



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Instituto de Geografia

Elenice Gonçalves Rodrigues

Análise espacial de risco e vulnerabilidade a eventos de tempestade na Orla de Itaipuaçu, Maricá-RJ: um enfoque nas características geomorfológicas da Barreira Holocênica e no processo de ocupação

Rio de Janeiro

2023

Elenice Gonçalves Rodrigues

Análise espacial de risco e vulnerabilidade a eventos de tempestade na Orla de Itaipuaçu, Maricá-RJ: um enfoque nas características geomorfológicas da Barreira Holocênica e no processo de ocupação

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Cultura e Natureza.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Gonçalves Pereira

Rio de Janeiro

2023

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/C

R696 Rodrigues, Elenice Gonçalves.
Análise espacial de risco e vulnerabilidade a eventos de tempestade na Orla de Itaipuaçu, Maricá-RJ: um enfoque nas características geomorfológicas da Barreira Holocênica e no processo de ocupação / Elenice Gonçalves Rodrigues. – 2023.
161 f. : il.

Orientador: Thiago Gonçalves Pereira.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Geografia.

1. Tempestades – Itaipuaçu, Maricá (RJ) - Teses. 2. Geomorfologia - Teses. 3. Proteção ambiental - Teses. 4. Uso e ocupação do solo - Teses. 5. Paisagismo – Teses. I. Pereira, Thiago Gonçalves. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Instituto de Geografia. III. Título.

CDU: 550.375(815.3)

Bibliotecária Responsável: Priscila Freitas Araujo/ CRB-7: 7322

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Elenice Gonçalves Rodrigues

Análise espacial de risco e vulnerabilidade a eventos de tempestade na Orla de Itaipuaçu, Maricá-RJ: um enfoque nas características geomorfológicas da Barreira Holocênica e no processo de ocupação

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Cultura e Natureza.

Aprovada em 24 de novembro de 2023.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Thiago Gonçalves Pereira (Orientador)
Instituto de Geografia - UERJ

Prof.^a Dr.^a. Flávia Lins de Barros
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

Prof.^a Dr.^a. Thais Baptista da Rocha
Universidade Federal Fluminense - UFF

Prof. Dr. Antonio Carlos da Silva Oscar Júnior
Instituto de Geografia - UERJ

Rio de Janeiro

2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Universo pelas constantes oportunidades de crescimento e amadurecimento ao longo desses últimos anos.

Expresso minha profunda gratidão aos meus pais, Maria e Ermindo, pelos valiosos ensinamentos sobre a importância dos estudos. Suas lições foram fundamentais para meu desenvolvimento profissional e acadêmico.

Às minhas irmãs, Eliane e Viviane, agradeço de coração. Eliane, sendo a primeira pessoa a me ensinar a escrever, pegando na minha mão e me introduzindo ao alfabeto, demonstrando desde cedo seu talento pedagógico. Viviane, sempre apoiando e incentivando meus estudos, suas presenças foram fundamentais em minha jornada acadêmica.

Ao meu professor-orientador, Dr. Thiago Gonçalves Pereira, expresso minha sincera gratidão por toda a ajuda, atenção, orientação e paciência ao longo da elaboração da dissertação. Suas contribuições foram essenciais, desde o esclarecimento de dúvidas até o apoio nos trabalhos de campo.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da UERJ (PPGEO-UERJ) e aos professores que contribuíram para a minha formação durante o mestrado.

Aos professores da banca de qualificação, Dra. Thais Baptista da Rocha e Dr. Antonio Carlos da Silva Oscar Júnior, pelas discussões e sugestões para a melhoria da dissertação.

À banca examinadora, composta pelos professores Dra. Flávia Lins de Barros, Dra. Thais Baptista da Rocha e Dr. Antonio Carlos da Silva Oscar Júnior, expresso minha gratidão pela disponibilidade em participar e pelas valiosas contribuições na avaliação da minha dissertação de mestrado.

