tais como, o desmonte de arribas pela ação das ondas que podem provocar o desmoronamento parcial ou total de casas, de estradas ou de outros edificados

localizados na proximidade da linha costeira, as inundações tsunamigénicas ou a passagem de furacões. Com o crescente aumento da fixação da população na faixa costeira e a conseqüente exposição aos perigos resultantes dos processos naturais de evolução do litoral ocorreram diversas tentativas de estabilização e ou de proteção contra a agressão dos elementos do clima, nomeadamente contra a atividade destrutiva das ondas do mar (Borges *et al.*, 2009).

Nas últimas décadas têm se verificado um aumento da ocupação humana do litoral e, conseqüentemente, a pressão antrópica sobre esta zona, zonas de fácil fixação dos seres humanos. Atualmente o litoral é muito apetecível por outras razões, como o turismo, podendo ocorrer situações de *newjersyization* ou de santabarbarização (Borges *et al.*, 2009) (Figura 12 e 13).

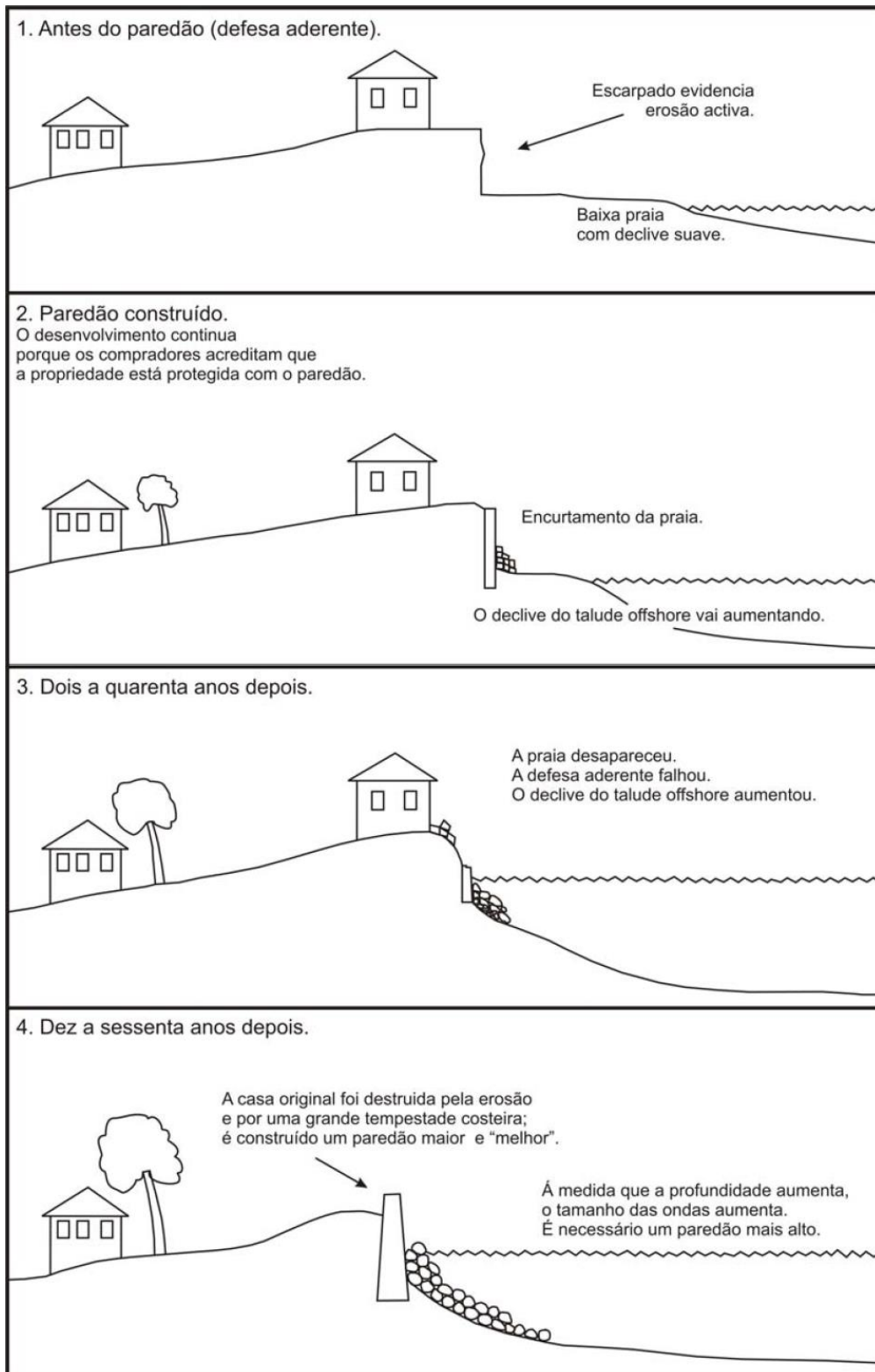


Figura 12 – Esquema exemplificador de situação de *newjersyization* (Borges et al., 2009).

Newjersyization é o termo utilizado para as defesas aderentes (paredões) que têm por objetivo parar o recuo da linha de costa. Trata-se de uma estrutura estática contra a qual a praia vai diminuindo de largura, podendo desaparecer por completo, num processo que pode levar poucos anos a algumas décadas (Borges *et al.*, 2009).

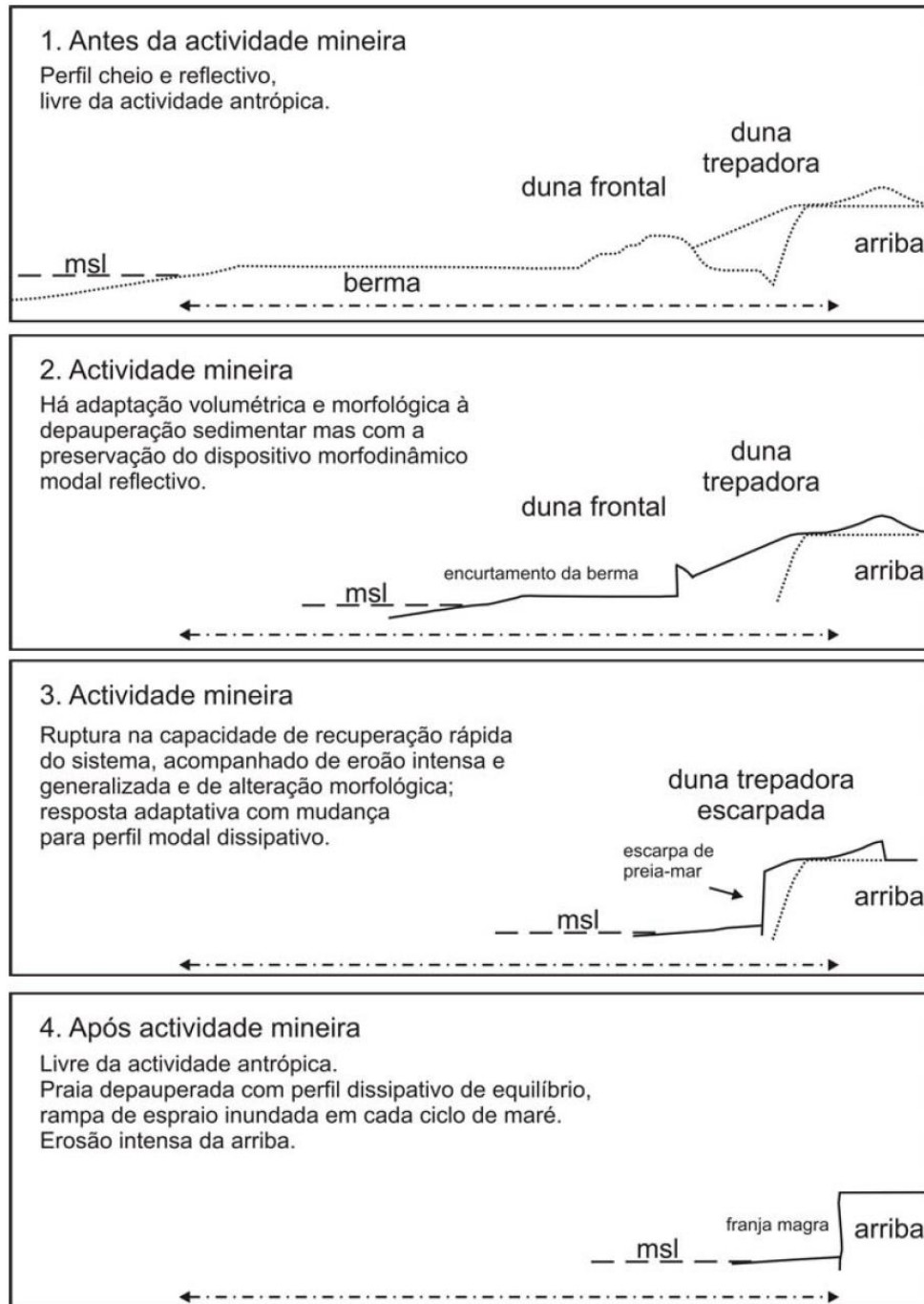


Figura 13 – Esquema exemplificador de situação de santabarbarização (Borges *et al.*, 2009).

Santabarbarização é o termo utilizado quando ocorre uma intensa extração de sedimentos de praias que, em conjunto com os agentes forçadores da erosão e deriva sedimentar, leva à mudança morfodinâmica modal e ao estabelecimento e desenvolvimento generalizado de processos erosivos irreversíveis (Borges *et al.*, 2009).

4.5.2 Sistema de Classificação Borges

No âmbito da presente dissertação é abordado o sistema de classificação desenvolvido por Borges (1995, 2003) que aborda uma caracterização da faixa costeira tendo por base critérios implícitos no sistema de classificação de Shepard (1973), em litorais primários e secundários, sendo que estes segundos devem as suas características fundamentais à atividade de agentes dinâmicos de natureza marinha, o que equivale a considerá-los mais evoluídos e maduros que os primários (Borges, 2003).

Borges (2003) procurou separar as características que estabelecem as formas costeiras *in situ* permitindo, desta forma, obter uma descrição minuciosa, enquanto mantem a aproximação processual e genética, assim como a sistematização das formas quanto ao seu grau de evolução, ou seja, de “secundarização”.

Tabela 2 – Sistema de classificação do litoral (Borges, 2003).

I. Litorais Primários	II. Litorais Secundários
<p>Construção</p> <ul style="list-style-type: none"> - Costa de escada lávica - Costa de hialoclastitos - Costa de deposição subaérea <ul style="list-style-type: none"> Costa de leque aluvionar Costa de movimentos de massa de vertente 	<p>Construção</p> <ul style="list-style-type: none"> - Costa de deposição marinha <ul style="list-style-type: none"> Praia Praia com duna (D) Restinga/laguna (R/L) <p>Erosão</p> <ul style="list-style-type: none"> - Costa de escoada lávica - Costa de hialoclastitos - Costa de deposição subaérea <ul style="list-style-type: none"> Costa de leque aluvionar Costa de movimento de massa de vertente - Costa composta - Costa de tefra - Costa mista

4.5.3 Sistemas de Evolução das Arribas Costeiras

O Arquipélago dos Açores localiza-se numa zona de intensa atividade sísmica e vulcânica e está exposto tanto ao mar como a períodos de pluviosidade intensa, que conduz a regimes turbulentos das ribeiras, traduzindo a agressividade por parte do meio em que as ilhas se situam. A combinação de todos estes fenómenos é, no seu conjunto, responsável pela génese, morfologia e evolução do arquipélago. A ação erosiva da chuva e do vento foram desgastando os elementos do relevo, origina cumes arredondados e suaves e vales profundos e encaixados (Barroco *et al.*, 2012).

A ação das ondas do mar podem provocar uma erosão mais ou menos intensa no sopé das arribas, contribuindo para a instabilização da margem externa dos maciços rochosos ou terrosos, em que posteriormente ocorre o colapso da vertente. Os depósitos daí resultantes moldam-se à base da arriba formando uma proteção temporária que contribui para desacelerar a erosão marinha. No entanto, a contínua ação das ondas conduz ao desmantelamento e redistribuição destes depósitos, ao longo da costa, ou transversal, em direção ao largo e à plataforma insular, ficando a base da arriba novamente exposta à ação das ondas do mar e, conseqüentemente, à erosão (Borges, 2003) (Figura 14).

Aquela descrição corresponde a uma visão simplificada do sistema de evolução das arribas costeira que vai ao encontro do interesse desta dissertação. Contudo, existe um conjunto variado de fatores e processos que contribuem para o recuo das arribas, já mencionados no subcapítulo 3.3 do presente trabalho.

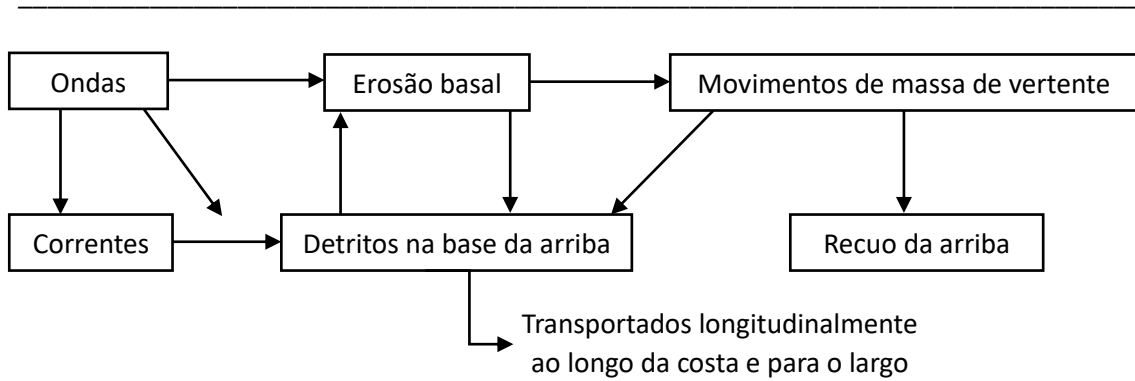


Figura 14 – Sistema de evolução das arribas costeiras (adaptado de Sunamura, 1992).

4.5.3.1 Mecanismos de Evolução

Uma grande porção dos conteúdos litorais são limitados por arribas. Para tornar o estudo destas formas mais simples, Borges (2003) definiu quatro tipos de evolução litoral (Figura 15) que refletem um outro leque de processos evolutivos. Durante os trabalhos de campo da presente dissertação confirmou-se que as quatro formas definidas pelo autor correspondem à realidade observada no setor costeiro estudado.

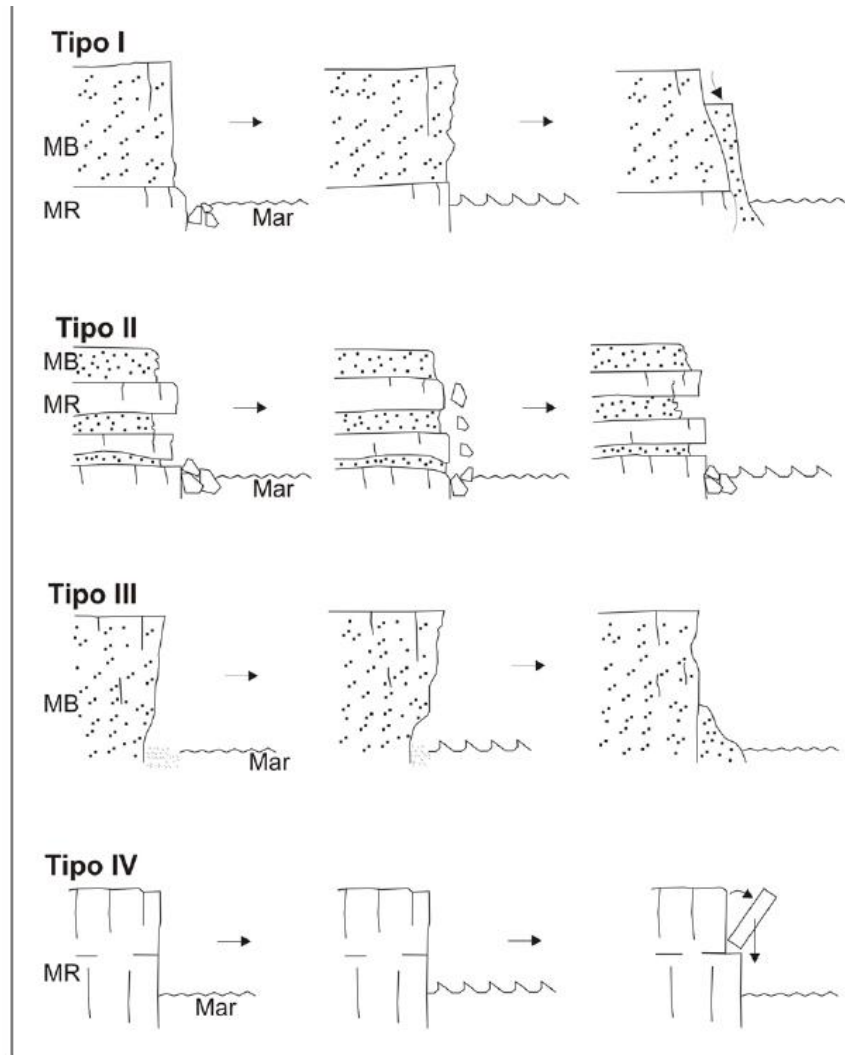


Figura 15 – Mecanismos de evolução do litoral. Legenda: MR – material resistente; MB – material brando (Borges, 2003).

4.5.3.2 Caracterização do Litoral Norte da Ilha de São Miguel – Caso de Estudo

A faixa costeira da RAA possui características intrínsecas marcadas, na sua generalidade, pela presença de um litoral vulnerável e de riscos naturais elevados em determinados troços, apesar das potencialidades e da predisposição de suportar um desenvolvimento sustentável e equilibrado do território (Gomes *et al.*, 2012).

A ilha de São Miguel possui uma morfologia costeira variada que vai desde plataformas basálticas baixas a praias arenosas e elevadas falésias (Morton, 1998). O seu litoral apresenta diversas formas costeiras que, segundo a classificação feita por Borges

(1995 e 2005), pode apresentar litorais baixos, rochosos, alcantilados, praias encaixadas, arribas mergulhantes, em materiais de resistência variável, entre outros.

De uma forma generalizada, a ilha de São Miguel é dominada por escarpas muito desenvolvidas devido à erosão marinha, dando origem a uma orla costeira muito recortada com situações diversas intercaladas, nomeadamente, arribas altas / baixas, fajãs, praias de areia escura ou litoral baixo rochoso. Nas fases voltadas a norte, a orla costeira apresenta-se com os maiores declives.

Segundo os mecanismos de evolução do litoral definidos por Borges (1995 e 2003), no setor alvo de estudo desta dissertação, identificaram-se os quatro tipos de evolução do litoral, alternados entre si ao longo da extensão de costa analisada.

Os litorais do Tipo I (Figura 16) correspondem a arribas de altura variável (igual ou superior a 10 m) talhadas em terrenos brandos, nomeadamente, depósitos piroclásticos não consolidados, *lahars* e detritos resultantes de movimentos de vertente, assentes sobre substrato rochoso mais resistente composto por escoadas lávicas ou ignimbritos soldados (Borges, 2003).



Figura 16 – Morro de Santana, na costa norte da ilha de São Miguel, exemplo de litoral com mecanismos de evolução do Tipo I em costa de tefra (Data: 15/02/2022).

Segundo Borges (2003), nas arribas do Tipo I ocorrem diferentes tipos de erosão entre a parte superior e a inferior da mesma. A parte superior da arriba, camada branda, sofre recuo sobretudo durante ou logo a seguir a episódios de tempestade, mas, não forçosamente ligados a agitação extrema. A ação das ondas provoca a erosão de sopé nesta camada da arriba, a precipitação conduz à saturação em água do maciço, assim como, as diferenças de resistência de origem litológica contribuem para uma resposta do talude e, conseqüentemente, a ocorrência de movimentos de massa de vertente.

Na parte inferior da arriba, de composição rochosa, o desmonte ocorre devido à ação direta das ondas, principalmente após eventos extremos, que favorecem a expansão das fissuras existentes na formação mais resistente. Por outro lado, em períodos de calma, ocorrem também fenómenos de meteorização originados pelo sal “*salt weathering*” que, mesmo em menor escala, contribui para a expansão referida (Borges, 2003).

Neste tipo de arriba, a erosão diferencial por ação do vento, do rocío do mar e da escorrência superficial, tem um papel importante e complementar no desmonte. Em geral, o recuo caracteriza-se por ser um processo lento; isto deve-se ao facto da base resistente servir de barreira de proteção, ainda assim podem ocorrer galgamentos que, a longo prazo, contribuem para o seu desmonte (Figura 17).



Figura 17 – Morro de Santana, na costa norte da ilha de São Miguel, exemplo arriba em processo de erosão diferencial (Data: 15/02/2022).

De acordo com Borges (2003), o Tipo I corresponde a um mecanismo de evolução recorrente na ‘costa mista’, a qual pode ou não apresentar depósitos detríticos recentes na base da arriba. Este mecanismo pode também ser observado na ‘costa de tefra’ onde o solo piroclástico assenta, ao nível do intertidal, sobre uma base rochosa resistente. Este é ainda um tipo evolutivo que pode ver visto na ‘costa de movimento de massa de vertente’, categoria ‘litoral secundário’.

Os litorais do Tipo II (Figura 18) apresentam vertentes com alturas que variam entre 10 m e 200 m e, geralmente, são constituídos por uma camada inferior abrupta, fortemente atingida pelas ondas. O seu desmonte depende, essencialmente, de agentes de natureza terrestre. Estas são vertentes formadas pela alternância de níveis resistentes (bancadas lávicas) e brandos (depósitos piroclásticos friáveis); por este facto possuem uma elevada suscetibilidade à erosão diferencial (Borges, 2003).

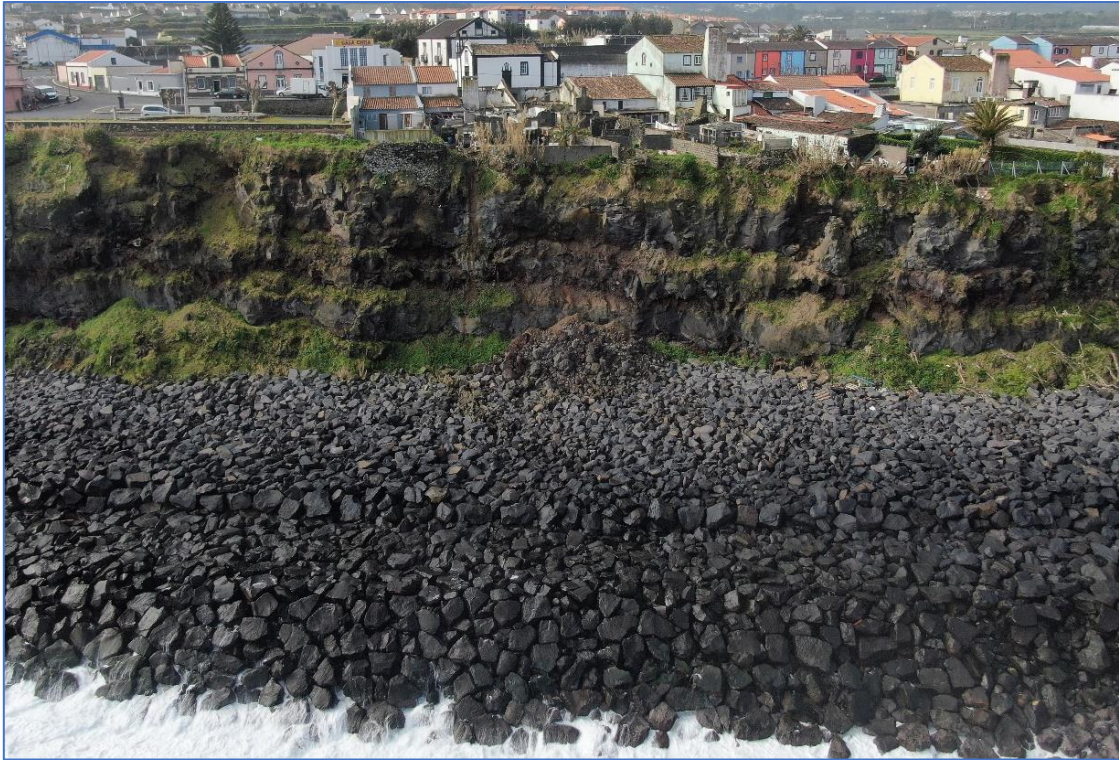


Figura 18 – Calhetas de Rabo de Peixe, na costa norte da ilha de São Miguel, exemplo de litoral com mecanismos de evolução do Tipo II em costa de mista com praia de cascalho/blocos angulosos (proteção costeira recente) (Data: 18/02/2022).

O recuo da arriba pode ocorrer durante as tempestades marítimas, acompanhadas ou não por chuvas intensas e, posteriormente, nos períodos de calmaria que lhes seguem. O desmonte dos setores brandos ocorre pela erosão diferencial devido à ação do rocío e dos respingos (*splash*) do mar, da escorrência superficial e da ação abrasiva do vento. Este é um processo que decorre da ação indireta das ondas, que levam à remoção da base de sustentação das bancadas resistentes, ficando estas suspensas e acabando por fraturar pela expansão de fissuras herdadas, isto para eventos de alta energia. As tempestades funcionam como agentes percussores dos movimentos de vertente neste tipo de litoral. As vertentes do Tipo II, normalmente, possuem uma evolução natural mais lenta do que as do Tipo I (Borges, 2003). O Tipo II é típico na ‘costa composta’ e apresenta, em geral, uma base de detritos rochosos de grande volume, resultante do desmonte da vertente, que se traduz num processo lento, que funciona como uma blindagem à ação direta das ondas. Este processo de evolução, também, pode ocorrer em ‘costa lávica’, caracterizadas pelos níveis de *clinker* robustos entre escoadas.

Nos litorais do Tipo III (Figura 19) as arribas são vivas, de alturas variáveis e, formadas por materiais brandos, como depósitos piroclásticos não consolidados e/ou *lahars*, depósitos fluviais, materiais remobilizados e detritos resultantes de movimentos de massa de vertentes (Borges, 2003).



Figura 19 – Calhetas de Rabo de Peixe, na costa norte da ilha de São Miguel, exemplo de litoral com mecanismos de evolução do Tipo III em costa mista (Data: 17/02/2022).

O recuo da arriba acontece, especialmente, no decorrer e ou após episódios de mau tempo, associados ou não a agitação extrema. A erosão do sopé provocada pelas ondas, a saturação em água dos maciços, originada pela precipitação, assim como as diferenças de resistência de origem litológica, contribuem para uma resposta mais rápida do talude, assim como, a ocorrência de movimentos de massa de vertente a partir das fendas existentes. Neste tipo de arriba, também ocorre a erosão diferencial, forçada pelo rocio do mar, pela escorrência superficial e pelo vento. De entre os quatro tipos de arriba identificados, este é o que sofre um processo de evolução mais rápido (Borges, 2003).

