

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

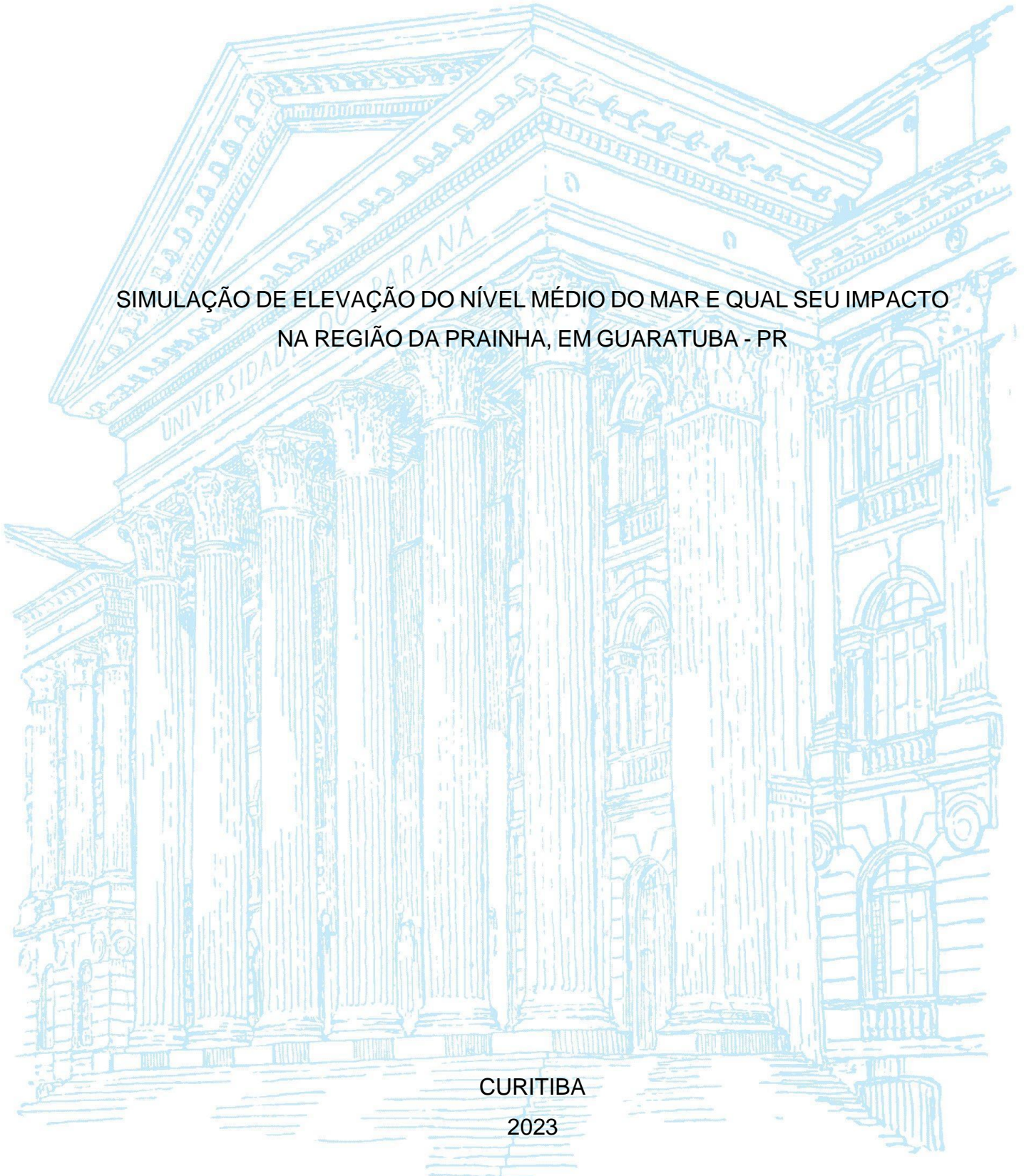
AMANDA TORRES

APOLO MICHENKO NUNES

SIMULAÇÃO DE ELEVAÇÃO DO NÍVEL MÉDIO DO MAR E QUAL SEU IMPACTO
NA REGIÃO DA PRAINHA, EM GUARATUBA - PR

CURITIBA

2023



AMANDA TORRES
APOLO MICHENKO NUNES

SIMULAÇÃO DE ELEVAÇÃO DO NÍVEL MÉDIO DO MAR E QUAL SEU IMPACTO
NA REGIÃO DA PRAINHA, EM GUARATUBA – PR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Orientadora: Prof^a. Dra. Regiane Dalazoana
Coorientador: Prof. Dr. Luis Augusto Koenig Veiga

CURITIBA

2023



Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências da Terra
Engenharia Cartográfica e de Agrimensura

TERMO DE APROVAÇÃO

AMANDA TORRES
APOLO MICHENKO NUNES

SIMULAÇÃO DE ELEVAÇÃO DO NÍVEL MÉDIO DO MAR E QUAL SEU IMPACTO NA REGIÃO
DA PRAINHA, EM GUARATUBA-PR

O Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, foi APROVADO como requisito à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Profª Drª Regiane Dalazoana

Orientador(a) – Departamento de Geomática, UFPR

Profª Drª Ana Paula Baungarten Kersting

Departamento de Geomática, UFPR

Profª Drª Naíssa Batista da Luz

Departamento de Geomática, UFPR

Curitiba, 15 de fevereiro de 2023.

Dedicamos esse trabalho a nós mesmos, pois apesar de toda a ajuda e apoio que recebemos, somente a força de vontade de obter conhecimento o tornou possível.

AGRADECIMENTOS

São tantos aos que devemos o nosso agradecimento, muito além de um trabalho de conclusão de curso, tivemos também uma longa trajetória até este desfecho.

Primeiramente temos que agradecer aqueles que nos deram a vida, aos nossos pais, que nos criaram para chegar aqui e vencer. E agradecer a família, aos irmãos de sangue e aos de caminhada, aqueles que cuidavam como pais, ou que dividiam os seus.

Agradecemos aos nossos orientadores por nos guiarem neste trabalho, por darem as últimas direções em meio a tantas outras rotas durante o curso, seja de cunho acadêmico, profissional ou pessoal. Somos gratos também aos demais professores por nos ensinarem o necessário para desenvolver não só o trabalho, mas também quem somos como profissionais.

Aos nossos companheiros, Luiz Otávio e Maria Fernanda, que nos apoiaram e deram essencial suporte, estando conosco na vida acadêmica e pessoal, nos estudos e na descontração, não nos deixando desistir.

Ao Seu Nilson pela boa hospitalidade nas reuniões e momentos de criação deste trabalho.

Aos nossos amigos, desde a infância até o "Chapadissimos", que participaram desde a criação do nosso caráter até as dúvidas de QGis, aqueles que estiveram com a gente em cada passo dessa caminhada, acompanhando de perto ou de longe, de casa, do ônibus, no discord ou no bar.

Às empresas, Prohawk e Ecotx Energy Data, que nos apoiaram no momento de construção do TCC, sendo pacientes e flexíveis. E menção aos nossos colegas que deram suporte a esse trabalho.

Ao Engenheiro Giovane pela ajuda com a realização do levantamento, e aos Engenheiros Giuvanna, Larissa, Matheus e Willyan pelo apoio direto nas etapas desse projeto.

Agradecemos ainda aos autores da projeção por desenvolver e disponibilizar as projeções de elevação do nível do mar, a várias agências de financiamento por apoiar o desenvolvimento das projeções e à Equipe de Mudança do Nível do Mar da NASA por desenvolver e hospedar a Ferramenta de Projeção do Nível do Mar AR6 do IPCC.

Complicações surgiram, continuaram e foram superadas.

(Capitão Jack Sparrow)

RESUMO

Alterações climáticas são fenômenos que ocorrem desde a formação do Planeta Terra, da era do gelo ao aquecimento global. São grandes as preocupações acerca das consequências previstas pelo aumento da temperatura terrestre, entre elas fenômenos como ondas de calor, furacões, tempestades, inundações, secas prolongadas, e a elevação do nível médio dos oceanos. Estima-se que cerca de 15% das terras ocupadas em áreas costeiras, a nível global, podem ser invadidas pela linha da maré alta, sob um cenário de altas emissões de gases do efeito estufa, em cerca de 2000 anos, o que afetará cerca de 1 bilhão de pessoas (STRAUSS et al.,2021). Com o objetivo de analisar o impacto social e ambiental do aumento do nível médio dos mares local, realizou-se um levantamento fotogramétrico através da utilização de RPA (Remotely Piloted Aircraft), e geração de produtos de alta resolução espacial (melhor que 5 cm), para simulação do aumento do nível do mar na região da Prainha, situada no município de Guaratuba - PR. Aplicaram-se índices globais de elevação do nível dos mares, publicados em relatório pelo IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) no ano de 2021, com os quais, apesar do grau de incerteza e falta de parâmetros regionais, obteve-se resultados expressivos. Em um cenário pessimista, de aproximadamente 10 ha levantados, 64 % da cobertura arbórea presente e 48% das edificações seriam afetados pelo aumento do nível do mar, estimados para caso a temperatura aumente mais de 4°C em 130 anos. Já para um cenário otimista, onde a humanidade se compromete a reduzir a emissão de gases do efeito estufa, apenas 30% da mata e 20% da restinga seriam atingidos, e apenas 4 das 101 edificações da região seriam afetadas até 2150. O estudo embasa a necessidade de pesquisas nas regiões costeiras, e simulações da elevação do nível do mar em escalas apropriadas, para gerar produtos que possam alertar, conscientizar e embasar projetos que minimizem possíveis danos a longo prazo.

Palavras-chave: Painel intergovernamental sobre mudanças climáticas (IPCC) 1. Cenários de emissões SSP1-1.9 e SSP5-8.5 2. Levantamento fotogramétrico 3. Modelo Digital de terreno (MDT) 4. Restituição 5.

ABSTRACT

Climate changes are phenomena that have occurred since the formation of Planet Earth, from ice age to global warming. There are many concerns about the consequences predicted terrestrial temperature increase, among them phenomena such as heat waves, hurricanes, storms, floods, prolonged droughts, and the rise average sea level. It is estimated that 15% of the occupied land in coastal areas, globally, could be invaded by the high tide height, under a scenario of high greenhouse gas emissions which, in about 2000 years, will affect about 1 billion people (STRAUSS et al., 2021). Aiming to analyze the social and environmental impact of the rise of the local average sea level, a photogrammetric survey was carried out using RPA (Remotely Piloted Aircraft), and high spatial resolution products were generated, in order to simulate the sea level rising in the region called Prainha, located in the municipality of Guaratuba - PR. Global indexes regarding the rising sea level were applied, published in 2021's IPCC report, and despite the degree of course and lack of regional parameters, expressive results were obtained. In a pessimistic scenario, with approximately 10 surveyed hectares, 64% of the present forest and 48% of the buildings were protected by the sea level rising, estimated in case temperature rises by more than 4°C in 130 years. As for an optimistic scenario, where humanity undertakes to no longer emit greenhouse gases, only 30% of forest and 20% of restinga would be affected, and 4 of the 101 buildings in the region would be maintained until 2150. The study supports the need for research in coastal regions, and simulations of sea level rise on environmental scales, to generate products that can alert, raise awareness and support projects that minimize possible damage to them in the long term.

Keywords: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 1. Emissions Scenarios SSP1-1.9 and SSP5-8.5 2. Photogrammetric survey 3. Digital Terrain Model (MDT) 4. photogrammetric rendering 5.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - SIMULAÇÃO DA ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR	22
FIGURA 2 - REGIÃO DE ESTUDO	24
FIGURA 3 - CENÁRIOS DE ELEVAÇÃO PROJETADA DO NÍVEL DO MAR	27
FIGURA 4 - RECORTE DO MDT SRTM DE MATINHOS E GUARATUBA - PR	32
FIGURA 5 - MDTs PARA A REGIÃO DA PRAINHA EM GUARATUBA	33
FIGURA 6 - EVOLUÇÃO TEMPORAL NA ÁREA DE ESTUDO.....	34
FIGURA 7 - LIMO PRESENTE NO QUEBRA-MAR EM GUARATUBA	34
FIGURA 8 - GRÁFICO DA AMPLITUDE DE MARÉS EM MATINHOS	38
FIGURA 9 - PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DE VOO	39
FIGURA 10 - RASTREIO DA BASE GNSS.....	40
FIGURA 11 - SINALIZAÇÃO DO APOIO TERRESTRE.....	41
FIGURA 12 - RASTREIO DO APOIO TERRESTRE	41
FIGURA 13 - AEROLEVANTAMENTO	42
FIGURA 14 - LOCALIZAÇÃO DAS BASES GNSS	43
FIGURA 15 - CAMINHAMENTO SOBRE A LINHA D'ÁGUA	44
FIGURA 16 - hgeoHNOR - MODELO MATEMÁTICO PARA CONVERSÃO DAS ALTITUDES CALCULADAS COM GNSS	47
FIGURA 17 - PRODUTO RESTITUÍDO	55
FIGURA 18 - PRODUTO EXTRAÍDOS DO AEROLEVANTAMENTO	56
FIGURA 19 - ÁREA ÚMIDA	58
FIGURA 20 - NÍVEL DO MAR DEFINIDO	59
FIGURA 21 - ELEVAÇÃO PROJETADA DOS CENÁRIOS ESCOLHIDOS	60
FIGURA 22 - SIMULAÇÃO DA ELEVAÇÃO DO MAR NO CENÁRIO SSP1-1.9	61
FIGURA 23 - REPRESENTAÇÃO DA ELEVAÇÃO DO MAR - CENÁRIO SSP1-1.962	
FIGURA 24 - SIMULAÇÃO DA ELEVAÇÃO DO MAR NO CENÁRIO SSP5-8.5	63
FIGURA 25 - REPRESENTAÇÃO DA ELEVAÇÃO DO MAR - CENÁRIO SSP5-8.564	
FIGURA 26 - REPRESENTAÇÃO DA EVOLUÇÃO TEMPORAL - SSP5-8.5.....	65
FIGURA 27 - REPRESENTAÇÃO DAS ÁREAS DE VEGETAÇÃO AFETADAS	68
FIGURA 28 - REPRESENTAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES AFETADAS	71
FIGURA 29 - REPRESENTAÇÃO DA ESTIMATIVA DE IMPACTO NA ÁREA DA PRAINHA	73

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - PROJEÇÕES GLOBAIS - ELEVAÇÃO DO NÍVEL MÉDIO DO MAR..	26
QUADRO 2 - BASE DE DADOS UTILIZADOS	28
QUADRO 3 - PLANEJAMENTO DE VOO.....	36
QUADRO 4 - CONFIGURAÇÃO DE VOO	42
QUADRO 5 - COORDENADAS TRIDIMENSIONAIS DE APOIO	48
QUADRO 6 - TESTE ESTATÍSTICO - T-STUDENT	51
QUADRO 7 - DADOS DE PROCESSAMENTO	52
QUADRO 8 - DADOS MDT	54

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PROCESSAMENTO IBGE-PPP DAS BASES GNSS	45
TABELA 2 - PRECISÕES BASE 1 - GNSS-RTK	46
TABELA 3 - PRECISÕES BASE 2 - GNSS-RTK	46

LISTA DE SIGLAS

ANAC	- Agência Nacional de Aviação Civil
ANATEL	- Agência nacional de Telecomunicações
APA	- Área de Preservação Ambiental
ARG6	- Sixth Assessment Report
CGED	- Coordenação de Geodésia
CH	- Pontos de Verificação
CSRS	- Canadian Spatial Reference System
DECEA	- Departamento de Controle do Espaço Aéreo
EMQ	- Erro Médio Quadrático
GEE	- Gases do Efeito Estufa
GNSS	- Global Navigation Satellite System
GSD	- Ground Sample Distance
HV	- Pontos de Controle
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PPP	- Posicionamento por Ponto Preciso
IPCC	- Intergovernmental Panel on Climate Change
MDE	- Modelo Digital de Elevação
MDT	- Modelo Digital de Terreno
NASA	- National Aeronautics and Space Administration
NIMA	- National Imagery and Mapping Agency
NRCan	- Natural Resources Canada
ONU	- Organização das Nações Unidas
POE	- Parâmetros de Orientação Exterior
POI	- Parâmetros de Orientação Interior
PUSP	- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
RGB	- Sistema de cores formado pelos tons de Vermelho, Verde e Azul
RIMA	- Relatório de Impacto Ambiental
RPA	- Remotely Piloted Aircraft
RPAS	- Remotely Piloted Aircraft System
RTK	- Real Time Kinematic
SAR	- Synthetic Aperture Radar
SARPAS	- Solicitação de Acesso de Aeronaves Remotamente Pilotadas

SFM	- Structure from Motion
SGB	- Sistema Geodésico Brasileiro
SIRGAS	- Sistema de Referência Geodésico para as Américas
SRTM	- Shuttle Radar Topography Mission
SSP	- Shared Socioeconomic Pathways
USGS	- United States Geological Survey
UTM	- Universal Transverse Mercator

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	JUSTIFICATIVA.....	19
1.1.1	OBJETIVO GERAL.....	20
1.1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
2	CONTEXTUALIZAÇÃO	21
2.1	CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO.....	21
2.2	ÁREA DE ABRANGÊNCIA.....	23
2.3	ELEVAÇÃO PROJETADA DO NÍVEL DO MAR.....	24
3	MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1	MATERIAIS.....	27
3.1.1	MDE SRTM.....	28
3.1.2	MDT E ORTOMOSAICO.....	28
3.1.3	PONTOS DE APOIO TERRESTRE E LINHA DO MAR.....	29
3.1.4.	AUMENTO PROJETADO DO NÍVEL DO MAR SOB DIFERENTES CENÁRIOS DE SSP.....	29
3.2	MÉTODOS.....	29
3.2.1	MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO SRTM.....	30
3.2.2	MODELO DIGITAL DO TERRENO E ORTOMOSAICO.....	33
3.2.2.1	PLANEJAMENTO DO LEVANTAMENTO AEROFOTOGRAMÉTRICO.....	35
3.2.2.2	EXECUÇÃO EM CAMPO.....	38
3.2.2.3	PROCESSAMENTO DE DADOS.....	44
3.3	PROJEÇÕES DA ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR.....	57
3.3.1	DEFINIÇÃO DO NÍVEL DO MAR NA REGIÃO.....	57
3.3.2	CENÁRIOS DE REPRESENTAÇÃO.....	59
3.3.2.1	CENÁRIO SSP1-1.9.....	60
3.3.2.2	CENÁRIO SSP5-8.5.....	62
4	ANÁLISES E DISCUSSÕES	65
4.1	RECURSOS AMBIENTAIS AFETADOS.....	66
4.2	IMÓVEIS AFETADOS.....	69
4.3	LIMITAÇÕES PARA AS SIMULAÇÕES.....	74
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	75
	REFERÊNCIAS	78

ANEXO 1 – AVALIAÇÃO DO PADRÃO DE ACURÁCIA POSICIONAL EM DADOS ESPACIAIS	82
------------------------------------------------------------------------------------------	-----------

1 INTRODUÇÃO

Por muito tempo o oceano foi considerado o limite do que é habitado, uma barreira intransponível, um rio salgado que rodeia todo o mundo que, no século VII a.C., era considerado apenas um disco plano flutuante. O oceano sempre teve um papel importante na história do Brasil, desde seu descobrimento, forma de ocupação, e expansão populacional e econômica.

Após a chegada dos portugueses em 1500 d.C, com o Brasil sendo colônia de Portugal, foram desenvolvidas ocupações litorâneas tanto para a expansão econômica, quanto para defesa do território de invasores de outras nações. Por um tempo o litoral foi usado para exploração do Pau-brasil e posteriormente como acesso ao mercado europeu e expansão da navegação comercial.

Atualmente cerca de 251.315 km², dos 8.510.345 km² do território brasileiro, compõem o limite das cidades litorâneas (IBGE,2021). Apesar de representar apenas 2,95% de todo território, em 2010 o Brasil apresentava 26,6% da população habitando em municípios da zona costeira, o equivalente a 50,7 milhões de habitantes na época (IBGE, 2011), com estimativa de aumento para os dias de hoje.

O Atlas Geográfico das Zonas Costeiras e Oceânicas do Brasil publicado em 2011, numa parceria entre o IBGE e a Marinha do Brasil, constatou que apenas 9,2% dos 17,4 milhões de domicílios na época eram de uso ocasional, para descanso aos fins de semana e férias. Em geral, a população dessas áreas desenvolve atividades ligadas ao turismo, produção de petróleo e gás natural, pesca e serviços básicos para a manutenção das cidades.

Porém, o aumento exponencial da população mundial e a ocupação desordenada das áreas litorâneas, além de causar impactos no bioma marinho e de sobrevivência das espécies que o compõem, faz com que os moradores possam ser afetados pelo oceano.

A vegetação de restinga, que são comunidades vegetais sob influência marinha e fluvio-marinha, de grande diversidade ecológica (BRASIL,1996), por muitas vezes não é respeitada e conservada. Esse ecossistema vem sendo estudado por pesquisadores de diversas áreas e possui grande importância para o meio ambiente, pois serve de abrigo e fornece alimentos à biodiversidade, controla inundações, estoca carbono orgânico, regula o clima, entre outros serviços ecológicos (NASCIMENTO et al., 2022).

Há diversos locais pela costa brasileira onde esta vegetação não mais existe, resultado da ocupação desordenada em função muitas vezes do turismo e pesca, onde a população constrói residências e comércios, desbalanceando o ecossistema da região, para que possa se estabelecer mais próximo ao mar. Estas comunidades próximas a ambientes costeiros e ilhas, são particularmente expostas às mudanças do oceano, como a elevação do nível do mar.