Agradeço também à minha grande amiga, geógrafa e corredora, Me. Maria Luciene Lima, pelas enriquecedoras conversas sobre risco e vulnerabilidade, pelo empréstimo de livros, e pelo apoio e incentivo, tanto para iniciar quanto durante todo o percurso do mestrado.

Agradeço aos integrantes do Núcleo de Estudos Costeiros da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) e os integrantes do Laboratório de Geografia Física da Universidade Federal Fluminense (UFF), pelo apoio na realização dos levantamentos de campo.

A todos que colaboraram direta ou indiretamente para a pesquisa, pelas discussões e incentivos, meu mais sincero agradecimento.

Muitas vezes, as coisas que me pareceram verdadeiras, quando comecei a concebê-las, tornaram-se falsas, quando quis colocá-las sobre o papel.

René Descartes

Uma das mais relevantes visões da antiga cultura chinesa foi a percepção do “constante fluxo de transformação e mudança”, sendo um aspecto do Universo, em sua essência. A mudança segundo esse ponto vista, não ocorre como consequência de alguma força, é uma tendência natural, inata a todas as coisas e situações.

Fritjof Capra

Qualquer caminho é apenas um caminho e não constitui insulto algum – para si ou para os outros. Olhe cada caminho com cuidado e atenção. Tente-o tantas vezes quantas julgar necessárias... Então, faça a si mesmo e apenas a si mesmo uma pergunta: possui esse caminho um coração? Em caso afirmativo, o caminho é bom. Caso contrário, esse caminho não possui importância alguma.

(Carlos Castaneda, The Teachings of Don Juan)

RESUMO

RODRIGUES, Elenice Gonçalves. **Análise espacial de risco e vulnerabilidade a eventos de tempestade na Orla de Itaipuaçu, Maricá-RJ**: um enfoque nas características geomorfológicas da Barreira Holocênica e no processo de ocupação. 2023. 161 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

Esta dissertação concentra-se na análise espacial das áreas vulneráveis a eventos de tempestade na orla de Itaipuaçu, Maricá (RJ), uma região litorânea exposta a ondas de alta energia. O objetivo principal deste estudo é a análise espacial de áreas vulneráveis aos eventos de tempestade na orla de Itaipuaçu em 2020, bem como elementos explicativos para compreensão dos processos costeiros, a fim de contribuir para o planejamento e gestão costeira. A pesquisa abrange uma avaliação minuciosa da ocupação do solo, examinando as transformações paisagísticas entre os anos de 1970 e o ano de 2020, por meio de fotografias aéreas históricas, e com base em levantamentos por meio de Imagens de Alta Resolução (ARP). A suscetibilidade da área de estudo a eventos meteoceanográficos extremos é quantificada e hierarquizada usando dados de uso do solo, revisão bibliográfica, Modelos Digitais de Terreno (MDT) e análises de campo. A análise integrada da vulnerabilidade a eventos de tempestade, com a aplicação de lógica *fuzzy* e dados georreferenciados de alta resolução, é conduzida em escala de detalhe. Os resultados revelam que a orla de Itaipuaçu está passando por um processo de ocupação, com uma densidade moderada de construções e ocupações recentes. Dos sete indicadores avaliados para a suscetibilidade a eventos de tempestade costeira, três foram classificados como de alta suscetibilidade, três como de suscetibilidade moderada, e apenas um indicador como de baixa suscetibilidade. A avaliação da vulnerabilidade ao longo dos trechos costeiros de Itaipuaçu revela níveis classificados como muito alta, alta e média no Recanto de Itaipuaçu, bem como em um trecho onde foram instaladas estacas prancha para contenção de ressacas. Áreas com residências no topo da barreira, ausência de vegetação na faixa costeira, baixas altitudes e presença de estruturas de engenharia rígida de frente para o mar são enfatizadas nesse contexto, devido ao potencial impacto na dinâmica sedimentar local. À medida que avançamos em direção ao leste da orla, em direção à Área de Proteção Ambiental de Maricá, a vulnerabilidade diminui gradualmente. Por fim, o trabalho pode contribuir na identificação de áreas prioritárias para implementar políticas de adaptação e redução de riscos na Orla de Itaipuaçu, especialmente considerando as ameaças iminentes relacionadas às mudanças climáticas, que podem intensificar os eventos extremos de tempestades costeiras.