O Tipo III é frequente na ‘costa de leque aluvionar’, de ‘movimento de vertente’, e de ‘tefra’ e, ocasionalmente, observa-se na ‘costa mista’, e em todos os tipos de costa indicados poderão ocorrer movimentos de massa de vertente e desmoronamentos. As

vertentes destes litorais são, normalmente, marginadas por praias de areia ou cascalho, transversalmente são pouco extensas e são compostas por arribas mergulhantes.

Os litorais do Tipo IV (Figuras 20 e 21) são, normalmente, constituídos por arribas mergulhantes, compostos por terrenos resistentes, tais como escoadas lávicas, observando-se por vezes hialoclastitos consolidados. As arribas, geralmente, possuem alturas inferiores a 20 m.



Figura 20 – Santana, na costa norte da ilha de São Miguel; exemplo de litoral com mecanismos de evolução do Tipo IV, em costa de escoada lávica com arribas mergulhantes (Data: 15/03/2022).



Figura 21 – Bandedo, na costa norte da ilha de São Miguel. Exemplo de litoral com mecanismos de evolução do Tipo IV em costa de escoada lávica com arribas mergulhantes (Data: 15/03/2022).

Segundo Borges (2003), o desmonte da arriba, de modo geral, não ocorre durante os temporais marítimos, acompanhados ou não por chuvas intensas, mas sim nos períodos de calmaria que lhes segue. Os eventos de alta energia conduzem à expansão de fendas de decompressão assim como a definição e/ou desenvolvimento de fendas de tração no maciço rochoso. O processo de desmonte da arriba é idêntico ao da seção inferior resistente dos litorais do Tipo I.

O Tipo IV é característico da ‘costa de escoada lávica’ e de ‘hialoclastitos’, possui o recuo mais lento de entre os quatro tipos de litorais observados. Nestes litorais ocorrem, também, movimentos de vertente (Figura 22).



Figura 22 – Calhetas, na costa norte da ilha de São Miguel. Exemplo de litoral com mecanismos de evolução do Tipo IV em costa de escoada lávica com blocos angulosos e uma ocorrência de movimento de vertente (Data: 17/02/2022).

5. MÉTODOS E TÉCNICAS APLICADAS NA AVALIAÇÃO DO RECUO DA LINHA DE COSTA

5.1 Definição de Linha de Costa

A definição de linha de costa tem assumido uma elevada importância entre vários autores que se tem debruçado sobre esta temática. Sob o ponto de vista físico a linha de costa corresponde à interface entre a terra e o mar. No entanto, a sua delimitação é uma tarefa bem mais complicada.

Segundo Oliveira (2005), a linha de costa deve ser vista como uma linha móvel, na qual a posição é variável a todas as escalas quer sejam espaciais ou temporais. E por esse motivo os critérios de definição devem ser rigorosos, de modo a tornar comparáveis os resultados obtidos. Conforme o tipo de costa em estudo podem resultar recuos de apenas alguns milímetros por ano ou de vários metros. Assim, é essencial ter a referência mais adequada, tendo em conta o rigor pretendido no estudo.

A melhor referência na definição da linha de costa em áreas arenosas é a utilização da “linha” que marca o limite atingido durante a preia-mar viva, caracterizado pela mudança nítida de tonalidade nas areias da praia, facilmente visível nas fotografias aéreas. Já para zonas rochosas, o topo da arriba pode representar a melhor referência para a definição da linha de costa (Crowell *et al.*, 1991, *in* Oliveira, 2005).

De acordo com Kraus e Rosati (1997, *in* Oliveira, 2005), os critérios padrão em regra utilizados na definição de linha de costa são:

- a) MHWL – *Mean High Water Line / Shoreline* (Linha Média das Preia-mar Vivas) – Corresponde à média de todas as situações de preia-mar viva no espaço de tempo de 19 anos. Está relacionado com um datum maregráfico.
- b) HWL – *High Water Line* (Linha de Preia-mar) – relacionada com critérios geomorfológicos como a linha de berma, a crista da praia, a base de dunas ou de arribas.
- c) Fronteira Seco / Molhado – deriva da diferenciação de tonalidades visíveis através das fotografias aéreas e, depende, entre outras, da própria praia, do nível do mar, da ondulação e do regime do vento.

- d) Linha de Água – linha de interface entre a areia da praia e o mar. É uma fronteira móvel e está relacionada com a face de maré, incidência da ondulação ou outro tipo de movimentos da água do mar junto à costa.
- e) Linha definida por dunas ou arribas – pode ser representada através da base ou do topo, no caso dos setores de arriba. Nos casos dos cordões dunares, típicas praias estreitas sem berma associada, deve ser representada como uma HWL.

Para além dos critérios acima mencionados, existem ainda outros elementos que dificultam a definição da linha de costa, como as variações de longo prazo (cíclicas ou aleatórias), ou de curto prazo (associadas a episódios extremos) (Oliveira, 2005).

A interpretação geomorfológica ou visual dos dados de base (e.g. fotografias aéreas) e, sobretudo, o rigor aplicado irá afetar os resultados da medição entre as linhas definidas.

Vários autores têm utilizado diferentes métodos e técnicas na determinação da posição da linha de costa e na caracterização da dinâmica das áreas costeiras. A maioria dos autores que desenvolveram estudos sobre a dinâmica costeira optaram pela utilização de fotografias aéreas; isto deve-se às potencialidades intrínsecas a uma imagem, pois, nesta ficam registadas, para um determinado momento e espaço, as características geomorfológicas que, posteriormente, são possíveis de relacionar com os processos que caracterizam a evolução destas áreas costeiras.

Através das fotográficas aéreas é possível elaborar cartografia geomorfológica, comparando as formas de relevo em áreas costeiras com as suas características fotográficas. Por outro lado, também, é possível identificar as várias formas costeiras pela sua forma, textura, tonalidade e padrão (Weerakkody, 1988 *in* Oliveira 2005).

Contudo, para caracterizar a alteração da posição da linha de costa, são necessários dados de base fiáveis para fornecer informações confiáveis sobre a sua posição relativa num determinado momento passado. Os dados fundamentais para definir a posição da linha de costa são as cartas topográficas e as fotografias aéreas (Dolan *et al.* 1980; Leatherman, 1983; Smith and Zarillo, 1990 *in* Oliveira, 2005). Por outro lado, tanto as cartas topográficas como as fotografias aéreas podem ter erros relacionados quer ao processo que lhes deu origem, quer à deformação ligada a

qualquer representação que se efetue da realidade (e.g. ângulo de disparo da fotografia).

Para a determinação da posição da linha de costa do sector alvo de estudo da presente dissertação de mestrado foram utilizados como dados de base os ortofotos e a cartografia em formato vetorial. Os ortofotos foram fornecidos pela Secretaria Regional do Ambiente e Alterações Climáticas (SRAAC), Direção Regional do Ordenamento do Território e dos Recursos Hídricos, Divisão de Geodesia, Cartografia e Cadastro, e os dados cartográficos foram cedidos pela Câmara Municipal da Ribeira Grande, Divisão de Obras e Urbanismo, Gabinete de Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

A linha de costa foi definida segundo dois critérios definidos por Kraus e Rosati (1997), nomeadamente, o critério da linha de água que corresponde à interface mar e terra, sendo que nos setores de praia a linha é representada pela preia-mar, e o critério da linha definida por dunas ou arribas, em que a linha é representada pelo topo da arriba.

A digitalização da linha de costa e o trabalho de tratamento de dados foi realizado com recurso ao programa QGIS, versão 3.16.14, um software profissional de informação geográfica (SIG), gratuito, através do qual é possível visualizar, gerir, editar, analisar dados e criar mapas imprimíveis.

Tabela 3 – Principais características dos ortofotomapas utilizados neste trabalho.

Ano	Escala	Nº das fotografias	Sistema de Coordenadas	Entidade
2006	1:5 000	28-3-2; 28-3-4; 28-4-2; 28-4-3; 28-4-4	PTRA08 / UTM	SRAAC
2017	Com resolução de 0,3 m	28-3-2; 28-3-3; 28-4-2; 28-4-3; 28-4-4	Zona 26N	

Nos Anexos I a IV encontram-se os mapas referentes à delimitação da linha de costa, interface mar / terra e o limite de arriba, para ambos os anos analisados.

5.2 Digitalização de Elementos

A digitalização dos elementos urbanísticos na faixa costeira do setor em estudo teve por objetivo a contabilização de perdas, isto é a identificação de casas que foram demolidas ou desabitadas devido ao perigo a que estavam expostas e, conseqüentemente, ao risco que colocavam aos ocupantes.

Para a contabilização dos elementos urbanísticos foram utilizados como dados de base os ortofotos referidos anteriormente e a cartografia vetorial referente ao ano de 2008. O trabalho de digitalização do edificado, das estradas, dos estacionamento e dos monumentos foi um processo exaustivo e demorado, tendo em conta a extensão de costa estudada.

A referência utilizada na delimitação do edificado foram os telhados; para as estradas foram os eixos de via e para os estacionamento e monumentos foram a área ocupada pelos mesmos. Em determinadas áreas, devido à fraca visibilidade nos ortofotos, foi necessário recorrer à ferramenta *Google Earth* Histórico para validar a existência de edificação.

Tabela 4 – Principais características da cartografia utilizada neste trabalho.

Ano	Escala	Área	Sistema de Coordenadas	Entidade
2008	1:1 000	Zona costeira do Concelho da Ribeira Grande	PTRA08 / UTM Zona 26N	Concelho da Ribeira Grande

A digitalização dos elementos estudados para ambos os anos de 2006 e 2017 encontram-se exposta nos Anexos V e VI.

5.3 Aplicação de Técnicas Fotogramétricas

As técnicas fotogramétricas são utilizadas em sucessivos ensaios por parte da comunidade científica em estudos sobre a dinâmica costeira, nomeadamente em análises de recuo da linha de costa, devido à necessidade de obtenção de resultados cada vez mais rigorosos e exatos. A aplicação de um maior rigor na determinação das taxas de recuo e da posição de linha de costa é fundamental no apoio à tomada de decisões em relação ao ordenamento do território das áreas costeiras (Dolan *et al.*, 1980, *in* Oliveira, 2005).

A fotogrametria é uma tecnologia de obtenção de informações fiáveis sobre elementos “físicos” que resulta da conjugação de processos de registo, medição e interpretação de imagens fotográficas e dos respetivos padrões de energia eletromagnética (ASP, 1980, *in* Oliveira, 2005), e têm-se destacado em relação às demais técnicas no que toca à análise de áreas costeiras.

Após o tratamento da informação dos diversos elementos necessários à definição da linha de costa, ou seja, depois de vetorizar toda a informação em ambientes SIG, poderá advir um projeto com vantagens adicionais para comparações futuras.

O registo fotográfico permite, para um determinado momento e espaço, registar tanto as características geomorfológicas assim como o estado da urbanização e, posteriormente, identificar os processos de evolução que ocorreram num determinado espaço de tempo.

Posto isso, e uma vez que o presente estudo assenta numa análise da dinâmica costeira, o registo fotográfico é de vital importância no apoio à identificação de processos e acontecimentos costeiros e na avaliação do estado de edifícios, habitações e estradas da comunidade que vive na faixa costeira. Contudo, nem sempre é possível aplicar estas técnicas de elevada precisão, pois os custos associados à execução de um trabalho fotogramétrico são elevados e a realização de um voo fotogramétrico pode ser dispendioso e demorado.

O processo fotogramétrico, de um modo geral, é composto pelas seguintes etapas fundamentais:

- I. Aquisição de fotografias aéreas;
- II. Determinação das coordenadas dos pontos de controlo de terreno;
- III. Georreferenciação das imagens;
- IV. Esterorestituição fotogramétrica.

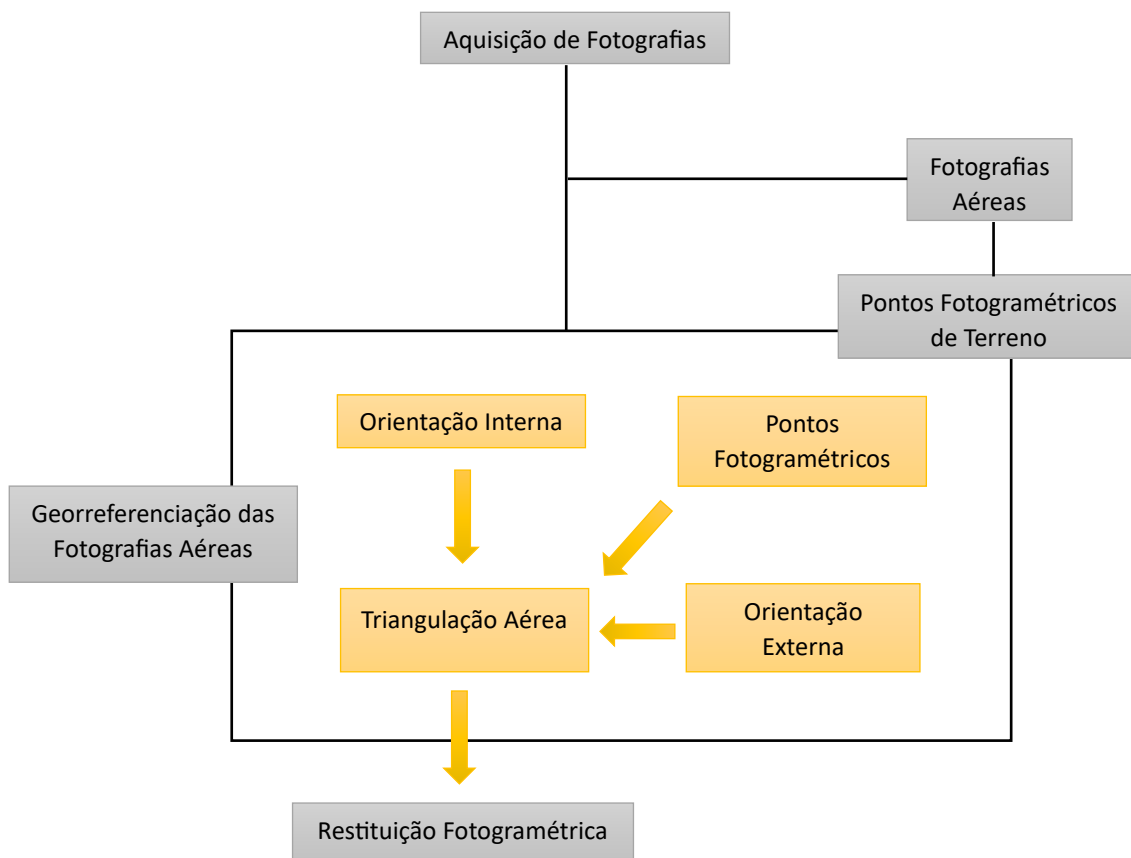


Figura 23 – Processo fotogramétrico (adaptado de Oliveira, 2005).

A aquisição das fotografias aéreas é uma das etapas mais importantes de todo o processo fotogramétrico, pois as escalas devem estar de acordo com o tipo de fenómeno a ser estudado e com a resolução e precisão pretendidas. Através da execução de voos sistemáticos, podem sobressair eventos que constituíram um marco nos recuos verificados (Oliveira, 2005).

Durante a elaboração deste projeto, foram realizados voos de drone para obtenção de fotografias aéreas e posterior ortofoto, sobre as áreas mais críticas abrangidas do presente trabalho (Figura 24).

Os voos de drone foram executados em colaboração com a Secretaria Regional dos Transportes e Obras Públicas (SRTOP), agora Secretaria Regional do Turismo, Mobilidade e Infraestruturas (SRTMI), através da disponibilização do trabalho do topógrafo Luís Dias e do seu assistente Roberto Freitas, da Direção Regional das Obras Públicas.

Tabela 5 – Principais características sobre os voos realizados.

Data	Local	Altura	Entidade
09/09/2021	Areal Sta. Barbara	100 m	SRTOP (atual SRTMI)
22/09/2021	Areal Sta. Barbara	100 m	
30/09/2021	Rabo de Peixe	80 m	
30/09/2021	Ribeira Seca	80 m	
07/09/2022	Areal Sta. Barbara	100 m	



Figura 24 – Localização das áreas fotografadas no processo fotogramétrico. (Google Earth, 2023).

Após a realização dos voos com o drone, procedeu-se ao levantamento de pontos de controlo de terreno, também designados por pontos fotogramétricos, fundamentais para uma precisa georreferenciação das imagens e posterior restituição.

A escolha dos pontos fotogramétricos é considerada uma tarefa muito importante no processo fotogramétrico, pois pode comprometer todo o trabalho realizado posteriormente.

Os pontos fotogramétricos devem ser facilmente identificáveis nas fotografias aéreas e, em áreas costeiras, caracterizadas pelo recuo frequente da linha de costa, estes pontos devem estar localizados em zonas mais afastadas do bordo da arriba de modo a facilitar posteriores campanhas de monitorização (Figura 25).

A escolha dos pontos de controlo de terreno teve como principais pressupostos:

- a) A fácil identificação quer no terreno, quer nas imagens;
- b) A escolha de elementos estruturais, não suscetíveis de sofrerem alterações físicas, nomeadamente, lancis de passeios ou de parques de estacionamento, triângulos de aproximação a rotundas e linhas de delimitação de passadeiras;
- c) Estar uniformemente distribuídos. Ter no mínimo 5 pontos, em que 4 deles estejam nas bordas da imagem e um no meio. No entanto, o número necessário de pontos é variável em função da dimensão da área captada.



Figura 25 – Exemplos da escolha dos pontos de controlo de terreno.

O levantamento de pontos de controlo de terreno foi realizado através do equipamento GPS *Leica 1200*. Posteriormente à aquisição das fotografias aéreas e determinação das coordenadas dos pontos de controlo de terreno, procedeu-se ao processamento gráfico das imagens e à sua respetiva georreferenciação com recurso ao software *Agisoft Metashape Professional 1.7.4*, um ambiente SIG (Figura 26).



Figura 26 – Exemplos da georreferenciação de um ponto de controlo de terreno (dia 16/10/2021 na freguesia de Rabo de Peixe).

Com as imagens georreferenciadas foram elaborados ortofotomapas para cada área fotografada. Nos Anexos VII, VIII, IX, X e XI encontram-se expostos os respetivos ortofotomapas. Em particular, para a praia de Santa Bárbara foram calculadas as curvas de nível, em formato vetorial, com espaçamentos de 1, 2, 3, 4 e 5 metros, tendo por base o ortofotomapa construído anteriormente (Figura 27).

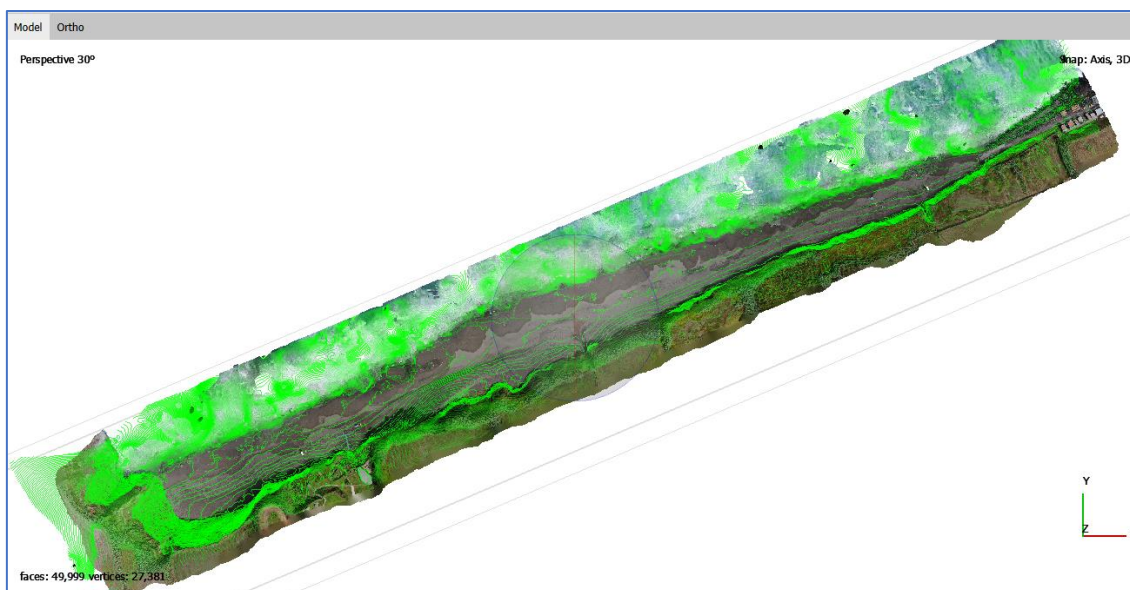


Figura 27 – Ambiente de trabalho Agisoft ilustrando o ortofotomapa e as curvas de nível calculadas para a praia de Santa Bárbara.

5.4 Análise Granulométrica da Areia das Praias

Tendo por objetivo a modelação do transporte sedimentar na área de estudo, foram recolhidas amostras de areia de praia, efetuadas análises granulométricas e determinado o teor em água.

A análise granulométrica de solos arenosos por peneiração está associada à determinação das dimensões e da forma dos grãos. Através desta análise são obtidos parâmetros estatísticos das distribuições granulométricas que, posteriormente, servem de base a vários esquemas para classificação de ambientes sedimentares e para a modelação da deriva sedimentar associada à agitação marítima.

Na recolha de amostras de areia das praias de Santa Bárbara e Monte Verde (Figuras 28 e 29) foram utilizados sacos de plástico, uma pequena pá de jardinagem e uma enxada dupla (Figura 30). No total foram recolhidas 5 amostras de areia, devidamente catalogadas (Tabela 6).

Tabela 6 – Principais características sobre as amostras recolhidas.

Nome da amostra	Data de recolha	Hora de recolha	Local
AM1	12/07/2022	16h43	Sta. Barbara
AM2	12/07/2022	16h49	Sta. Barbara
AM3	16/07/2022	11h05	Sta. Barbara
AM4	16/07/2022	11h56	Monte Verde
AM5	16/07/2022	12h07	Monte Verde

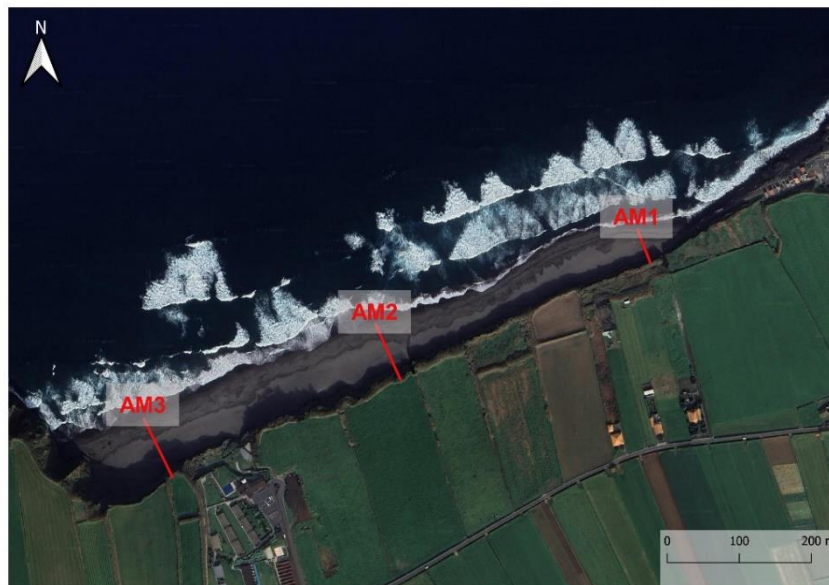


Figura 28 – Localização das amostras recolhidas na praia de Santa Bárbara. (Google Earth, 2023).



Figura 29 – Localização das amostras recolhidas na praia do Monte Verde. (Google Earth, 2023).

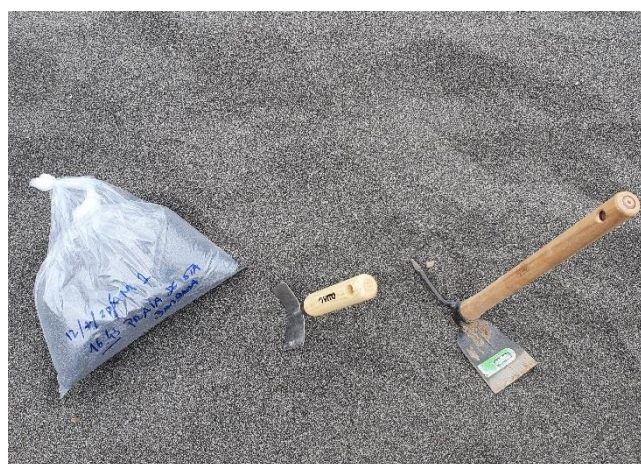


Figura 30 – Exemplo da recolha da amostra n.º 1, na praia de Santa Bárbara.

A determinação de teor em água permite calcular a percentagem da massa de água que se evapora de um provete de solo húmido entre 105°C e 110°C.

A determinação foi realizada com base na norma NP – 84 (1965) foi realizada tendo sido adotado o seguinte procedimento:

- a) Pesar a massa de cada recipiente (vazio) utilizado para cada amostra;
- b) Retirar cerca de 50 g de cada amostra para os recipientes e pesar os recipientes com as amostras húmidas;

- c) Levar à estufa para secagem entre 105°C a 110°C, durante 24h;
- d) Após as 24h, retirar os recipientes com as amostras e pesar o recipiente com a amostra seca (Figura 31).



Figura 31 – Amostras das praias de Santa Bárbara e Monte Verde após as 24 horas na estufa.

A análise granulométrica do solo permite determinar quantitativamente a distribuição por tamanhos das partículas de um solo retidas em peneiros da série ASTM (*American Society for Testing and Materials*). A granulometria foi determinada tendo por base a especificação do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEC) – norma E 239 – 1970. Segundo a norma, para proceder à análise granulométrica é necessária uma quantidade de material que passa no peneiro de 2,00 mm (n. 10), cerca de 115 g no caso de solos arenosos, e uma quantidade de material que fica retido no peneiro n. 10, aproximadamente 500 g.

A análise granulométrica foi elaborada através do seguinte procedimento:

- a) Da amostra recolhida da praia retira-se cerca de 500 g, sendo necessário pesar o recipiente vazio e, posteriormente, pesar o recipiente com a amostra;
- b) Peneira-se a amostra através do peneiro de 2,00 mm (n. 10), e retira-se o peso da amostra que passa nesse peneiro;
- c) Com a fração que passa no peneiro de 2,00 mm, procede-se à destruição da matéria orgânica presente na amostra. Para tal, coloca-se cerca de 10 g de hexametáfosfato de sódio comercial (Calgon) num copo de precipitação com 250 ml de água destilada e junta-se a amostra; agita-se bem com uma vareta de vidro e deixa-se repousar durante 1 hora;

- d) De seguida transfere-se a suspensão para um peneiro de 0,075 mm (n.º 200) onde a amostra é lavada por um jato de água. Todo o material que passou através do peneiro é desprezado;
- e) Coloca-se a amostra lavada num recipiente e seca-se na estufa entre 105°C a 110°C até obter uma massa constante;
- f) Por fim, peneira-se a amostra seca através do conjunto de peneiros representados na Tabela 7 (Figura 32). É nesta etapa que se determinam as massas das frações retidas em cada peneiro.