Procurar compreender e antever o aumento do nível do mar tornou-se um dos grandes desafios da sociedade contemporânea, e envolve diversos setores da comunidade científica (FERRERO, 2020), além de estar diretamente relacionado ao aquecimento global e a variabilidade climática. Simulações numéricas da elevação do nível dos oceanos vêm sendo realizadas por diversas áreas para procurar alertar e minimizar possíveis desastres.

Em pesquisa conduzida pelo *Climate Central*, organização que analisa e relata a ciência do clima sem fins lucrativos, juntamente com outras organizações, identificou-se regiões do mundo que podem sofrer inundações com o aumento da temperatura global e a elevação do nível do mar. O estudo publicado pela revista *Environmental Research Letters* em 2021 aponta que, globalmente, cerca de 15% das terras ocupadas em áreas costeiras podem ser invadidas pela linha de maré alta, sob um cenário de altas emissões de dióxido de carbono em um envelope de aproximadamente 200 a 2000 anos, o que afetaria cerca de 1 bilhão de pessoas (STRAUSS et al., 2021).

O trabalho também aponta uma estimativa da porcentagem da população que na atualidade ocupa as áreas que potencialmente serão atingidas, levando em consideração as emissões cumulativas de carbono até 2020, assumindo que não haverá mais emissões prejudiciais ou medidas de recuperação, e relacionando esta estimativa diretamente ao aumento da temperatura. Estas estimativas indicam que em um aumento de 1,5°C aproximadamente 7,6% da população mundial seria atingida, e 14% da população seria atingida caso a temperatura aumente 4°C.

O índice global utilizado foi apresentado pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), traduzido por Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas que é constituído por um grupo de cientistas estabelecido pelas Nações Unidas para avaliar a ciência relacionada às mudanças climáticas. O IPCC gera relatórios com os conhecimentos e ameaças que são enfrentados acerca do assunto.

Em relatório recente o IPCC acusa que as emissões de gases causadores do aquecimento global continuam aumentando e que os atuais planos e metas para combater as mudanças climáticas podem não ser suficientes para limitar o aumento da temperatura em 1,5°C, a qual acarretaria num aumento estimado de 2,9 m do nível médio dos mares em várias décadas, enquanto para um cenário de aumento da temperatura em 4°C a estimativa chega a 8,9 m de elevação do nível do mar.

No Brasil a estimativa apresenta que atualmente, com o cumulativo dos gases gerados até 2020 e um aumento de 1,9 m do nível médio do mar, a população atingida seria de 1,3%, podendo variar entre 0,3% e 4,9%. Com o aumento de 1,5°C essa porcentagem muda para 3% da população e salta para 9,9% da população brasileira caso haja um aumento de 4°C, podendo chegar em 11% dado o intervalo de confiança utilizado.

Dada a ocupação litorânea brasileira é instintivo a preocupação e apresentação de estudos para simular as áreas que podem ser atingidas pela elevação dos mares, levando em consideração os dados citados. Para a realização de simulações, além dos índices de estimativa da elevação média dos mares publicados com cunho global, também é necessário um modelo tridimensional das áreas costeiras que podem ser atingidas.

O modelo digital do terreno (MDT), ou seja, uma nuvem de pontos geoespaciais que representa as altitudes de uma região, pode ser empregado como uma superfície a ser utilizada para a simulação de área inundada computacionalmente, e assim prever possíveis danos na região quando cruzados com dados populacionais e ambientais.

Os modelos podem ser gerados a partir de diferentes métodos de aquisição de dados, desde topografia com a utilização de estações totais e levantamento de uma malha de pontos tridimensionais; equipamentos GNSS, de *Global Navigation Satellite System*, origem inglesa de Sistema Global de Navegação por Satélite, utilizando o método de posicionamento cinemático que cria trajetórias de pontos tridimensionais do relevo; Laser Scanner que realiza varredura da superfície com um grande quantidade de pontos e possui tecnologia para leituras de terreno abaixo de vegetação não densa; altimetria por satélites por meio de imagens radar tiradas da superfície terrestre diretamente do espaço; e até imagens aéreas utilizando aviões e veículos aéreos não tripulados, desde que em áreas não muito arborizadas pela dificuldade de interpolar o terreno abaixo de vegetação.

Os fatores que influenciam na escolha da aquisição de dados para a geração do modelo tridimensional estão ligados à resolução, precisão, custos, acesso ao local e finalidade. A simulação de inundação é mais eficaz em modelos tridimensionais refinados, com mais pontos por metro quadrado e precisões centimétricas.

Diante do exposto, este trabalho tem por finalidade realizar um estudo na região costeira do Brasil para simular a elevação do nível do mar e os impactos sociais e ambientais envolvidos na possível inundação. A área de estudo está localizada no Município de Guaratuba, Estado do Paraná, e é conhecida como Prainha. A área conta com um amontoado de pedras que servem como uma barreira para maré alta nas principais áreas de avanço do mar, o qual atingiu algumas residências no passado. Foram realizadas simulações do avanço do oceano considerando as projeções elaboradas pelo IPCC (2021), para um horizonte considerando o ano de 2150. Os dados planialtimétricos são oriundos do levantamento aerofotogramétrico apoiado utilizando uma plataforma de RPAS - Remotely Piloted Aircraft System, termo técnico padronizado internacionalmente para se referir aos sistemas de aeronaves remotamente pilotadas, e o levantamento da linha do mar por método de posicionamento GNSS.

1.1 JUSTIFICATIVA

Alterações climáticas são fenômenos que ocorrem desde a formação da Terra, desde eras de gelo, degelo e atualmente o aquecimento global. O físico inglês John Tyndall, em 1859, realizou experiências que mostraram que as emissões de dióxido de carbono na atmosfera absorvem as radiações e o calor do sol, e dessa forma estabeleceu a base de experimentos para o, como conhecemos hoje, efeito estufa. Esse efeito é causado pelas grandes quantidades de gases liberados na atmosfera junto ao crescimento das atividades industriais e de transportes, que retêm e acumulam o calor na superfície terrestre.

São grandes as preocupações acerca das alterações climáticas que vem acontecendo e as estimativas que são geradas a partir do estudo destas. As consequências previstas são: aumento da temperatura da superfície, de fenômenos como ondas de calor, furacões, tempestades, inundações, secas prolongadas, e a subida do nível médio dos oceanos que geram diversas outras preocupações.

Um dos danos previstos pelo aumento do nível dos oceanos são as frequentes inundações ou até mesmo o estado permanente de submersão das áreas costeiras densamente habitadas.

É importante combater e se possível reverter os danos causados à atmosfera pela liberação desses gases que causam o efeito estufa. A cartografia é uma aliada muito importante que pode ser utilizada nos estudos para conscientização dos danos em uma visão espacial, e relacionada a dados estatísticos é capaz de alertar, conscientizar e até evitar desastres.

Utilizando produtos fotogramétricos, geodésicos e cartográficos são desenvolvidos projetos de estudo de aumento populacional por região, desenvolvimento social, impactos ambientais, mapeamento de áreas de risco, monitoramento de empreendimentos e diversos outros temas que impactam diretamente a humanidade e o planeta em que vivemos, inclusive o mapeamento de áreas, e o impacto social e ambiental, de inundação em regiões costeiras considerando o aumento da temperatura dos oceanos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar o impacto da elevação do nível do mar na faixa denominada Prainha, localizada no município de Guaratuba, no estado do Paraná.

1.1.2 Objetivos específicos

Com base no objetivo geral, foram definidas as seguintes atividades específicas:

- a. Definir a área de estudo considerando possíveis potenciais impactos sociais e ambientais;
- b. Elaborar um modelo tridimensional da superfície da área de estudo por meio de técnicas fotogramétricas e de sensoriamento remoto, empregando uma aeronave pilotada remotamente e missão espacial;

- c. Investigar a melhor técnica para levantar a linha d'água, limite entre o continente e o mar na faixa da praia, no momento da tomada das imagens do aerolevante e determinar esta linha d'água;
- d. Simular cenários de elevação do nível do mar baseados em estimativas globais;
- e. Elaborar um mapa de uso e ocupação do solo e quantificar os impactos.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO

Esta seção do trabalho visa caracterizar o estudo, descrever a localização geográfica e região em que a área de estudo está inserida, e apresentar a base do estudo.

2.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO

Estudos desenvolvidos e publicados pelo *Climate Central*, em parceria com a Universidade Princeton e o Instituto Potsdam de Pesquisa de Impacto do Clima, apresentam algumas ferramentas que simulam os impactos das alterações climáticas. A Ferramenta de Triagem de Risco Costeiro traz funcionalidades que apontam geograficamente os desdobramentos estimados pelo aumento da temperatura global e o aumento do nível do mar.

A organização aponta que os mapas de elevação do nível do mar e inundações das áreas costeiras são baseados em publicações escritas por cientistas e avaliados quanto à qualidade técnica. Mas também alertam que os mapas incorporam um grande conjunto de dados, e que podem conter algum erro, assim esses mapas devem ser considerados como ferramentas de triagem para identificar locais que podem exigir uma investigação mais profunda de risco.

Os mapas disponibilizados são gratuitos e interativos (disponíveis em: *climatecentral.org*), e são baseados em um conjunto de dados global para topografia, marés e elevação do nível do mar. Vale destacar que, para os Estados Unidos, são usados dados mais precisos, mas a organização considera que ainda são imperfeitos.

Em uma campanha de conscientização, o órgão ainda publicou a simulação da elevação do nível do mar em 190 locais, relacionando as inundações com o aumento da temperatura, utilizando os dados de aumento disponibilizados pelo IPCC

(2021). As visualizações mostram algumas das principais e mais populosas cidades costeiras e as estimativas futuras de inundação. O Museu Estadual Hermitage na Rússia, a Catedral de São Paulo no Reino Unido, e o Centro Espacial Houston no Estados Unidos são algumas das paisagens inundadas, e algumas localidades do Brasil também foram apresentadas como mostra a FIGURA 1 a seguir:

FIGURA 1 - SIMULAÇÃO DA ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR



FONTE: Climate Central (2021).

LEGENDA: Simulação da Elevação do nível do mar no (a) Estádio dos Aflitos. Recife, Brasil e na (b) Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Brasil

Utilizando ferramentas como essas é possível extrair informações que podem auxiliar em tomadas de decisões, partindo de um detalhamento menor para uma investigação mais refinada, e conseqüentemente a utilização de dados, métodos e equipamentos mais precisos, apresentando resultados cada vez mais próximos à realidade.

Estudos como esses podem oferecer também respaldos para obras como o chamado “engordamento” das faixas de areia, como aconteceu em Matinhos, no Estado do Paraná. O projeto de recuperação da orla de Matinhos foi realizado pelo Governo Estadual em 2022, e consiste em dragar a área de jazidas de empréstimo de areia em alto mar, para em seguida depositar e espalhar a areia na parte seca, e assim aumentar a faixa de areia em até 100 metros, recuperando a restinga se inexistente. No caso desse projeto também procura minimizar os efeitos de ressacas, maré alta e enchentes, que há décadas atingem os bairros do município.

2.2 ÁREA DE ABRANGÊNCIA

A costa brasileira tem aproximadamente 8.000 km de extensão, destes cerca de 100 km pertencem ao litoral paranaense que apresenta uma importante área portuária, praias e ilhas. A região de estudo está localizada na área conhecida como Prainha, que tem início no final de Caiobá, balneário pertencente ao município de Matinhos, e se estende até a entrada da barra de Guaratuba, distante aproximadamente 115 km de Curitiba, e 16 km da fronteira com o Estado de Santa Catarina.

É considerada uma praia mansa, de águas calmas, de onde se tem a vista de Guaratuba antes da travessia da Baía, e seu acesso se dá ao Norte pela rodovia PR-412 e ao Sul, pelo estado de Santa Catarina, através da rodovia SC-417 que se torna PR-412 após a divisa estadual, e a travessia do Ferry Boat de Guaratuba.

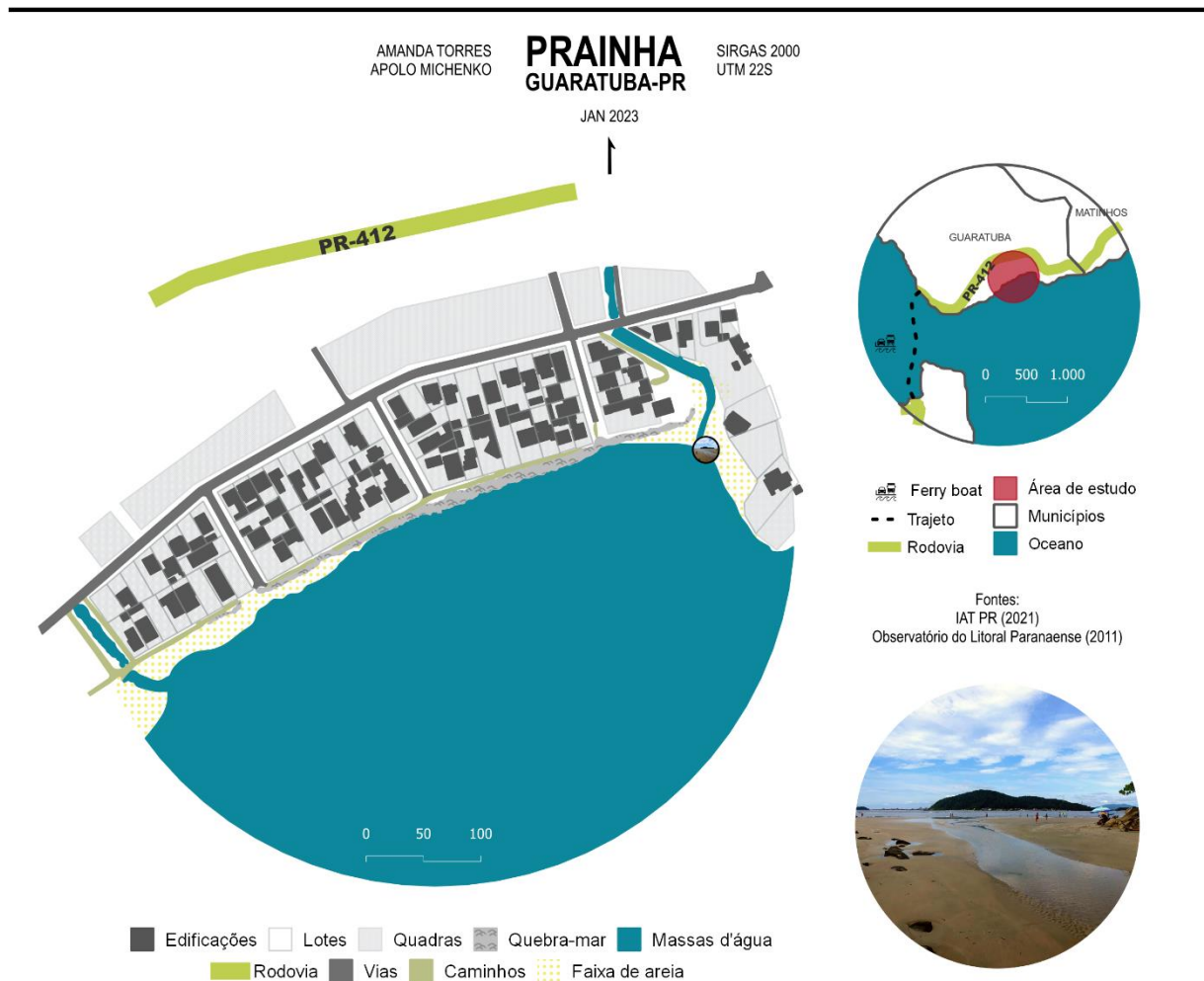
A área encontra-se totalmente inserida na Microrregião de Paranaguá e na Bacia Hidrográfica Litorânea. Também está nas proximidades, mas sem interseção, das Unidades de Conservação Parque Nacional Saint-Hilaire/Lange e APA Estadual de Guaratuba (Área de Preservação Ambiental Estadual de Guaratuba), conforme informações disponibilizadas pelo Observatório do Litoral Paranaense mantido pela Universidade Federal do Paraná, e dados do Instituto Água e Terra. A cobertura da

terra é predominantemente de área de influência urbana, com presença de fragmentos de Floresta Ombrófila Densa Submontana nas proximidades.

O recorte escolhido (FIGURA 2) contempla algumas quadras, o Rio Prainha, um canal de esgotamento, além da faixa de areia em frente a área, contidos em um total de 9,64 ha (96.400,00 m²). O local conta com um amontoado de pedras, como um quebra-mar, que tem como função evitar que a água do mar avance nas residências da região.

FIGURA 2 - REGIÃO DE ESTUDO

ÁREA DE ABRANGÊNCIA



FONTE: Autores (2023).

2.3 ELEVACÃO PROJETADA DO NÍVEL DO MAR

O IPCC consiste num grupo de cientistas estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU), para monitorar e assessorar toda a ciência global relacionada às mudanças climáticas. Os estudos são divulgados em formato de relatórios, e focam em diferentes aspectos das mudanças climáticas, incluindo o aumento da temperatura global, emissão dos gases do efeito estufa, Dióxido de Carbono (CO₂) e os impactos causados por essas mudanças climáticas.

O último relatório publicado, o Sexto Relatório de Avaliação do IPCC (ARG6), ainda em desenvolvimento, consiste nos resultados de pesquisas desenvolvidas por três grupos de trabalho e um relatório de síntese. O relatório busca avaliar a resposta climática em cinco cenários ilustrativos que cobrem a gama de possíveis desenvolvimentos futuros de mudança climática. Até o momento o IPCC já divulgou a contribuição dos três grupos de trabalho e tem previsão de publicar o relatório de síntese em 2028.

O ARG6, adota um conjunto comum de anos de referência e períodos para avaliar as mudanças climáticas observadas e projetadas, dividindo em período pré-industrial, período “moderno” atual e os períodos de referência futuros. O IPCC define o período pré-industrial como o período de vários séculos antes do início da atividade industrial em larga escala, até por volta de 1750. O período de referência 1850-1900 é usado para aproximar a temperatura média global pré-industrial da superfície. Já o período 'moderno' é definido entre 1995 a 2014, enquanto três períodos de referência futuros são usados para apresentar projeções de mudanças climáticas: curto prazo (2021 - 2040), médio prazo (2041 - 2060) e longo prazo (2081 - 2100).

Para explorar e investigar o futuro climático, as projeções de mudanças climáticas são desenvolvidas simulando vários cenários, diferidos por um conjunto de diferentes previsões de entrada. São considerados conjuntos de projeções de emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE), aerossóis ou emissões de precursores de aerossóis, mudança no uso da terra e concentrações projetadas para facilitar a avaliação de um grande espaço climático, e assim permitir experimentos de modelagem climática.

Dentre os cenários, chamados de *scenarios socio-economic pathway* (SSP), que se trata de uma avaliação integrada que quantificou as emissões antrópicas para os cenários da via socioeconômica compartilhada, subdividiram as possíveis situações de emissões de GEE altas e muito altas (SSP3-7.0 e SSP5-8.5), onde as emissões de CO₂ praticamente dobram em relação aos níveis atuais até 2050 e 2100;

o cenário com emissões intermediárias de GEE (SSP2-4.5) e emissões remanescentes de CO₂ em torno dos níveis atuais até cerca da metade do século; e cenários com emissões muito baixas e baixas de GEE, onde as emissões de CO₂ diminui para zero líquido por volta ou depois de 2050, seguido por níveis variados de emissões líquidas negativas de CO₂ (SSP1-1.9 e SSP1-2.6).

As emissões variam entre os cenários, dependendo dos pressupostos socioeconômicos, níveis de mitigação da mudança climática e, para aerossóis ou precursores de ozônio não metano, controles de poluição do ar.

Para simular o aumento global do nível médio dos mares em cada cenário o ARG6 determina cinco principais impulsionadores que influenciam este aumento, são eles: Expansão termal, manto de gelo da Groenlândia, manto de gelo da Antártica, geleiras, e armazenamento de água terrestre. Considerando esses cinco impulsionadores é possível projetar o aumento global do nível médio dos mares, e o resultado do cruzamento desses dados é encontrado na QUADRO 1.