Palavras-Chave: eventos de tempestade; ocupação; zona costeira; risco; vulnerabilidade; lógica *fuzzy*.

ABSTRACT

RODRIGUES, Elenice Gonçalves. **Spatial analysis of risk and vulnerability to storm events in Orla de Itaipuaçu, Maricá-RJ**: a focus on the geomorphological characteristics of the Holocene Barrier and the occupation process. 2023. 161 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

This dissertation focuses on the spatial analysis of areas vulnerable to storm events on the coast of Itaipuaçu, Maricá (RJ), a coastal region exposed to high-energy waves. The main objective of this study is the spatial analysis of areas vulnerable to storm events on the Itaipuaçu coast in 2020, as well as explanatory elements for understanding coastal processes, in order to contribute to coastal planning and management. The research encompasses a thorough assessment of land occupation, examining landscape transformations between the 1970s and 2020, through historical aerial photographs, and based on surveys using High Resolution Images (ARP). The susceptibility of the study area to extreme metoceanographic events is quantified and hierarchical using land use data, literature review, Digital Terrain Models (DTM) and field analyses. The integrated analysis of vulnerability to storm events, with the application of fuzzy logic and high-resolution georeferenced data, is conducted at a detailed scale. The results reveal that the Itaipuaçu waterfront is undergoing an occupation process, with a moderate density of recent constructions and occupations. Of the seven indicators evaluated for susceptibility to coastal storm events, three were classified as high susceptibility, three as moderate susceptibility, and only one indicator as low susceptibility. The vulnerability assessment along the coastal stretches of Itaipuaçu reveals levels classified as very high, high and medium in Recanto de Itaipuaçu, as well as in a stretch where sheet piles were installed to contain storm surges. Areas with residences on top of the barrier, absence of vegetation on the coastal strip, low altitudes and the presence of rigid engineering structures facing the sea are emphasized in this context, due to the potential impact on local sedimentary dynamics. As we move towards the east of the coast, towards the Maricá Environmental Protection Area, vulnerability gradually decreases. Finally, the work can contribute to identifying priority areas to implement adaptation and risk reduction policies on the Itaipuaçu Coast, especially considering the imminent threats related to climate change, which could intensify extreme coastal storm events.

Keywords: storm events; occupation; coastal zone; risk; vulnerability; fuzzy logic.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Diagrama conceitual ilustrando a abordagem morfodinâmica.....	21
Figura 2 –	Distribuição das escalas espacial (x) e temporal (y), com os processos governantes.....	22
Figura 3 –	Perfil topográfico esquemático das formas de relevo costeiro.....	23
Figura 4 –	Nomenclatura do sistema praial.....	24
Figura 5 –	Classificação geral de praias.....	26
Figura 6 –	Questões que norteiam os estudos sobre os riscos.....	30
Figura 7 –	Esquema do mecanismo físico para geração da Maré Meteorológica local na Costa S/SE brasileira pelo Vento.....	37
Figura 8 –	Estudos a serem levados em consideração para entender o grau de exposição de uma região aos efeitos das tempestades.....	38
Figura 9 –	Distribuição espacial da direção das tempestades de ciclones tropicais.....	39
Figura 10 –	Densidade espacial de ocorrências de ciclogêneses em 2018.....	40
Figura 11 –	Região metropolitana do estado do Rio de Janeiro.....	49
Figura 12 –	Série histórica dos Censos Demográficos (IBGE) – População do município de Maricá.....	51
Figura 13 –	Mapa dos Principais Eixos Viários do Município de Maricá.....	52
Figura 14 –	Mapa de cobertura e uso da terra de Maricá em 2021.....	53
Figura 15 –	Classes de relevo no município de Maricá.....	55
Figura 16 –	Área de estudo.....	56
Figura 17 –	Imagem oblíqua da área de estudo.....	57
Figura 18 –	Modelo Digital de Terreno (MDT) no trecho mais ao leste da área de estudo.....	58
Figura 19 –	Fluxograma das três etapas que norteiam o desenvolvimento deste projeto.....	60
Figura 20 –	Fotografias aéreas de 1970 e aerofotogramétrico aéreo com ARP, aeronave remotamente pilotada, em 2020.....	61
Figura 21 –	Organograma das operações realizadas no levantamento aerofotogramétrico.....	64