Tabela 7 – Abertura de peneiros da série ASTM utilizada.

N.º Peneiros	10	20	40	60	140	200	«0,075
Abertura (mm)	2,00	0,85	0,43	0,25	0,11	0,08	Fundo



Figura 32 – Conjunto de peneiros da série ASTM e peneirador mecânico.

6. EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA NO SETOR RABO DE PEIXE – RIBEIRA GRANDE

6.1 Trabalhos Anteriores Sobre a Evolução da Linha de Costa

Os processos erosivos no litoral norte da ilha de São Miguel devido a causas naturais, incluindo a ação das ondas, os temporais marítimos e a instabilidade da arriba, têm sido agravados pelas intervenções antrópicas, que alteraram o estado de equilíbrio existente em algumas zonas costeiras. A Tabela 8 resume as taxas de recuo calculadas por Borges (2003) no litoral norte da ilha.

Tabela 8 – Resumo das taxas de recuo históricas no litoral norte da ilha de São Miguel.

Zona	Taxa de Recuo Histórica
Costa Norte (em geral)	Taxa de Recuo Média: 0,22 m/ano (aproximadamente) Entre 1955-74: 0,23 m/ano Entre 1974-88: 0,21 m/ano
Areal de Santa Bárbara	Entre 1955-74: A arriba recuou 0,1 m/ano Entre 1974-88: Aumentou 30% - 0,13 m/ano Entre 1988-98: Disparou para valores de cerca de 0,6 m/ano
Areal Monte Verde	Entre 1974-98: A arriba recuou cerca de 0,2 m/ano Entre 1999-2003: Escarpa de preia-mar recuou cerca de 0,4 m/ano

A intensidade da erosão em toda a costa norte da ilha de São Miguel – Açores reflete-se, principalmente, pelo consumo de energia libertado pelas ondas (superior na costa norte em relação à costa sul).

Na praia de Santa Bárbara o fenómeno de recuo foi antecipado pela atividade de extração de areia no areal. Segundo Borges (2003), durante o período 1960 a 1974 terão sido extraídos cerca de 220.000 m³ de areia (20.000 a 22.000 m³/ano), acima do nível médio do mar. Entre 1974 e 1988 ocorreu o segundo período de extração, sendo este mais intenso, com taxas de extração na ordem dos 54.000 m³/ano.

No ano de 1988 a largura da berma diminuiu para cerca de 12 m (a oeste da praia) e o manto eólico do topo da arriba foi removido quase na totalidade, causando a exposição e ativação da arriba.

A partir de 1995 é proibida a extração de areia na praia; no entanto, a erosão generalizada persiste mesmo na ausência da ação forçadora antropogénica direta. O que restava da praia e das dunas foi destruído pela ação das ondas.

Conforme o estudo de Borges (2003) terão sido extraídos, por ação antrópica direta, cerca de 950.000 m³ de areia da praia de Santa Bárbara. Atualmente, as ondas tocam na base da arriba com regularidade a cada preia-mar, mantendo ativo o processo de erosão que nos últimos anos tem vindo a aumentar.

O areal (praia) do Monte Verde durante os anos 70 e 80 do século XX foi utilizado como fonte de areia para a construção civil, com padrões de atividade de extração muito semelhantes aos que ocorreram na praia de Santa Bárbara. Em meados da década de 90 é proibida esta atividade de extração.

A praia atualmente encontra-se reduzida a uma face de praia, coberta periodicamente pela maré, limitada superiormente por uma defesa aderente ou por um escarpado ativo, com sinais de erosão (Borges, 2003). O areal não apresenta predisposição para crescimento transversal, muito pelo contrário, mostra tendência ao desequilíbrio sedimentar e erosão contínua. O estado atual da praia do Monte Verde é uma resposta adaptativa à exploração a que foi sujeita no último quartel do século XX, que levou ao alojamento do processo erosivo, aumentando as situações de perigosidade e de risco para a faixa marginal oceânica do tecido urbano da cidade da Ribeira Grande (Borges, 2003).

6.2 Modelação da agitação marítima na área de estudo e da deriva sedimentar

A caracterização da agitação marítima para a região em estudo foi efetuada com base em modelos numéricos que simulam a geração e propagação de ondas. Neste estudo foram utilizadas reanálises do E.U. Copernicus Marine Service Information (marine.copernicus.eu) - Reanalises globais que se iniciam em 1993 e finalizam em 2020.

As soluções numéricas têm uma resolução horizontal de $0,2^\circ$, tendo-se selecionado o ponto $38.0^\circ\text{N}/25.6^\circ\text{O}$ (Figura 33). Os dados estão espaçados de 3h em 3h e os parâmetros disponibilizados são a altura significativa (H_s), o período médio (T_m) e a direção média da ondulação (Dir).



Figura 33 - Localização dos dados de agitação marítima, a vermelho, e posição dos levantamentos de drone, a laranja. (Google Earth, 2023).

Para o período de 1993 e 2020 observa-se a predominância das classes de H_s entre 1 e 2m com aproximadamente de 50% de ocorrências; apenas cerca de 3.6% dos registos apresentam valores de H_s superiores a 5m. O período médio por sua vez concentra-se entre os 6 e 7s, com mais de 25% de ocorrências. A direção da agitação concentra-se entre N e W (Figura 34). Estes resultados confirmam que direção de agitação obtida nesta análise é similar à de Borges (2003).

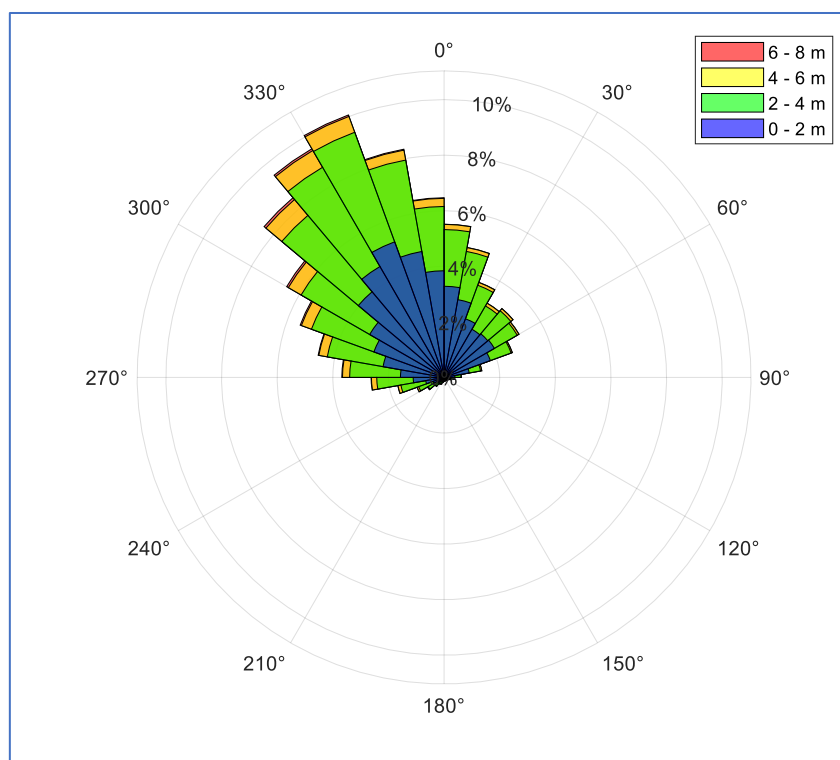


Figura 34 - Rosa de direções frequentes entre 1993 e 2020.

Todas as amostras de areia de praia recolhidas, à exceção da 4, apresentam curvas de distribuição granulométricas relativamente semelhantes, sendo a granulometria correspondente à classe das areias predominantes (cerca de 80% do teor de cada amostra). A amostra 4, apresenta uma maior percentagem nas frações superior a 0,5 mm.

Tabela 9 – Valores dos diâmetros característicos das amostras de solo (areias) colhidas na praia de Santa Bárbara.

Nome Amostra	D ₁₀ (µm)	D ₅₀ (µm)	D ₉₀ (µm)
AM1	250.1	316.0	612.6
AM2	140.3	295.5	531.8
AM3	251.3	310.4	584.1
AM4	262.1	328.7	618.8
AM5	174.2	301.4	515.2

De forma a avaliar a deriva litoral potencial (DLP) foi aplicada a fórmula empírica do CERC:

$$Q = k * \left(\frac{\rho * \sqrt{g}}{16 * k_b^{\frac{1}{2}} * (\rho_s - \rho) * (1 - n)} \right) * H_b^{\frac{5}{2}} * \sin(2 * \alpha_b)$$

Na fórmula Q é a taxa de transporte sedimentar longilitoral (em m^3/s), K é um coeficiente empírico adimensional considerado como sendo 0,39, Hsb é a altura significativa da onda (m) na profundidade de rebentação (db) e α_b é o ângulo de incidência da onda na rebentação. Com esta abordagem meramente indicativa, a dinâmica sedimentar potencial longilitoral da praia que se aproximará do transporte real quando houver disponibilidade sedimentar foi avaliada.

O valor médio da deriva sedimentar na praia de Santa Bárbara obtido foi na ordem dos $9 \times 10^6 m^3/ano$, no sentido Este. Este valor, por ser muito elevado, poderá estar enviesado.

De modo a avaliar a deriva sedimentar real na praia de Santa Bárbara foram efetuados dois levantamentos de terreno (ortofotomapas e curvas de nível), sobre um regime de baixa mar (BM), com um espaço de um ano entre eles. As Figuras 35 e 36 ilustram a morfologia da praia de Santa Bárbara nos dias 9 de setembro de 2021 e 7 de setembro de 2022, respetivamente. A Figura 37 apresenta o de volume sedimentar residual entre as duas medições e, em consequência, a respetiva deriva sedimentar que correu num espaço de um ano.

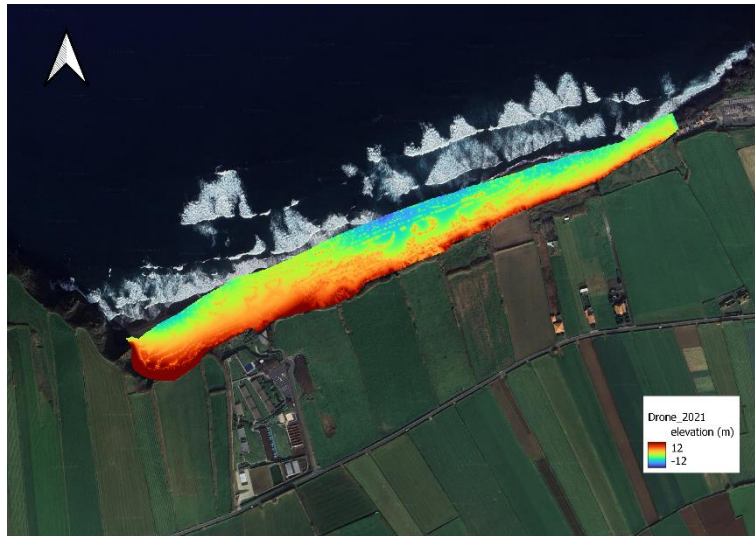


Figura 35 – Levantamento topográfico da praia de Santa Bárbara em 2021. (Google Earth, 2023).

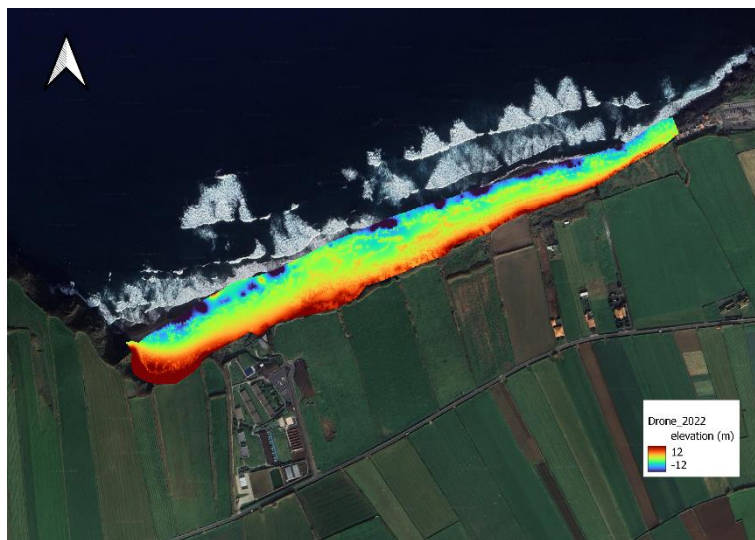


Figura 36 – Levantamento topográfico da praia de Santa Bárbara em 2022. (Google Earth, 2023).

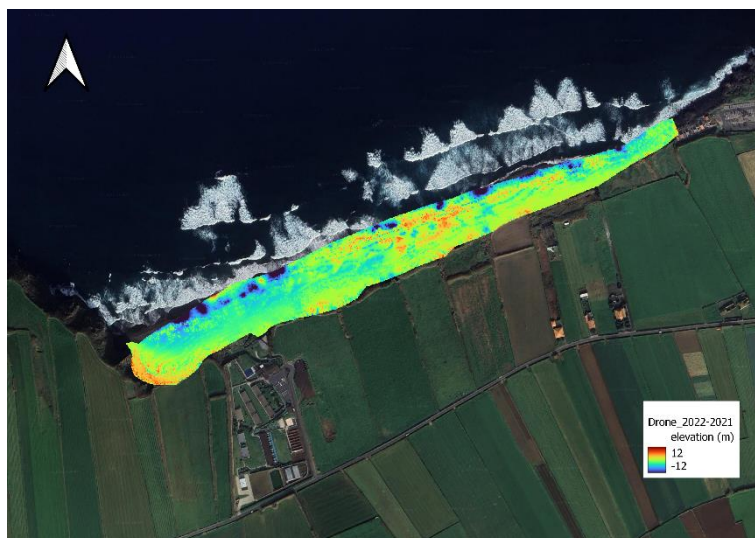


Figura 37 - Diferença do levantamento de 2022 com o de 2021. (Google Earth, 2023).

Através da comparação dos dois levantamentos topográficos verifica-se, genericamente, para o período observado (09/09/2021 – 07/09/2022), que ocorre perda de sedimentos na alta praia, com deposição no litoral próximo. Este efeito é visível no perfil transversal que consta na Figura 38. Para o período em avaliação não é visível uma variação longilitoral significativa.

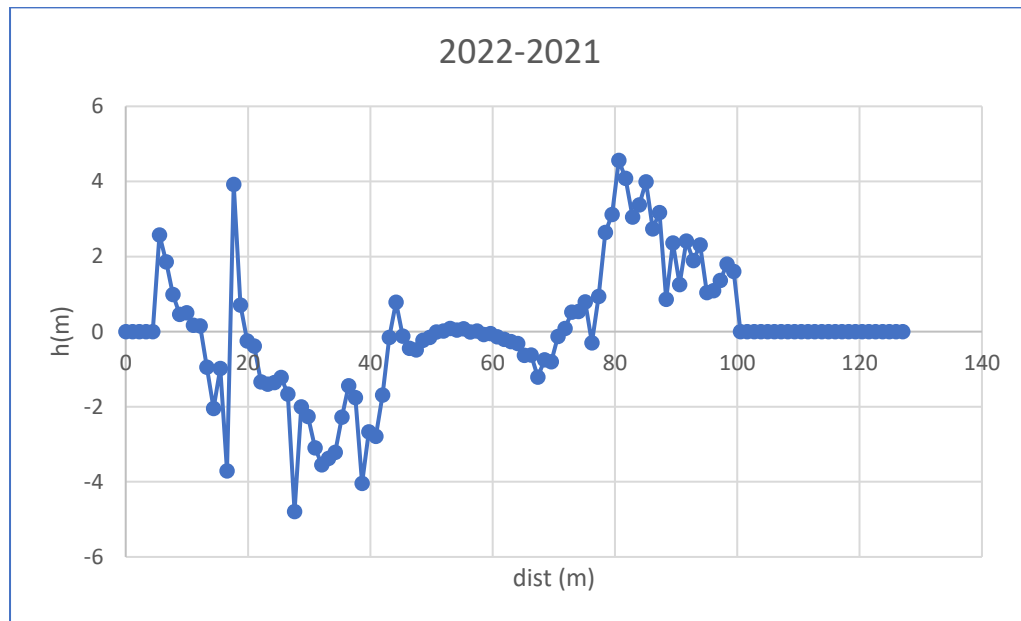


Figura 38 – Perfil transversal executado sobre a diferença de levantamentos.

6.3 Análise da Evolução, por Freguesias, do Edificado entre 2006 – 2017

A análise da evolução da linha de costa entre o ano 2006 e 2017 abrange toda a faixa costeira da área de estudo que se encontra dentro de um raio de 50 m a partir do limite de arriba definido no presente trabalho (Figura 39).



Figura 39 – Raio de 50 m que delimita a área de estudo. (Google Earth, 2023).

O raio de 50 m abrange um conjunto variado de elementos (e.g. casas, escolas, igrejas e estradas). As alterações no edificado, tais como demolições e/ou novas construções, incluíram:

- a) Edificado geral – inclui habitações, estabelecimentos públicos / comerciais, edifícios em fase de construção;
- b) Barracas – inclui garagens, oficinas, áreas de serviço / apoio a habitações ou estabelecimentos comerciais;
- c) Indústrias – essencialmente fábricas;
- d) Ruínas – qualquer edifício em estamos de ruína;
- e) Recintos desportivos;
- f) Estacionamentos;
- g) Estradas.

Ao analisar a Tabela 10, evolução do edificado geral, sendo que a maioria corresponde a habitações, constata-se que ocorreu um maior número de demolições em relação ao número de novas construções em toda a área de estudo.

A freguesia de Rabo de Peixe foi aquela que sofreu o maior número de demolições, um total de 137 demolições, que ocupavam uma área de 8.811,2m²,

seguinto a freguesia da Matriz onde foram demolidas 42 habitações que ocupavam uma área de 4.695,43 m².

Tabela 10 - Resumo da evolução do edificado geral por freguesias 2006 – 2017.

Freguesia	Novas Construções		Demolições		Edificado Aumentado		Passaram a Ruínas	
	Qt	m ²	Qt	m ²	Qt	m ²	Qt	m ²
Calhetas			2	145,421	1	59,511	17	1712,841
Rabo de Peixe	11	377,163	137	8811,2	16	517,225	9	655,766
Ribeira Seca	26	3447,436	30	2619,639				
Conceição								
Matriz	3	251,83	42	4695,43	2	63,417	6	707,354
Total	40	4076,429	211	16271,69	19	640,153	32	3075,961

Em relação às barracas (Tabela 11) verifica-se que ocorreram mais demolições do que construções na área de estudo, sendo a freguesia de Rabo de Peixe o local com mais demolições de barracas, cerca de 37, que ocupavam uma área de 1.293 m², seguindo-se a freguesia da Ribeira Seca e a da Matriz, com 12 e 7 demolições, respetivamente. Em relação às novas construções, observa-se 11 novas construções com 377 m² e 2 aumentos de 42 m².

Tabela 11 - Resumo da evolução das barracas por freguesias 2006 – 2017.

Freguesia	Novas Construções		Demolições		Edificado Aumentado		Passaram a Ruínas	
	Qt	m ²	Qt	m ²	Qt	m ²	Qt	m ²
Calhetas			6	117,966				
Rabo de Peixe	11	377,163	37	1292,865	2	42,331	3	11
Ribeira Seca	1	49,452	12	275,164				1
Conceição								
Matriz			7	100,939	1	11,154		
Total	12	426,615	62	1786,934	3	53,485	3	12

Observando a Tabela 12, nota-se que entre 2006 e 2017 ocorreram algumas demolições de habitações que se encontravam em estado de ruínas, um total de 6 habitações, destacando a freguesia das Calhetas por ter sido a freguesia com mais demolições sobre as ruínas.

Tabela 12 - Resumo da evolução das ruínas por freguesias 2006 – 2017.

Freguesia	Novas Construções		Passaram a novo edificado	
	Qt	m ²	Qt	m ²
Calhetas	4	208,615		
Rabo de Peixe				
Ribeira Seca	2	145,208		
Conceição				
Matriz				
Total	6	353,823	0	0

Relativamente às indústrias, Tabela 13, verifica-se que foi na freguesia da Ribeira Seca que ocorreram mais demolições (5 demolições com um total de 138 m²), seguindo a freguesia de Rabo de Peixe com apenas uma demolição de 491 m². Por outro lado, ocorreram novas construções nesta freguesia, um total de 3 com uma área de 486 m². Ainda na freguesia de Rabo de Peixe observa-se que 4 edifícios industriais passaram a ruínas, cerca de 1487 m².

Tabela 13 - Resumo da evolução das indústrias por freguesias 2006 – 2017.

Freguesia	Novas Construções		Demolições		Edificado Aumentado		Passaram a Ruínas	
	Qt	m ²	Qt	m ²	Qt	m ²	Qt	m ²
Calhetas								
Rabo de Peixe	3	485,498	1	490,717	1	6,007	4	1487,047
Ribeira Seca	2	137,94	5	138,311	1	14,74		
Conceição								
Matriz								
Total	5	623,438	6	629,028	2	20,747	4	1487,047

Ao analisar a evolução dos espaços desportivos, Tabela 14, verifica-se que não ocorreram diferenças significativas durante o período 2006 – 2017, registando-se apenas 1 nova construção, 1 demolição e na freguesia de Rabo de Peixe o campo de jogos existente foi inativado.

Tabela 14 - Resumo da evolução dos recintos desportivos por freguesias 2006 – 2017.

Freguesia	Novas Construções		Demolições / Inativos	
	Qt	m ²	Qt	m ²
Calhetas				
Rabo de Peixe			1	8491,763
Ribeira Seca				
Conceição				
Matriz	1	927,659	1	396,21
Total	1	927,659	2	8887,973

Em relação às estradas, Tabela 15, podemos verificar que foi na freguesia da Matriz que ocorreram mais demolições, cerca de 641 m; no entanto, para a mesma freguesia, foram construídas cerca de 437,682 m de estrada.

Tabela 15 - Resumo da evolução das estradas por freguesias 2006 – 2017.

Freguesia	Novas Construções	Demolições
	m	m
Calhetas		53,726
Rabo de Peixe		78,74
Ribeira Seca		
Conceição		
Matriz	437,682	641,406
Total	437,682	773,872

Através da Tabela 16 infere-se que ocorreu um crescimento expressivo do número de estacionamento, tendo sido na freguesia da Matriz onde ocorreu o maior número de novo estacionamento construídos. Porém, foi na freguesia da Ribeira Seca que ocorreu o maior crescimento de área dedicada a estacionamento, totalizando uma área de aproximadamente, 8.845 m² para estacionamento.

Tabela 16 - Resumo da evolução dos estacionamento por freguesias 2006 – 2017.

Freguesia	Novas Construções		Demolições	
	Qt	m ²	Qt	m ²
Calhetas				
Rabo de Peixe	3	523,497		
Ribeira Seca	3	8844,966	1	1483,326
Conceição				
Matriz	5	1721,775	4	3744,551
Total	11	11090,238	5	5227,877

6.4 Análise da Evolução, Por Setores, do Edificado entre 2006 – 2017

Tendo por base a morfologia da arriba, a geologia, as taxas de recuo e a ocupação do solo por habitações, infraestruturas e praias, foram definidos setores de arriba na faixa em estudo (Figura 40) (Anexos XII, XIII, XIV, XV, XVI, XVII, XVIII, XIX).



Figura 40 – Localização dos setores de arriba. (Google Earth, 2023).

Em Anexo (XX – XXXV) são apresentados os mapas correspondentes ao edificado e infraestruturas presentes em cada setor de arriba entre 2006 e 2017.

Em relação ao edificado geral, maioritariamente habitações, podemos apurar logo um maior número de demolições em comparação ao número de novas construções em termos do total da área analisada. Os setores 2 e 3 foram aqueles que mais sofreram demolições, totalizando cerca 137 habitações demolidas que ocupavam cerca de 8.811 m² (Tabela 17).

O setor 1 foi aquele que sofreu menos demolições, mas foi onde se observou um maior número de habitações que passaram a estado de ruínas.

Tabela 17 – Resumo da evolução do edificado geral 2006 – 2017. Qt. – Quantidade em numerário.

Setor	Freguesia	Novas Construções		Demolições		Edificado Aumentado		Passaram a Ruínas	
		Qt*	m ²	Qt	m ²	Qt	m ²	Qt	m ²
1	Calhetas			2	145,421	1	59,511	17	1712,841
2	Rabo de Peixe			79	5308,867				
3	Rabo de Peixe	11	377,163	58	3502,333	16	517,225	9	655,766
4	Rabo de Peixe								
5	Rabo de Peixe								
6	Ribeira Seca	25	3398,322	6	293,4				
7	Ribeira Seca	1	49,114	24	2326,239				
8	Conceição e Matriz	3	251,83	42	4695,43	2	63,417	6	707,354
	Total	40	4076,429	211	16271,69	19	640,153	32	3075,961

Relativamente às barracas, Tabela 18, verifica-se, também, que ocorreram mais demolições do que novas construções, tendo sido no setor 2 onde ocorreu um maior número de demolições, cerca de 26. No setor 3 ocorreu exatamente o mesmo número de demolições e de novas construções, ocupando quase a mesma área daquelas que foram demolidas. O setor 6 apenas apresenta apenas uma demolição que ocupava cerca de 53 m².

Tabela 18 – Resumo da evolução das barracas 2006 – 2017.

Setor	Freguesia	Novas Construções		Demolições		Barracas Aumentadas		Passaram a Ruínas	
		Qt	m ²	Qt	m ²	Qt	m ²	Qt	m ²
1	Calhetas			6	117,966				
2	Rabo de Peixe			26	938,616				
3	Rabo de Peixe	11	377,163	11	354,249	2	42,331	3	77,921
4	Rabo de Peixe								
5	Rabo de Peixe								
6	Ribeira Seca			1	53,094				
7	Ribeira Seca	1	49,452	11	222,07				
8	Conceição e Matriz			7	100,939	1	11,154		
	Total	12	426,615	62	1786,934	3	53,485	3	77,921

Através da análise à Tabela 19 verifica-se que ocorreram algumas demolições de ruínas, um total de 6 ruínas que ocupavam aproximadamente 354 m², tendo ocorrido um maior número de demolições no setor 1, cerca de 4, com uma área de 209 m².

Tabela 19 – Resumo da evolução das ruínas 2006 – 2017.

Setor	Freguesia	Demolições		Passaram a novo edificado	
		Qt	m ²	Qt	m ²
1	Calhetas	4	208,615		
2	Rabo de Peixe				
3	Rabo de Peixe				
4	Rabo de Peixe				
5	Rabo de Peixe				
6	Ribeira Seca				
7	Ribeira Seca	2	145,208		
8	Conceição e Matriz				
	Total	6	353,823	0	0

No que toca às indústrias, Tabela 20, o setor que sofreu mais demolições foi o setor 7, sendo que, no setor 4, apesar de ter ocorrido apenas uma demolição, esta

ocupara mais do que os 5 edifícios demolidos no setor 7. Os setores 3 e 7 foram aqueles que mais beneficiaram com as novas construções, contudo a área ocupada pelos novos edifícios foi superior no setor 3.