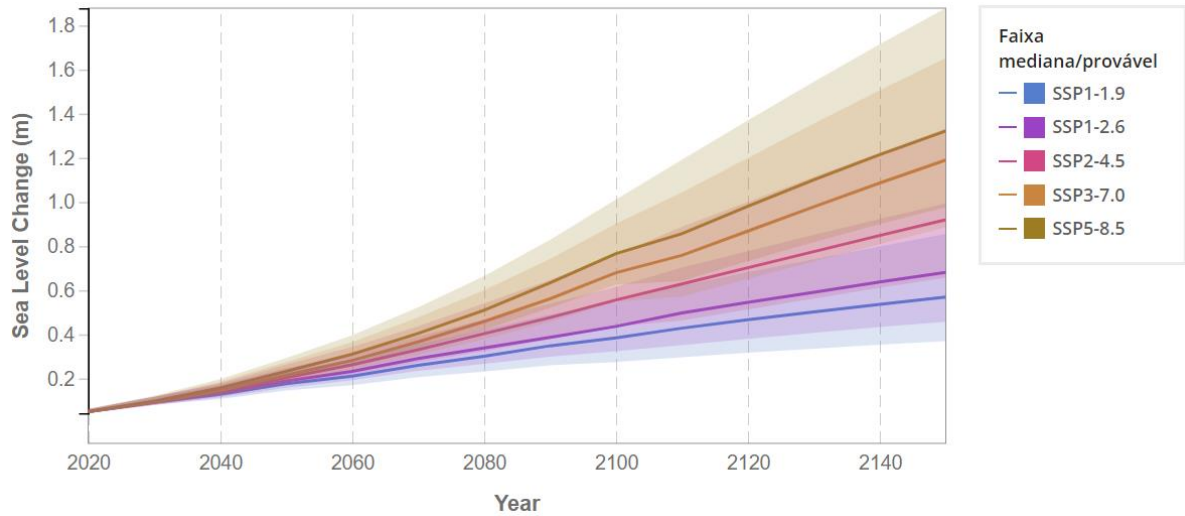
QUADRO 1 - PROJEÇÕES GLOBAIS - ELEVAÇÃO DO NÍVEL MÉDIO DO MAR

	SSP1-1,9	SSP1-2,6	SSP2-4,5	SSP3-7,0	SSP5-8,5
Thermal expansion - Expansão Termal	0,12(0,09–0,15)	0,14(0,11–0,18)	0,20(0,16–0,24)	0,25(0,21–0,30)	0,03(0,24–0,36)
Greenland	0,05(0,00–0,09)	0,06(0,01–0,10)	0,08(0,04–0,13)	0,11(0,07–0,16)	0,13(0,09–0,18)
Antarctica	0,10(0,03–0,25)	0,11(0,03–0,27)	0,11(0,03–0,29)	0,11(0,03–0,31)	0,12(0,03–0,34)
Glaciers	0,08(0,06–0,10)	0,09(0,07–0,11)	0,12(0,10–0,15)	0,16(0,13–0,18)	0,18(0,15–0,21)
Land-water Storage	0,03(0,01–0,04)	0,03(0,01–0,04)	0,03(0,01–0,04)	0,03(0,02–0,04)	0,03(0,01–0,04)
Total (2030)	0,09(0,08–0,12)	0,09(0,08–0,12)	0,09(0,08–0,12)	0,10(0,08–0,12)	0,10(0,09–0,12)
Total (2050)	0,18(0,15–0,23)	0,19(0,16–0,25)	0,20(0,17–0,26)	0,22(0,18–0,27)	0,23(0,20–0,29)
Total (2090)	0,35(0,26–0,49)	0,39(0,30–0,54)	0,48(0,38–0,65)	0,56(0,46–0,74)	0,63(0,52–0,83)
Total (2100)	0,38(0,28–0,55)	0,44(0,32–0,62)	0,56(0,44–0,76)	0,68(0,55–0,90)	0,77(0,63–1,01)
Total (2150)	0,57(0,37–0,86)	0,68(0,46–0,99)	0,92(0,66–1,33)	1,19(0,89–1,65)	1,32(0,98–1,88)
Rate (2040–2060)	4,1(2,8–6,0)	4,8(3,5–6,8)	5,8(4,4–8,00)	6,40(5,0–8,70)	7,20(5,6–9,70)
Rate (2080–2100)	4,2(2,4–6,6)	5,2(3,2–8,0)	7,7(5,2–11,6)	10,4(7,4–14,8)	12,1(8,6–17,6)

FONTE: IPCC (2021).

LEGENDA: Projeções globais da elevação do nível do mar para cinco cenários estudados, em relação a uma linha de base de 1995–2014, em metros. As contribuições individuais são apresentadas para o ano de 2100. Os valores médios (variações prováveis) são apresentados. As taxas médias para a mudança total do nível do mar são mostradas em mm/ano.

FIGURA 3 - CENÁRIOS DE ELEVAÇÃO PROJETADA DO NÍVEL DO MAR



FONTE: NASA (2023).

Considerando o impacto que as ações antrópicas acumulam nas mudanças climáticas, esse conjunto de dados é amplamente utilizado para simulações de inundações, danos, e ações relacionadas com o aumento e realocação populacional, problemas ambientais, desastres naturais, entre outras estimativas que podem ser feitas ao cruzar essas previsões com outros dados.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção do trabalho serão apresentados quais características foram escolhidas para o estudo, as influências que tiveram na escolha dos métodos e materiais, e a execução dos produtos.

3.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados para este estudo foram obtidos a partir de técnicas por sensoriamento remoto, fotogrametria, geodésia e cartografia. Foram utilizados um (i) MDE obtido a partir dos dados de uma missão espacial (ii) RPAS para obtenção de imagens e posterior geração de MDT e Ortomosaico georreferenciado, (iii) GNSS para a determinação dos pontos de apoio terrestre e o levantamento da linha do mar, e (iv) dados tabulares dos cenários de elevação do nível médio dos mares. As

características dos dados utilizados serão vistas nos itens 3.2 e 3.3, porém um resumo dos dados está apresentado no QUADRO 2, a seguir:

QUADRO 2 - BASE DE DADOS UTILIZADOS

Descrição	Método	Época	Utilização
MDT SRTM	SATÉLITE	2000	Simulação da elevação do nível do oceano
MDT	RPAS	2023	Simulação da elevação do nível do oceano
Ortomosaico	RPAS	2023	Mapa de uso e ocupação do solo
Linha do mar	GNSS-PPP	2023	Margem de variação da maré
Estimativas em metros		2021	Simulação da elevação do nível do oceano

FONTE: Autores (2023).

3.1.1 MDE SRTM

O Modelo Digital de Elevação (MDE) gerado a partir do banco de dados coletados por radares na missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) oferece 30 metros de resolução espacial para o planeta inteiro desde 2014. Os dados em formato raster são distribuídos pelo *EROS Data Center*, controlado pelo *United States Geological Survey* (USGS), o Serviço Geológico dos Estados Unidos, e acessados em formato HGT com coordenadas de latitude e longitude, com resolução radiométrica de 16 bits. Em sua pesquisa, Orlandi (2016) relata a dificuldade em definir a precisão vertical do SRTM, que segundo ele, varia dependendo da região. Porém, estudos que buscaram obter a acurácia de dados SRTM, encontraram para dados obtidos a partir do SRTM, precisões próximas de 10 metros (CHAIEB et al., 2016; MUKUL et al., 2015).

3.1.2 MDT e Ortomosaico

Para gerar o MDT e o Ortomosaico Georreferenciado foi realizado um levantamento fotogramétrico apoiado utilizando o RPAS Phantom 4 Advanced, fabricado pela empresa Dji, com sensor empregado na câmera digital de 1" CMOS - *Complementary Metal Oxide Semiconductor*, e distância focal de 8.8 mm.

Para operações RPAS no Brasil a aeronave deve ser homologada pela Agência nacional de Telecomunicações (ANATEL), cadastrada ao Sistema de Aeronaves não Tripuladas (SISANT), pertencente a Agência Nacional de Aviação (ANAC), além de o piloto ser cadastrado ao sistema de Solicitação de Acesso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARPAS) do Departamento de Controle do

Espaço Aéreo (DECEA). Para o projeto a aeronave usada foi cadastrada ao SISANT código PP-999178784, e protocolo SARPAS 67050032 aprovado pelo DECEA para a data do levantamento.

3.1.3 Pontos de Apoio Terrestre e Linha do mar

Para a determinação dos pontos de apoio terrestre e o levantamento da linha do mar foram utilizadas técnicas de posicionamento empregando equipamentos GNSS. Foram utilizados dois receptores GNSS CHCNAV i50, utilizados como base e rover, da fabricante CHC. O equipamento tem um tempo de inicialização menor que 10 segundos e o seguinte desempenho:

- Levantamento Pós-Processado (Modo estático)
Precisão Horizontal: 3 mm + 0.5 ppm RMS
Precisão Vertical: 5 mm + 0.5 ppm RMS
- Levantamento Cinemático em Tempo Real (RTK)
Precisão Horizontal: 8 mm + 1 ppm RMS
Precisão Vertical: 15 mm + 1 ppm RMS

3.1.4. Aumento projetado do nível do mar sob diferentes cenários de SSP

Os dados tabulares dos cenários de elevação do nível médio dos mares são projeções baseadas na avaliação apresentada no sexto relatório de avaliação (ARG6) do IPCC, e as faixas são avaliadas com base na combinação de incertezas na mudança de temperatura associada a demais fatores. Em geral, os resultados do percentil 17-83 são interpretados como intervalos prováveis, refletindo o uso do termo que provavelmente se refere a uma probabilidade de pelo menos 66% até o ano de 2100.

3.2 MÉTODOS

A metodologia para este trabalho, conceituado em apresentar o impacto da elevação dos oceanos através de uma simulação, foi desenvolvida procurando soluções práticas e acessíveis a partir das limitações encontradas em sua construção.

Neste tópico serão apresentados os métodos empregados para a construção do modelo digital utilizado, os produtos gerados através das técnicas de fotogrametria, geodésia e cartografia, os cenários escolhidos para a simulação de inundação, e por fim os modelos de inundação dado o cenário e as épocas a cada 30 anos até o ano de 2150.

3.2.1 Modelo Digital de Elevação SRTM

Para a realização do trabalho de simular a inundação de uma área costeira, considerando valores globais de aumento do nível médio dos mares, além dos dados estimativos de elevação, constatou-se a necessidade de um modelo tridimensional do terreno.

Segundo Burrough¹ (1986 citado por LIPORACI et al., 2003), o MDE é definido como uma "representação digital da variação contínua do relevo no espaço". Alguns autores empregam o MDT como um subconjunto do MDE, já que o modelo de elevação inclui todas as feições altimétricas da superfície, inclusive as produzidas pelo homem (edificações, viadutos, pontes etc.) ou não (vegetação). Assim o MDT é a representação geográfica da realidade composta por um conjunto finito de pontos com coordenadas tridimensionais (x,y,z) conhecidas, excluindo as feições acima do nível do chão.

Para a escolha do método de aquisição de dados visando a elaboração de um modelo tridimensional é necessário analisar a sua utilização, qual a resolução necessária, precisão e finalidade. Uma das alternativas levantadas trata-se da utilização de modelos digitais gerados através de dados espaciais.

Em fevereiro do ano 2000 a *National Imagery and Mapping Agency* (NIMA) e a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) lançaram a missão SRTM, com o propósito de produzir um banco de dados digitais de todo o planeta para a

¹ BURROUGH, P. A. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment . Oxford University Press, New York, NY . 1986. 193p

elaboração de um MDE das terras continentais, a nave espacial percorreu o entorno da Terra durante 11 dias.

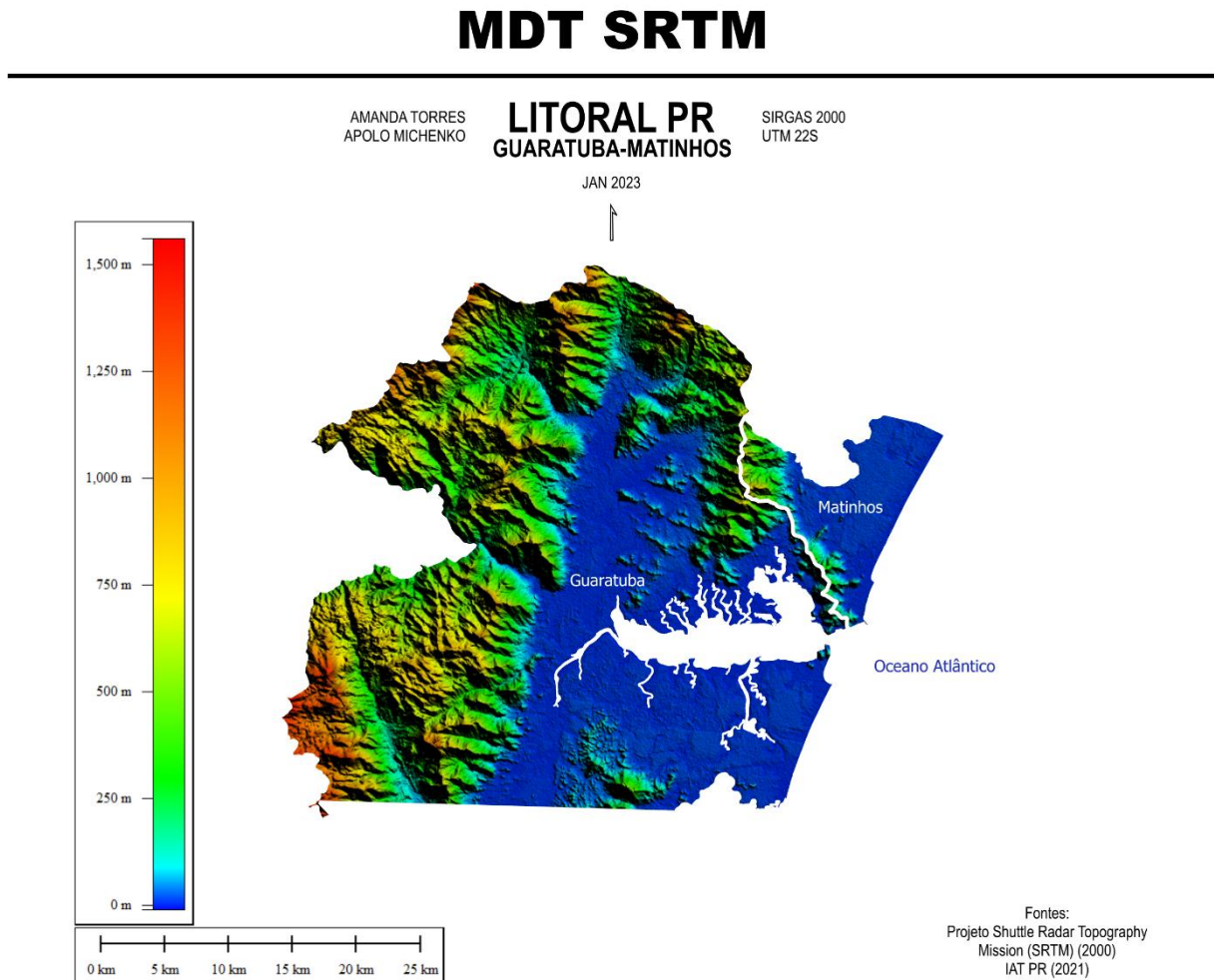
O método de coleta que o SRTM utilizou é conhecido como interferometria SAR - *Synthetic Aperture Radar*, onde a combinação de duas imagens adquiridas sobre uma mesma área com uma geometria ligeiramente diferente entre elas permite a posterior geração de dados topográficos utilizando um software interferométrico.

Com o auxílio do *Global Mapper*, software de sistema de informações geográficas, atualmente desenvolvido pela Blue Marble Geographics, foi possível visualizar a superfície criada pelo MDE disponibilizado pelo Sistema de Dados e Informações do Sistema de Observação da Terra, Programa de Sistemas de Dados de Ciências da Terra pertencente à NASA. A FIGURA 4 possibilita a visualização dos municípios de Matinhos e Guaratuba, no estado paranaense, através de uma classificação automática do software.

Os resultados obtidos com o SRTM não foram promissores visto que a resolução espacial das imagens é de 30 metros e a resolução altimétrica é de aproximadamente 10 metros, o que inviabiliza a utilização desse acervo, considerando que os dados de elevação do nível do mar variam entre 0,10 m e 1,32 m de acordo com as projeções globais apresentadas anteriormente no QUADRO 1 até o ano de 2150.

Mesmo que se considere o intervalo de confiança de 0,80 m, não seria possível apresentar com alguma precisão diferente de ferramentas que já são disponibilizadas gratuitamente por outros órgãos, como a Ferramenta de Triagem de Risco Costeiro, que utiliza o Programa de Sistemas de Dados de Ciências da Terra, o qual gerencia dados da NASA de várias fontes - satélites, aeronaves, medições de campo e vários outros programas.

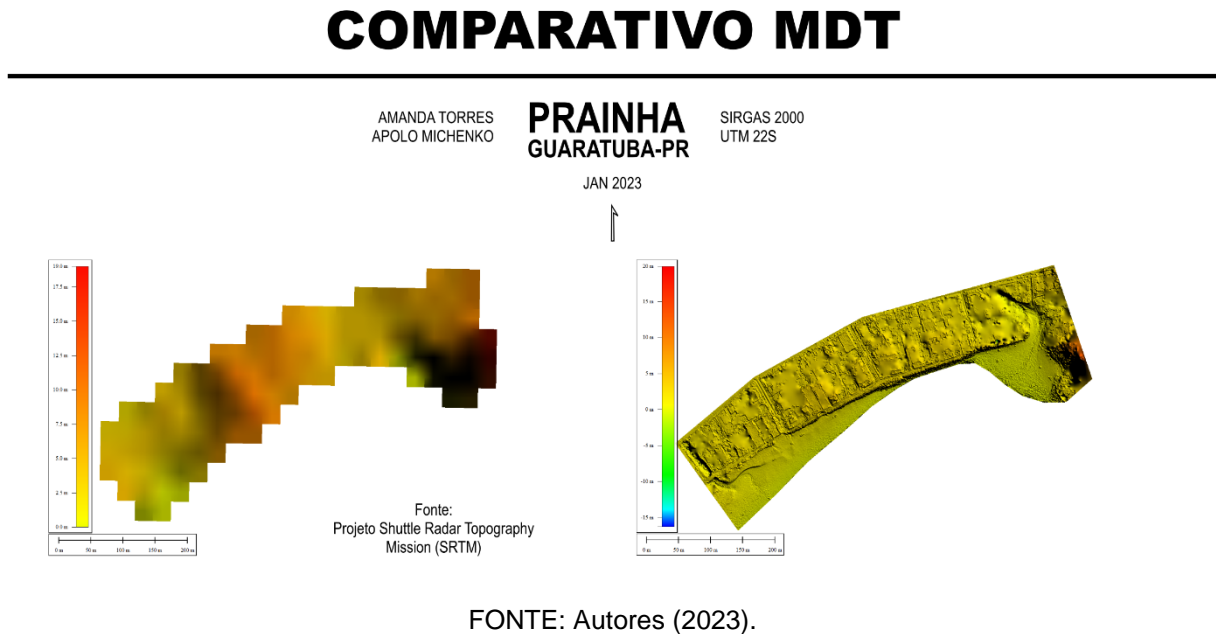
FIGURA 4 - RECORTE DO MDT SRTM DE MATINHOS E GUARATUBA - PR



FONTE: Autores (2023).

Em um comparativo posterior utilizando o MDT realizado pelo levantamento fotogramétrico, que será apresentado no próximo item, é possível visualmente perceber a influência que a resolução do modelo pode ter em pequenas áreas, e a riqueza de detalhes requerida, conforme a FIGURA 5.

FIGURA 5 - MDTs PARA A REGIÃO DA PRAINHA EM GUARATUBA



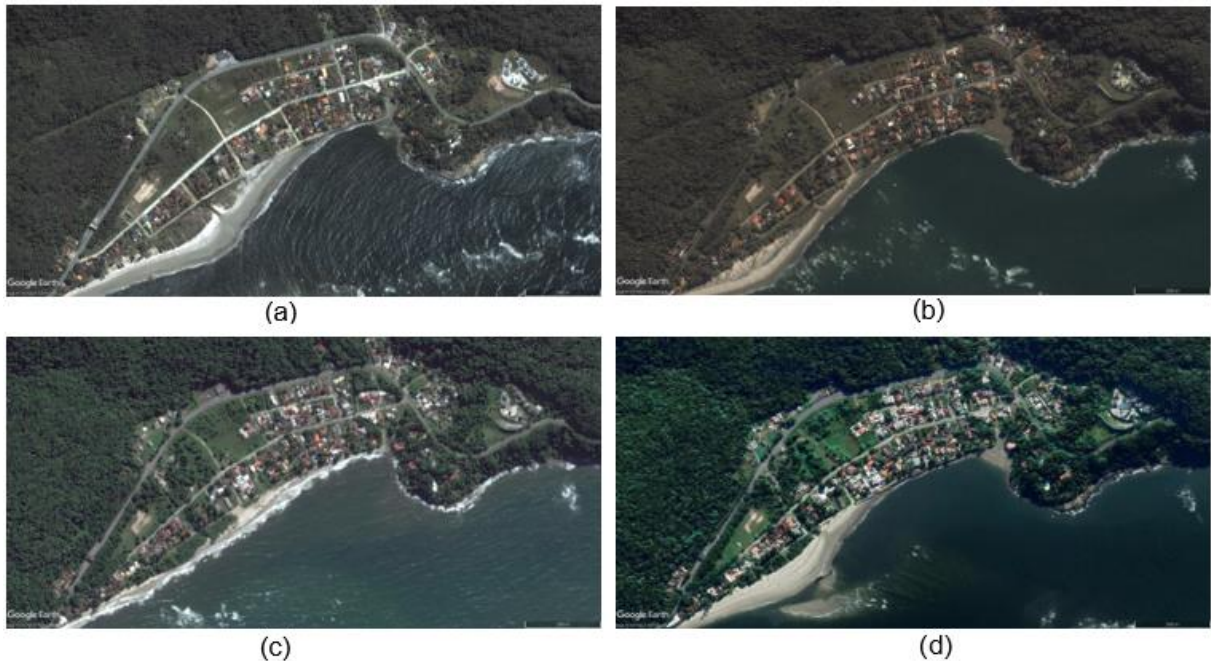
3.2.2 Modelo Digital do Terreno e Ortomosaico

Foi traçado aqui o objetivo de gerar um modelo digital sobre o qual fosse possível representar os dados do IPCC de aumento do nível do mar a cada década, e assim visualizar os impactos de uma evolução temporal de 130 anos, considerando que os valores relativos a esse aumento variam menos de 2 m na vertical até o ano de 2150. Optou-se por construir um MDT a partir de um levantamento fotogramétrico com a utilização de um veículo aéreo não tripulado.