Figura 22 –	Esquema do Image Classification Wizard, utilizado para segmentar as imagens e produzir o mapeamento de uso e ocupação do solo dos anos de 1970 e 2020.....	65
Figura 23 –	Lógica de Boole, Lukasiewicz e Zadeh.....	74
Figura 24 –	Passos da metodologia para a análise multicritério.....	75
Figura 25 –	Modelo de geoprocessamento para análise da vulnerabilidade no ArcGIS PRO.....	78
Figura 26 –	Modelo conceitual (modelbuilder) das etapas de trabalho para criação do mapa de vulnerabilidade.....	79
Figura 27 –	Foto oblíqua de Itaipuaçu, em 1940.....	80
Figura 28 –	Foto oblíqua de Itaipuaçu, em 2020.....	81
Figura 29 –	Mapeamento da ocupação do solo dos anos de 1970 e 2020.....	82
Figura 30 –	Detalhe do mapeamento no Recanto de Itaipuaçu em 1970 e 2020.....	84
Figura 31 –	Detalhe do mapeamento no extremo Leste da área em estudo, próximo a APA de Maricá.....	85
Figura 32 –	Mapa do MDT e interseção com o uso e ocupação do solo, folha 01 da articulação.....	90
Figura 33 –	Mapa do MDT e interseção com o uso e ocupação do solo, folha 12 da articulação.....	91
Figura 34 –	Orla de Itaipuaçu em 1950, vista para a Pedra do Elefante.....	92
Figura 35 –	Orla de Itaipuaçu em 2020, vista para a Pedra do Elefante.....	93
Figura 36 –	Ponto identificado mais curto entre o contato úmido e seco e construções.....	94
Figura 37 –	Gráfico da distribuição da distância entre o contato úmido /seco e a área de máximo alcance das ondas.....	95
Figura 38 –	Orla de Itaipuaçu em setembro de 2023, revitalizada.....	97
Figura 39 –	Estacas-prancha sendo instaladas na orla de Itaipuaçu para contenção de ressacas, em setembro de 2019.....	98
Figura 40 –	Matriz de risco na orla de Itaipuaçu.....	99
Figura 41 –	Resultado do grau de pertinência para ausência de vegetação no pós praia.....	100
Figura 42 –	Ausência de vegetação no pós-praia no Recanto de Itaipuaçu, com presença de residências e vegetação estreita até o Morro do Peça.....	101

Figura 43 –	Presença de vegetação no pós praia no extremo leste da Orla de Itaipuaçu, próximo a APA de Mariça, com largura de até 60 metros.....	101
Figura 44 –	Resultado do grau de pertinência para estrutura de engenharia para contenção de ressacas.....	102
Figura 45 –	Trecho da orla com ciclovia e caminho para pedestres, sem calçadão e com proteção de restinga.....	103
Figura 46 –	Trecho com presença de calçadão e pavimentação com pedras.....	103
Figura 47 –	Ciclovia e caminho para pedestres, sem calçadão.....	103
Figura 48 –	Estacas-pranchas instaladas na orla.....	103
Figura 49 –	Resultado do grau de pertinência para a variável elevação do topo da barreira.....	104
Figura 50 –	Resultado do grau de pertinência para o uso e ocupação do solo 2020..	105
Figura 51 –	Mapa da Vulnerabilidade para o Recanto de Itaipuaçu.....	106
Figura 52 –	Mapa de Vulnerabilidade para as folhas 03 e 04 da área de estudo.....	107