Tabela 20 – Resumo da evolução dos edifícios industriais 2006 – 2017.

Setor	Freguesia	Novas Construções		Demolições		Indústrias Aumentadas		Passaram a Ruínas	
		Qt	m ²	Qt	m ²	Qt	m ²	Qt	m ²
1	Calhetas								
2	Rabo de Peixe								
3	Rabo de Peixe	2	381,364			1	6,007	2	240,748
4	Rabo de Peixe	1	104,134	1	490,717			2	1246,299
5	Rabo de Peixe								
6	Ribeira Seca								
7	Ribeira Seca	2	137,94	5	138,311	1	14,74		
8	Conceição e Matriz								
	Total	5	623,438	6	629,028	2	20,747	4	1487,047

Ao analisar a evolução dos recintos desportivos, Tabela 21, verifica-se que não ocorreram alterações significativas, observando-se um maior crescimento no setor 8, com a construção de um campo de jogos com cerca de 927,659 m².

Tabela 21 – Resumo da evolução dos recintos desportivos 2006 – 2017.

Setor	Freguesia	Novas Construções		Demolições / Inativos	
		Qt	m ²	Qt	m ²
1	Calhetas				
2	Rabo de Peixe				
3	Rabo de Peixe				
4	Rabo de Peixe			1	8491,763
5	Rabo de Peixe				
6	Ribeira Seca				
7	Ribeira Seca				
8	Conceição e Matriz	1	927,659	1	396,21
	Total	1	927,659	2	8887,973

Relativamente às estradas, Tabela 22, calcula-se que, aproximadamente, 774 m de estrada foram demolidas, sendo que, no setor 8, onde houve um maior crescimento das estradas cerca de 437,682 m.

Tabela 22 – Resumo da evolução das estradas 2006 – 2017.

Setor	Freguesia	Novas Construções	Demolições
		m	m
1	Calhetas		53,726
2	Rabo de Peixe		
3	Rabo de Peixe		78,74
4	Rabo de Peixe		
5	Rabo de Peixe		
6	Ribeira Seca		
7	Ribeira Seca		
8	Conceição e Matriz	437,682	641,406
	Total	437,682	773,872

Analisando o Tabela 23, observa-se que ocorreu um crescimento significativo do número de estacionamento, totalizando em toda a área de estudo, a construção de 11 estacionamento que ocupam cerca de 11.090 m². No setor 8 foi onde ocorreu o maior

número de novos estacionamento. Por outro lado, foi no setor 6 que ocorreu o maior crescimento de área para estacionamento, um total de 8.845 m².

Tabela 23 – Resumo da evolução dos estacionamento 2006 – 2017.

Setor	Freguesia	Novas Construções		Demolições	
		Qt	m ²	Qt	m ²
1	Calhetas				
2	Rabo de Peixe				
3	Rabo de Peixe	3	523,497		
4	Rabo de Peixe				
5	Rabo de Peixe				
6	Ribeira Seca	3	8844,966	1	1483,326
7	Ribeira Seca				
8	Conceição e Matriz	5	1721,775	4	3744,551
	Total	11	11090,238	5	5227,877

6.5 Determinação das Áreas Perdidas e Taxas de Recuo

A determinação da área perdida foi realizada tendo como referência a linha de costa (limite de arriba) definida para o ano de 2006 e para comparação a sua posição em 2017. Os resultados obtidos permitiram, em termos médios, uma comparação com outros estudos que abordam o recuo da linha de costa a médio prazo para este troço costeiro (Borges, 2003). Os valores inerentes ao recuo médio de cada setor de arriba foram calculados tendo em conta, para o efeito, a totalidade da área perdida a partir da posição do bordo da arriba no ano de referência (2006) e no ano de comparação (2017).

As determinações de taxas de recuo de médio prazo são importantes pelo facto de que caracterizam as tendências de evolução da linha de costa, neste caso para o período 2006 - 2017. Sendo possível, desta forma, identificar as zonas mais vulneráveis, tendo em conta o aumento da ocupação da faixa costeira pelo Homem. Para a determinação da taxa de recuo, procedeu-se, primeiramente, ao cálculo dos recuos médios para cada setor, adotando o método utilizado por Oliveira (2005), que consiste no produto da divisão do integral da área perdida, pelo comprimento de cada setor de arriba. Assim, as taxas de recuo resultaram do produto da divisão do recuo médio de cada setor pelo período em análise (11 anos).

A Tabela 24 apresenta os resultados calculados por freguesias e por setor de arriba, relativamente ao comprimento do troço costeiro, à área perdida para o mar, ao recuo médio e conseqüente taxa de recuo associada.

Tabela 24 – Principais dados analisados em cada setor de arriba entre 2006 e 2017.

Setor	Freguesia	Comprimento (m)	Área Costeira Perdida (m ²)	Recuo médio (m)	Taxa de Recuo (m/ano)
1	Calhetas	1 054,919	1 507,176	1,429	0,13
2	Rabo de Peixe	905,043	1 065,081	1,177	0,11
3	Rabo de Peixe	2 699,891	2 555,697	0,947	0,09
4	Rabo de Peixe	2 054,293	3 971,315	1,933	0,18
5	Rabo de Peixe	937,719	1 696,479	1,809	0,16
6	Ribeira Seca	2 124,105	3 718,222	1,750	0,16
7	Ribeira Seca	1 539,028	2 706,777	1,759	0,16
8	Conceição e Matriz	1 856,024	1 783,287	0,961	0,09
Médias		13171,022	19004,034	1,47	0,13

O recuo médio ocorrido ao longo do troço de arriba estudado, que conta com cerca de 13,2 km, entre os anos 2006 e 2017, foi de 1,47 m, o que resulta numa taxa de recuo de 0,13 m/ano.

Os setores com maior recuo da linha de costa (recuo médio) situam-se na zona este da área de estudo, os setores 4 a 7, sendo que a zona com maior recuo se situa em Rabo de Peixe, o setor 4.

A área total perdida entre 2006 e 2017 perfaz 19.004,034 m², o que resulta num valor médio anual de 1.727,64 m²/ano. O setor 6 é o que apresenta maior área perdida.

As figuras 41, 42 e 43, ilustram, a título de exemplo, a erosão do bordo da arriba em alguns troços entre os anos de 2006 e 2017. A erosão ocorrida em cada setor corresponderá ao somatório das áreas calculadas em cada troço onde é visível a diferença da posição do bordo da arriba. Parte dos processos erosivos incluem movimentos de vertente.

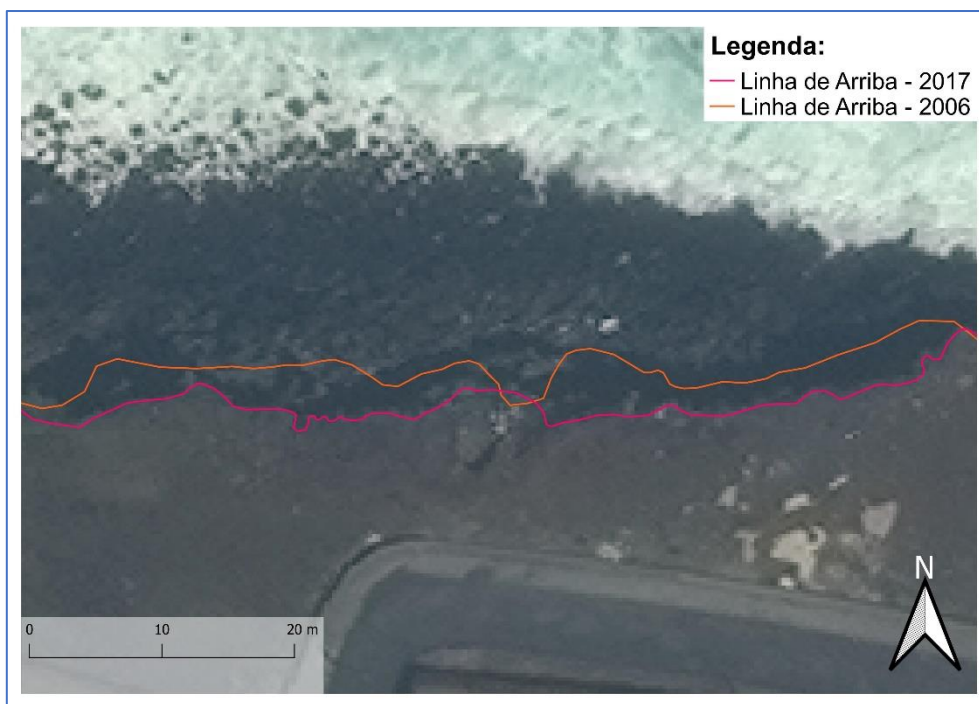


Figura 41 – Exemplo da erosão ocorrida no setor 2, freguesia de Rabo de Peixe, no período 2006 – 2017. Base: Ortofotomapa da área de estudo referente ao ano 2017, fornecido pela SRTMI.



Figura 42 – Exemplo da erosão ocorrida no setor 3, freguesia de Rabo de Peixe, no período 2006 – 2017. Base: Ortofotomapa da área de estudo referente ao ano 2017, fornecido pela SRTMI.

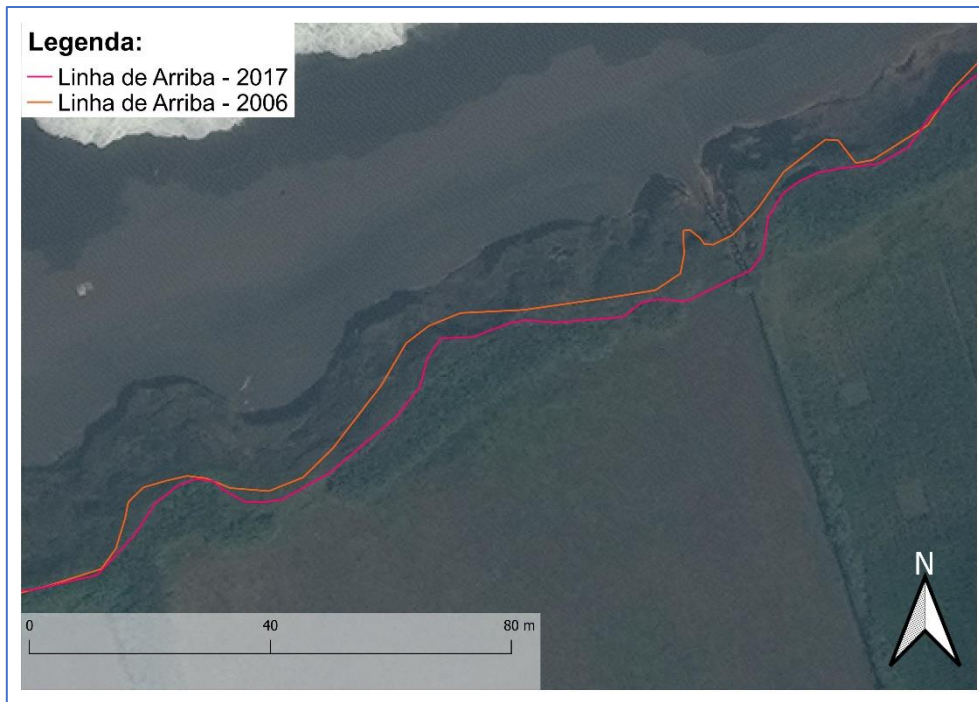


Figura 43 – Exemplo da erosão ocorrida no setor 6, na praia de Santa Bárbara, no período 2006 – 2017. Base: Ortofotomapa da área de estudo referente ao ano 2017, fornecido pela SRTMI.

7. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

7.1 Análise e Discussão do Edificado

Os resultados da evolução do edificado entre 2006 e 2017 evidenciam grandes perdas nos setores 2 e 3, essencialmente perda de habitações ao longo da faixa costeira. É importante referir que, durante as saídas de campo para recolha de dados, foi possível observar, nestes setores, o rasto que ficou da demolição destas habitações (Anexo XXXVI).

No setor 1 observa-se que um número significativo de habitações passaram a ruínas (ou devolutas), 17 habitações que ocupavam cerca de 1 712,841 m². Este foi, também, um dos casos que foi possível observar durante as saídas de campo.

A nível de crescimento do edificado o setor 6 foi aquele que apresentou valores mais elevados, 25 novas construções ocupam 3.398,322 m². Sendo que grande parte destas novas construções foram na praia de Santa Bárbara, mais precisamente, no caminho que dá acesso à praia, aí foram construídas casas de banho, chuveiros, bares e restaurante.

As barracas são, na sua grande maioria, pequenos cómodos construídos, muitas vezes, nos quintais das habitações e servem como áreas de apoio ou de serviço, ou então são garagens ou pequenas oficinas. A evolução destas apontam, também, para uma grande perda igualmente nos setores 2 e 3. Através da análise dos ortofotos e por imagens no *Google Earth*, percebe-se que as barracas demolidas correspondem, essencialmente, a pequenas áreas de apoio às habitações.

Relativamente às indústrias nota-se que ocorreram demolições quase na mesma porção que as novas construções, principalmente no setor 7, pois as demolições ocorridas são, na sua maioria, pequenos edifícios industriais que sofreram demolição devido a melhoramentos nas indústrias.

No que toca às ruínas, foi possível observar que nenhuma área com ruínas foi reutilizada para novas construções, e que o número de demolições de ruínas foi baixo, tendo em consideração o número de habitações que neste período de análise passaram a ruínas.

Ao observar a evolução dos recintos desportivos observou-se que no setor 4, o campo de jogos junto à costa não foi demolido, mas sim inativo, este ocupa uma área de 8.491,763 m². No setor 8 ocorreu a demolição de um campo de jogos que se encontrava ao longo da marginal da avenida da freguesia da Matriz, mas, foi construído outro campo de jogos com mais do dobro da área.

O setor 5 é o único setor que não apresenta perdas de edificado, pois trata-se de uma zona de praia (praia de Santana) com uma arriba significativamente alta (> 50 m) e ausência de edificado.

No que toca às estradas, ocorreram mudanças expressivas no setor 8, pois demoliram-se 641,406 m de estrada e foram construídos 437,682 m de estrada. Esta mudança deve-se ao facto de terem ocorridas obras de requalificação nesta marginal.

Ao analisar a evolução dos estacionamento, observa-se um crescimento significativo nos setores 6 e 8 com a construção de 8.845 m² e 1.722 m², respetivamente, sendo que este último tal como o crescimento das estradas deve-se às obras de requalificação da marginal.

7.2 Análise e Discussão da Área Perdida e Taxa de Recuo

Da Tabela 24 (Capítulo 6.5) infere-se que foi o setor 4 que registou a maior perda de área para o mar, cerca de 3.971,315 m², seguido dos setores 6 e 7, ambos na freguesia da Ribeira Seca, com 3.718,222 m² e 2.706,777 m², respetivamente. Este dado está em linha com as zonas onde se observou um maior recuo da linha de costa, cerca de 2 m de recuo da linha de arriba num período de 11 anos. Os restantes setores apresentam perdas de área mais modestas, como é o caso do setor 2.

Os setores 4 e 5 são os que apresentam maiores taxas de recuo para o setor analisado. Estes resultados podem estar relacionados com os terrenos aflorantes nesses setores, constituídos maioritariamente por formações piroclásticas friáveis (e.g. pedrapomes), conforme carta de Moore (1990), a unidade P.

Ao comparar os valores das taxas de recuo apresentadas neste trabalho nos setores 6 e 8, praia de Santa Bárbara e praia do Monte Verde, respetivamente, para o período 2006 – 2017, com as taxas calculadas por Borges (2003) na última metade do

século XX, observa-se uma diminuição da taxa de recuo em ambas as praias. A praia de Santa Bárbara, para o período 1988 – 1998, apresenta uma taxa de recuo em redor dos 0,6 m/ano e para o período aqui analisado apresenta uma taxa de 0,16 m/ano, isto é, uma diminuição de 73%. Já o areal do Monte Verde, para o período 1974 – 1998, apresenta uma taxa de recuo da arriba de cerca de 0,2 m/ano e no período 2006 – 2017 apresenta uma taxa de 0,09 m/ano, isto é, uma diminuição de 55%.

Importa referir a influência que o período analisado pode ter na determinação das taxas de recuo, por exemplo, quando consideramos períodos de análise mais curtos, podemos obter valores que são condicionados por situações extremas que ocorrem a curto prazo e, por outro lado, quando são utilizados períodos mais longos, os valores não traduzem as variações que podem ocorrer a médio prazo (Oliveira, 2005).

7.3 Análise com as Alterações Climáticas

Os Açores, tendo em conta a sua localização insular e as características morfológicas, apresentam uma elevada vulnerabilidade às alterações climáticas, estando previstos impactes ambientais e socioeconómicos severos (PGRH-A, 2021).

Os resultados obtidos no presente trabalho, ao longo da faixa costeira do setor Rabo de Peixe – Ribeira Grande, revelam fortes impactes ambientais na vertente socioeconómica para o curto período avaliado, 2006 a 2017. Considerando apenas a área perdida, cerca de 19.004 m², e assumindo um valor de 106 euros por metro quadro (média de valores atuais para a Ribeira Grande), estima-se que para o período analisado (11 anos), ocorreram perdas aproximadas 2.014.424 euros (cerca de dois milhões de euros), isto é, cerca de 183.130 euros/ano. A estes valores acresce o valor do edificado destruído, não incluído na análise, mas de maior significado.

Uma vez que é esperado um agravamento dos efeitos previsíveis das alterações climáticas, nomeadamente o aumento da agitação marítima e a subida do nível médio das águas do mar, prevê-se que estas perdas, muito provavelmente, serão agravadas e serão atingidos valores de área perdida mais elevados se, entretanto, não forem tomadas ações, nomeadamente medidas de mitigação.

Considerando a forte densidade de ocupação humana e elevada vulnerabilidade em determinados setores de arriba, como é o exemplo dos setores 2 e 3, que sofreram

o maior número de demolições de habitações junto à costa, e o setor 4 que apresentou a maior taxa de recuo, admite-se que parte da área de estudo constitui um espaço prioritário na adoção de medidas de adaptação que contrariem a crescente erosão costeira, através de ações que, primordialmente, promovam o ordenamento do território.

Entre as medidas mais eficazes na mitigação dos efeitos dessas alterações climáticas referem-se o ordenamento do território, essencialmente a proibição de novas edificações, a deslocalização de pessoas das zonas de perigo e a execução de obras de reforço costeiro, nomeadamente as obras aderentes.

8. CONCLUSÕES

Um dos efeitos decorrentes das alterações climáticas, previstos à escala regional, é a subida do nível médio do mar que irá provocar uma série de ameaças aos recursos, ecossistemas e infraestruturas costeiras, assim como às populações e territórios mais periféricos. Ao longo da orla costeira Açoreana e, principalmente, na área estudada, já são visíveis algumas consequências das alterações climáticas ao nível dos processos erosivos, medidos pelo recuo da linha de costa e em áreas terrestres perdidas a favor do mar.

A utilização de técnicas fotogramétricas para registar o comportamento da linha de costa, assim como, as características geomorfológicas, o estado da urbanização e posterior identificação de processos de evolução que ocorram num determinado período, provou ser uma mais-valia para este tipo de estudos. A mais-valia foi conseguida na realização de levantamentos fotográficos através de voos de drone para posterior criação de ortofotomapas e, também, pela utilização de levantamentos topográficos GNSS para recolha de pontos fotogramétricos que proporcionam uma precisa georreferenciação das imagens e posterior restituição.

O setor costeiro Rabo de Peixe – Ribeira Grande é classificado, segundo a análise realizada no PRAC (2017), como zona ameaçada pelo mar, com presença de áreas de elevada suscetibilidade a movimentos de vertente e com elevado risco de cheias fluviais.

Com base nas linhas de costa e no edificado para ambos os anos 2006 e 2017, numa frente costeira de 13,2 km e numa faixa de 563.503 m², foram calculadas as perdas e as novas habitações, foi estimada a área do litoral consumida pelo processo de erosão e foram calculadas as taxas de recuo associadas.

Da análise da evolução da linha de costa no setor Rabo de Peixe – Ribeira Grande, para o período 2006 – 2017, relativamente à alteração do tecido urbano, ficou claro que os setores que sofreram o maior número de demolições a nível das habitações foram os setores 2 e 3, ambos na freguesia da Rabo de Peixe, com um total de 137 habitações demolidas. Estas habitações encontravam-se quase no limite da arriba, numa zona sujeita a fenómenos erosivos intensos, nomeadamente movimentos de vertente.

Da área analisada foram os setores 4 e 5 onde se verificaram os maiores recuos médios entre 2006 e 2017, com valores de recuo médio da arriba de 1,9 m e 1,8 m, respetivamente, o que resultou para o setor 4 uma taxa de recuo de 0,18 m/ano e para o setor 5 uma taxa de 0,16 m/ano. Estes valores, provavelmente, estão associados às características geológicas destes terrenos que, conforme a carta de Moore (1990), são setores maioritariamente constituídos por formações piroclásticas friáveis (e.g pedrapomes).

Ao comparar as taxas de recuo calculadas por Borges (2003) com as taxas de recuo calculadas no presente trabalho para nas praias de Santa Bárbara e Monte Verde, que correspondem aos setores 6 e 8, respetivamente, podemos concluir que há uma diminuição da taxa de recuo em ambas as praias, desde a última análise feita por Borges (2003). Esta redução deve-se provavelmente à proibição da extração de areia feita nessas praias a partir de finais da década de 1990.

Os resultados obtidos no presente trabalho, ao longo da faixa costeira do setor Rabo de Peixe – Ribeira Grande, revelam fortes impactes ambientais na vertente socioeconómica para o curto período avaliado, 2006 a 2017. Considerando apenas a área perdida, cerca de 19.004 m², e assumindo o valor de 106 euros por metro quadro (média de valores atuais para a Ribeira Grande), estima-se que para o período analisado (11 anos), ocorreram perdas aproximadas 2.014.424 euros (cerca de dois milhões de euros), isto é, cerca de 183.130 euros/ano.

Não restam dúvidas quanto à elevada vulnerabilidade do território açoriano face aos efeitos das alterações climáticas, principalmente nas zonas costeiras, devido aos fenómenos de agitação marítima e da subida do nível médio do mar. Na ausência da tomada de decisões, nomeadamente, medidas de mitigação, prevêem-se perdas mais acentuadas em relação ao edificado e à área que é consumida pelo processo de erosão costeira. Por este motivo, torna-se prioritário a criação de medidas de adaptação às alterações climáticas que impeçam o avanço progressivo da erosão costeira e a eliminação das vulnerabilidades, atuando quer ao nível da gestão do ordenamento do território quer no reforço estrutural das zonas costeiras. Entre as medidas mais eficazes referem-se a proibição de novas edificações, a deslocalização de pessoas das zonas de perigo e a execução de obras de reforço costeiro.

Referências Bibliográficas

A

Abude, R., R., S., & Souza, K. R. G., (2020). Avaliação de Alterações de Linha de Costa a partir da Ferramenta de Imagens Históricas do Google Earth: O Caso da Praia de Itacuruçá (Mangaratiba (RJ) – Brasil). *Oceanografía: Desvelando la Belleza, los Misterios y los Desafíos del Mar* (pp. 1-115).

Almeida, H., (2019). *Erosão e Galgamentos na Costa Portuguesa*. Provas destinadas à obtenção do grau de Mestre em Riscos e Proteção Civil. Instituto Superior de Educação e Ciências, Escola de Tecnologias e Engenharia, Lisboa.

Azevedo, E., B., (2001). Enquadramento Climático (Clima dos Açores). *Vulcão das Sete Cidades – Guia de História Natural* (pp. 85-100). Consultado a. 21 de outubro de 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/343140229_5_-_ENQUADRAMENTO_CLIMATICO_Clima_dos_Acores.

B

Barroco, A., Figueiredo, A., Costa A., Honrado, J., Cruz, N., Alves, P., (2012). *Guia Técnico para o Litoral da Região Autónoma dos Açores*. Quatenaire Portugal. Governo Regional dos Açores.

Borges, P., (2003). *Ambientes Litorais nos Grupos Central e Oriental do Arquipélago dos Açores. Conteúdos e Dinâmica de Microescala*. Tese de Doutoramento em Geologia na Especialidade de Geologia Costeira. Departamento de Geociências da Universidade dos Açores. Ponta Delgada.

Borges, P., Lameiras, G., Calado, H., (2009). *A erosão costeira como factor condicionante da sustentabilidade*. Apresentada no 1º Congresso de desenvolvimentos regional de Cabo Verde, 15º Congresso da APDR, 2º Congresso Lusófono de ciência regional, 3º Congresso de Gestão de Conservação da Natureza. Cabo Verde, Redes e Desenvolvimento Regional (pp. 66-75).

C

Caesar, L., McCarthy, G.D., Thornalley, D.J.R., Cahill, N., Rahmstorf, S. (2021): *Current Atlantic Meridional Overturning Circulation Weakest in Last Millennium*. Nature Geoscience, 14, 188 – 120

Carmo, R., (2013). *Estudos de Neotectónica na Ilda de S.Miguel, uma Contribuição para o Estudo do Riscos Sísmico no Arquipélago dos Açores*. Dissertação de Doutoramento no Ramo de Geologia Especialidade de Vulcanologia. Universidade dos Açores, Departamento de Geociências.

Cruz, M. T. (2021). Cimeira do Clima COP26. Causas, impactos e consequências das alterações climáticas: o que está a acontecer em Portugal?. SIC Notícias. Consultado a 22 de novembro de 2021. Disponível em: <https://amp.sicnoticias.pt/especiais/cimeira-do-clima/2021-10-28-Causas-impactos-e-consequencias-das-alteracoes-climaticas-o-que-esta-a-acontecer-em-Portugal--4fd41f2c?fbclid=IwAR2H3x9rINzf1uC7-pJXh1k2k8WZRkeLrZ8yxi9SYO6IzioE2AYH6knqUug>.

D

Davies, J.L. (1964). *A Morphogenic approach to world shorelines*. Zeitschrift fur Geomorphologie, Nº 8, pp. 127–142

E

Especificação do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEC), (1967). *SOLOS. Preparação por via seca de amostras para ensaios de identificação*. Laboratório de Engenharia Civil (MOP). Portugal

Especificação do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEC), (1971). *SOLOS. Análise granulométrica por peneiração húmida*. Laboratório de Engenharia Civil (MOP). Portugal

G

Geo-Elvas (2012). *Açores – Geologia da Ilha de S. Miguel*. Consultado a 15 de outubro de 2021. Disponível em: <http://geoelvas.blogspot.com/2012/04/acoes-geologia-da-ilha-de-s-miguel.html>

Gomes, A., (2013). *História Eruptiva do Sistema Vulcânico Fissural dos Picos e Avaliação da Susceptibilidade a Escostas Lávicas (Ilha de São Miguel, Açores)*. Dissertação de Doutoramento no Ramo de Geologia Especialidade de Vulcanologia. Universidade dos Açores, Departamento de Geociências.

Gomes, F. V., Caldas, F. B., Santos, R., (2012). *Manual de Intervenções no Litoral da Região Autónoma dos Açores*. Versão para o cidadão. Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos. Secretaria Regional do Ambiente e do Mar. Governo Regional dos Açores.