Foi necessário então definir o local do levantamento, considerando os aspectos sociais e ambientais da região. Inicialmente definiu-se o litoral do estado do Paraná como limite para a procura, e foram utilizadas ferramentas de mapeamento com visualização de imagens de satélites e fotografias aéreas para uma varredura visual da costa paranaense. A busca baseou-se em locais com alguma densidade populacional, áreas com alertas de maré alta e ressacas, sem a presença de restinga, ou visualmente afetadas pela maré alta do oceano.

Uma das regiões apresentou, na pesquisa, a aparência de que o mar está sempre muito próximo da área povoada (FIGURA 6), além de pouca ou nenhuma presença de restinga nas áreas mais afetadas pelas ondas, o local chamado de Prainha.

FIGURA 6 - EVOLUÇÃO TEMPORAL NA ÁREA DE ESTUDO

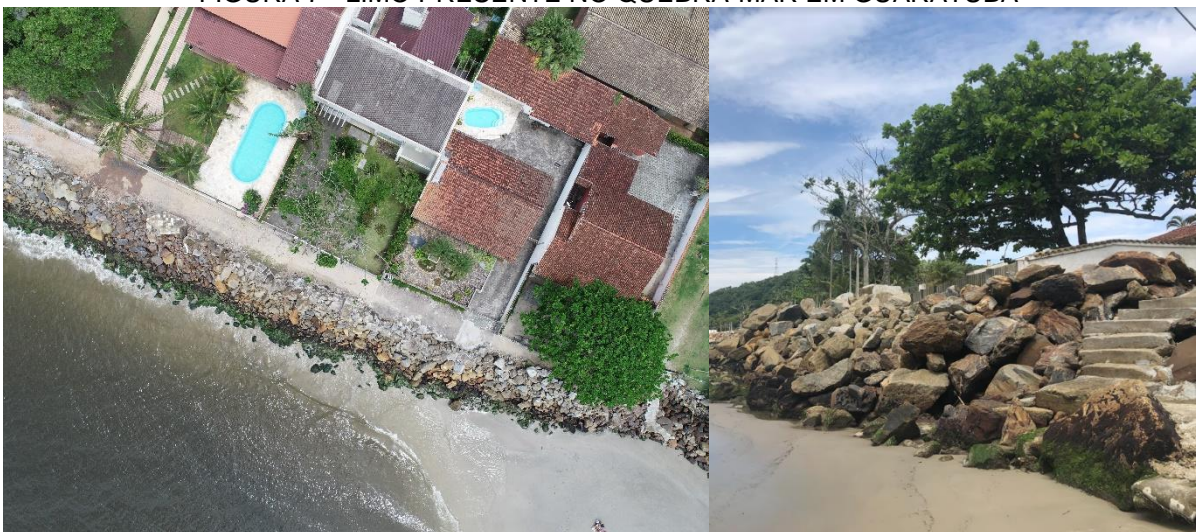


FONTE: Google Earth website (2023).

LEGENDA: Prainha de Guaratuba em (a) outubro de 2001 (b) maio de 2009 (c) maio de 2016 (d) junho de 2021.

O recorte escolhido como área de estudo recobre um quebra-mar formado por pedras, este que tem o intuito de evitar que o mar avance nas residências da região nas marés cheias. Na imagem capturada pelo RPA, é possível observar a presença de limo nas pedras inferiores desse quebra-mar (FIGURA 7), o que indica que habitualmente as pedras ficam submersas, e assim podemos avaliar a altura que o mar geralmente alcança.

FIGURA 7 - LIMO PRESENTE NO QUEBRA-MAR EM GUARATUBA



FONTE: Autores (2023).

Assim foi definida a área do levantamento aerofotogramétrico empregando RPAS, uma região com aproximadamente 10 ha (10.000,00 m²), em um planejamento que se estende nas bordas para evitar oclusões e falta de informação, com as características apresentadas no item 2.2.

Em relação ao levantamento aerofotogramétrico, Lugnani (1987) mostra o conceito de fototriangulação, ou aerotriangulação, como sendo o método fotogramétrico de determinação de coordenadas de pontos do espaço objeto através da relação geométrica de fotos adjacentes devidamente tomadas, do esparsos controle de campo dado, e de um conjunto de valores aproximados de parâmetros.

Com a aerotriangulação é possível gerar coordenadas espaciais de pontos do espaço objeto a partir de coordenadas medidas em fotografias, devidamente tiradas ou em modelos formados estereoscopicamente, e de um número mínimo de informações que define a altura da câmera no instante da tomada da fotografia.

Para a fotogrametria o princípio básico está na restituição. Neste contexto da estereoscopia, a restituição consiste no ato de unificar a informação a partir do modelo estereoscópico escolhido, criando um modelo óptico semelhante à superfície fotografada, e assim transformar esse modelo em um desenho representativo. Assim, a restituição abrange as operações de transferência de informações dos produtos fotogramétricos brutos para a confecção do produto fotogramétrico final que estará ligado a uma base de dados alfanumérica, recriando o espaço-objeto (tridimensional) utilizando o espaço-imagem (imagens bidimensionais).

Na sequência serão apresentados os dados de planejamento do levantamento fotogramétrico, execução do voo, processamento e geração dos produtos fotogramétricos.

3.2.2.1 Planejamento do levantamento aerofotogramétrico

Uma importante etapa do levantamento é o planejamento, nele são analisados fatores como a área, possíveis interferências no entorno, espaço aéreo, diferença entre os níveis altimétricos que podem influenciar na altura de voo, janela de voo, clima e licenciamento.

As faixas de voo foram planejadas através do *Drone Deploy*, um software de automação de voo e mapeamento para RPA DJI. A ferramenta possibilita criar planos

de voo e acessar o voo em campo de maneira autônoma, além de explorar os dados do mapa diretamente no seu aplicativo.

Primeiramente foi avaliado o local pelo software *Google Earth Pro*, que oferece uma ferramenta que apresenta as altitudes na área, para avaliar mudanças bruscas de altitude, que impactam na escolha da altura de voo e local de decolagem da aeronave.

O GSD - *Ground Sample Distance*, ou distância de amostragem do terreno, é calculado considerando as especificações do sensor e altura de voo. Trata-se da representação que o pixel da imagem tem em unidades do terreno, ou seja, para calcular a resolução espacial desejada utiliza-se a correlação entre a distância focal e a altura de voo juntamente com o tamanho do pixel da câmera, e assim é possível a noção de qual o tamanho do objeto que pode ser discriminado no mapeamento.

Primeiramente foi criado um projeto para dois mapeamentos, ambos foram configurados levando em consideração a altura, direção de voo, duração e gastos de bateria. Em um primeiro momento optou-se por criar dois voos para que ao decorrer do projeto fosse possível fazer testes de correlação entre os parâmetros fotogramétricos, uma vez que é possível utilizar um segundo voo, com altura superior a altura do primeiro voo, para diminuir a correlação entre a distância focal e a coordenada central no eixo x das imagens, o que pode diminuir o nível de confiança dos projetos fotogramétricos. Os voos foram configurados para que fossem formatos cruzados.

Os GSDs calculados foram de 1,8 cm para o primeiro mapeamento, e 3 cm para o segundo, mas com a intenção de serem processados como um bloco. A configuração de planejamento encontra-se no QUADRO 3 a seguir:

QUADRO 3 - PLANEJAMENTO DE VOO

Características dos voos	1	2
Altura	60m	100m
Sobreposição Frontal	75%	75%
Sobreposição Lateral	65%	75%
Direção do voo	47°	149°
GSD	1,8 cm	3 cm

FONTE: Autores (2023).

Considerando a necessidade do projeto para a construção de um modelo digital denso e a restituição do uso e ocupação do solo, considerou-se que o GSD atenderia aos requisitos de discriminação dos objetos referente as casas, muros e vegetação, e o voo seria possível com o número de baterias disponível.

Para que as coordenadas geradas através do levantamento sejam referidas a um sistema de coordenadas pré-definidas, que neste trabalho será usado o SIRGAS (Sistema de Referência Geodésico para as Américas), atualmente o sistema geodésico de referência adotado pelo Brasil, se faz necessário um número mínimo de pontos de controle utilizados na matriz de coeficientes das equações normais na aerotriangulação.

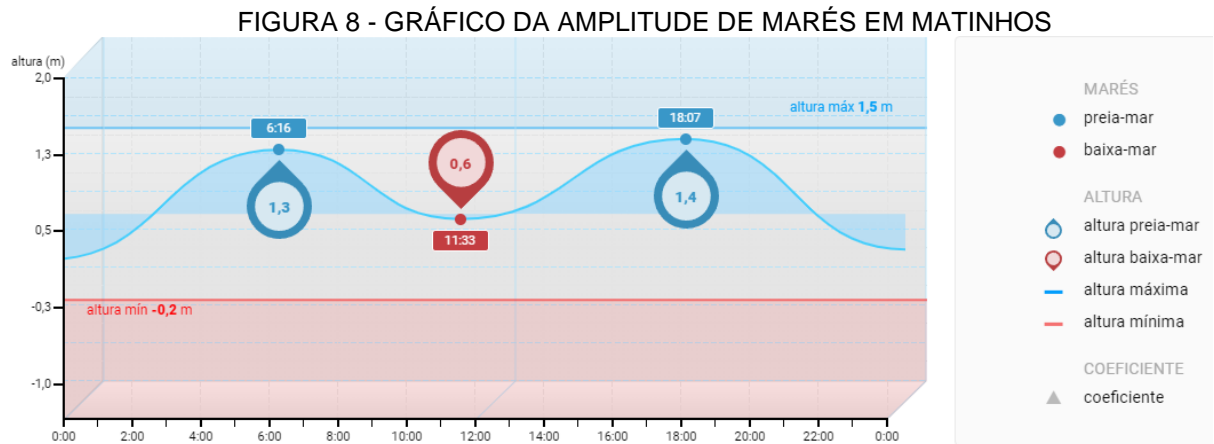
Deste modo foram planejados os pontos de apoio terrestre, utilizando o *Google Earth*, onde foram adicionados pontos de controle nas bordas da região de levantamento no centro e distribuídos de maneira que fossem perceptíveis os aclives e declives da área. A Altitude na área varia de 0 a 16 metros, porém é razoavelmente plana, sem a necessidade de um número muito grande de pontos de apoio considerando a área e relevo.

Logo após o planejamento dos pontos de controle, foram distribuídos os pontos de verificação em locais ainda sem pontos para checar a qualidade do modelo, não tão próximos aos pontos de controle para não influenciar na análise pela proximidade e amarração dos pontos ao modelo. A FIGURA 9 apresenta a localização dos pontos planejados e os coletados em campo, no próximo item.

Outras variáveis importantes para o levantamento e que foram avaliadas para o período de dias da possível realização, para se escolher o melhor dia de voo, foram a nebulosidade, janela de voo, possibilidade de precipitação, velocidade dos ventos e também a altura da maré.

O melhor horário de levantamento para dias de sol, evitando oclusões causadas pelos ângulos que formam sombra nos objetos, foi calculado para a região entre às 10h20min e 14h20min na semana reservada ao levantamento.

Dentro dos dias favoráveis ao levantamento, em função dos itens citados acima, mobilização da equipe e locação dos equipamentos, optou-se pelo dia 11 de janeiro. Porém, em desdobramentos da janela de voo, verificou-se que a altura da maré prevista pela Tábua de marés e Solunares, calendário disponibilizado pela Marinha Brasileira que mostra os horários e os níveis da maré no dia e horário previsto para o levantamento, estaria baixa nos horários definidos pela janela, comprometendo o levantamento da linha d'água, como é possível verificar na FIGURA 8.



FONTE: Marinha Brasileira (2023).

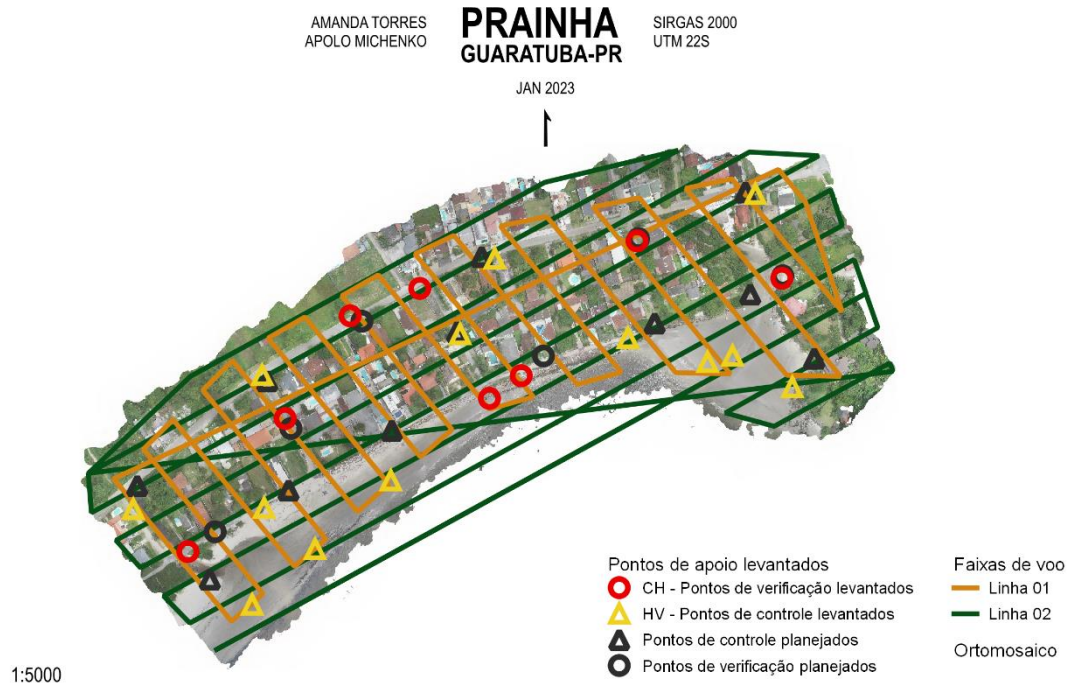
Com as informações necessárias apuradas e salvas foi solicitado o SARPAS, licenciamento de controle do DECEA, com as informações do RPA, piloto, data, horário, local e altura de voo. A solicitação foi aprovada e protocolada pelo código 67050032. Desta forma, tornou-se possível realizar o levantamento em campo.

3.2.2.2 Execução em campo

A execução da implantação e levantamento dos pontos de apoio, da linha d'água e dos aerolevamentos foram realizados no dia 11 de janeiro de 2023. Inicialmente instalou-se a base GNSS para sinalização e levantamento dos pontos de apoio, seguido dos voos e por fim o caminhamento sobre a linha da maré. A FIGURA 9 apresenta as faixas de voo realizadas nos dois mapeamentos e os pontos de apoio planejados e os que foram levantados.

FIGURA 9 - PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DE VOO

LEVANTAMENTO FOTOGRAMÉTRICO



FONTE: Autores (2023).

I. Apoio terrestre

Primeiramente foi instalada a base GNSS, onde o receptor CHC i50 foi instalado com o auxílio de um tripé sobre um ponto arbitrário, método de posicionamento absoluto, com o GNSS estático. Utilizando a coletora verificou-se o sinal da antena, armazenamento e épocas de coleta. Foi definido o sistema de referência SIRGAS 2000, a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) fuso 22S e criado um projeto sobre a base, nomeado de BASE 1. Essa base teve um rastreamento de 1 hora.

FIGURA 10 - RASTREIO DA BASE GNSS



FONTE: Autores (2023).

Em seguida a coletora foi conectada ao rover GNSS, receptor móvel CHC i50 instalado sobre um bastão. Para o rastreio dos pontos foi utilizado a Técnica RTK (*Real Time Kinematic*), técnica de rastreio em tempo real, o método se baseia na transmissão instantânea de dados de correções dos sinais de satélites recebido pelo receptor instalado sobre a base de referência, que mantém a conexão e estática resolvendo as ambiguidades, enquanto o receptor móvel percorre os pontos de interesse, ocupando cada um dos pontos de controle e verificação.

Apesar de não conhecer as coordenadas do ponto instalado sobre a base, princípio da técnica para obter as coordenadas em tempo real, a Técnica RTK oferece a opção de acompanhar a solução do ponto em relação às correções da base. A intenção é de procurar soluções fixas e precisas, ao invés de aceitar soluções de pontos flutuantes, que podem conter erros na sua coleta por perda de sinal ou ambiguidades não inteiras. O método agiliza o trabalho em campo, com rastreios mais curtos e sem a necessidade de retrabalho em casos de pontos flutuantes.

Os pontos foram sinalizados de acordo ou próximo com o que estava planejado em croqui, sendo demarcados com cal ou tinta spray, como mostra a FIGURA 11.

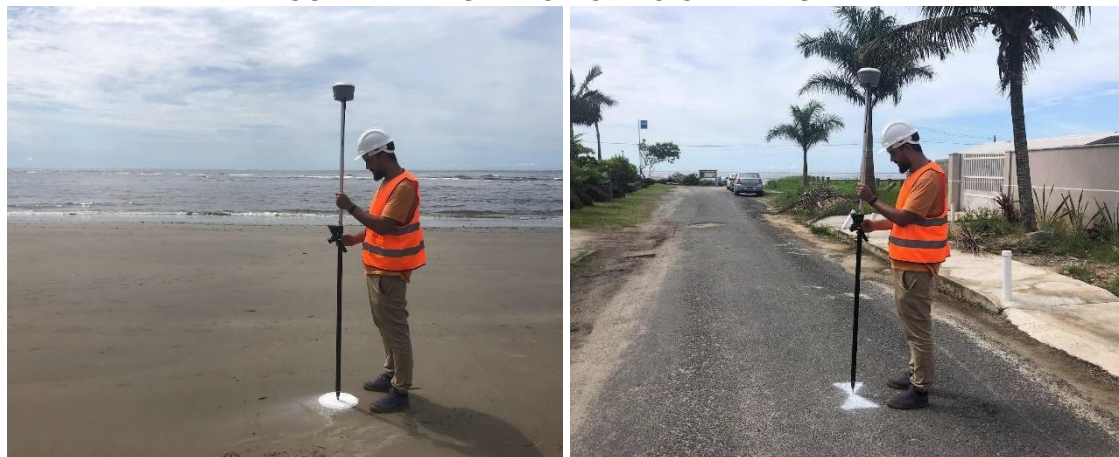
FIGURA 11 - SINALIZAÇÃO DO APOIO TERRESTRE



FONTE: Autores (2023).

Logo que os pontos foram sinalizados, também foi realizada a coleta com o receptor móvel de suas coordenadas tridimensionais pela Técnica RTK, antes de partir para o próximo ponto, mostrado a seguir na FIGURA 12.

FIGURA 12 - RASTREIO DO APOIO TERRESTRE



FONTE: Autores (2023).

II. Aerolevanteamento

Assim que foi finalizado o levantamento dos pontos foi dada sequência com a execução do aerolevanteamento (FIGURA 13). A cobertura fotogramétrica de uma determinada área é realizada por meio de fotografias verticais, que são obtidas ao longo de diversas faixas ou linhas de voo em uma série de fotografias com sobreposição longitudinal e sobreposição lateral. Foram necessárias mudanças no planejamento do segundo voo dado a velocidade do vento e possibilidade de aparições de helicópteros da Operação Verão do Corpo de

Bombeiros Militar do Paraná, sendo temporada de turistas nas praias do estado. As configurações usadas foram as do QUADRO 4, porém não tiveram prejuízos aos produtos, uma vez que o teste de correlação se tornou não significativo ao projeto dados os métodos adotados.

QUADRO 4 - CONFIGURAÇÃO DE VOO

Voo	1	2
Altura	60m	74m
Sobreposição Frontal	75%	75%
Sobreposição Lateral	65%	75%
Direção do voo	47°	149°
GSD	1,8 cm	2,2 cm

FONTE: Autores (2023).

Para a execução do voo foi utilizado o software *Drone Deploy*, assim como no planejamento. O software realiza verificações a fim de garantir que o veículo se encontra seguro para realizar o voo, sendo capaz de aplicar ações corretivas ao voo se o algoritmo detecta alguma não conformidade com o plano de voo, e caso a bateria do veículo esteja em estado crítico, o voo é interrompido e o veículo retorna a base.

FIGURA 13 - AEROLEVANTAMENTO



FONTE: Autores (2023).

III. Linha d'água

Após finalizado o apoio terrestre e o aerolevante, realizou-se a implantação de uma segunda base GNSS (FIGURA 14), em um ponto igualmente arbitrário, para a realização do levantamento da linha d'água, representação da linha do mar no instante da tomada, entre 11h45min e 12h20min.

Este levantamento, porém, acabou não sendo utilizado por não ser o horário ideal para levantar a linha d'água, já que no momento do levantamento a maré estava baixa não representando o limite em que o mar alcança na região. A mudança do local se deu pela possibilidade do monitoramento da base enquanto era realizado o caminhamento no entorno do mar.

FIGURA 14 - LOCALIZAÇÃO DAS BASES GNSS

BASES GNSS



FONTE: Autores (2023).

O levantamento da linha do mar (FIGURA 15) foi também realizado com a implantação de uma base pelo método de posicionamento estático e pós-processado, e a técnica RTK para o receptor móvel. Porém utilizou-se a trajetória do método cinemático que ocupava automaticamente um ponto a cada 1 segundo, gerando 660 pontos na trajetória traçada.

FIGURA 15 - CAMINHAMENTO SOBRE A LINHA D'ÁGUA



FONTE: Autores (2023).

3.2.2.3 Processamento de dados

As etapas de processamento dos dados foram feitas logo após a volta do campo. Essa etapa inclui os processamentos geodésicos, identificação dos pontos de apoio na imagem, inserção dos parâmetros iniciais e determinação dos produtos cartográficos que serão gerados.