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –	Nomenclatura do sistema praial.....	25
Quadro 2 –	Conceitos balizadores desta pesquisa.....	35
Quadro 3 –	Riscos associados às mudanças climáticas nas zonas costeiras.....	42
Quadro 4 –	Informações de parâmetros.....	62
Quadro 5 –	Indicadores que foram utilizados na caracterização da suscetibilidade (SUSC) física a eventos meteorológicos extremos costeiros na área em estudo.....	69
Quadro 6 –	Escala de comparação de critérios, de acordo com Saaty (1980).....	76
Quadro 7 –	Variáveis utilizadas para análise multicritério.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Quantitativo do mapeamento de cobertura e uso da terra para o município de Maricá.....	53
Tabela 2 –	Esquema de declividade em porcentagem em três classes.....	72
Tabela 3 –	Quantitativo do mapeamento de uso e ocupação do solo para o recorte da área de estudo.....	83
Tabela 4 –	Quantitativos da interseção do uso e ocupação do solo com elevação.....	88

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	14
1	REFERENCIAL TEÓRICO	18
1.1	Geomorfologia costeira: o passado, o presente e o futuro	18
1.2	Risco, vulnerabilidade, resiliência e o ciclo de geração “tempo, lugar e pessoas”	28
1.3	Eventos meteorológicos extremos como indicadores de perigos potencialmente localizados	36
1.4	Geoprocessamento: abordagem metodológica fundamentada na análise sistêmica	44
2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	49
2.1	Área de estudo	49
2.1.1	<u>Localização e caracterização socioeconômica</u>	49
2.1.2	<u>Caracterização física da Orla de Itaipuaçu</u>	56
2.2	Materiais e métodos	59
2.2.1	<u>Compreensão do processo de uso e ocupação do solo na área de estudo</u>	60
2.2.2	<u>Análise física da área de estudo utilizando geoindicadores</u>	67
2.2.3	<u>Análise da vulnerabilidade</u>	71
2.2.3.1	Lógica Fuzzy	72
2.2.3.2	Modelo de geoprocessamento: Método fuzzy	75
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	80
3.1	Compreensão do processo de uso e ocupação do solo na área de estudo	80
3.2	Análise física da área de estudo utilizando geoindicadores	87
3.2.1	<u>Elevação no topo da barreira</u>	87
3.2.2	<u>Vegetação</u>	92
3.2.3	<u>Taxa de erosão</u>	93
3.2.4	<u>Largura da praia, configuração e espessura</u>	94
3.2.5	<u>Configuração das dunas (parâmetro de linha de costa e interior)</u>	95
3.2.6	<u>Overwash</u>	96
3.2.7	<u>Estruturas de engenharia</u>	96
3.3	Análise da vulnerabilidade	99

CONSIDERAÇÕES FINAIS	111
REFERÊNCIAS	114
ANEXO A- Mapas de uso e ocupação do solo.....	128
ANEXO B – Mapas de elevação com uso e ocupação do solo.....	141
ANEXO C – Mapas da vulnerabilidade.....	155

INTRODUÇÃO

As zonas costeiras podem ser consideradas áreas sensíveis para a ocupação e intervenções humanas. A dinâmica geomorfológica intensa, variedade de ecossistemas, fragilidade e importância biológica e grande quantidade de usos para a ocupação e economia, são variáveis coexistentes neste espaço e que desencadeiam o processo de transformação do ambiente. Na zona costeira ocorrem eventos naturais que, de modo geral, tem a sua gênese formada pelos sistemas meteoceanográficos, como os eventos de tempestade costeira e aumento do nível do mar, além da alta ocupação nessas áreas.