I

Infopédia (s.d.). *Ribeira Grande*. Porto Editora. Consultado a 3 de novembro de 2021. Disponível em: [https://www.infopedia.pt/\\$ribeira-grande](https://www.infopedia.pt/$ribeira-grande)

Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos (IVAR), (s.d.). *Formas e Estruturas Vulcânicas*. Consultado a 15 de outubro de 2021. Disponível em: <http://www.ivar.azores.gov.pt/geologia-acoes/sao-miguel/Paginas/GA-SMiguel-Geomorfologia.aspx>

Instituto Hidrológico (1981). *Roteiro do Arquipélago dos Açores*. Lisboa.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844

J

Jorge, H.; Rocha, M.; Rocha, S.; Dinis, R.; Furtado, J.; Meira, E.; Medeiros, E; Medeiros, A., (2018). *Carta de Ocupação do Solo da Região Autónoma dos Açores*. INFORGEO. Direção Regional do Ambiente. Governo Regional dos Açores.

L

Laughton, A. e Whitmarsh, R., Rusby, J., Somers, M., Revie, J., McCartney, B., Nafe, J., 1972. *A continuous east-west fault on the Azores-Gibraltar Ridge*. *Nature*, 237, 217-220.

Laja, R. (2021). Mapa mostra o que pode ficar submerso em 2050 se não mudarmos nada. TVI Informação. Consultado a 18 de novembro de 2021. Disponível em: https://tvi24.iol.pt/sociedade/ipcc/mapa-mostra-o-que-vai-estar-submerso-em-2050-se-nao-mudarmos-nada?utm_source=facebook&utm_medium=social&utm_campaign=ed-tvi&fbclid=IwAR1GeGY0EusS6qwbx7y_J9H8bgFzVLZsgyLC84eeKHVfz6lgYYnO1MATRv0

M

Machado, C. C. (2014). *Escoamento de Superfície e Vulnerabilidade às Cheias no Concelho da Ribeira Grande (São Miguel, Açores)*. *Dissertação de Mestrado em Geologia do Ambiente e Sociedade*. Universidade dos Açores, Departamento de Geociências.

Marino, M. T. R. D. & Freire, G. D. S., (2013). Análise da evolução da linha de costa entre as Praias de Futuro e Porto das Dunas, Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), estado do Ceará, Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 13(1), pp. 113-129.

Marques, R., (2013). *Estudo de Movimentos de Vertente no Concelho da Povoação (Ilha de São Miguel, Açores): Inventariação, Caracterização e Análise da Susceptibilidade*. Tese de Doutoramento em Geologia, Espacialidade de Riscos Geológicos. Universidade dos Açores, Departamento de Geociências.

Martins, R. (2021). Há mais de mil anos que as correntes marítimas do Atlântico não estavam tão fracas. Visão Verde. Consultado a 21 de novembro de 2021. Disponível em: https://visao.sapo.pt/visao_verde/alteracoes-climaticas/2021-02-28-ha-mais-de-mil-anos-que-as-correntes-maritimas-do-atlantico-nao-estavam-tao-fracas/

Medeiros, S. L. C., (2010). *Análise da suscetibilidade, vulnerabilidade e do risco sísmico no concelho da Povoação (São Miguel, Açores), recorrendo a técnicas de cartografia automática*. Tese de mestrado em Geografia Física, Ambiente e Ordenamento do Território. Faculdade de Letras. Universidade de Coimbra.

Moore, R. B., (1990). *Volcanic geology and eruption frequency, São Miguel, Azores*. Bull Volcanol 52: 602-614.

Morton, B., Britton, J. C. e Martins, A.M.F. (1998). *Ecologia Costeira dos Açores*. Socienda de Afonso de Chaves. Ponta Delgada.

N

Norma Portuguesa Definitiva (NP – 84), (1965). *SOLOS. Determinação do teor em água*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Portugal.

O

Oliveira, M., (2009). *Análise da Evolução da Ocupação da Orla Costeira Usando Técnicas de Deteção Remota*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Ordenamento do Território e Planeamento Ambiental. Universidade dos Açores, Departamento de Biologia, Ponta Delgada.

Oliveira, S. M .C, (2005), *Evolução Recente da Linha de Costa no Troço Costeiro Forte Novo – Garrão (Algarve)*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Ciências e Engenharia da Terra. Faculdade de Ciências. Universidade de Lisboa.

P

Pacheco, J. M., Ferreira, T., Queiroz, G., Wallenstein, N., Coutinho, R., Cruz, J. V., Pimentel, A., Silva, R., Gaspar, J. L., Goulart, C. (2013). Notas sobre a geologia do arquipélago

dos Açores IN Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P., Kullberg, J. *Geologia de Portugal, Volume II, Geologia Meso-cenozóica de Portugal* (pp. 595-678) Escolar Editora.

Plano de Gestão da Região Hidrográfica dos Açores (PGRH-A) 2022 - 2027 (2021). *Parte 2 – Caracterização da Situação de Referência e Diagnóstico*. Direção Regional do Ordenamento do Território e dos Recursos Hídricos. Governo Regional dos Açores.

Ponte, D., (2013). *Contribuição para o Conhecimento das Sequências Eruptivas dos Vulcões do Fogo e das Furnas, entre Ribeirinha e Lomba da Maia, São Miguel (Açores)*. Tese para Obtenção do Grau de Mestre em Vulcanologia e Riscos Geológicos. Universidade dos Açores, Departamento de Geociências, Ponta Delgada.

Plano Regional das Alterações Climáticas dos Açores (PRAC), (2017). *Impactes, Vulnerabilidades e Medidas de Adaptação para o setor do Ordenamento do Território e Zonas Costeiras*. Governo Regional dos Açores.

Pires, H.O. (1995). Reconstituição do estado do mar em São Miguel, Açores. Departamento de Geologia, Universidade de Lisboa: *Project STORMS*, Relatório Técnico

Q

Quatenaire Portugal. 2012. Guia Técnico para o Litoral da RAA. Secretaria Regional do Ambiente e do Mar, Governo Regional dos Açores.

R

Relatório do Estado do Ambiente dos Açores (REAA), (2017). *Clima e Alterações Climáticas*. Direção Regional do Ambiente e das Alterações Climáticas. Governo Regional dos Açores.

Reiçadas, R., (2020). *Norma APA*. American Psychological Association. 7.^a edição. Instituto Universitário de Lisboa.

Rodrigues, C., Lopes, F., Gómez, G. (2019). *Alterações climáticas: o que já mudou e o que está para chegar*. Público. Consultado a 19 de novembro de 2021. Disponível em:

<https://www.publico.pt/2019/09/16/infografia/alteracoes-climaticas-ja-mudou-chegar-341>

S

Santos, E. C., & Bonetti, J., (2018). Análise da taxa de variação da linha de costa da Enseada de Tijucas (SC) em diferentes escalas temporais como indicadora de suscetibilidade costeira. *Quaternary and Environmental Geosciences*, 90(2), pp. 19-25.

Sunamura, T., 1992. *Geomorphology of rocky coasts*. Wiley, Chichester, 302 pp.

T

Thomas Frederikse, Felix Landerer, Lambert Caron, Surendra Adhikari, David Parkes, Vincent W. Humphrey, Sönke Dangendorf, Peter Hogarth, Laure Zanna, Lijing Cheng, Yun Hao Wu, 2020. The causes of sea-level rise since 1900. *Nature* 584, 393-397.

Trota, A.N. (2009). Estudos de deformação Crustal nas ilhas de S.Miguel e Terceira (Açores): *Avaliação da actividade vulcânica na área do Fogo/Congro (S.Miguel)*. Dissertação no Ramo de Geologia, especialidade Geodesia. Departamento de Geociências, Universidade dos Açores, 305 p.

V

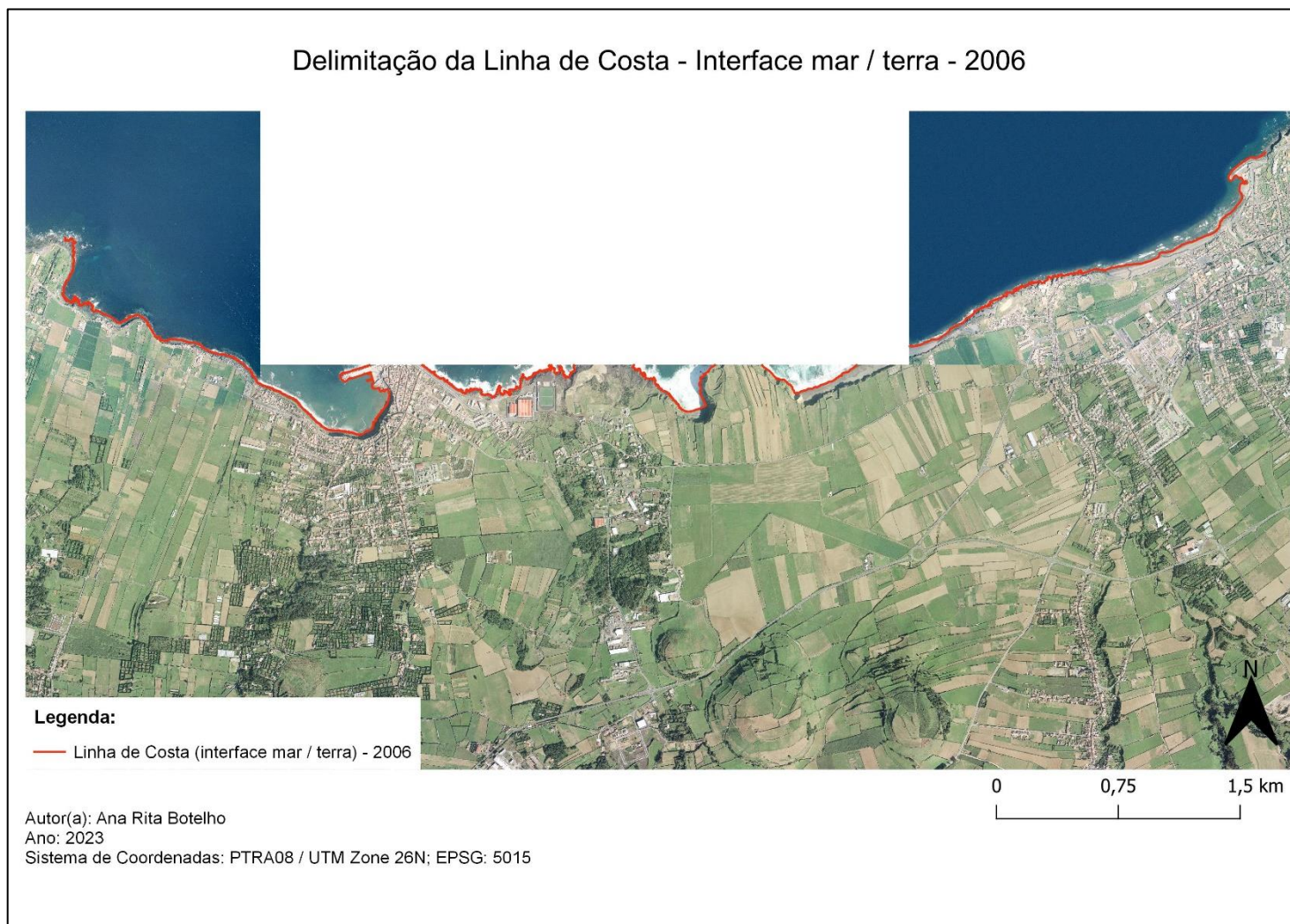
Vogt, P.R. & Jung, W. Y., 2004. *The Terceira Rift as hyper-slow, hotspot-dominated oblique spreading axis: a comparison with other slow-spreading plate boundaries*. *Earth Plan. Sci. Lett.*, 218, 77-90.

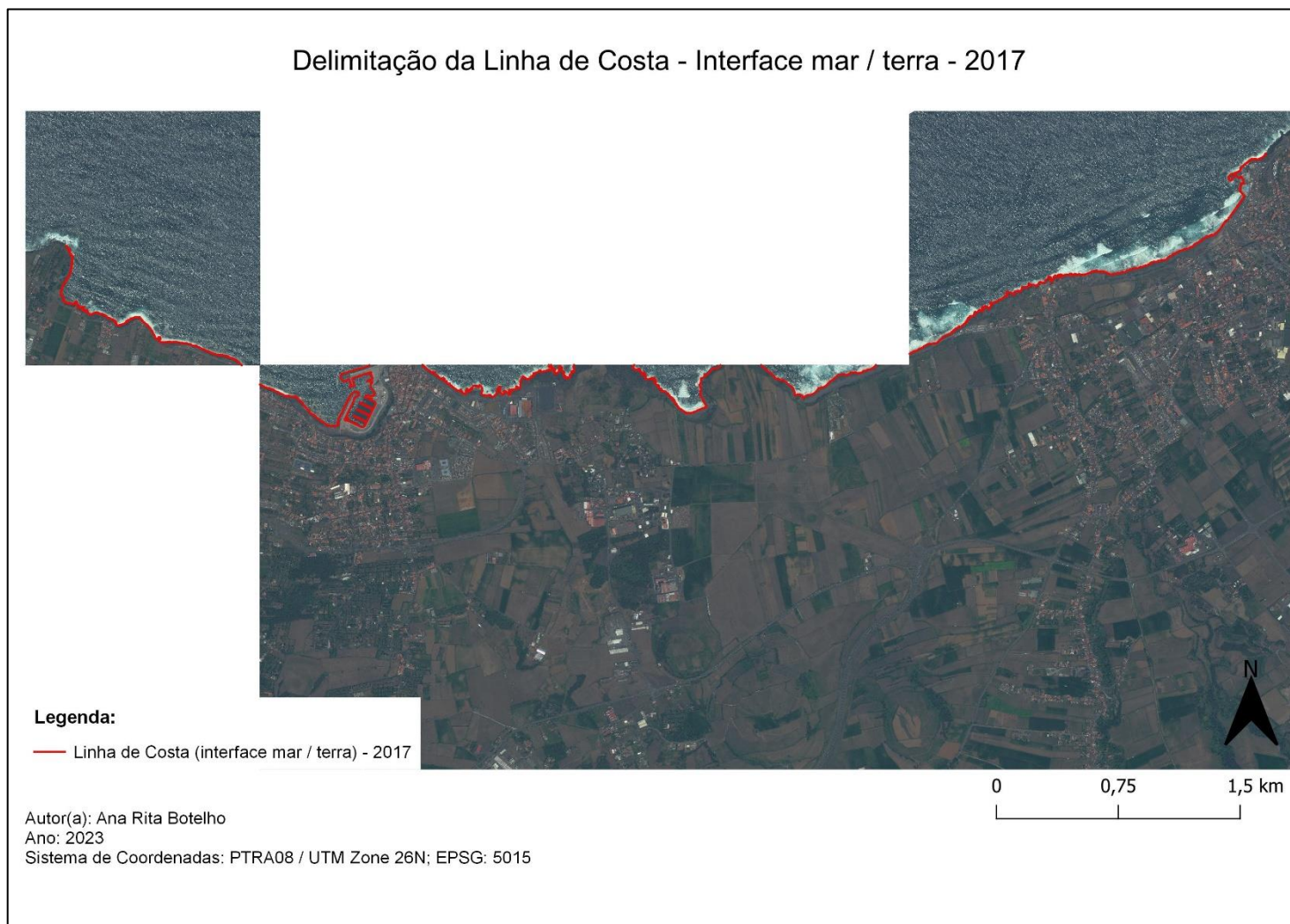
W

Wallenstein, N., (1999). *Estudo da História Recente e do Comportamento Eruptivo do Vulcão do Fogo (S.Miguel, Açores). Avaliação Preliminar do Hazard*. Tese de Doutoramento no Ramo de Geologia Especialidade de Vulcanologia. Universidade dos Açores, Departamento de Geociências.

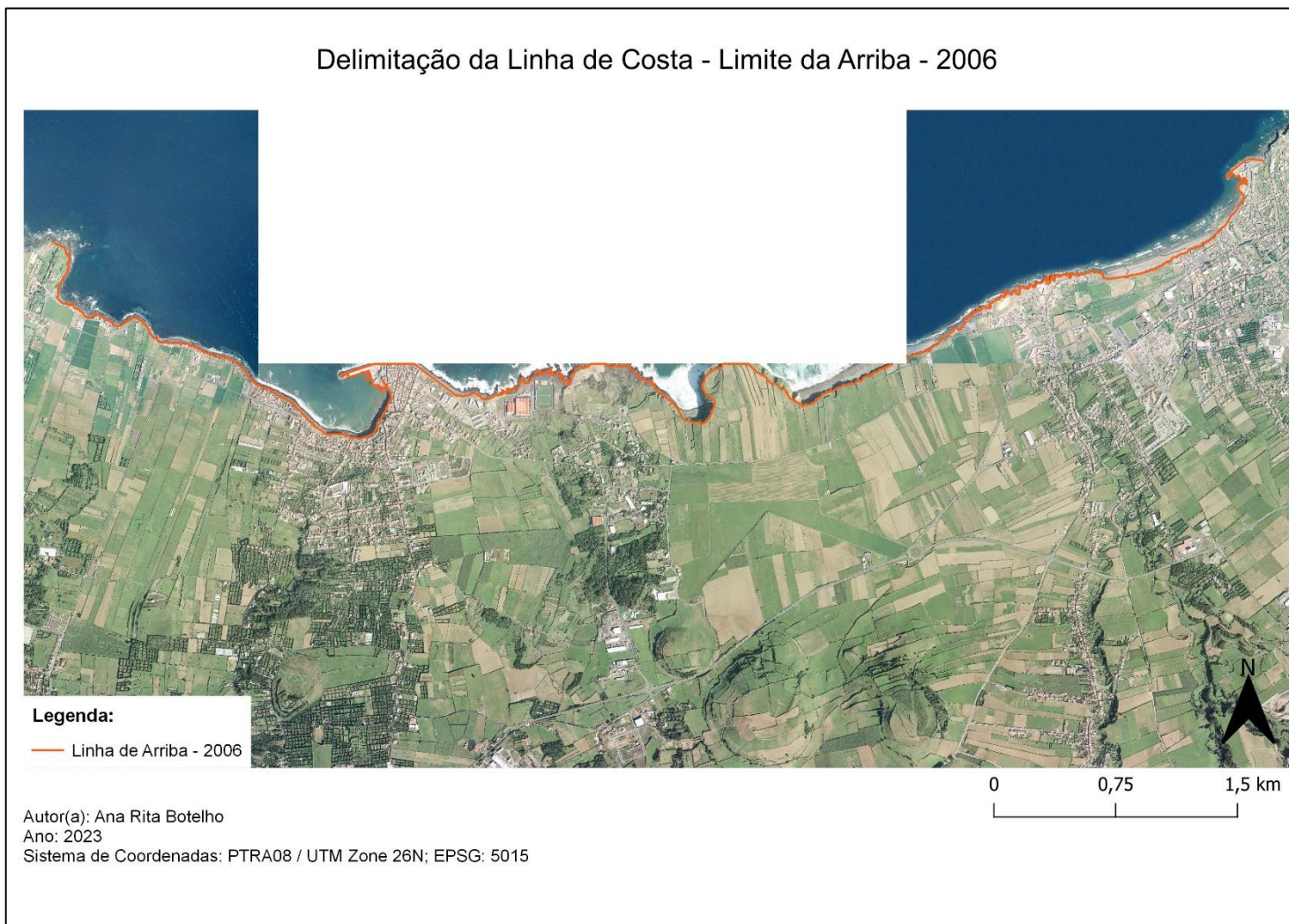
Anexos

ANEXO I – Delimitação da Linha de Costa – Interface mar / terra 2006

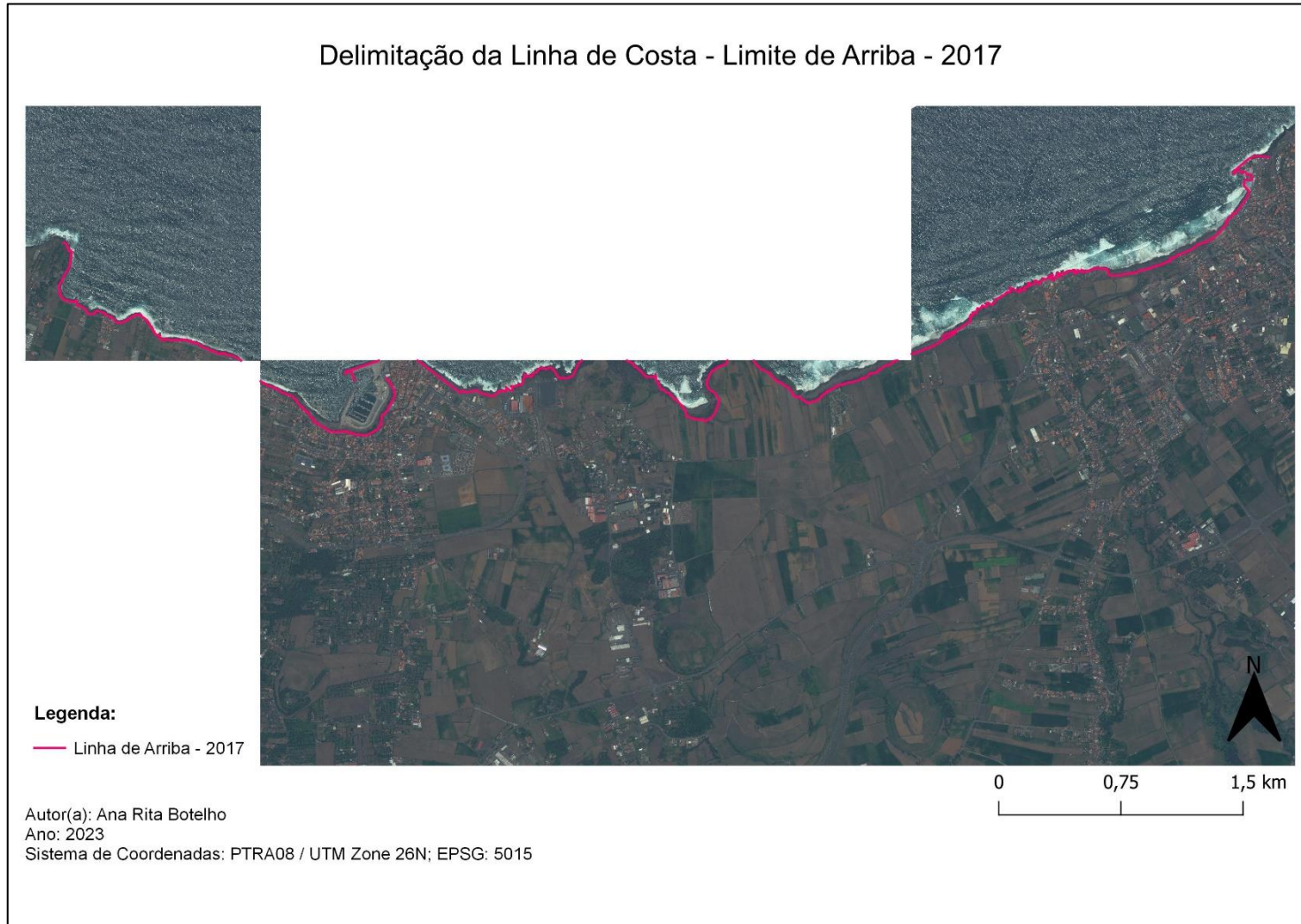


ANEXO II - Delimitação da Linha de Costa – Interface mar / terra 2017

ANEXO III – Delimitação da Linha de Costa – Limite da Arriba 2006

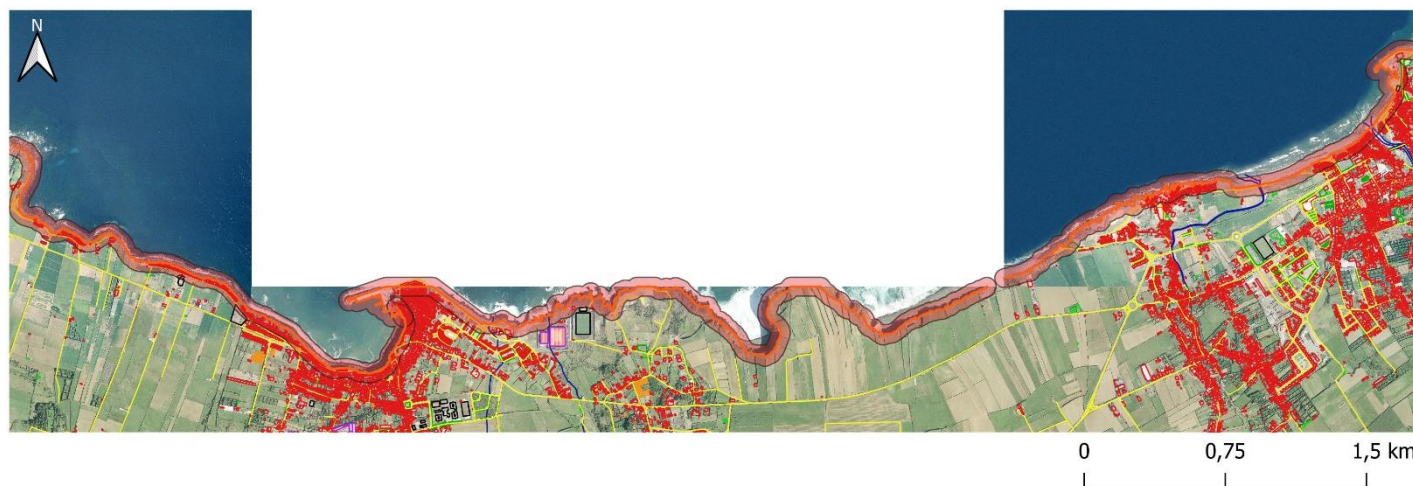


ANEXO IV - Delimitação da Linha de Costa – Limite da Arriba 2017



ANEXO V – Edificado e Infraestruturas 2006

Elementos Urbanos na Área de Estudo - Ano de 2006



Legenda:

- | | | |
|--------------------------|----------------------------|-------------------------|
| — Linha de Arriba - 2006 | — Outras Construções | — Igrejas |
| ■ Raio de 50 m | — Ruínas | — Linhas Água |
| Cartografia de 2006 | — Capelas | — Pontes |
| Elementos: | — Cemitérios | — Recintos Desportivos |
| — Barracas | — Bombeiros | — Edifícios Industriais |
| — Edificações | — Edifícios em Construção | — Estufas |
| — Escolas | — Estabelecimentos Público | — Chafarizes |
| — Eixo de Via | — Estacionamentos | |

Autor(a): Ana Rita Botelho
Ano: 2023

Sistema de Coordenadas: PTR08 / UTM Zone 26N; EPSG: 5015

ANEXO VI – Edificado e Infraestruturas 2017

Elementos Urbanos na Área de Estudo - Ano de 2017

**Legenda:**

— Linha de Arriba - 2017	— Outras Construções	— Recintos Desportivos
■ Raio de 50 m	— Ruínas	— Edifícios Industriais
— Cartografia de 2017	— Capelas	— Estufas
— Elementos:	— Cemitério	— Igrejas
— Barracas	— Edifícios em Construção	— Chafarizes
— Edificações	— Estabelecimentos Público	
— Eixo de Via	— Estacionamentos	
— Escolas	— Linha Água	