I. Processamento geodésico dos pontos

A primeira etapa realizada, para que pudesse ser devolvido o equipamento GNSS, foi o processamento das bases. Extraídos os arquivos da base, gerados em formato do receptor (.HCN), os arquivos foram transformados em formato RINEX através do programa do fabricante do equipamento GNSS, formato de arquivo com dados geodésicos necessários para processamento pelo IBGE-PPP.

A base, sendo um método estático, foi processada pelo Posicionamento por Ponto Preciso (IBGE-PPP), um serviço online gratuito para o pós-processamento de dados GNSS, que faz uso do programa CSRS-PPP (*GPS Precise Point Positioning*) desenvolvido pelo NRCan (*Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada*).

Os arquivos RINEX das duas bases foram enviados, pós-processados e recebidos em formato de relatório. Ao processar os dados GNSS utilizando o IBGE-PPP, é fornecido um desvio padrão, que é um indicativo da qualidade do levantamento. O desvio padrão representa a confiabilidade interna do

processamento, também chamado de precisão. De acordo com o Manual de serviços on-line para Pós Processamento de dados GNSS, as precisões admitidas com receptores L1&L2 após 1 hora de rastreo são na ordem de 0,040 m para as componentes tanto planimétrica quanto altimétrica (IBGE,2020).

Esse software ainda utiliza arquivos de órbitas e de correções dos relógios dos satélites, que são ditas precisas e possuem três categorias: FINAL, RÁPIDA e ULTRA-RÁPIDA. Cada uma dessas órbitas possui uma precisão associada e são disponibilizadas em diferentes momentos. Ao processar entre 1h30min e 2h30min após o fim do rastreo as correções feitas são com as órbitas ultra-rápidas, e a precisão da órbita é de 15 cm, enquanto para a rápida, depois de 12 horas após o fim do rastreo a precisão das correções cai para 5 cm. E essas precisões implicam na precisão final gerada pelo processamento interno e enviadas via relatório.

A seguir, na TABELA 1, serão apresentados os valores recebidos pelo IBGE-PPP e utilizados no processamento fotogramétrico, dadas as precisões com a correção das órbitas sendo a ultra-rápida no dia após o levantamento, e comparação com os dados pós processados 17 dias depois, onde foi utilizada as correções de órbitas rápida.

TABELA 1 - PROCESSAMENTO IBGE-PPP DAS BASES GNSS

Base	Data	Órbitas	N (m)	E (m)	h (m)	Desvio padrão		
						N (m)	E (m)	h (m)
1	12/01/2023	ULTRA	7138474,300	744724,066	4,24	0,013	0,018	0,026
	28/01/2023	RÁPIDA	7138474,315	744724,069	4,23	0,014	0,018	0,027
2	12/01/2023	ULTRA	7138382,014	744769,625	4,58	0,010	0,029	0,034
	28/01/2023	RÁPIDA	7138382,014	744769,622	4,58	0,008	0,024	0,022

FONTE: Autores (2023).

Dada a necessidade do momento de entrega do equipamento, a coordenada utilizada para o processamento fotogramétrico foi a obtida pelo pós-processamento do dia 12, com correções ultra-rápidas. A necessidade se dá, pois, ao obter a coordenada pós-processada. É necessário a correção dos demais pontos coletados pela técnica RTK, e a forma de correção para transportar o vetor de correção a todos os pontos, considerando a geometria dos satélites na coleta dos pontos e em relação a base, é feito diretamente na coletora do equipamento, no projeto criado.

Ao comparar ambos os pós-processamentos é perceptível a discrepância de 1,5 cm na coordenada Norte da BASE 1, a qual foi utilizada para corrigir as coordenadas tridimensionais dos pontos de apoio. Esse vetor tridimensional de erro foi distribuído de maneira uniforme pelos pontos, não afetando a rigidez do modelo.

Para o desenvolvimento do trabalho, utilizou-se dados de estimativas globais, ou seja, possíveis cenários estudados que tem precisões muito amplas que não consideram peculiaridades locais, estas quais que influenciam diretamente nos valores da pesquisa em questão para porções diferentes do planeta. Deste modo a precisão das estimativas são centimétricas, considerando assim que os desvios padrão encontrados nas bases, e a propagação do erro nos demais pontos levantados atendem a necessidade que o projeto apresenta para as representações.

Nas TABELA 2 e TABELA 3 encontram-se os valores de mínimo, máximo e mediana do erro médio quadrático (EMQ) encontrado para os pontos coletados pela técnica RTK em ambas as bases, não sendo necessário descartar nenhum ponto, aplicando a correção a todos.

TABELA 2 - PRECISÕES BASE 1 - GNSS-RTK

Desvio Padrão	Valores – BASE 1 (m)				
	Erro EMQ	Precisão X	Precisão Y	Erro Horizontal	Erro Vertical
Mínimo	0,0177	0,0079	0,0092	0,0122	0,0227
Máximo	0,0194	0,009	0,0099	0,0131	0,0254
Mediana	0,0182	0,00845	0,0094	0,0126	0,02345

FONTE: Autores (2023)

TABELA 3 - PRECISÕES BASE 2 - GNSS-RTK

Desvio Padrão	Valores – BASE 1 (m)				
	Erro EMQ	Precisão X	Precisão Y	Erro Horizontal	Erro Vertical
Mínimo	0,0147	0,0082	0,0086	0,0122	0,0177
Máximo	0,0175	0,011	0,0102	0,0147	0,0211
Mediana	0,0155	0,0086	0,0095	0,0128	0,0188

FONTE: Autores (2023).

II. Conversão de altitudes elipsoidais em altitudes normais por meio do modelo de conversão hgeoHNOR2020

Após o processamento GNSS, a altitude que se obtém é a geométrica ou elipsoidal (h), que se refere à distância entre o ponto na superfície terrestre e a sua projeção na superfície elipsoidal ao longo da normal. Em trabalhos de engenharia e mapeamento são necessárias altitudes com significado físico.

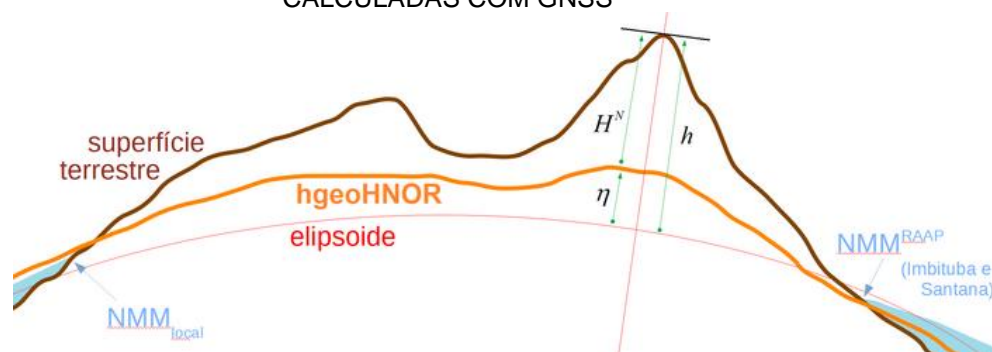
Nesse sentido, desde 2018 a rede altimétrica de alta precisão vinculada ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) possui altitudes normais (H^N) cujos valores foram determinados com base no Reajustamento da Rede Altimétrica com Números Geopotenciais (REALT-2018) (IBGE, 2018). A determinação prática das altitudes normais leva em conta a realização de nivelamento geométrico e gravimetria, por conta disso as altitudes possuem vínculo com o Datum Vertical do país, no caso brasileiro a maior parte de rede altimétrica do SGB tem origem no marégrafo de Imbituba/SC.

Com a publicação das altitudes normais e procurando beneficiar os usuários dos sistemas GNSS, o IBGE publicou um modelo de conversão específico denominado hgeoHNOR2020. Este modelo de conversão fornece aos usuários fatores de conversão (n) que permitem transformar uma altitude elipsoidal numa altitude normal vinculada ao SGB, conforme FIGURA 16, a partir do conhecimento das coordenadas planimétricas dos pontos de interesse.

Esse fator de conversão quantifica a diferença que existe entre a superfície de referência elipsoidal e a superfície de referência na qual estão vinculadas as altitudes normais da rede vertical brasileira. Observando a FIGURA 16, constata-se que a relação entre as altitudes normais e as altitudes elipsoidais é dada por:

$$H^N = h - n$$

FIGURA 16 - hgeoHNOR - MODELO MATEMÁTICO PARA CONVERSÃO DAS ALTITUDES CALCULADAS COM GNSS



FONTE: IBGE (2023).

Foi realizada a transformação das altitudes elipsoidais em normais, sendo que o fator de conversão para a região variou em torno de 0,07 m a 0,09 m. Obteve-se assim as coordenadas no formato UTM (E, N, H^N) em metros, dando sequência ao processamento fotogramétrico que depende dos pontos de apoio.

Enquanto os pontos cinemáticos foram reservados para serem utilizados no levantamento da linha da água na região. A precisão propagada para os pontos foi próxima ou menor que 5 cm de maneira geral. O QUADRO 5 apresenta as coordenadas dos pontos coletados e processados, onde HV = pontos de controle e CH = pontos de verificação, por conveniência.

QUADRO 5 - COORDENADAS TRIDIMENSIONAIS DE APOIO

ID Ponto	N (m)	E(m)	H^N (m)
HV07	7138472,224	744720,970	2,200
CH07	7138446,380	744655,826	2,050
HV06	7138406,608	744690,747	2,383
CH03	7138422,631	744595,425	2,118
HV03	7138371,164	744519,231	2,180
CH02	7138333,608	744539,080	2,183
HV04	7138256,027	744520,878	2,464
CH01	7138218,210	744454,781	2,051
HV01	7138255,014	744407,427	1,872
HV02b	7138172,144	744510,531	0,385
HV04b	7138220,469	744565,050	0,161
HV05	7138279,915	744630,697	0,285
CH04b	7138351,048	744716,278	0,215
CH04	7138370,682	744743,821	3,077
HV08	7138403,359	744836,321	2,311
HV8b	7138382,506	744905,365	0,043
HV11b	7138388,036	744927,097	0,113
HV10	7138360,651	744978,872	0,576
CH06	7138455,133	744969,744	1,231
HV09	7138528,254	744946,863	2,307
CH05	7138487,563	744844,198	1,770

FONTE: Autores (2023).

III. Aerotriangulação

O processamento fotogramétrico envolve o processamento das imagens tomadas em campo e a origem dos produtos. O software de processamento utilizado foi o *Metashape*, software desenvolvido pela empresa Agisoft, onde é possível realizar o processamento fotogramétrico de imagens e geração de modelos espaciais 3D, para medições indiretas de objetos em diferentes escalas.

O software utiliza a técnica SFM - *Structure from Motion*, processo de estimar estruturas tridimensionais a partir de sequências de imagens bidimensionais, e através de processamentos internos é capaz de reconhecer pontos homólogos em diferentes imagens sem a inserção dos parâmetros de

orientação interior (POI) e parâmetros de orientação exterior (POE) do levantamento e câmera, possibilitando o alinhamento das imagens.

A aerotriangulação é o processo de densificação de pontos de controle ou do uso do sistema de navegação inercial, para correlacionar as imagens aéreas e o sistema de coordenadas do mapeamento, para no final obter-se um produto cartográfico referenciado. Além disso, é possível orientar as imagens captadas de modo que qualquer ponto pesquisado possua uma coordenada relacionada a um sistema previamente definido, para este projeto o SIRGAS 2000. Nesta etapa foram medidos os pontos de apoio nas imagens para processamento e obtidos os POIs e POEs.

Após o alinhamento das imagens é criada uma nuvem de pontos de ligação de maneira automática, e então feito a inserção dos pontos de apoio, pontos de controle e verificação, lidos manualmente no software através de seleção imagem por imagem. É então realizada uma calibração automática, calibração em trabalho, e dada sequência a construção de uma nuvem densa baseada nos parâmetros de orientação exteriores e interiores calculados pelo software.

Através de pares de imagens sobrepostas, considerando a orientação externa e interna ajustadas no processo de criação da nuvem de ligações, são criados espécies de mapas de profundidade usando informações das regiões sobrepostas, na construção de uma nova nuvem com um maior número de pontos de ligação por interseção de pontos chamada nuvem densa.

Utilizando 13 pontos de controle e 8 pontos de verificação obteve-se um Erro Médio Quadrático total de 0,018 m nos pontos de controle, e um erro médio quadrático de 0,025 m no total dos pontos de verificação, considerado suficientemente preciso para as necessidades do estudo.

As precisões da localização na hora da tomada das imagens foram de 10 m, visto que o GNSS embarcado na aeronave tem o intuito apenas de geolocalização da aeronave, sendo de baixa precisão. Enquanto para os pontos de apoio foi utilizado 5 cm, e para os parâmetros de alinhamento optou-se pelo processamento com precisão elevada. Após esses passos é construído um modelo 3D da região e iniciada a geração dos produtos fotogramétricos.

Foi realizado um teste estatístico ao final do processamento para analisar a tendência dos resultados, utilizando a distribuição T de Student, de

probabilidade. Utilizou-se os 8 pontos de verificação, tendo os valores de discrepância nas coordenadas (E,N,H) entre o levantamento geodésico e fotogramétrico de pontos homólogos, como mostra a fórmula a seguir, gerados no relatório de processamento.

$$\begin{aligned}\Delta E &= E_{GNSS} - E_{RPA} \\ \Delta N &= N_{GNSS} - N_{RPA} \\ \Delta H &= H_{GNSS} - H_{RPA}\end{aligned}$$

Onde:

$\Delta E, \Delta N, \Delta H$	discrepâncias nas coordenadas UTM (E,N,H);
$E_{GNSS}, N_{GNSS}, H_{GNSS}$	coordenadas UTM (E,N,H) do levantamento GNSS;
$E_{RPA}, N_{RPA}, H_{RPA}$	coordenadas UTM (E,N,H) do levantamento RPA.

Com o auxílio das ferramentas do software *Excel* calculou-se a média e o desvio-padrão das discrepâncias para as coordenadas E, N e H, através das fórmulas:

$$\overline{\Delta E} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta E_i}{n} \qquad \overline{\Delta N} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta N_i}{n} \qquad \overline{\Delta H} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta H_i}{n}$$

$$\sigma_{\Delta E} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\overline{\Delta E} - \Delta E_i)^2}{n-1}}$$

$$\sigma_{\Delta N} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\overline{\Delta N} - \Delta N_i)^2}{n-1}}$$

$$\sigma_{\Delta H} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\overline{\Delta H} - \Delta H_i)^2}{n-1}}$$

Onde:

$\overline{\Delta E}, \overline{\Delta N}, \overline{\Delta H}$	média das discrepâncias
$\sigma_{\Delta E}, \sigma_{\Delta N}, \sigma_{\Delta H}$	desvio padrão amostral das discrepâncias

As hipóteses utilizadas, para o teste de tendência e precisão, através das coordenadas de referência, foram:

$$\begin{aligned}H_0: \underline{\Delta E} = 0; \underline{\Delta N} = 0; \underline{\Delta H} = 0 &\rightarrow \text{média das discrepâncias é nula} \\ H_1: \underline{\Delta E} \neq 0; \underline{\Delta N} \neq 0; \underline{\Delta H} \neq 0 &\rightarrow \text{média das discrepâncias não é nula}\end{aligned}$$

Na sequência foi realizado o teste estatístico t student para as coordenadas E, N e H para comparação com o t student teórico.

$$t_{\Delta E} = \frac{\Delta E}{\sigma_{\Delta E}} \cdot \sqrt{n} ; \quad t_{\Delta N} = \frac{\Delta N}{\sigma_{\Delta N}} \cdot \sqrt{n} ; \quad t_{\Delta H} = \frac{\Delta H}{\sigma_{\Delta H}} \cdot \sqrt{n}$$

Se $|t| \leq t_{1-\alpha, GL} \rightarrow H_0$ é válida e não existe tendência na direção considerada

Onde:

$t_{1-\alpha, GL}$	t-student teórico
α	nível de significância
$1 - \alpha$	graus de confiança
$GL = n - 1$	graus de liberdade

Foram obtidos os seguintes valores considerados não tendenciosos, ou seja, validando o levantamento.

QUADRO 6 - TESTE ESTATÍSTICO - T-STUDENT

T-Student			
Eixo	Tabela	Calculado	Resultado
TE	1,894578605	0,544477	Não Tendencioso
TN	1,894578605	-0,170964	Não Tendencioso
TH	1,894578605	1,323393	Não Tendencioso

FONTE: Autores (2023).

Utilizando o Software GeoPEC disponibilizado pelo Curso de Engenharia de Agrimensura da Universidade Federal de Viçosa, ferramenta que faz a avaliação da acurácia posicional em dados cartográficos, utilizando o Decreto nº. 89.817/1984 aliada à metodologia ET-CQDG, foi possível avaliar a qualidade posicional dos dados fotogramétricos processados.

Para avaliar a acurácia posicional no software, utiliza-se de feições pontuais, sendo necessária a entrada das coordenadas de referência e das coordenadas do dado em que se queira avaliar.

Apesar de não haver uma precisão estabelecida para o levantamento realizado, segundo a classificação do Decreto nº 89.817, a classe alcançada no levantamento fotogramétrico realizado foi referente a classe A, na escala 1:1000, o que corresponde a um erro de até 0,28 m em planimetria e 0,17 m em altimetria, como consta no relatório gerado disponível em anexo (ANEXO 1 - Avaliação do Padrão de Acurácia Posicional em Dados Espaciais).

IV. Geração dos produtos fotogramétricos

- a. Nuvem densa de pontos: um conjunto de vários pontos referenciados em um sistema de coordenadas tridimensional, sua geração se dá a partir de todas as imagens coletadas em campo e aerotrianguladas. É possível definir a coordenada de cada ponto do objeto de estudo pelo fato de que diversas imagens dão várias perspectivas de observação de um mesmo ponto, podendo assim relacioná-las e visualizar tridimensionalmente.

Com o software Metashape, foi gerada a nuvem de pontos já referenciada no sistema de coordenadas de estudo. Junto com as coordenadas também se tem o índice RGB, um sistema de cores aditivas em que o Vermelho, o Verde e o Azul são combinados de várias formas de modo a reproduzir um largo espectro cromático de cada ponto.

Através da nuvem de pontos são interpoladas as superfícies para os modelos digitais.

QUADRO 7 - DADOS DE PROCESSAMENTO

Nº de imagens	429
Altitude de voo	73,4 m
Resolução do solo	1,83 cm/px
área recoberta	0,167 km ²
Tie points	387.423
Erro de reprojeção	0,728

FONTE: Autores (2023).

- b. Modelo Digital de Elevação: modelo gerado a partir da nuvem de pontos em que fornece a cota, ou altitude do terreno e de cada objeto representado nele. Neste modelo é levado em consideração todos os objetos da área de estudo, como construções, vegetação e até mesmo automóveis. No software Metashape foram gerados estes modelos a partir da nuvem de pontos obtida anteriormente, reunindo todos os tipos

de pontos que existiam, sem distinção, fornecendo assim a altitude de cada ponto do modelo.

A reconstrução do MDE foi realizada em qualidade média e habilitada a interpolação, o que gerou uma resolução de 7,31 cm/px, e uma densidade de 187 pontos por m².

- c. Ortomosaico: As fotografias geradas em campo possuem uma perspectiva central e assim apresentam distorções do objeto de estudo. Após o processo de ortorretificação que visa eliminar essas distorções, as imagens recebem uma projeção ortogonal ao seu plano, e passam a ser chamadas de ortofotos, que podem ser consideradas como mapas fotográficos.

Já o ortomosaico é uma representação cartográfica de toda a área de estudo, e servirá de base para vários outros produtos. Ele é formado pela junção de todas as imagens geradas e verticalizadas que se sobrepõem, e utiliza como base o MDE gerado para a união, todo o processo foi realizado pelo software Metashape.

- d. Modelo Digital de Terreno: modelo também gerado a partir da nuvem de pontos em que fornece a cota, ou altitude apenas do terreno, desconsiderando os objetos existentes nele. Por se tratar inicialmente de imagens, dificilmente consegue-se extrair automaticamente em que altitude está o terreno abaixo da vegetação, grandes construções e outros objetos.

Para uma boa acurácia e assertividade na geração do modelo, foi realizada uma classificação da nuvem de pontos. Inicialmente, foi feita uma classificação automática no software Metashape, com os parâmetros sugeridos para ângulos e altitudes. Porém, não poderia ser gerado o modelo através apenas deste, sendo necessário uma classificação manual para retirar as piscinas, edificações e solo que foram classificados erroneamente.

Também foi classificado como terreno o quebra-mar formado por pedras, diferente da construção habitual do modelo, mas por ser uma barreira que está diretamente correlacionada com as inundações e o

alcance do mar. Após a classificação, foram desativadas todas as camadas consideradas como objetos, vegetação, carros, edificações e deixada ativa apenas as feições classificadas como terreno, e por um processo de habilitação de interpolação disponibilizada pelo software Metashape, que interpola as altitudes no entorno das feições faltantes, foi gerado o Modelo Digital de Terreno. A resolução e densidade de pontos dada foi a mesma que para o MDE.

QUADRO 8 - DADOS MDT

Resolução	7,31 cm/px
Densidade de pontos	187 pto/m ²

FONTE: Autores (2023).

- e. Curvas de nível: Com o auxílio do MDT é possível gerar através do software *Global Mapper* mapas topográficos da região de estudo. As curvas de níveis referem-se a linhas isoípsas, ou seja, que ligam os pontos com as mesmas altitudes, e estas permitem conhecer o comportamento do relevo do local de forma visual.