Autor(a): Ana Rita Botelho

Ano: 2023

Sistema de Coordenadas: PTR08 / UTM Zone 26N; EPSG: 5015

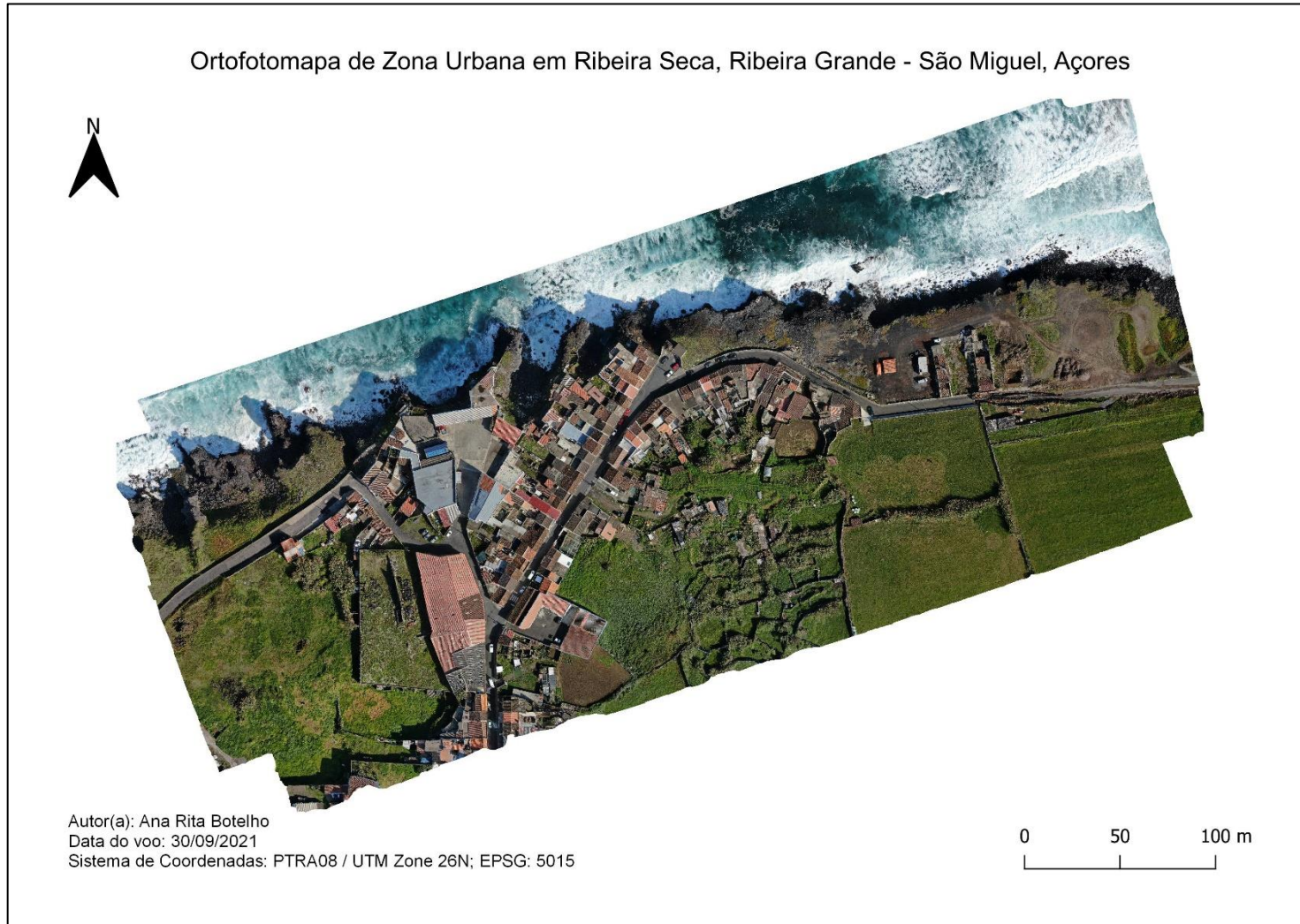
ANEXO VII – Ortofotomapa de Zona Urbana em Rabo de Peixe

Ortofotomapa de Zona Urbana em Rabo de Peixe, Ribeira Grande - São Miguel, Açores



Autor(a): Ana Rita Botelho
Data do voo: 30/09/2021
Sistema de Coordenadas: PTRAO8 / UTM Zone 26N; EPSG: 5015

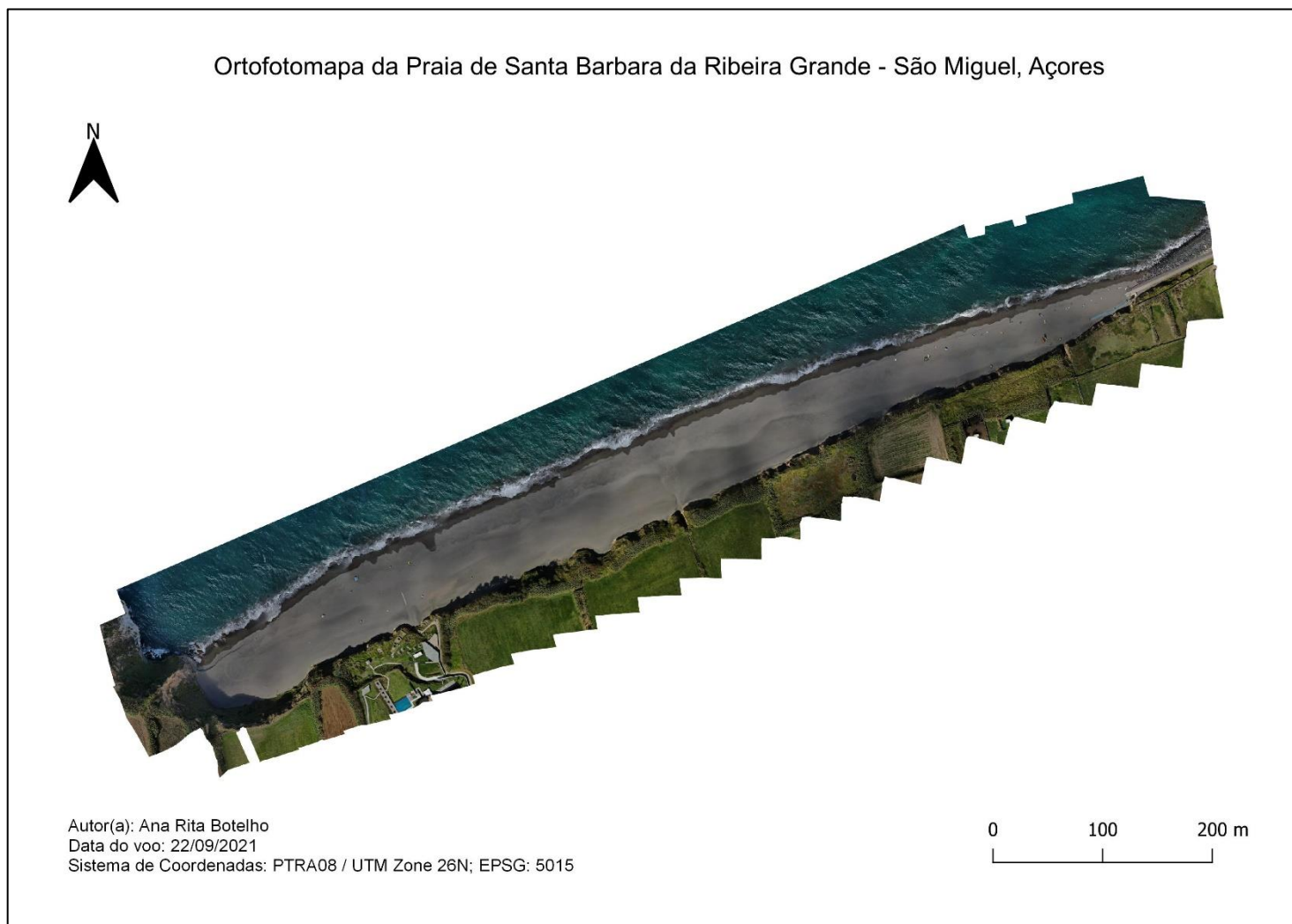
ANEXO VIII – Ortofotomapa de Zona Urbana em Ribeira Seca



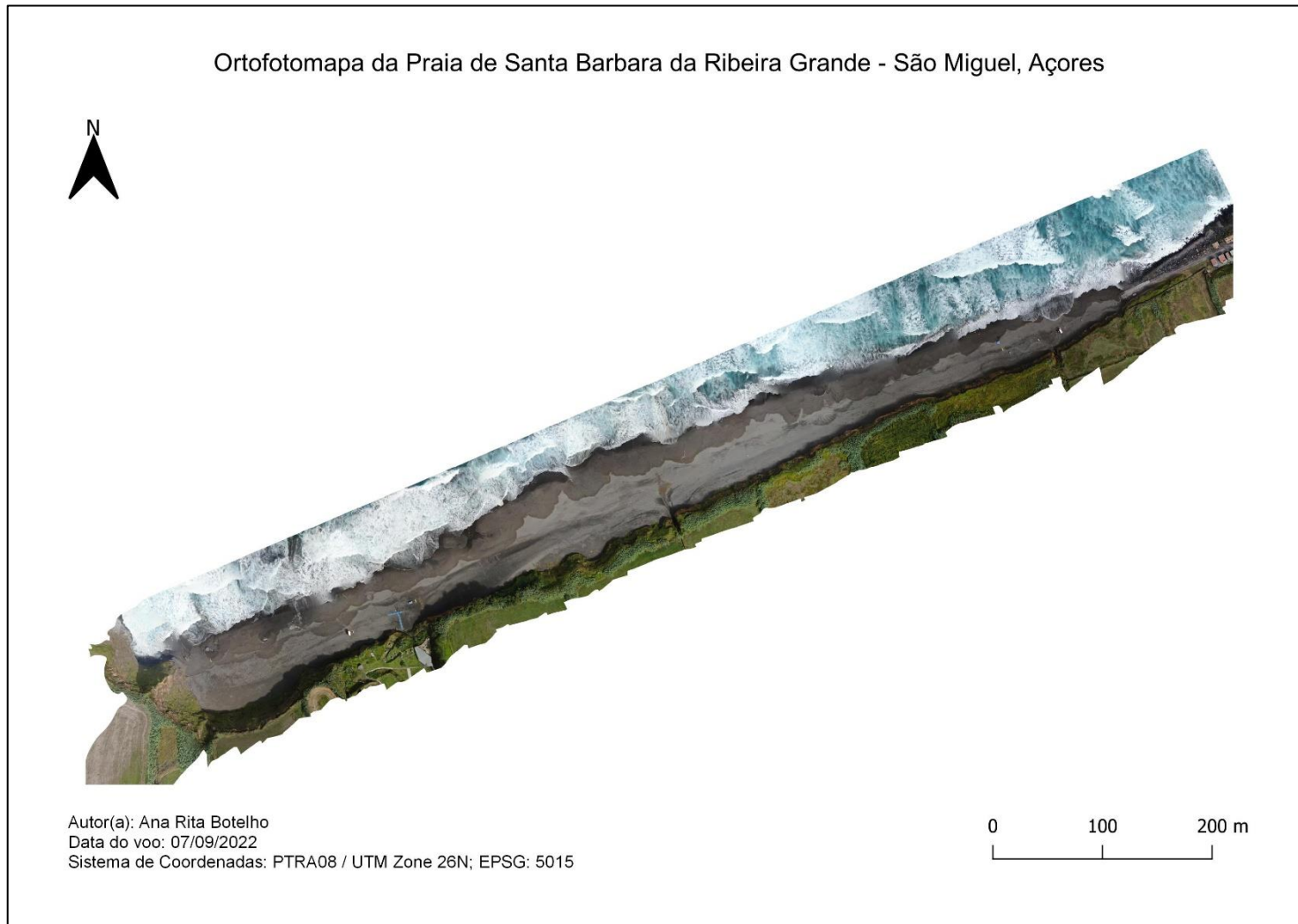
ANEXO IX – Ortofotomapa da Praia de Santa Bárbara – 1.º Levantamento



ANEXO X – Ortofotomapa da Praia de Santa Bárbara – 2.º Levantamento

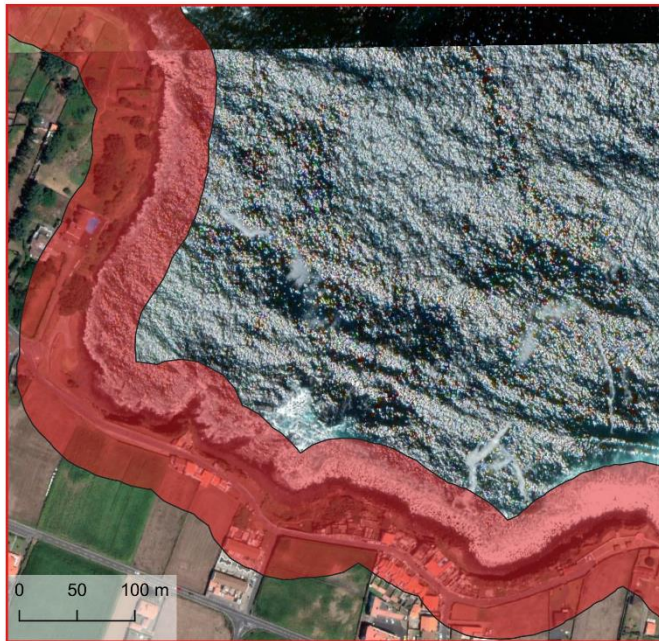


ANEXO XI – Ortofotomapa da Praia de Santa Bárbara – 3.º Levantamento




ANEXO XII – Localização do Setor 1

Localização do Setor 1 da Área de Estudo

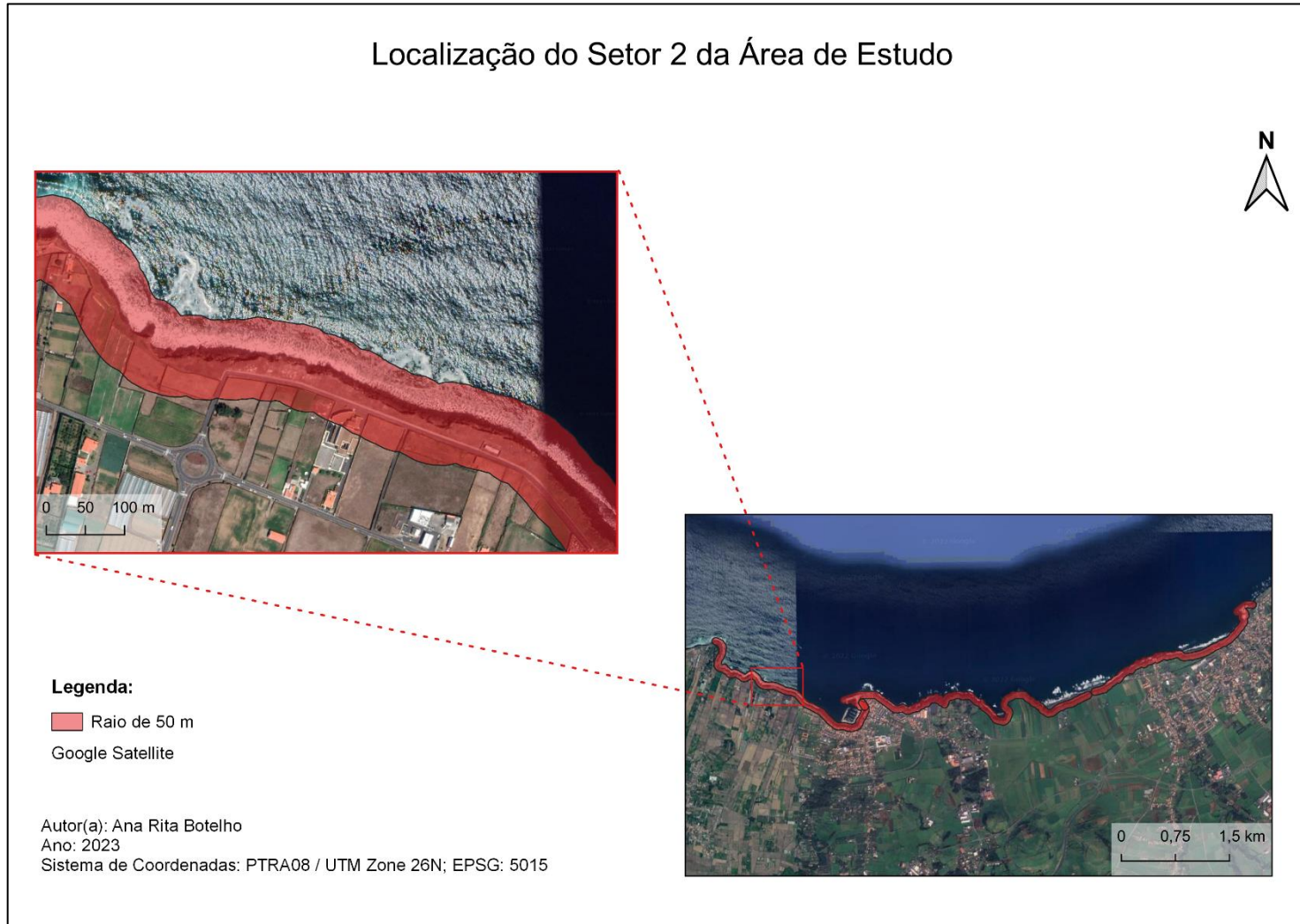


Legenda:

-  Raio de 50 m
- Google Satellite

Autor(a): Ana Rita Botelho
Ano: 2023
Sistema de Coordenadas: PTRAO8 / UTM Zone 26N; EPSG: 5015

ANEXO XIII - Localização do Setor 2




ANEXO XIV - Localização do Setor 3

Localização do Setor 3 da Área de Estudo



Legenda:

 Raio de 50 m

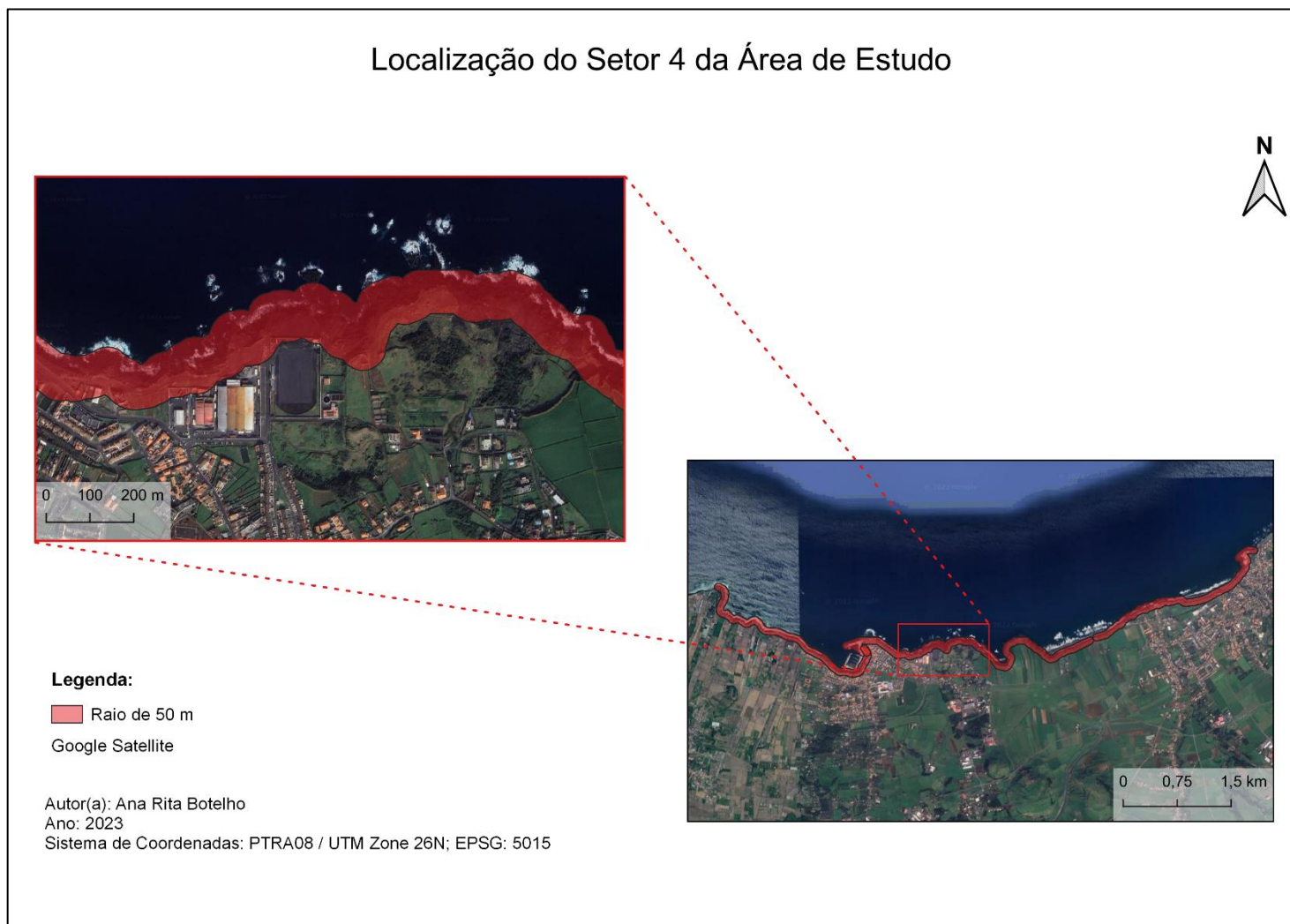
Google Satellite

Autor(a): Ana Rita Botelho

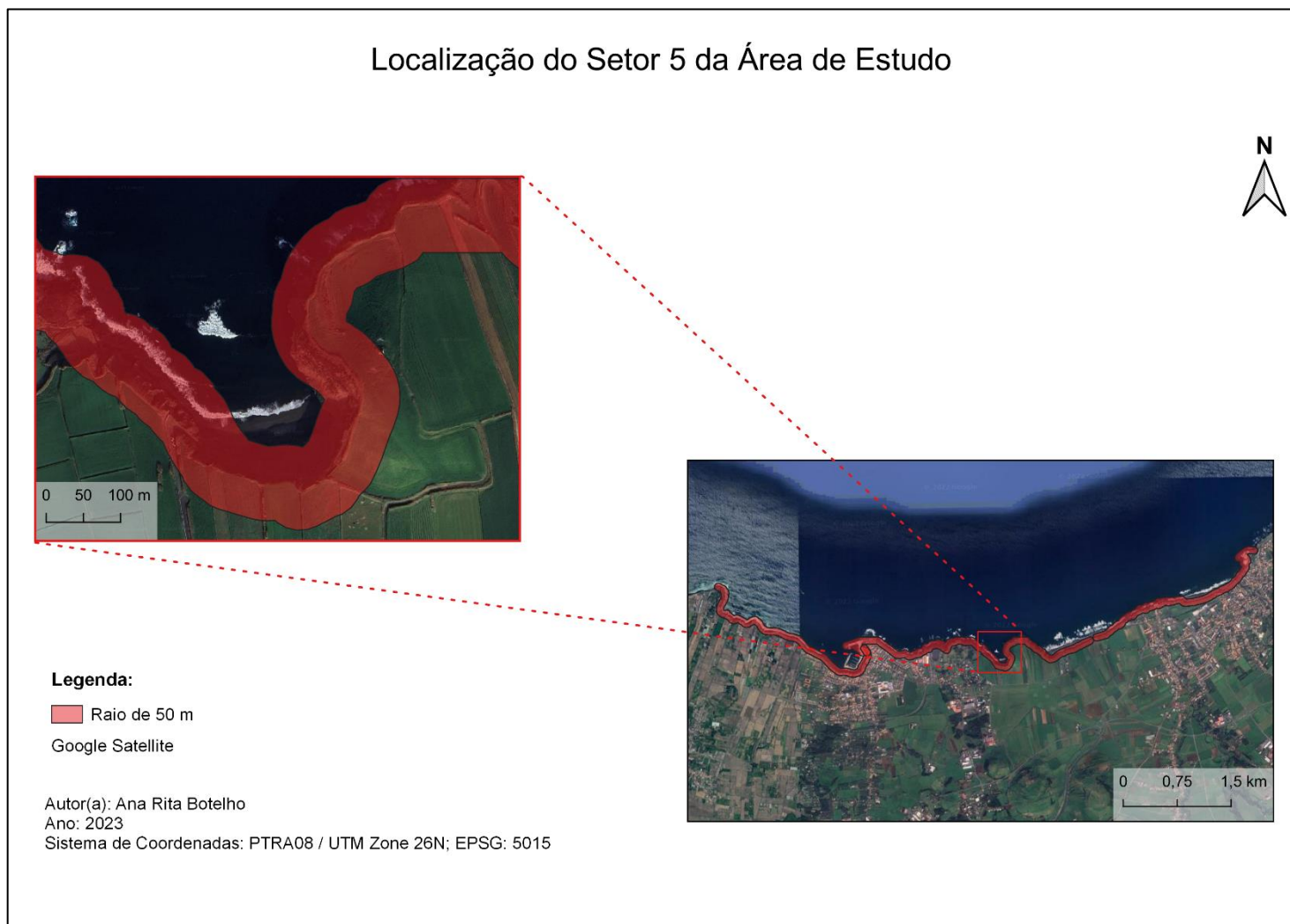
Ano: 2023

Sistema de Coordenadas: PTRAO8 / UTM Zone 26N; EPSG: 5015

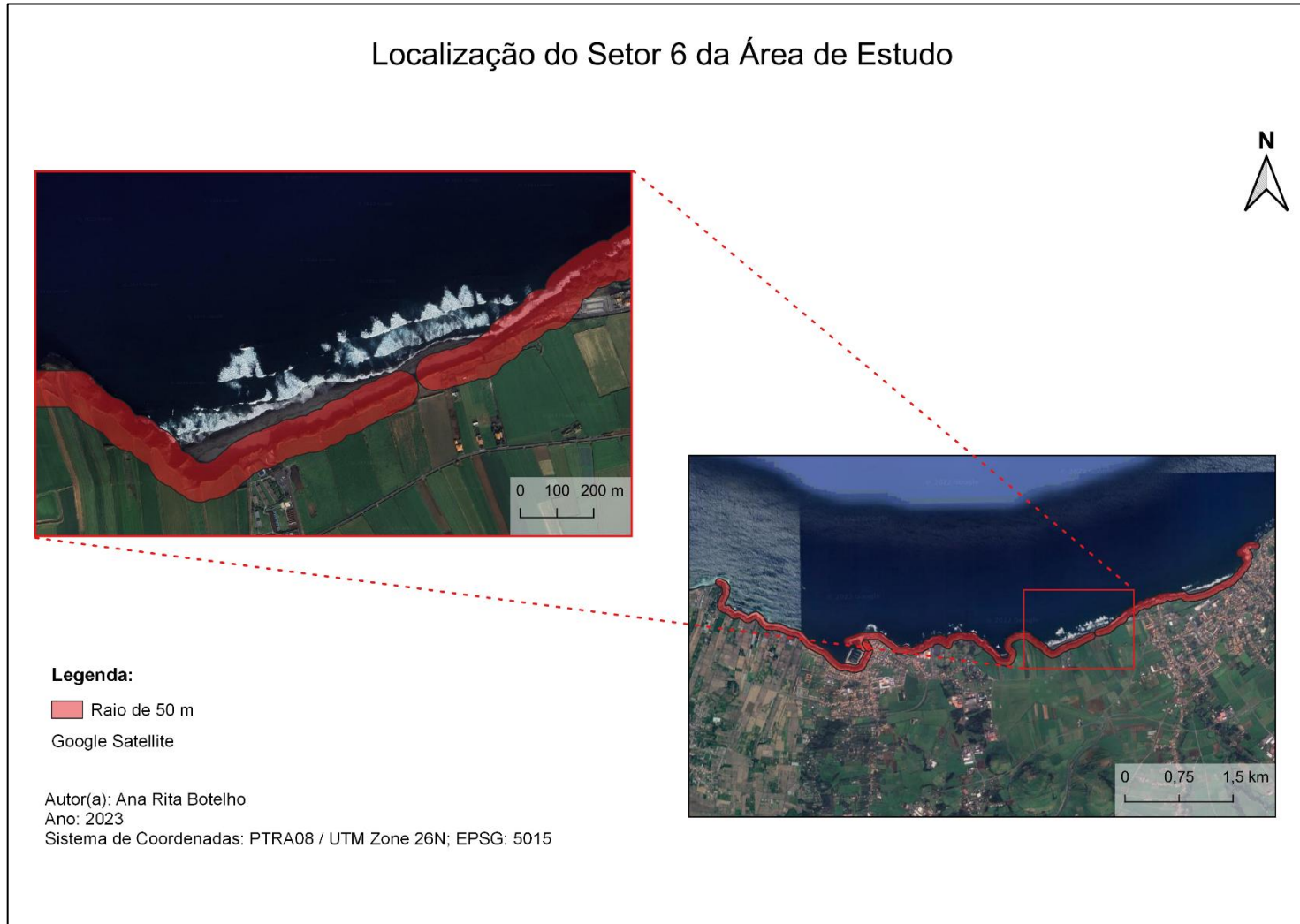
ANEXO XV - Localização do Setor 4



ANEXO XVI - Localização do Setor 5



ANEXO XVII - Localização do Setor 6




ANEXO XVIII - Localização do Setor 7

Localização do Setor 7 da Área de Estudo



Legenda:

 Raio de 50 m

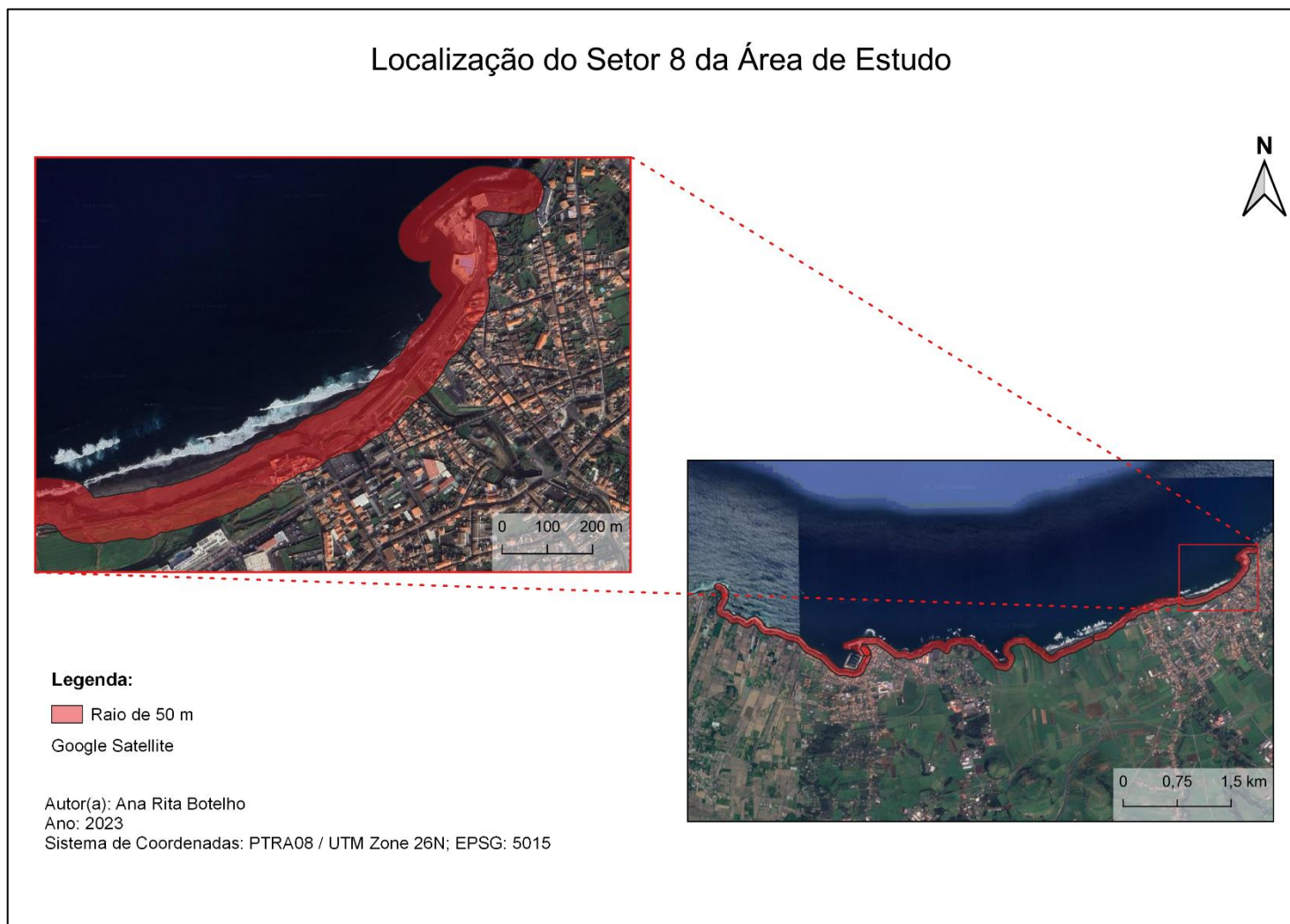
Google Satellite

Autor(a): Ana Rita Botelho

Ano: 2023

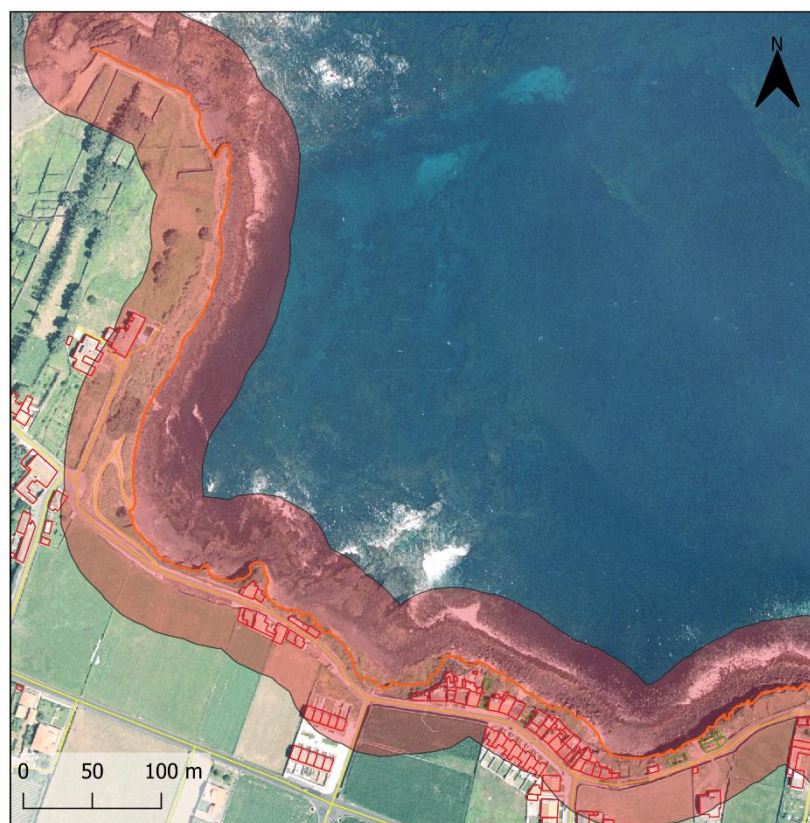
Sistema de Coordenadas: PTRAO8 / UTM Zone 26N; EPSG: 5015

ANEXO XIX - Localização do Setor 8



ANEXO XX – Edificado e Infraestruturas no Setor 1 - 2006

Setor 1 - Calhetas, Ribeira Grande - São Miguel, Açores - Ano de 2006

**Legenda:**

— Linha de Arriba - 2006

■ Raio de 50 m

Cartografia de 2006**Elementos:**

— Barracas

— Edificações

— Eixo de Via

— Outras Construções

— Ruínas

Autor(a): Ana Rita Botelho

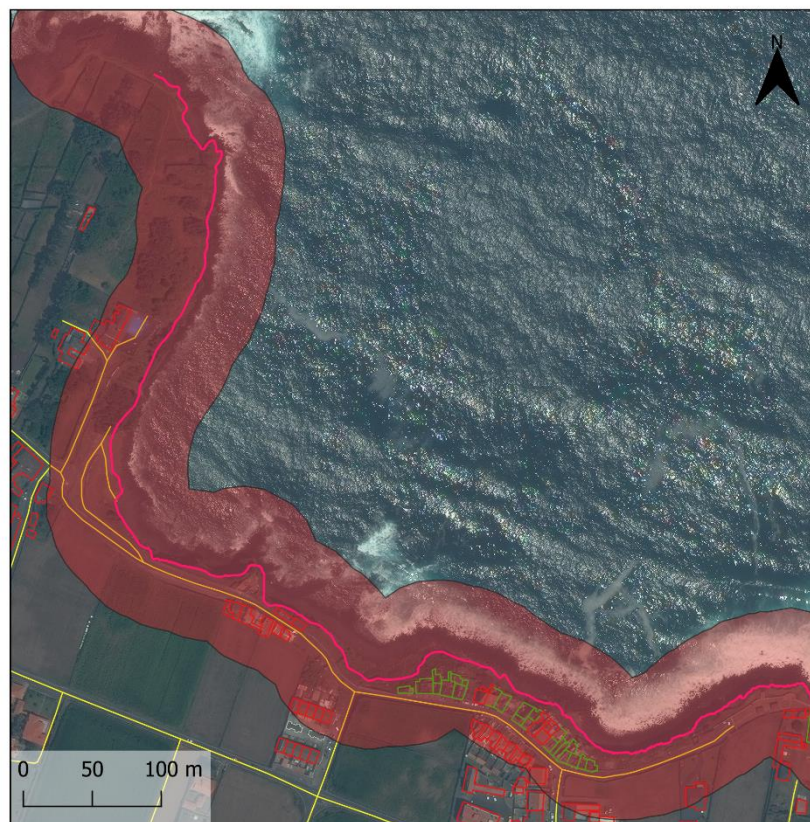
Ano: 2023

Sistema de Coordenadas: PTR08 / UTM Zone 26N;

EPSG: 5015

ANEXO XXI – Edificado e Infraestruturas no Setor 1 - 2017

Setor 1 - Calhetas, Ribeira Grande - São Miguel, Açores - Ano de 2017

**Legenda:**

— Linha de Arriba - 2017

■ Raio de 50 m

Cartografia de 2017**Elementos:**

— Barracas

— Edificações

— Eixo de Via

— Outras Construções

— Ruínas

Autor(a): Ana Rita Botelho

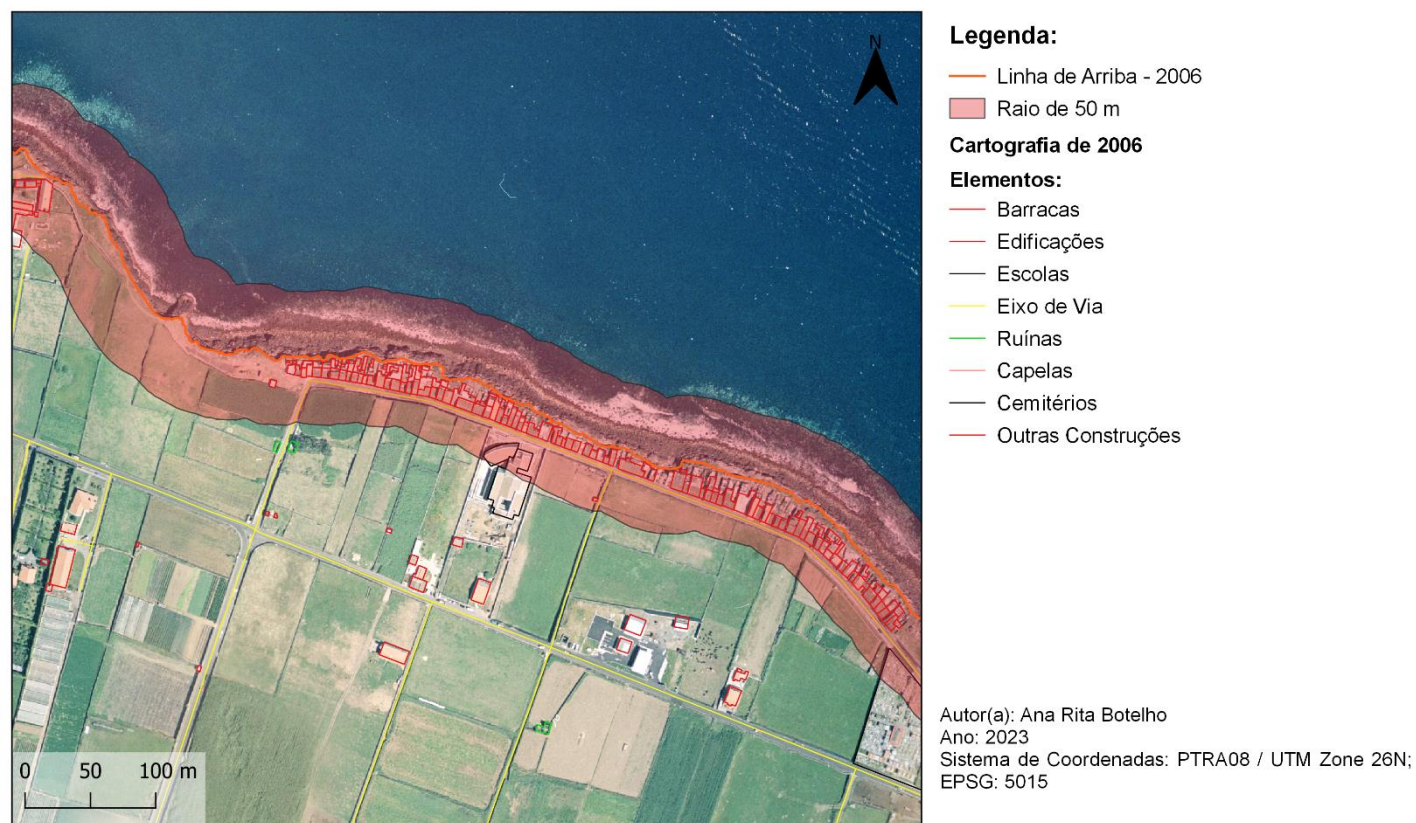
Ano: 2023

Sistema de Coordenadas: PTRAO8 / UTM Zone 26N;

EPSG: 5015

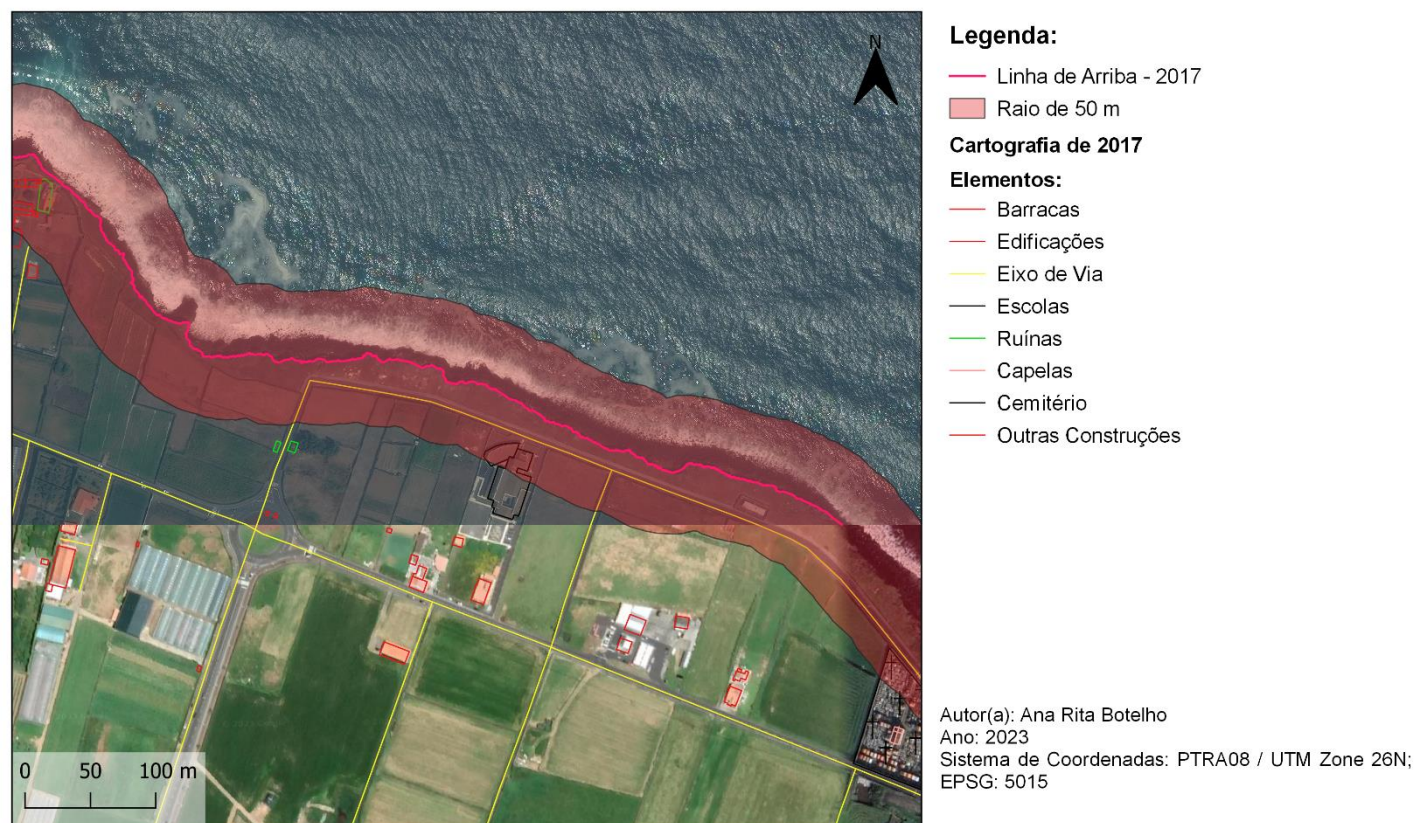
ANEXO XXII – Edificado e Infraestruturas no Setor 2 - 2006

Setor 2 - Rabo de Peixe, Ribeira Grande - São Miguel, Açores - Ano de 2006



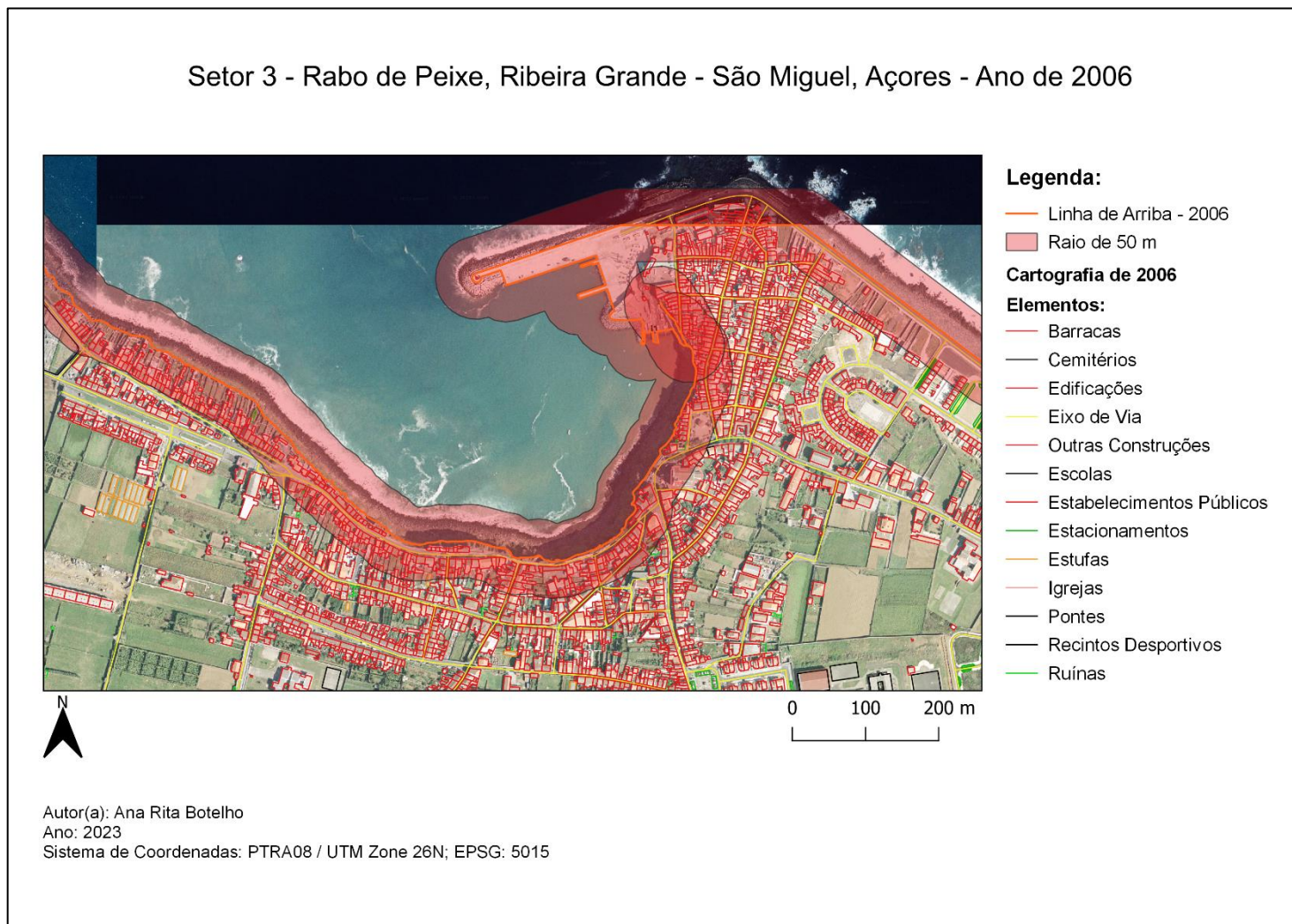
ANEXO XXIII – Edificado e Infraestruturas no Setor 2 - 2017

Setor 2 - Rabo de Peixe, Ribeira Grande - São Miguel, Açores - Ano de 2017



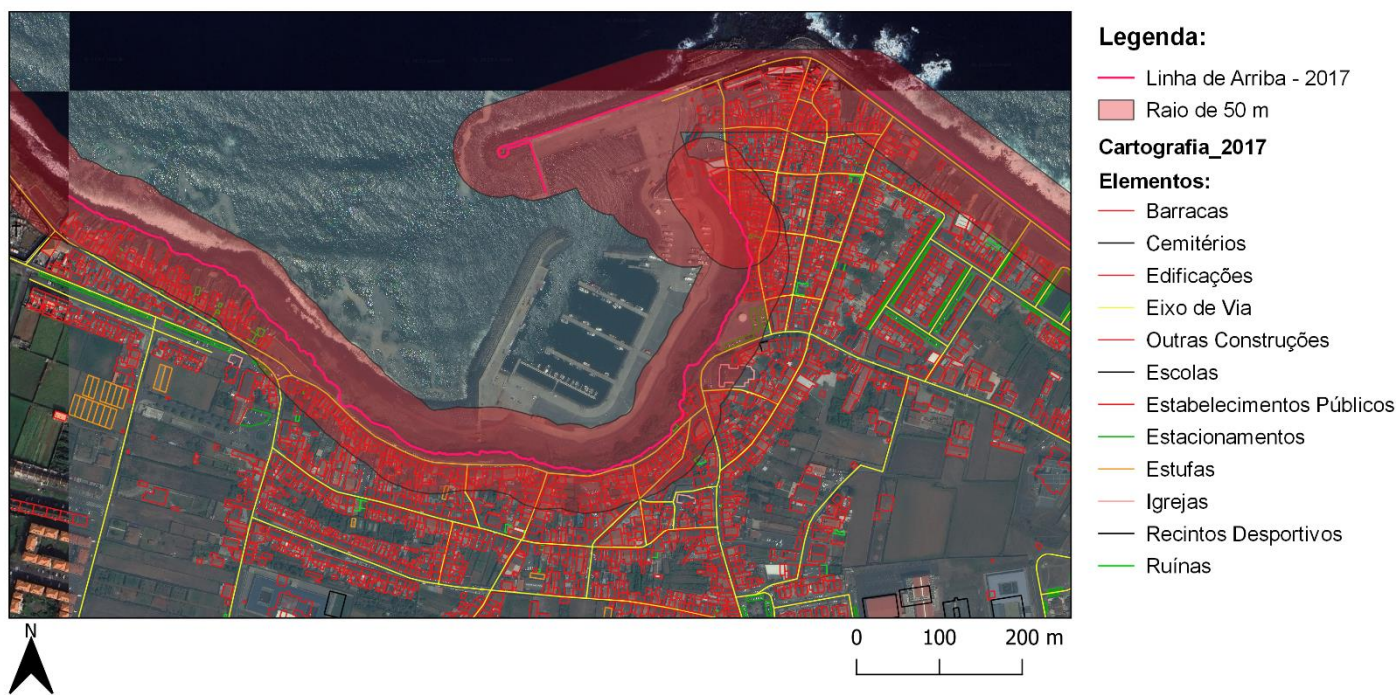
ANEXO XXIV – Edificado e Infraestruturas no Setor 3 – 2006