Com a finalidade de ter a leitura facilitada, adota-se o sistema de apresentar, dentro de um mesmo intervalo altimétrico, determinadas curvas mediante um traço com espessura maior que as demais curvas. As curvas chamadas mestras são representadas a cada 5 metros, as restantes denominadas intermediárias são representadas a cada 1 metro.

V. Restituição

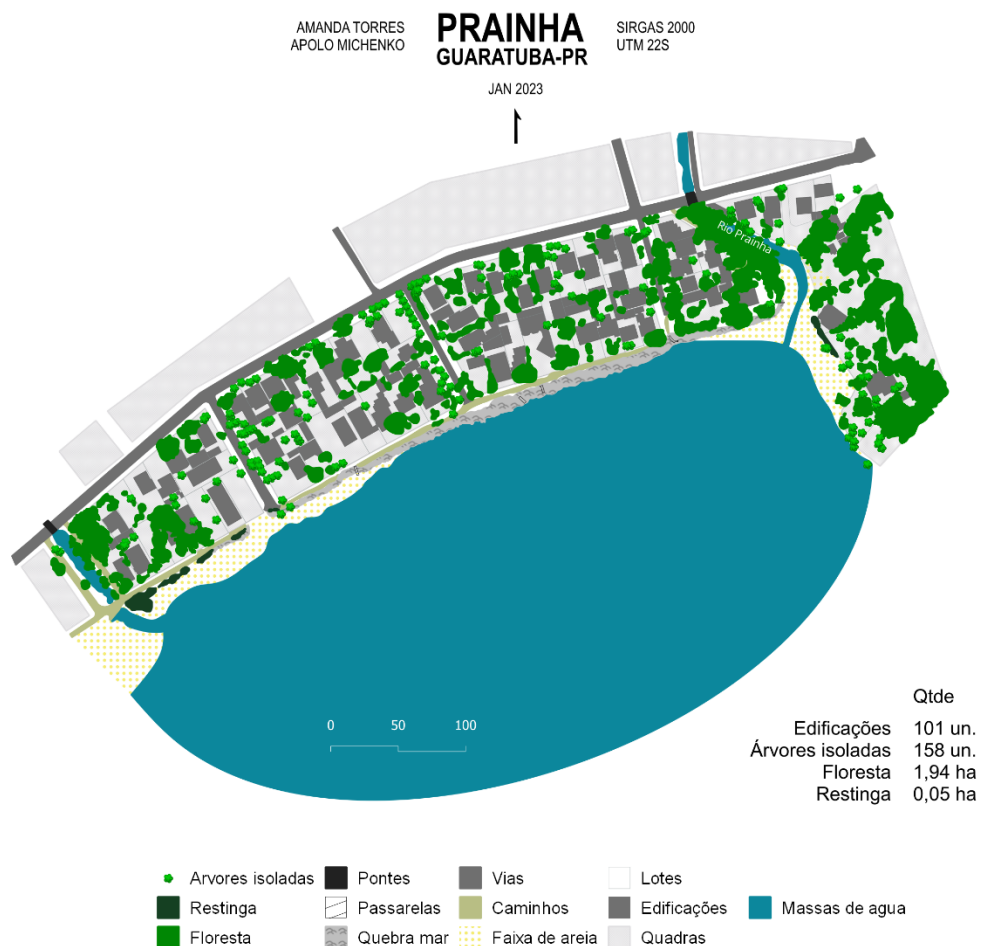
A restituição fotogramétrica é um processo de elaboração de mapas a partir das imagens fotogramétricas, e utiliza técnicas de fotointerpretação em sistemas fotogramétricos, o que consiste na transferência dos elementos da imagem sob a forma de vetores, a também chamada vetorização.

Essa etapa tem como intuito agrupar todas as informações da região de uma forma que sejam facilmente interpretadas, seguindo as necessidades do estudo. A partir dos ortomosaicos foi possível identificar as principais feições da região, foram restituídas as edificações, lotes, quadras, vias, caminhos, pontes, passarelas e escadas de acesso sobre o quebra-mar, quebra-mar, restinga e uma generalização dos demais tipos chamados como floresta, e as massas d'águas em uma generalização do rio, canal de esgotamento e oceano.

Para essa etapa foi utilizado o *AutoCad Civil 3D*, um dos softwares encontrados dentro da linha *AutoCad* desenvolvida pela AutoDesk, com foco nas necessidades dos ramos da engenharia. O software permitiu vetorizar as feições desejadas utilizando linhas, pontos e polígonos georreferenciados através da fotointerpretação, mas gerando produtos métricos que possibilitaram tanto análises visuais quanto análises quantitativas. Para a representação visual da vetorização final, FIGURA 17, foi utilizado o software *QGIS*, software livre de sistema de informação geográfica que permite a visualização, edição e análise de dados georreferenciados.

FIGURA 17 - PRODUTO RESTITUÍDO

RESTITUIÇÃO



FONTE: Autores (2023).

A seguir, a FIGURA 18 apresenta um resumo dos produtos que foram gerados desde o processamento fotogramétrico, classificação, extração e vetorização de informações altimétricas e planimétricas.

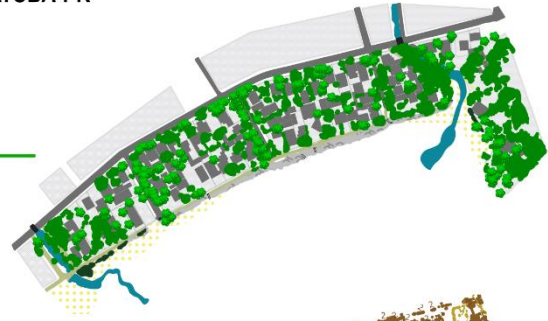
FIGURA 18 - PRODUTO EXTRAÍDOS DO AEROLEVANTAMENTO

PRODUTOS

PRAINHA GUARATUBA-PR

VETORIZAÇÃO

Traçado das feições existentes da superfície terrestre e observadas em uma imagem, para utilização em softwares SIG (Sistema de Informação Geográfica)



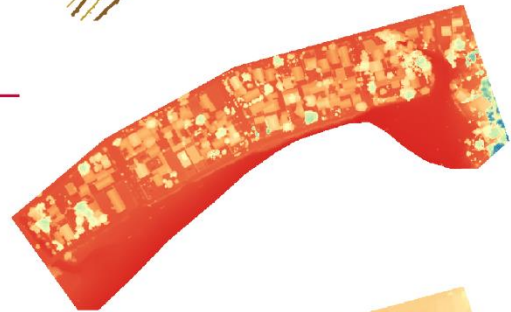
CURVAS DE NÍVEL

Representação do relevo produzidas através de isolinhas representando a altimetria da região



MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO

Modelo digital representado por pontos que apresenta a elevação do terreno e o que há sobre ele, como edificações e vegetação



MODELO DIGITAL DO TERRENO

Modelo digital representado por pontos que apresenta a elevação do terreno



ORTOMOSAICO

Representação fotográfica da área de interesse obtida através de mapeamento aéreo



AMANDA TORRES SIRGAS 2000
APOLO MICHENKO UTM 22S
JAN 2023 1:7500

FONTE: Autores (2023).

3.3 PROJEÇÕES DA ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR

Após gerar os produtos para utilização como base cartográfica para as representações e análises, o próximo tópico tratou da escolha dos cenários com estimativas do aumento do nível do mar disponibilizados pelo IPCC.

Com o intuito de analisar o impacto do aquecimento global, e o possível impacto sobre a área de estudo, foram escolhidos dois cenários, dentre os cinco mencionados no capítulo 2.3, para simular o aumento do nível do mar e para posterior análise da área afetada com essa elevação, na Prainha de Guaratuba.

Os cenários escolhidos foram o SSP5-8.5 e o SSP1-1.9, o primeiro, mais catastrófico dentre os cenários observados, é aquele em que a humanidade deixa de se preocupar com as políticas climáticas, pensando apenas no desenvolvimento socioeconômico, e mantém como principais fontes energéticas os combustíveis fósseis. O cenário SSP1-1.9 é aquele onde os países concordam em limitar o aumento da temperatura em 1,5°C até o ano de 2100, seguindo o acordo de Paris, realizado em 2015.

Para a realização da simulação, foi utilizado o MDT gerado a partir do levantamento fotogramétrico, e posteriormente utilizado o software *Global Mapper* para gerar essa simulação de inundação.

No software *Global Mapper* existe uma ferramenta chamada *Simulate Water Level Rise/Flooding*, segundo a desenvolvedora do software a Blue Marble Geographics, essa ferramenta permite que o usuário simule a cobertura/inundação da água considerando o aumento do nível da água sobre uma única elevação fixa.

Inicialmente para realizar a simulação para os próximos 130 anos, visando o ano de 2150, ou seja, simular quais as áreas poderão ser inundadas na região de estudo, faz-se necessário definir onde o mar alcança nos dias de hoje.

3.3.1 Definição do nível do mar na região

As opções encontradas para a utilização como altura inicial de inundação foram a do levantamento da linha d'água feita em campo, um traçado a partir da comparação de imagens de satélite, utilização da tábua de marés para a região de Guaratuba, e a opção utilizada onde definiu-se que a região úmida do ortomosaico seria o limite que o mar alcança atualmente.

A linha que foi levantada em campo pela técnica RTK, foi apenas utilizada para visualização, pois como está indicado na tábua de marés (FIGURA 8) o levantamento foi feito em horários considerados de baixa-maré, e mesmo que o mar tenha avançado um pouco como mostra nas imagens do levantamento, a área úmida reflete a região que a água costuma alcançar na maré alta. Foi traçada então uma linha ao longo de toda a área úmida visível no ortomosaico, que resultou na seguinte região:

FIGURA 19 - ÁREA ÚMIDA



FONTE: Autores (2023).

Tendo a área de alcance atual do mar definida, realizou-se uma série de testes empíricos usando a ferramenta *Simulate Water Level Rise/Flooding*, para que fosse possível definir qual altura do MDT, quando inundado, se assemelhava mais a área definida como área de alcance atual do mar.

Após inúmeros testes e comparações a altura que mais se adequou foi 1,00 m, ou seja, considerou-se para esse estudo que essa altura é a altura inicial da inundação, margem de onde serão realizadas as simulações. Por exemplo, se em 10 anos o mar subir 0,10 m, usando o MDT gerado a partir do levantamento fotogramétrico, consideraria que o mar atingiu a altitude de 1,10 m do MDT.

Na FIGURA 20, a seguir, é possível visualizar os testes feitos para 0,80m, 1,00 m e 1,20 m, juntamente com a área úmida contornada, e ainda a linha d'água levantada em campo para fins de visualização, sobre o ortomosaico gerado.

FIGURA 20 - NÍVEL DO MAR DEFINIDO

NÍVEL DO MAR



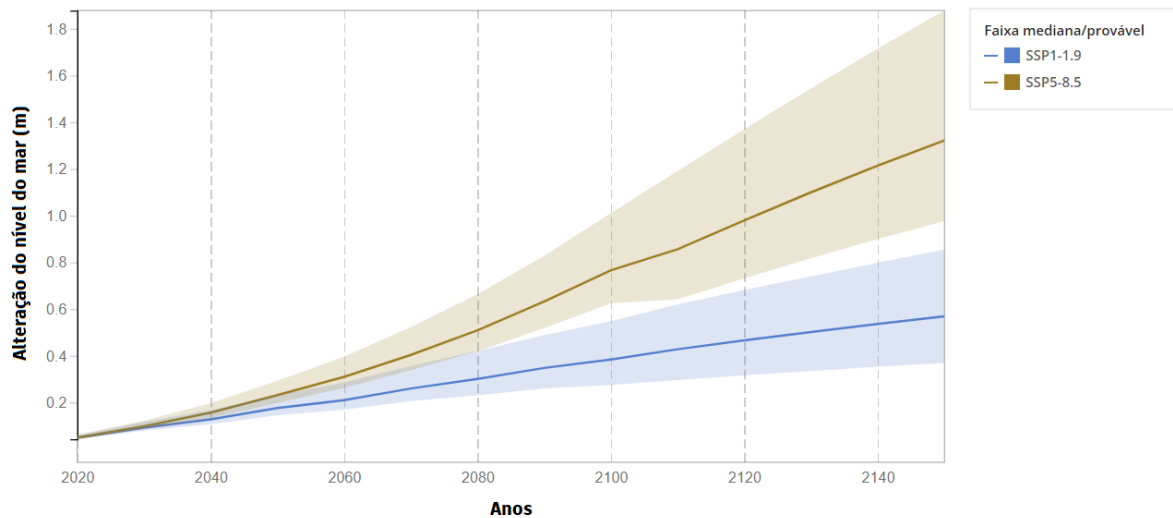
FONTE: Autores (2023).

3.3.2 Cenários de representação

Como mencionado no capítulo 2, para a confecção do ARG6, simulou-se a partir de vários cenários o aumento global do nível médio dos mares. Para este estudo, porém, só foram feitas simulações para os cenários SSP1-1.9 e SSP5-8.5.

Através da ferramenta de projeção do nível do mar, disponibilizada pela NASA, é possível visualizar em formato de gráfico a variação do mar para os cenários escolhidos, mostrados na FIGURA 21, onde as faixas sombreadas mostram o percentil de 17 a 83 de incertezas para os próximos 130 anos em ambos os cenários. O gráfico abaixo mostra a projeção e as incertezas para 'Mudança Total do Nível do Mar'.

FIGURA 21 - ELEVAÇÃO PROJETADA DOS CENÁRIOS ESCOLHIDOS



FONTE: Adaptado NASA, (2023)

Analisando o gráfico entre estes dois cenários estudados, nota-se que os valores atingidos pelo cenário SSP1-1.9 em 2150, valor de 0,57m, são atingidos cerca de 60 anos antes considerando o cenário SSP5-8.5, em 2090 a expectativa é de 0,63m no cenário pessimista. Ou seja, esses valores reforçam o impacto que os seres humanos têm nas mudanças climáticas do planeta.

3.3.2.1 Cenário SSP1-1.9

Utilizando os dados tabulares da estimativa de aumento gerados, o MDT processado com precisão centimétrica, e o valor do nível do mar considerado inicial para a inundação, foram geradas simulações de elevação do nível do mar no software *Global Mapper*.

Pela demanda do processamento e escala de representação, optou-se por simular o aumento para intervalos de tempo de aproximadamente 30 em 30 anos, até o ano 2150, resultando no aumento entre os anos 2050, 2080, 2110 e 2150, com 4 categorias, mais a atual. O resultado do processamento foram 5 polígonos simulando o aumento do nível do mar na região, as cores são distribuídas de forma automática pelo software.

FIGURA 22 - SIMULAÇÃO DA ELEVAÇÃO DO MAR NO CENÁRIO SSP1-1.9

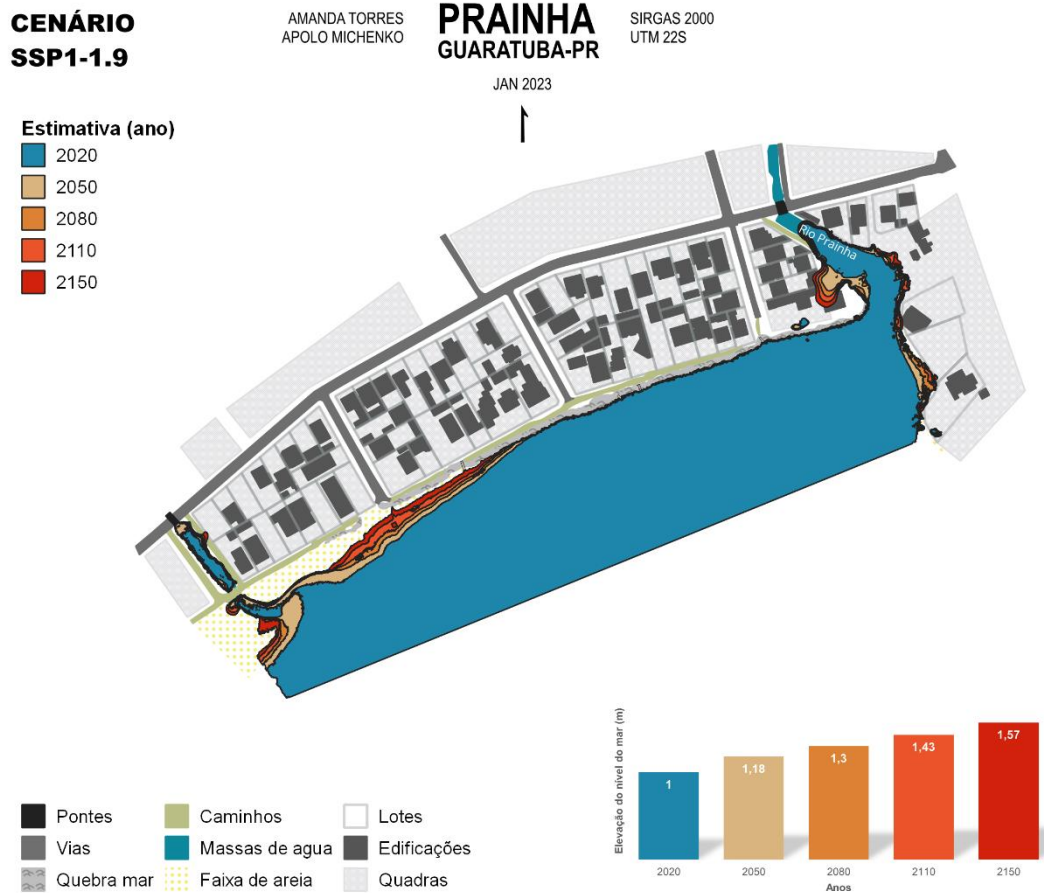


FONTE: Autores (2023).

Para edição e representação final, esses polígonos foram exportados para o formato shapefile e tratados no software *QGIS*. Como foram gerados cinco polígonos separados, o primeiro passo foi unir todos os polígonos utilizando a ferramenta *Merge*, que é uma ferramenta do *QGIS* que combina a geometria de uma feição com outra, resultando em uma única feição com ambas as informações. Uma vez concluída a junção dos polígonos, foi realizada uma classificação a partir do ano, e gerado um layout contendo o resultado da inundação para o Cenário SSP1-1.9.

FIGURA 23 - REPRESENTAÇÃO DA ELEVAÇÃO DO MAR - CENÁRIO SSP1-1.9

ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR



FONTE: Autores (2023).

3.3.2.2 Cenário SSP5-8.5

Para a simulação de inundação a partir do cenário SSP5-8.5, considerou-se o mesmo intervalo da representação do cenário SSP1-1.9, para que posteriormente pudessem ser comparados. Da mesma forma que o cenário anterior foram gerados 5 polígonos de inundação, como mostra a FIGURA 24.

FIGURA 24 - SIMULAÇÃO DA ELEVAÇÃO DO MAR NO CENÁRIO SSP5-8.5

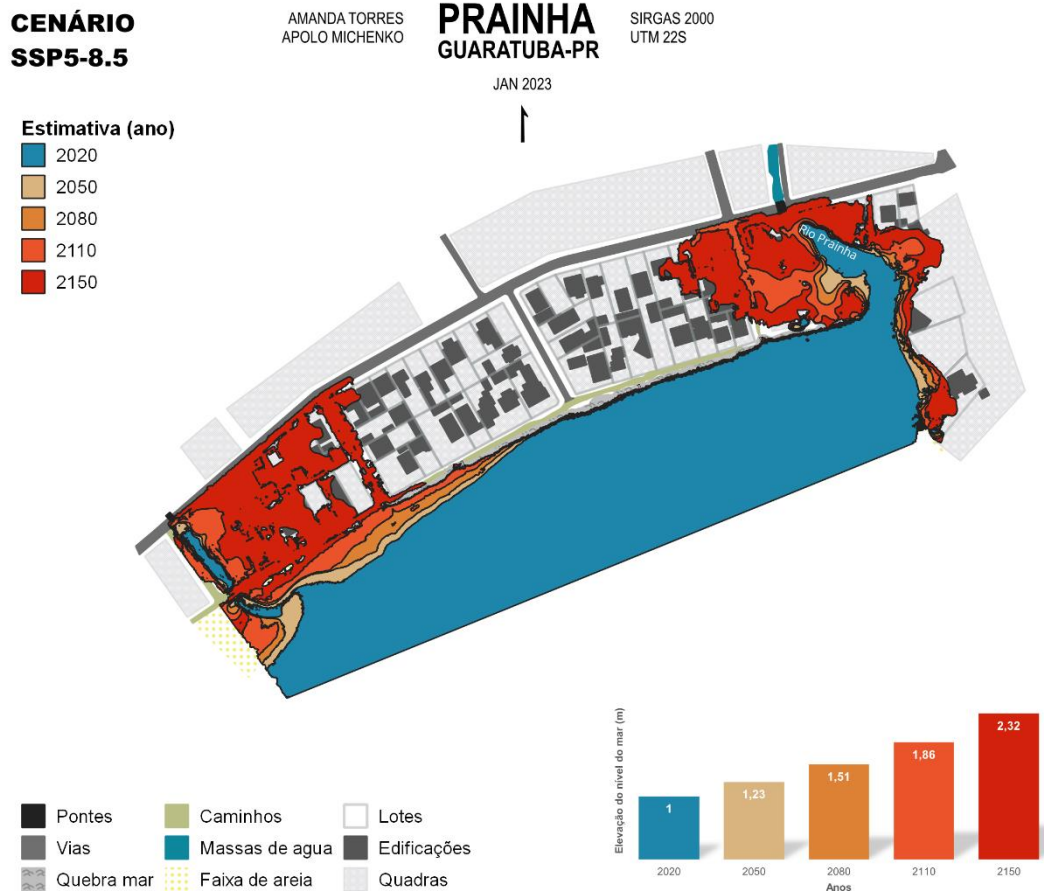


FONTE: Autores (2023).

Utilizando a ferramenta *merge*, a partir do software *QGIS*, fez-se a junção dos polígonos. Posteriormente, com os polígonos unidos em uma só camada, foi possível fazer uma classificação a partir do ano para facilitar a representação da progressão do mar para o continente para os próximos anos, gerando a seguinte representação.

FIGURA 25 - REPRESENTAÇÃO DA ELEVAÇÃO DO MAR - CENÁRIO SSP5-8.5

ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR



FONTE: Autores (2023).

Para uma representação com mais detalhes visuais da evolução da elevação do mar no cenário pessimista, gerou-se simulações de inundação a cada 10 anos, e através de ferramentas do Global Mapper gerou-se um GIF - *Graphics Interchange Format* com as imagens. Esse formato de imagens bitmap, utilizado na internet, permite ver com movimento a evolução gradual do aumento do mar. Para acessar basta ler o QR-Code a seguir utilizando telefones celulares ou tablets equipados com leitores de código, ou ainda acessar pelo navegador clicando [aqui](#).

FIGURA 26 - REPRESENTAÇÃO DA EVOLUÇÃO TEMPORAL - SSP5-8.5



FONTE: Autores (2023).

Utilizando os dados vetorizados, projeções do aumento do nível do mar e ferramentas de geoprocessamento disponibilizadas no software *QGIS*, tornou-se possível a análise do impacto que os cenários de inundação, caso aconteçam, terão no meio social e ambiental.

4 ANÁLISES E DISCUSSÕES

Com base nos cenários simulados foi possível mapear as áreas da Prainha passíveis de inundação nas duas situações extremas. Como apresentado no capítulo anterior, o cenário SSP5-8.5 (pessimista), estima uma situação mais drástica comparada com a SSP1-1.9 (otimista), o que indica os danos que podem ser causados no ambiente com o aumento da temperatura e elevação do nível do mar.

Neste capítulo apresentaremos as análises quantitativas e visuais, referentes ao levantamento feito e vetorizado, das áreas que podem ser atingidas em ambos os cenários. Ao cruzar as informações de área dos imóveis e feições dos recursos

ambientais, com a área de simulação do avanço do oceano, é possível extrair os dados de impacto que a elevação do nível médio do mar pode causar.

Os dados de recursos ambientais foram construídos a partir das feições vetorizadas de Floresta e Restinga, árvores isoladas e massas d'água, gerados através do ortomosaico. Já para os dados do meio social foram utilizadas as feições de polígonos dos imóveis, também gerados a partir do ortomosaico.

4.1 RECURSOS AMBIENTAIS AFETADOS

A denominada Lei da Política Nacional do Meio Ambiente, em seu Art. 3º, I, conceitua meio ambiente como sendo o conjunto de tudo que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas. Preservar o ambiente é fundamental, pois é nele onde estão todos os recursos naturais necessários para a sobrevivência das espécies de seres vivos.

O artigo também conceitua recursos ambientais (V) como “a atmosfera, as águas interiores, superficiais e subterrâneas, os estuários, o mar territorial, o solo, o subsolo e os elementos da biosfera”. Neste sentido, com o intuito de analisar os impactos ambientais da simulação, optou-se por analisar quantitativamente as áreas de vegetação, números de árvores isoladas afetadas, e a época de sobreposição da inundação com as massas d'água.

Como mencionado no item 2.2, a área está inserida na Bacia Hidrográfica Litorânea, nas proximidades do Parque Nacional Saint-Hilaire/Lange e APA Estadual de Guaratuba, e há fragmentos de Floresta Ombrófila Densa de terras baixas, tipo de vegetação com árvores emergentes de até 40 m de altura, e que possui densa vegetação arbustiva, composta por samambaias, arborescentes, bromélias e palmeiras.

Apesar de uma boa infraestrutura da região, a área não está livre de fenômenos naturais influenciados pelas marés, ressacas e até mesmo erosões, resultado da energia das ondas que atingem a costa. Segundo Angulo (1981), dependendo da morfologia do local e a configuração do fundo marinho, as frentes de onda sofrem deslocamentos direcionais e diminuição da velocidade, e essa energia concentrada pode provocar erosões diferenciais quando dispersas nas baías e enseadas, que provocam o deslocamento longitudinal da costa e de seus sedimentos.

Para realizar as análises considerou-se, para os dois cenários simulados, o impacto da inundação nas feições de floresta, restinga, massas d'água e árvores isoladas. Para isso, foram definidas cinco categorias de classificação, sendo elas:

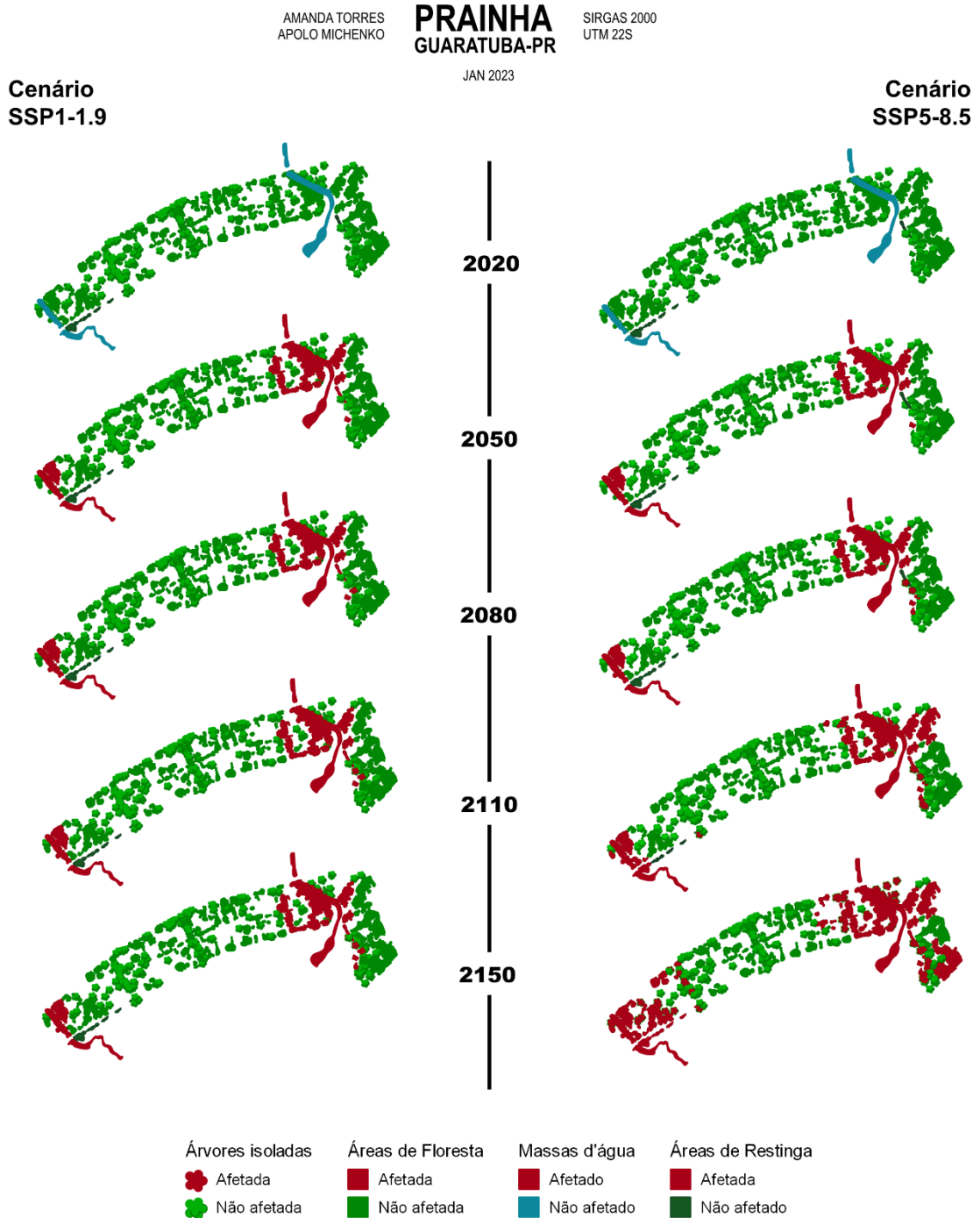
- Não afetado, ou seja, esta vegetação não é afetada em nenhum momento no cenário analisado nos próximos 130 anos (2150);
- Afetado em 2050, em que a vegetação sofrerá algum impacto pelo aumento do nível do mar nos próximos 30 anos;
- Afetado em 2080, a vegetação será afetada entre 2050 e 2080;
- Afetado em 2110, a vegetação será afetada entre 2080 e 2110; e
- Afetada em 2150, a vegetação será afetada entre 2110 e 2150.

Verificou-se que aproximadamente 64% dos polígonos de floresta vetorizados, serão afetados no cenário SSP5-8.5 até 2150, isso equivale a uma área de aproximadamente 1,25 ha (12.500,00 m²) de vegetação afetada. Quanto a árvores isoladas ao longo da área de abrangência do estudo, a simulação para este cenário mostrou que aproximadamente 28% delas foram afetadas, sendo aproximadamente 44 árvores. Além disso, toda a área de restinga existente atualmente na área de estudo, aproximadamente 0,05 ha (512,00 m²), será afetada neste cenário, bem como o rio e o canal de esgotamento que lá existem.

Para o cenário SSP1-1.9, esses números são mais amigáveis, aproximadamente 2% (2,53%) das árvores isoladas, serão afetadas pela elevação do nível mar até 2150. Quanto à área de floresta, cerca de 30% serão afetada, isso equivale a mais ou menos 0,58 ha (5.800,00 m²). A restinga, por mais que o impacto seja bem menor que no cenário SSP5-8.5, por estar próxima a praia ainda vai sofrer algumas alterações para os próximos 130 anos, tendo cerca de 20% da sua vegetação comprometida na área projetada. A FIGURA 27 ilustra os impactos na vegetação.

FIGURA 27 - REPRESENTAÇÃO DAS ÁREAS DE VEGETAÇÃO AFETADAS

VEGETAÇÃO AFETADA



FONTE: Autores (2023).

O impacto ambiental que consta nesta área pode ser observado nos dias de hoje, com a falta da vegetação de restinga arbustiva de moitas, não apresentando

feições foto-identificáveis. Isso pode ter ocorrido por interferência humana, afetada diretamente pelo homem com construções, ou por fenômenos de erosão e inundação.

A região é consideravelmente arborizada, mas não se encontra em áreas de conservação, sendo assim é relativa à distribuição dessa feição ao se considerar os 130 anos de estudos futuros. Admite-se que as árvores e mata serão afetadas, mas acredita-se que a maior problemática na invasão da água é o canal de esgotamento, que pode trazer prejuízos à água com poluição.

4.2 IMÓVEIS AFETADOS

A região de estudo inclui 101 domicílios, em 5 quadras, na Zona Balneária - ZB do município. Segundo o Art.7º do Capítulo II da Lei N° 1164, de 14 de novembro de 2005, que dispõe sobre o zoneamento do uso e ocupação do solo, das áreas urbanas e dá outras providências, a ZB fica definida como as porções do território destinadas preferencialmente ao uso residencial de habitações. As habitações devem servir de moradia para uma família, ou habitações transitórias de aluguel como hotel, pensão e pousadas, restritos a 2 pavimentos.

Na área é permitido apenas comércio vicinal de pequeno e médio porte, menores que 200 m², reservado a ser um local de baixa densidade demográfica e construtiva. A região é bem-organizada espacialmente, a maioria das vias é pavimentada, e está prevista a implantação de redes de saneamento até 2030, podendo ser considerada uma região sem fragilidades sociais.

A área também tem histórico da progressão do oceano que desencadeou a necessidade de uma barreira de pedras, que tem o intuito de proteger as residências das marés altas hoje em dia.

Para análise considerou-se, para os dois cenários simulados, o impacto da inundação causado a essas edificações levantadas. Para isso, foram definidas cinco categorias para classificar as edificações dentro da área de estudo, sendo elas:

- Não afetado, ou seja, esta edificação não é afetada em nenhum momento no cenário analisado nos próximos 130 anos (2150);
- Afetado em 2050, em que a edificação sofrerá algum impacto pelo aumento do nível do mar nos próximos 30 anos;
- Afetado em 2080, a edificação será afetada entre 2050 e 2080;
- Afetado em 2110, a edificação será afetada entre 2080 e 2110; e

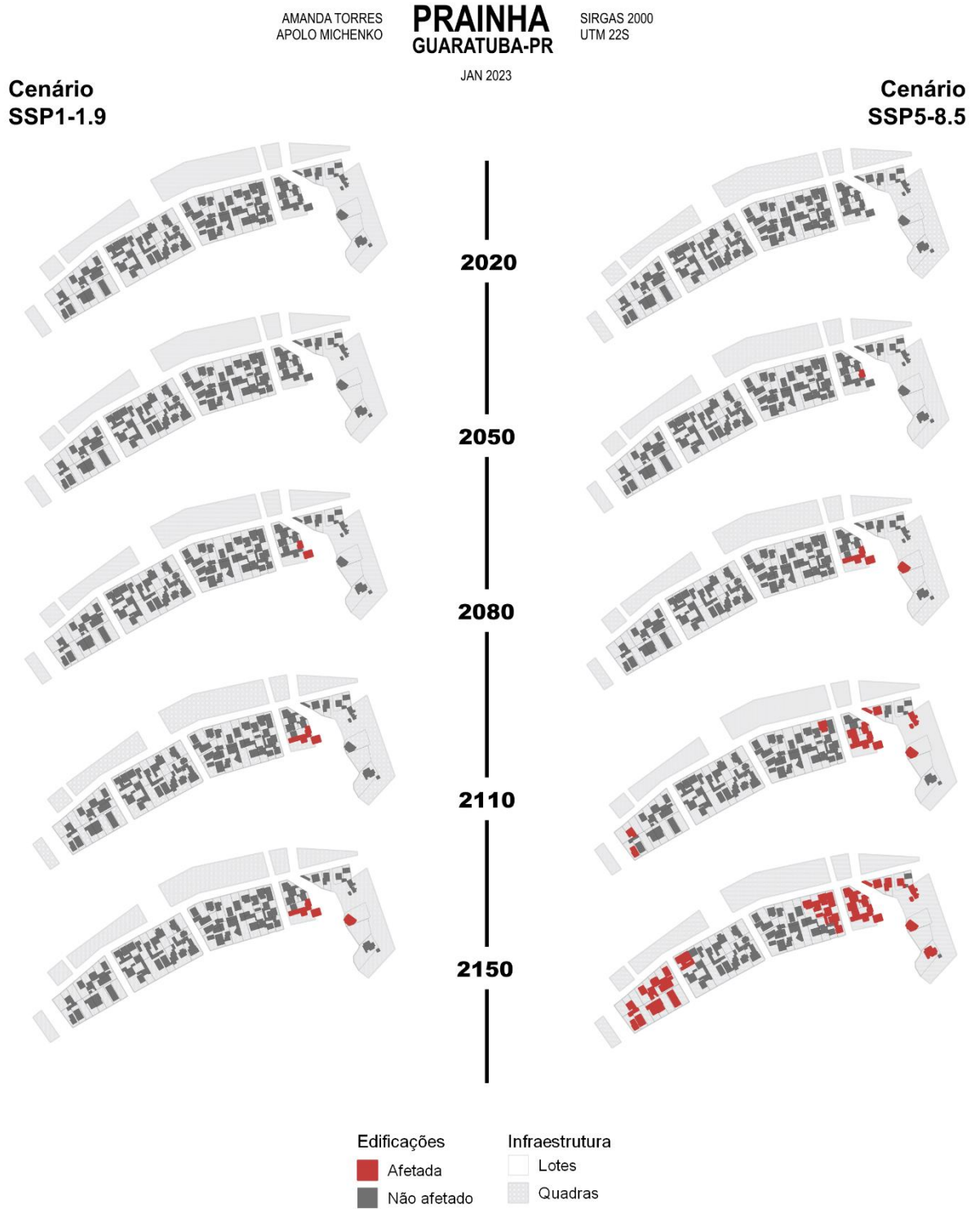
- Afetada em 2150, a edificação será afetada entre 2110 e 2150.

Considerando as classificações determinadas acima, verificou-se que aproximadamente 48% (47,52%) das edificações serão afetadas até 2150 no cenário SSP5-8.5, que em valores absolutos totaliza 48 das 101 edificações. Já para o cenário SSP1-1.9, apenas 4% (3,96%) das edificações serão afetadas até 2150, totalizando 4 edificações em um cenário otimista.

É possível perceber nas representações a seguir (FIGURA 28) que o quebramar de pedras, situado entre a região de areia e as residências, pode ser considerado um fator importante para a preservação das edificações posicionadas de frente para o mar, por desempenhar seu papel de barreira.

FIGURA 28 - REPRESENTAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES AFETADAS

IMÓVEIS AFETADOS



FONTE: Autores (2023).

Admite-se, que nos cenários estudados, há a possibilidade de inundações e perda de propriedades e imóveis na região. Esses dados viabilizam alertas a geração de estudos mais aprofundados e locais, com auxílio de demais áreas de pesquisa e a adoção de mais parâmetros que se aproximem da realidade local.

De maneira geral o maior impacto, sem dúvida, se dará em um cenário de aquecimento global drástico, e este estudo possibilita visualizar os danos que podem ser causados se não forem tomadas medidas que contribuam para a minimização e até mesmo regressão do aquecimento global, e por consequência as emissões de gases do efeito estufa.

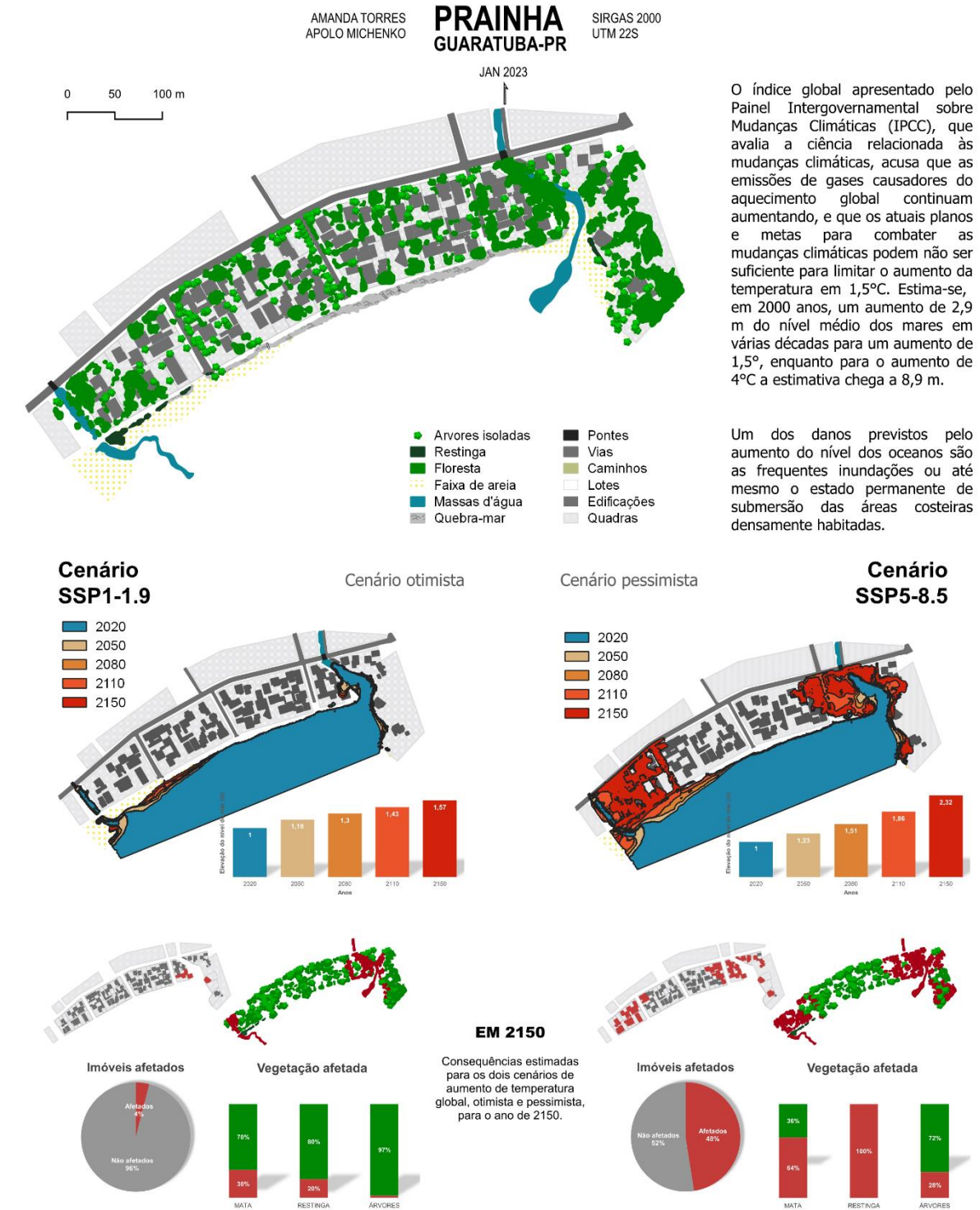
A FIGURA 29 apresenta em resumo os impactos sociais e ambientais estimado pelo estudo, para o ano de 2150, em formato de mapa. Ele e os demais mapas apresentados também podem ser acessados em formato PDF pelo QR-Code a seguir, ou pelo [link](#) .



(Aproxime a câmera do seu celular)

FIGURA 29 - REPRESENTAÇÃO DA ESTIMATIVA DE IMPACTO NA ÁREA DA PRAINHA

IMPACTO DA ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR



FONTE: Autores (2023).