Setor 3 - Rabo de Peixe, Ribeira Grande - São Miguel, Açores - Ano de 2006



ANEXO XXV – Edificado e Infraestruturas no Setor 3 – 2017

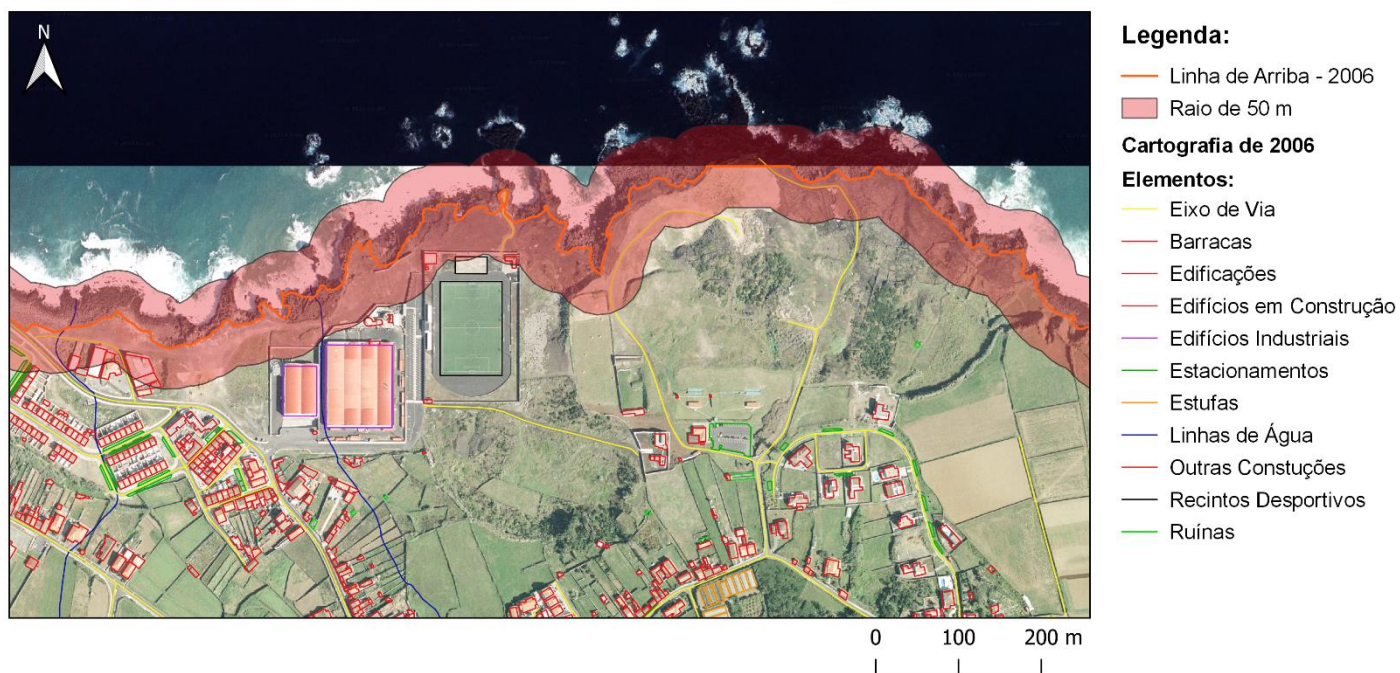
Setor 3 - Rabo de Peixe, Ribeira Grande - São Miguel, Açores - Ano de 2017



Autor(a): Ana Rita Botelho
Ano: 2023
Sistema de Coordenadas: PTR08 / UTM Zone 26N; EPSG: 5015

ANEXO XXVI – Edificado e Infraestruturas no Setor 4 – 2006

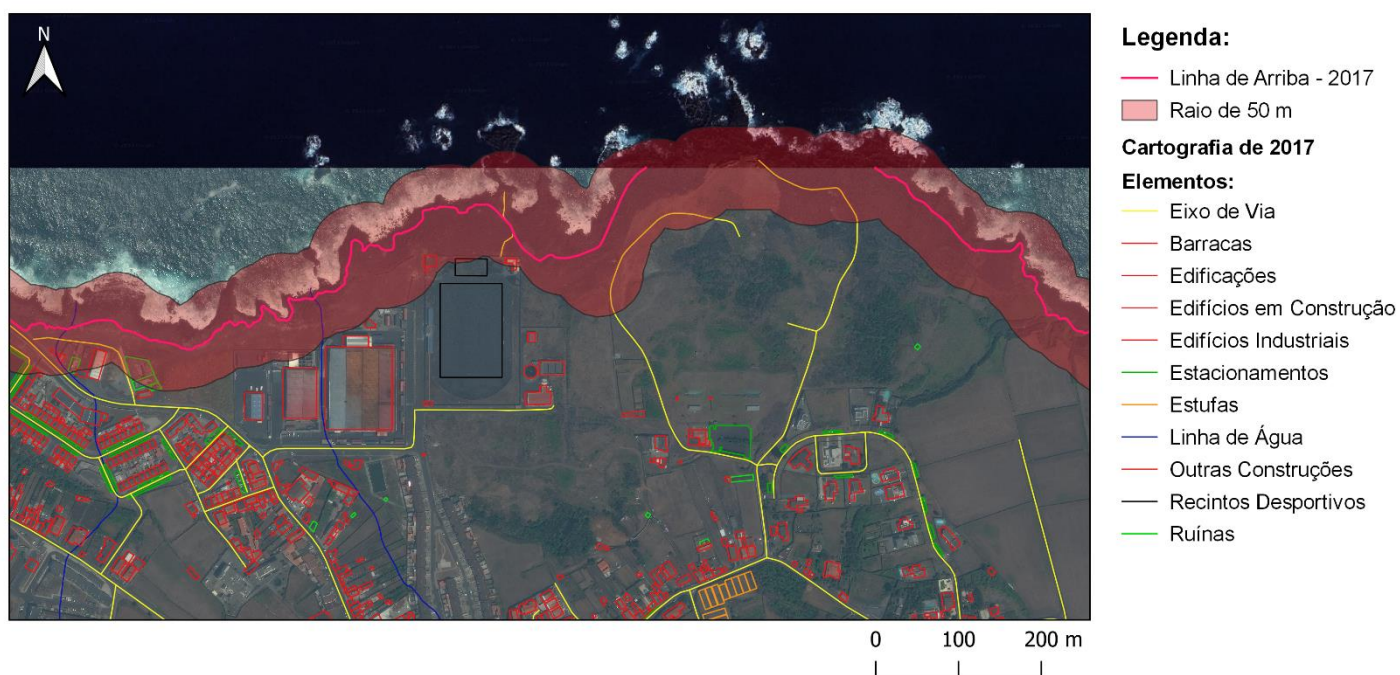
Setor 4 - Rabo de Peixe, Ribeira Grande - São Miguel, Açores - Ano de 2006



Autor(a): Ana Rita Botelho
Ano: 2023
Sistema de Coordenadas: PTRAO8 / UTM Zone 26N; EPSG: 5015

ANEXO XXVII – Edificado e Infraestruturas no Setor 4 – 2017

Setor 4 - Rabo de Peixe, Ribeira Grande - São Miguel, Açores - Ano de 2017



Autor(a): Ana Rita Botelho
Ano: 2023
Sistema de Coordenadas: PTRAO8 / UTM Zone 26N; EPSG: 5015

ANEXO XXVIII – Edificado e Infraestruturas no Setor 5 – 2006

Setor 5 - Rabo de Peixe, Ribeira Grande - São Miguel, Açores - Ano de 2006

**Legenda:**

— Linha de Arriba - 2006

■ Raio de 50 m

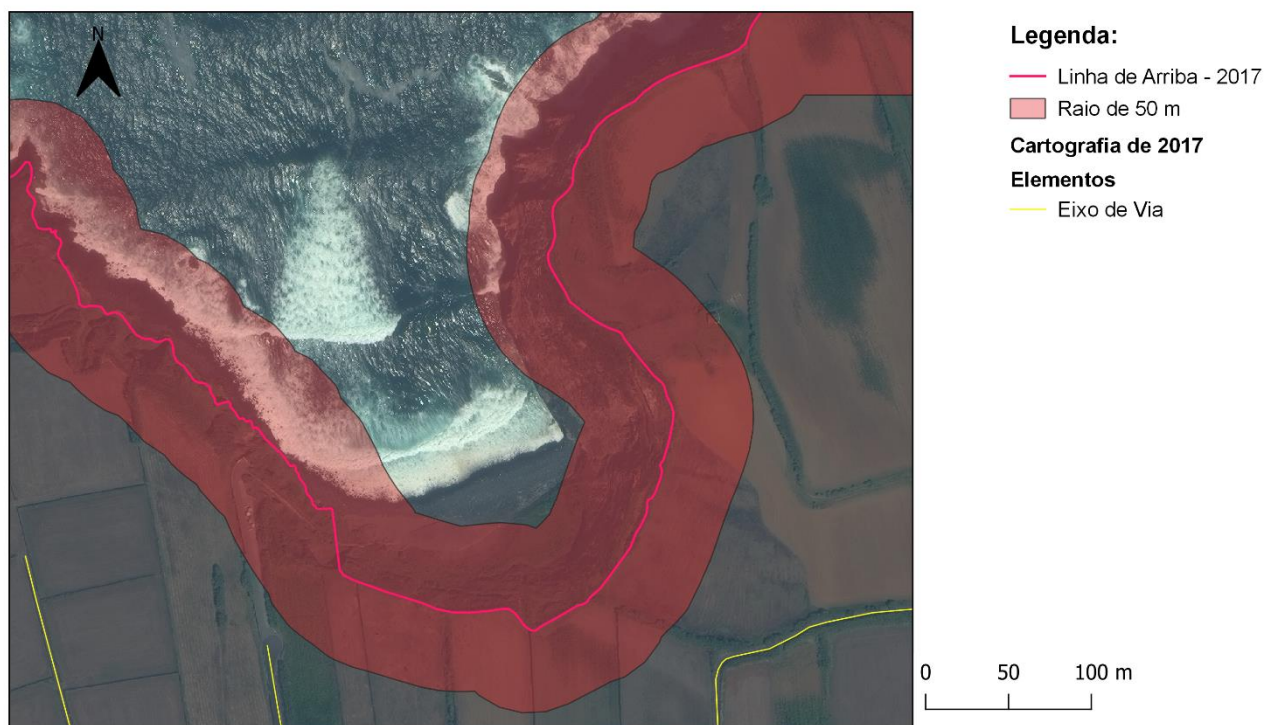
Cartografia de 2006**Elementos:**

— Eixo de Via

Autor(a): Ana Rita Botelho
Ano: 2023
Sistema de Coordenadas: PTR08 / UTM Zone 26N; EPSG: 5015

ANEXO XXIX – Edificado e Infraestruturas no Setor 5 – 2017

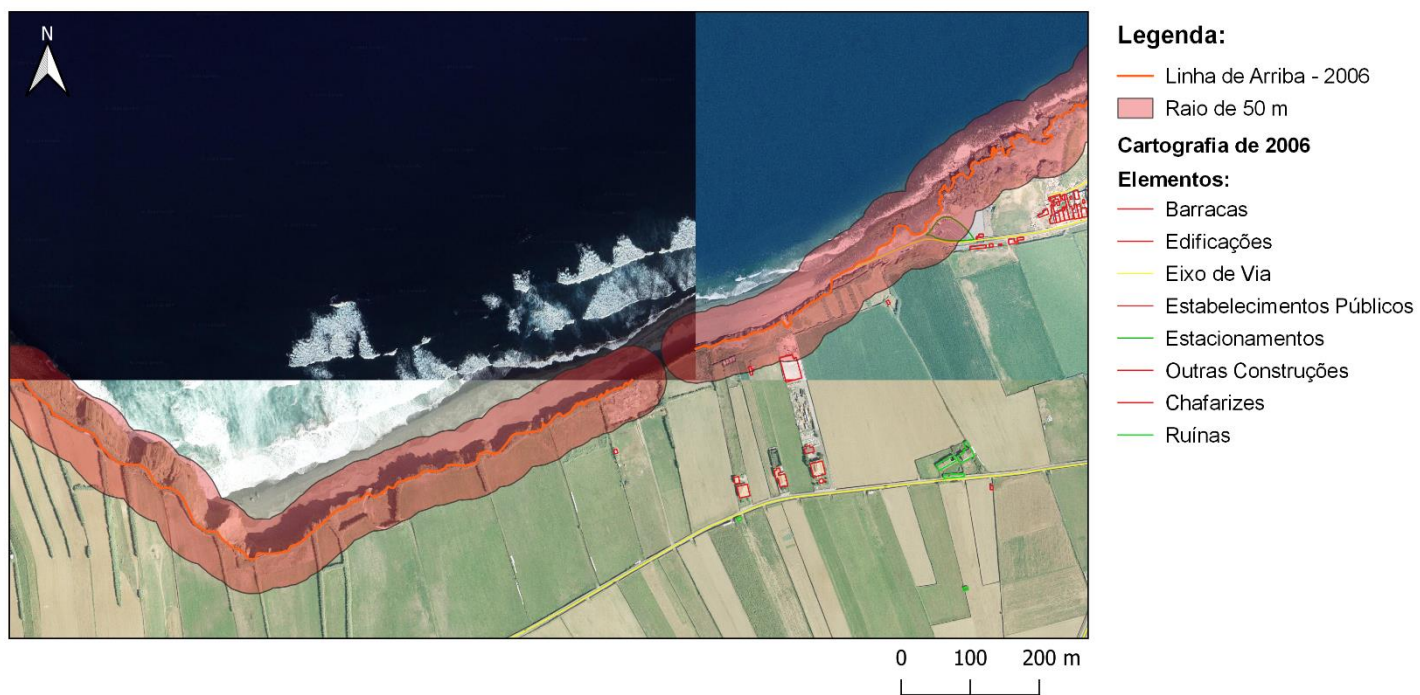
Setor 5 - Rabo de Peixe, Ribeira Grande - São Miguel, Açores - Ano de 2017



Autor(a): Ana Rita Botelho
Ano: 2023
Sistema de Coordenadas: PTR08 / UTM Zone 26N; EPSG: 5015

ANEXO XXX – Edificado e Infraestruturas no Setor 6 – 2006

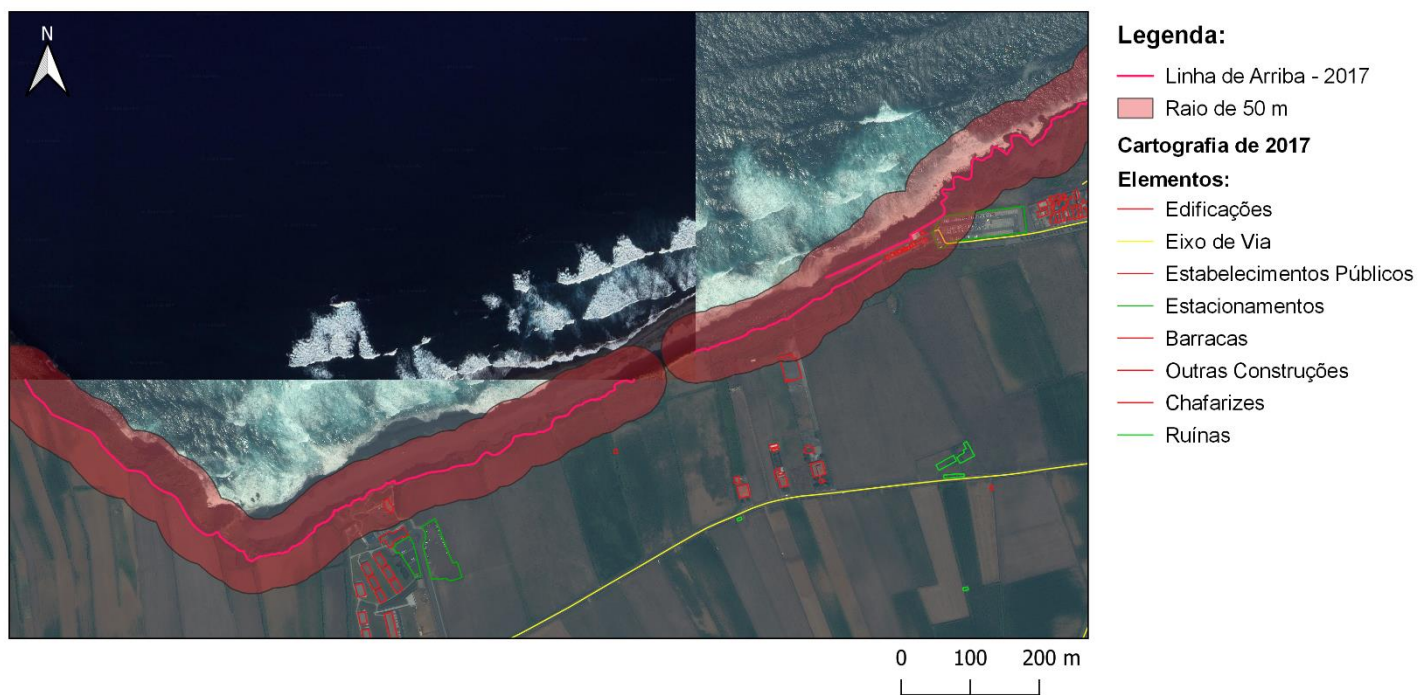
Setor 6 - Ribeira Seca, Ribeira Grande - São Miguel, Açores - Ano de 2006



Autor(a): Ana Rita Botelho
Ano: 2023
Sistema de Coordenadas: PTRAO8 / UTM Zone 26N; EPSG: 5015

ANEXO XXXI – Edificado e Infraestruturas no Setor 6 – 2017

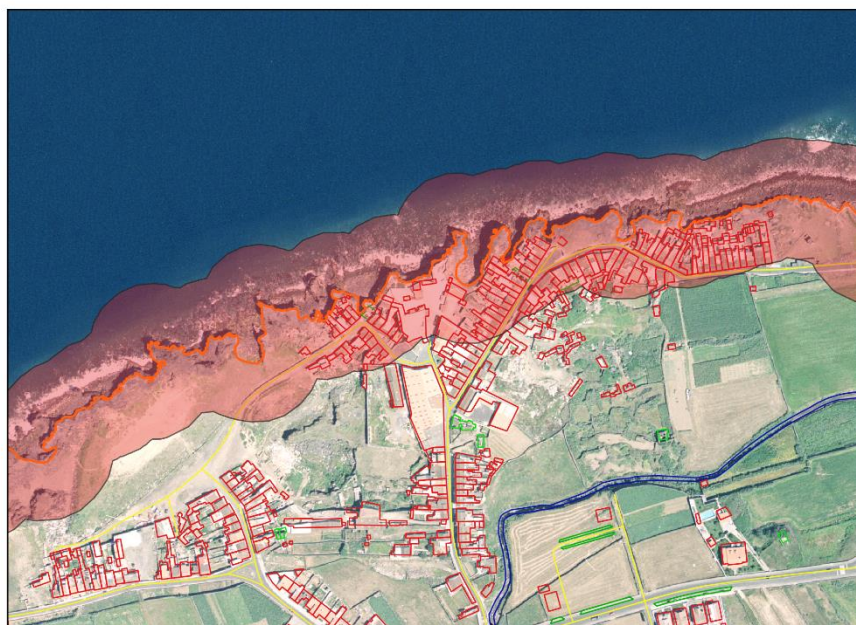
Setor 6 - Ribeira Seca, Ribeira Grande - São Miguel, Açores - Ano de 2017



Autor(a): Ana Rita Botelho
Ano: 2023
Sistema de Coordenadas: PTRAO8 / UTM Zone 26N; EPSG: 5015

ANEXO XXXII – Edificado e Infraestruturas no Setor 7 – 2006

Setor 7 - Ribeira Seca, Ribeira Grande - São Miguel, Açores - Ano de 2006

**Legenda:**

- Linha de Arriba - 2006
- Raio de 50 m

Cartografia de 2006**Elementos:**

- Barracas
- Capelas
- Edificações
- Edifícios em Construção
- Eixo de Via
- Estabelecimentos Públicos
- Estacionamentos
- Linha de Água
- Outras Construções
- Pontes
- Ruínas

0 50 100 m

Autor(a): Ana Rita Botelho
Ano: 2023
Sistema de Coordenadas: PTRAO8 / UTM Zone 26N; EPSG: 5015

ANEXO XXXIII – Edificado e Infraestruturas no Setor 7 – 2017

Setor 7 - Ribeira Seca, Ribeira Grande - São Miguel, Açores - Ano de 2017

**Legenda:**

- Linha de Arriba - 2017
- Raio de 50 m

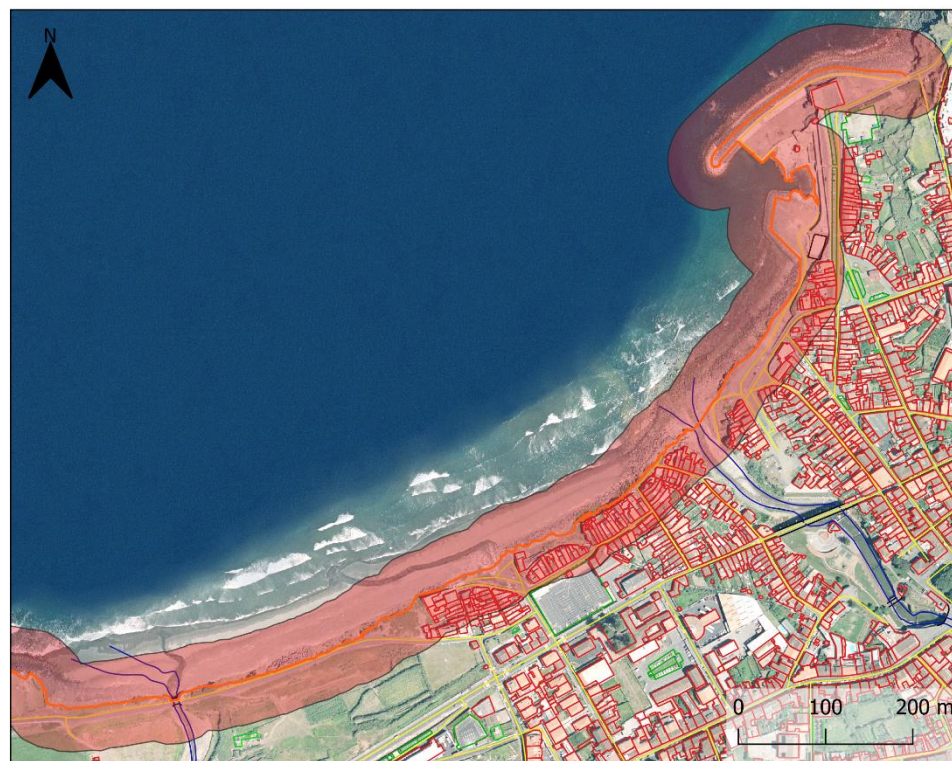
Cartografia de 2017**Elementos:**

- Barracas
- Capelas
- Edifícios em Construção
- Edificações
- Eixo de Via
- Estabelecimentos Públicos
- Estacionamentos
- Linha de Água
- Outras Construções
- Ruínas

Autor(a): Ana Rita Botelho
Ano: 2023
Sistema de Coordenadas: PTRAO8 / UTM Zone 26N; EPSG: 5015

ANEXO XXXIV – Edificado e Infraestruturas no Setor 8 – 2006

Setor 8 - Conceição e Matriz, Ribeira Grande - São Miguel, Açores - Ano de 2006

**Legenda:**

— Linha de Arriba - 2006

■ Raio de 50 m

Cartografia de 2006**Elementos**

— Barracas

— Bombeiros

— Capelas

— Edificações

— Edifícios em Construção

— Eixo de Via

— Estabelecimentos Públicos

— Estacionamentos

— Igrejas

— Linhas de Água

— Outras Construções

— Pontes

— Recintos Desportivos

— Ruínas

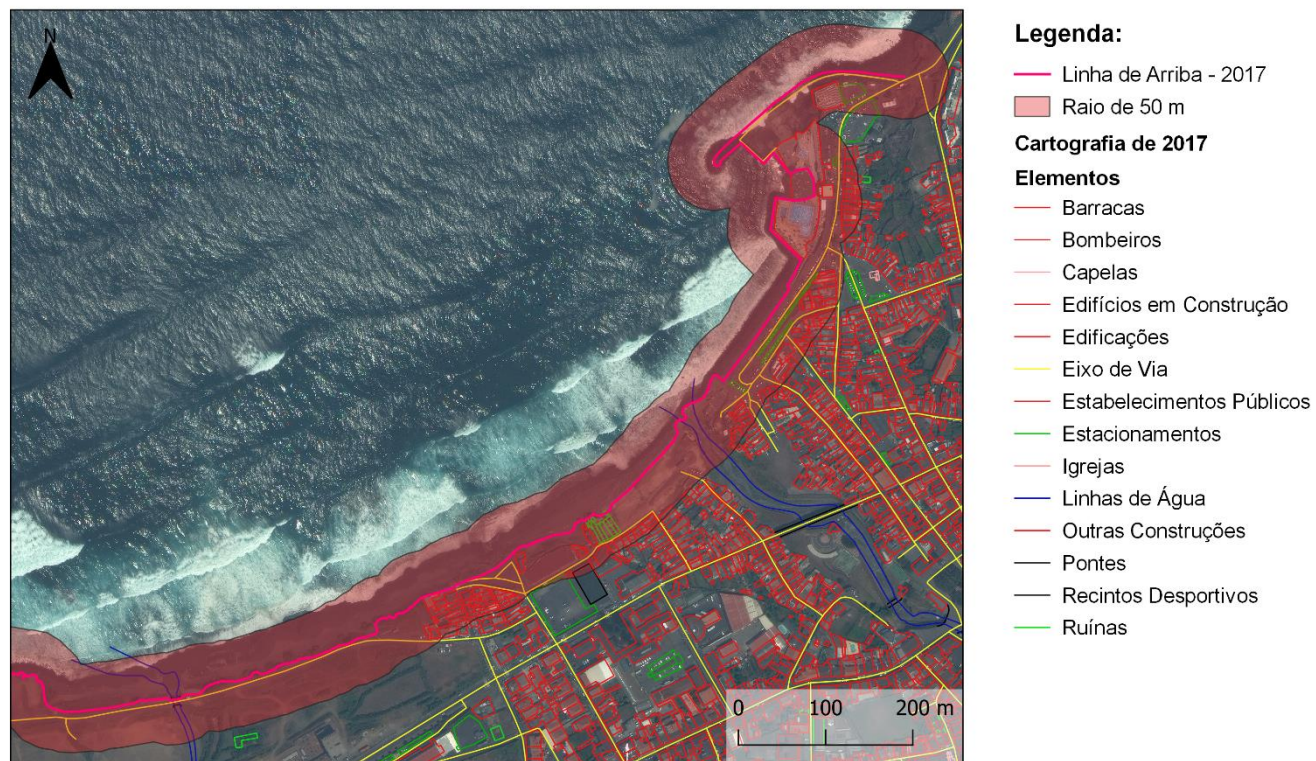
Autor(a): Ana Rita Botelho

Ano: 2023

Sistema de Coordenadas: PTR08 / UTM Zone 26N; EPSG: 5015

ANEXO XXXV – Edificado e Infraestruturas no Setor 8 – 2017

Setor 8 - Conceição e Matriz, Ribeira Grande - São Miguel, Açores - Ano de 2017



Autor(a): Ana Rita Botelho
Ano: 2023
Sistema de Coordenadas: PTR08 / UTM Zone 26N; EPSG: 5015

ANEXO XXXVI – Rasto da Demolição das Habitações no Setor 2