4.3 LIMITAÇÕES PARA AS SIMULAÇÕES

Este trabalho possibilitou concretizar a simulação da elevação do nível do mar na Prainha, utilizando projeções de nível global, através de um MDT de precisão. Apesar da precisão do modelo digital, o nível de confiança dos dados de elevação, e a generalização dos ecossistemas e mudanças climáticas, podem ser considerados limitações impostas para que o resultado se aproxime da realidade. Algumas dessas limitações são:

I. Parâmetros globais e mudanças climáticas

Segundo Marengo (2001), “Modelos diferentes, mas com iguais concentrações de gases de efeito estufa, preveem, por vezes, diferentes climas regionais” e essas diferenças aumentam o grau de incertezas dos cenários globais utilizados. Apesar de haver lugares com maiores previsibilidades climáticas, quando se utilizam cenários climáticos para avaliação de seus impactos é necessário analisar os efeitos de variabilidade natural, além da induzida pelo homem. Marengo ainda afirma que é provável que a taxa de aquecimento do Brasil seja mais lenta que a média global.

II. Erosões e obras costeiras

A cidade de Guaratuba tem ocorrências de erosão a anos, em setembro de 1968 ocorreu um grande afundamento de sua orla, estudado posteriormente por geólogos como João José Bigarella, que apontou que a erosão ocorria há tempos.

Muitas vezes, a opção escolhida para reduzir os processos erosivos é pelo uso de obras costeiras como enrocamentos, muros de arrimo, gabiões, etc., o que acaba por resolver o problema temporariamente e/ou intensificá-lo posteriormente, como foi o caso. Com a construção de um trapiche e um muro de arrimo com drenagem insuficiente, a área abaixo das edificações inundou de água e cedeu.

Em 2021 voltou a ser noticiado pela imprensa uma erosão, considerada normal e localizada na praia de Caieiras, na praia de Guaratuba. A erosão por fenômeno natural, sem interferências de obras, é causada por desbarrancamentos na área a anos, ocorre pela dinâmica das ondas que levam os sedimentos ao mar.

III. Interferências antrópicas

Segundo relatos de moradores da área, após a “engorda” da faixa de areia de Matinhos, finalizada em 2022, foi possível observar mudanças no avanço do mar também na região da Prainha. A distância é de aproximadamente 3,5 km, contornando a linha de costa, entre a região de estudo e as obras em Matinhos-PR.

Foi anunciado em 11 de janeiro de 2023, pelo atual Governador do Estado do Paraná Carlos Massa Ratinho Junior, via redes sociais, a ampliação da faixa de areia da praia de Guaratuba.

Em nota, o Governo do Estado informou que o responsável pela engorda feita na orla da praia de Matinhos, o Instituto Água e Terra (IAT), formalizará um termo para a contratação de uma empresa que fará o projeto da obra. Ainda sem muitos detalhes, tendo relatos de pessoas da região, obras como essas na região ou entorno mudarão toda a característica do estudo.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Para analisar o impacto da elevação do nível do mar na região da Prainha, no município de Guaratuba, foram gerados produtos fotogramétricos, realizados através de aerolevante apoiado empregando RPA. A área foi escolhida considerando o avanço do mar na região, e a falta de vegetação de restinga. Para a simulação do aumento do nível do mar, foram escolhidos dois cenários de estimativas globais disponibilizados pelo IPCC (2021), e suas projeções para duas configurações estimadas de década em década até o ano de 2150. As projeções escolhidas foram antagônicas, ou seja, o cenário mais otimista e o mais pessimista considerando o aquecimento global.

Através do MDT e Ortomosaico gerados foram possíveis simulações de inundação de boa precisão, e através de vetorização e classificação das feições foi possível distinguir o impacto espacial causado pelos alagamentos, e ainda o impacto quantitativo do meio social e ambiental da região. Os resultados deste estudo indicam:

1. A importância da utilização de produtos com resolução espacial compatível com a escala do estudo, e o refinamento necessário dos dados para obter resultados que reflitam a realidade física do espaço, ou seja, utilizar dados com métricas compatíveis para obter resultados significativos;

2. A importância de considerar parâmetros regionais em estudos, compreender o espaço físico do ambiente, e levar em consideração o impacto destes. Foi possível observar o impacto que o quebra-mar teve na distribuição do alagamento da área, que modelos convencionais desconsiderariam;
3. A relevância de estudos da mudança climática e estimativas globais, para alertar, conscientizar e propor estudos visando conhecer o meio em que vivemos, e assim para que possamos minimizar, evitar ou reverter danos causados pela interferência do homem na natureza;
4. A possibilidade, através do emprego de levantamentos fotogramétricos com o uso de RPA, de utilizar modelos digitais mais eficientes em regiões menores, para auxiliar no levantamento de outras feições costeiras que necessitam de atenção, como a vegetação de restinga, áreas de erosão etc.;
5. A viabilidade de utilizar o MDT para aplicar estimativas de outros cenários de elevação, propostos por outros autores, e/ou utilizar mais parâmetros que aproximem a estimativa da realidade local.
6. É alerta aos moradores e autoridades, que em situações drásticas de mudanças climáticas, haverá a possibilidade de avanço do mar sobre as edificações da região da Prainha nos próximos anos, dado a configuração do local e fatores climáticos.

Apesar do grau de incerteza das estimativas utilizadas, estudos como esses, são importantes para a conscientização da população, e de órgãos que possam intervir e financiar estudos e projetos que busquem evitar que o pior cenário aconteça. O estudo também pode subsidiar os demais estudos que estão sendo realizados para o aumento da faixa de areia na região, visto que é uma área de erosão, com o avanço alto da maré e ressacas frequentes.

É importante enfatizar a necessidade e eficácia de estudos desse cunho para prever desastres, de maneira que traga seguranças e medidas que possam impedir danos aos seres humanos e natureza. E a recomendação de aplicar outros índices que possam subsidiar o estudo e o tema, para esse e outros tópicos.

Além de que, como deixa claro o último relatório do IPCC, manter o aumento da temperatura global em 1,5°C é de extrema importância, e ainda é possível de ser feito. Para isso, o mundo pode atingir o pico das emissões de GEE até 2025, pois

após esse período aponta-se que os danos serão irreversíveis. Também aponta a necessidade de reduzir as emissões quase pela metade até 2030.

REFERÊNCIAS

ANGULO, R.J. ANDRADE, J.J. **Viabilidade de controle de erosão nas Praias de Caiobá e Guaratuba**. IPARDES - Fundação Edison Vieira. Curitiba-PR.

Baía e Oceano; Estradas. Observatório do Litoral Paranaense. Disponível em: < <https://litoral.ufpr.br/observatoriolitoral/geodados/arquivos-shapefile/> > Acesso em: 13 jan. 2023

BRASIL. LEI Nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências**. 1981.

BRASIL, Resolução CONAMA no 7, de 23 de julho de 1996. **Biomass – Estágios sucessionais da vegetação de restinga**. n.165, p.16386-16390, 1996.

CALSAVARA, Fabio. **Depois de Matinhos, Guaratuba deve ter engorda da praia, anuncia governo do Paraná**. Gazeta do Povo, 12 de janeiro de 2023. Disponível em: < <https://www.gazetadopovo.com.br/parana/guaratuba-engorda-praia/> > Acesso em: 31 jan. 2023

CLIMATE CENTRAL. **Found sea level rise visuals for 190 locations**, 2021. Disponível em: < picturing.climatecentral.org/ > Acesso em: 25 jan. 2023

CLIMATE CENTRAL. **Coastal Risk Screening Tool: Comparison: Long Term Sea Level Outcomes**, 2021. Disponível em: < coastal.climatecentral.org/map/ > Acesso em: 25 jan. 2023

EMBRAPA TERRITORIAL. **Satélites de Monitoramento**. Campinas, 2018. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento> >. Acesso em: 26 jan. 2023.

FERRERO, Bruno. **Variabilidade e Aumento do Nível do Mar em Simulações Climáticas. Tese apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo**, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Doutor em Ciências, área de Oceanografia Física. São Paulo, 2020.

FOX-KEMPER, B., H. T. HEWITT, C. XIAO, G. AÐALGEIRSDÓTTIR, S. S. DRIJFHOUT, T. L. EDWARDS, N. R. GOLLEDGE, M. HEMER, R. E. KOPP, G. KRINNER, A. MIX, D. NOTZ, S. NOWICKI, I. S. NURHATI, L. RUIZ, J-B. SALLÉE, A. B. A. SLANGEN, Y. YU, 2021, **Ocean, Cryosphere and Sea Level Change**. In: **Mudanças Climáticas 2021: A Base da Ciência Física. Contribuição do Grupo de Trabalho I para o Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre as Alterações Climáticas** [Masson-Delmotte, V., P. ZHAI, A. PIRANI, S. L. CONNORS, C. PÉAN, S. BERGER, N. CAUD, Y. CHEN, L. GOLDFARB, M. I. GOMIS, M. HUANG, K. LEITZELL, E. LONNOY, J. B. R. MATTHEWS, T. K. MAYCOCK, T. WATERFIELD, O. YELEKÇI, R. YU e B. ZHOU (eds.)]. Cambridge University Press. No prelo.

GARNER, G. G., R. E. KOPP, T. HERMANS, A. B. A. SLANGEN, G. KOUBBE, M. TURILLI, S. JHA, T. L. EDWARDS, A. LEVERMANN, S. NOWIKCI, M. D. PALMER, C. SMITH, em preparação. **Quadro para a Avaliação das Alterações ao Nível do Mar (FACTS). Desenvolvimento de Modelos Geocientíficos.**

GARNER, G. G., T. HERMANS, R. E. KOPP, A. B. A. SLANGEN, T. L. EDWARDS, A. LEVERMANN, S. NOWIKCI, M. D. PALMER, C. SMITH, B. FOX-KEMPER, H. T. HEWITT, C. XIAO, G. AÐALGEIRSDÓTTIR, S. S. DRIJFHOUT, T. L. EDWARDS, N. R. GOLLEDGE, M. HEMER, G. KRINNER, A. MIX, D. NOTZ, S. NOWICKI, I. S. NURHATI, L. RUIZ, J-B. SALLÉE, Y. YU, L. HUA, T. PALMER, B. PEARSON, 2021. **IPCC AR6 Projeções do Nível do Mar.** Versão 20210809. O conjunto de dados acessado [2022-12-26] em <https://doi.org/10.5281/zenodo.5914709>.

GOOGLE. Google Earth website. <http://earth.google.com/>, 2023.

LUGNANI, João Bosco. **Introdução à fototriangulação.** Curitiba, 1987. 134 p. : il. GOULART, Larissa. **Fotogrametria.** Mensurar Associação Júnior, 2021. Disponível em: <<https://www.mensurarjunior.com/post/fotogrametria>> Acesso em: 27 jan. 2023.

Governo conclui a engorda da praia de Matinhos e entrega obra antes do prazo. Agência Estadual de Notícias, Governo do Estado do Paraná. Curitiba, 19/10/2022. Disponível em: <<https://www.aen.pr.gov.br/Noticia/Governo-conclui-engorda-da-praia-de-Matinhos-e-entrega-obra-antes-do-prazo>> Acesso em: 25 jan. 2023

GUARATUBA. LEI N° 1164, de 14 de novembro de 2005. Dispõe sobre o **Zoneamento do Uso e Ocupação do Solo, das Áreas Urbanas e dá outras providências. Câmara Municipal de Guaratuba.** Disponível em: <<http://portal.guaratuba.pr.gov.br/Leis/Lei1164.pdf>> Acesso em: 28 jan. 2023

IBGE. **Áreas Territoriais: Área territorial - Brasil, Grandes Regiões, Unidades da Federação e Municípios** - Acesso ao produto. 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html?=&t=acesso-ao-produto>>. Acesso em: 11 jan. 2023.

IBGE, Diretoria de Geociências. **Atlas Geográfico das Zonas Costeiras e Oceânicas do Brasil.** - Rio de Janeiro. IBGE, 2011. 176p.

IBGE. IBGE-PPP: **Serviço on-line para Pós-Processamento de dados GNSS.** Manual do Usuário, versão: maio de 2020.

IBGE. **Malha Municipal Digital: Municípios Defrontantes com o Mar 2021.** 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/24072-municipios-defrontantes-com-o-mar.html?=&t=acesso-ao-produto>> Acesso em: 11 jan. 2023.

IBGE. **Recomendações para Levantamentos Relativo Estático - GPS.** Abril de 2008.

IBGE. **Série Relatórios Metodológicos: Modelo hgeoHNOR2020 para Conversão de Altitudes Geométricas em Altitudes Normais**. Rio de Janeiro, 2021. v. 47. p. 51

JACKSON, R. **Conheça John Tyndall, pioneiro nos estudos sobre mudanças climáticas**. Revista Galileu, Globo. 2020. Disponível em: <<https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/Meio-Ambiente/noticia/2020/08/conheca-john-tyndall-pioneiro-nos-estudos-sobre-mudancas-climaticas.html>> Acesso em: 25 jan. 2023.

JESUS, H. P; OLIVEIRA, H. C. **Análise comparativa de levantamentos planialtimétricos: Topografia convencional, GPS e Drone**. Monografia apresentada no trabalho de conclusão de curso 2 do Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás. 2018. p.15

LIPORACI, S. R., ROHM, S. A., PEDRO, F. G., & CEREDA JUNIOR, A. (2003). **Comparação entre diferentes técnicas digitais para elaboração do modelo digital do terreno e da carta de declividades, com aplicação em mapeamento geológico-geotécnico e análise ambiental**. *Holos Environment*, 3(2), 85–102. <https://doi.org/10.14295/holos.v3i2.1129>

MARENGO, J.A. **Mudanças Climáticas Globais e Regionais: Avaliação do Clima atual do Brasil e Projeções de Cenários Climáticos do Futuro**. CPTEC-INPE. Revista Brasileira de Meteorologia, v.16, n.1,01-18, 2001. São Paulo, Brasil.

MILAN, Polliana. **Corre, corre porque a cidade está afundando**. Gazeta do Povo, 30 de novembro de 2012. Disponível em: < <https://www.gazetadopovo.com.br/vida-e-cidadania/corre-corre-porque-a-cidade-esta-afundando-1u1e44bsbmtbannury7pq54cu/> > Acesso em: 31 de jan. 2023

NASA. Earthdata. Disponível em: < <https://urs.earthdata.nasa.gov/> > Acesso em: 09 dez. 2022.

NASA. **IPCC Sea Level Projection Tool: Projected Sea Level Rise Under Different SSP Scenarios**. Disponível em: < <https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool> > Acesso em: 16 jan. 2023

NASCIMENTO, L.; CARVALHO, R.G.; OLIVEIRA, J.F.; MEIRELES A.J.A. **Importância das Restingas e os Instrumentos Legais de Proteção diante da crescente flexibilização da Legislação Ambiental**. Rede – Revista Eletrônica do PRODEMA, Fortaleza, Brasil, v. 15, n. 2, p. 72 – 80. ISSN: 1982-5528. DOI: 1022411/rede2021.1502.07

ORLANDI, Alex Gois. **Avaliação da Acurácia Vertical do Modelo SRTM para o Brasil**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia-Gestão Territorial e Ambiental, Instituto de Ciências Humanas da Universidade de Brasília. 2016. p.54

PROTA, Marianna. **Praia de Guaratuba é “engolida pelo mar” após erosão por fenômeno natural**. jblitoral, 22 de setembro de 2021. Disponível em: <

<https://jblitoral.com.br/praias-de-guaratuba-e-engolida-pelo-mar-apos-erosao-por-fenomeno-natural/> > Acesso em: 31 jan. 2023

Relatório de Impacto Ambiental – RIMA Implantação da Ponte de Guaratuba e seus acessos: Versão Preliminar. Departamento de Estradas de Rodagem do Paraná – DER/PR. Curitiba, 2022. p. 57

SHUMER, et al. **6 conclusões do relatório do IPCC de 2022 sobre mitigação das mudanças climáticas.** WRI BRASIL, Programa de Clima. 04 de abril de 2022. Disponível em: < <https://www.wribrasil.org.br/noticias/6-conclusoes-do-relatorio-do-ipcc-de-2022-sobre-mitigacao-das-mudancas-climaticas> > Acesso em: 16 jan. 2023

STRAUSS, B.H; KULP, S.A; RASMUSSEN, D.J; LEVERMANN, A.. **Ameaças sem precedentes às cidades devido ao aumento do nível do mar em vários séculos.** Cartas de Pesquisa Ambiental. IOP Publishing Ltd, v. 16 , n. 11. 2021. DOI 10.1088/1748-9326/ac2e6b

TÁBUA DE MARÉS. **Tábua de Marés e Solunares: Matinhos**, 2023. Disponível em: <<https://tabuademares.com/br/parana/matinhos>> Acesso em: 03 jan. 2023.

UNITED NATIONS. **Adoption of the Paris Agreement. Framework Convention on Climate Change.** 12 December 2015. Disponível em: < <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf> > Acesso em: 27 jan. 2023

ANEXO 1 – AVALIAÇÃO DO PADRÃO DE ACURÁCIA POSICIONAL EM DADOS ESPACIAIS

GeoPEC

Avaliação do Padrão de Acurácia Posicional em Dados Espaciais

RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO (completo)

DADOS DO PRODUTO

Produto: Levantamento Fotogramétrico
Local: Prainha - Guaratuba - PR
Data: 11/01/2023
Responsável Técnico: Amanda Torres

CLASSIFICAÇÃO FINAL DO PRODUTO

Padrão de acurácia utilizado: Decreto n. 89.817/1984 - Análise Planimétrica
Metodologia: ET-CQDG

O produto "Levantamento Fotogramétrico", foi classificado com PEC-PCD "**Classe A**", na escala **1/1000**, de acordo com o Decreto n. 89.817 de 20 de junho de 1984, que regulamenta as normas cartográficas brasileiras, aliada às tolerâncias da ET-CQDG.

Pontos de checagem utilizados: 8
RMS das discrepâncias (m): 0,0197

Padrão de acurácia utilizado: Decreto n. 89.817/1984 - Análise Altimétrica
Metodologia: ET-CQDG

O produto "Levantamento Fotogramétrico", foi classificado com PEC-PCD "**Classe A**", para a equidistância vertical de **1 m**, de acordo com o Decreto n. 89.817 de 20 de junho de 1984, que regulamenta as normas cartográficas brasileiras, aliada às tolerâncias da ET-CQDG.

Pontos de checagem utilizados: 8
RMS das discrepâncias (m): 0,0158

INFORMAÇÕES GERAIS

Padrão de acurácia utilizado: Decreto n. 89.817/1984

Análise Planimétrica

PROCESSAMENTO

Escala de Referência: 1/1000

Pontos de checagem inseridos: 8

Pontos de checagem utilizados: 8

OUTLIERS

>> Outliers detectados: 0

>> Valor limite - detecção: 0,9

ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

>> Média(E)= -0,0033

Média(N)= 0,0007

Média(ABS)= 0,0164

>> Desv-pad(E)= 0,0173

Desv-pad(N)= 0,01

Desv-pad(ABS)= 0,0113

>> RMS(E)= 0,0166

RMS(N)= 0,0094

RMS(ABS)= 0,0197

PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL

>> Vizinho mais próximo:

:: Área (m²) = 167000

:: 1ª ordem - R= 1,2199 Zcalc= 1,1896 Ztab= 1,96

Resultado = Padrão DISPERSO - (NÃO é significativo estatisticamente) - 95%

:: 2ª ordem - R= 1,4231 Zcalc= 3,2971 Ztab= 1,96

Resultado = Padrão DISPERSO - (significativo estatisticamente) - 95%

:: 3ª ordem - R= 1,3545 Zcalc= 3,4096 Ztab= 1,96

Resultado = Padrão DISPERSO - (significativo estatisticamente) - 95%

TESTE DE NORMALIDADE

>> Teste de Normalidade Shapiro-Wilk :

Wcalc(E)= 0,9736 Wcalc(N)= 0,6649

p-value(E)= 0,9249 p-value(N)= 0,0009

Nível de Confiança = 95%

Amostra NÃO Normal

CLASSIFICAÇÃO

>> Decreto 89.817:

PEC= 0,28 EP= 0,17

Resultado: Classe A

INFORMAÇÕES GERAIS

Padrão de acurácia utilizado: Decreto n. 89.817/1984

Análise Altimétrica

PROCESSAMENTO

Equidistância vertical: 1

Pontos de checagem inseridos: 8

Pontos de checagem utilizados: 8

OUTLIERS

>> Outliers detectados: 0

>> Valor limite - detecção: 0,9999

ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

>> Média(h)= -0,007

>> Desv-pad(h)= 0,0146

>> RMS(h)= 0,0158

TESTE DE NORMALIDADE

>> Teste de Normalidade Shapiro-Wilk :

Wcalc(h)= 0,9288 p-value(h)= 0,5053

Nível de Confiança = 95%

Amostra Normal

CLASSIFICAÇÃO

>> Decreto 89.817:

PEC= 0,27 EP= 0,1667

Resultado: Classe A

DISCREPÂNCIAS - PONTOS DE CHECAGEM

ID	di(E)	di(N)	di(ABS)	di(H)
1	0,0143	0,0006	0,0143	0,0218
12	-0,0048	0,0059	0,0076	-0,0243
13	0,0203	0,0064	0,0213	0,0019
18	-0,0075	0,0008	0,0075	-0,0137
20	0,0037	0,006	0,007	-0,0065
3	-0,0205	-0,0247	0,0321	-0,0168
5	-0,0327	0,0022	0,0328	-0,019
7	0,0008	0,0084	0,0084	0,0009