De acordo com relatório do IPCC (2022) *Intergovernmental Panel on Climate Change*, grande parte da população mundial, atividades econômicas e infraestrutura crítica estão concentradas próximas ao mar. Quase 11% da população global, ou 896 milhões de pessoas, já vivem em costas baixas (até 10 metros de altitude) que estão diretamente expostas a riscos climáticos costeiros. De acordo com Small; Nicholls (2003), a densidade populacional nas áreas costeiras é três vezes maior que a média global, e as taxas de crescimento populacional projetadas para a zona costeira são as mais altas do mundo.

A sociedade manifesta particular interesse no conhecimento sobre os ambientes costeiros, especialmente na região onde as atividades humanas se encontram na interface marítima-terrestre. Esta área de estudo é chamada por Masselink; Gehrels (2014) de “Sistema de Recursos Costeiros”. A compreensão dos riscos e vulnerabilidades desses espaços perpassa pela interpretação dos processos naturais e ações humanas sobre o território e é de extrema importância devido à dimensão que eles adquiriram nas últimas décadas, considerando as discussões em torno das mudanças climáticas e o processo de globalização, visando integrar esses temas ao desenvolvimento e planejamento urbano.

A zona costeira do município de Maricá não é diferente quando se discute riscos costeiros. É caracterizada por notável diversidade ambiental com presença de complexo ecossistema lagunar e de restinga, sítios arqueológicos, unidade de conservação com berçário de espécies endêmicas e comunidade tradicional. Por outro lado, existe uma forte pressão imobiliária sobre esses espaços costeiros, onde obras de infraestrutura são implementadas em ritmo acelerado. Um exemplo disso é a recente revitalização da orla de Itaipuaçu, cuja obra começou em 2019 e foi inaugurada em 2021 (MARICÁ, 2021), próxima da linha de costa e a oeste de uma unidade de conservação, a Área de Proteção Ambiental da Restinga de Maricá (APAMAR).

Tais intervenções também são alavancadas pelo rápido incremento financeiro decorrente de royalties de petróleo do pré-sal, entre outras ações governamentais, que inclusive podem pavimentar a vinda de projetos voltados para empreendimentos milionários de hotelaria dentro dos limites da APAMAR, como o projeto *Maraey* e um terminal portuário no outro extremo da zona costeira do município, o Terminal Ponta Negra, que irá atender o escoamento da produção de óleo e gás na plataforma para o GASLUB Itaboraí – antigo COMPERJ. A restinga da APAMAR é um dos ecossistemas de restinga mais preservados do estado do Rio de Janeiro e conta ainda com espécies endêmicas e ameaçadas de extinção, como o peixe-das-nuvens, lagarto-da-cauda-verde e lagartixa-da-praia (MARICÁ, 2020).

De acordo com Lins de Barros (2005), a região costeira do município de Maricá possui extensos arcos, praias e cordões litorâneos estreitos. É um litoral sujeito a uma intensa dinâmica decorrente da exposição direta à incidência de ondas de alta energia (SILVA, 2011). Frente a isso, uma rápida ocupação vem ocorrendo em seu território nos últimos anos. Lins de Barros et al., (2003) e Lins-de-Barros (2005), fizeram estudos referentes à ocupação da orla no município de Maricá e afirmam que alguns segmentos da faixa urbanizada vêm apresentando risco de erosão por impacto de tempestade.

A exposição do litoral de Maricá às ondas de tempestade vindas do quadrante sul, associadas à migração de frentes frias, é um indicador da suscetibilidade deste ambiente a eventos extremos. Um exemplo notável desses eventos ocorreu em maio de 2001, quando ondas de até 4 metros, ventos fortes e maré de sizígia resultaram em empilhamento da água de até 1 metro acima da altura da preamar prevista, deixando registros permanentes de sua ocorrência ao longo da orla (MUEHE et al., 2001). A construção de residências muito próximas à praia levou à destruição de várias estruturas que ali se encontravam.

Os estudos relacionados a esse acontecimento provocaram discussões sobre os processos que envolvem perigos costeiros em Maricá. Alguns autores consideram que houve um recuo da linha de costa, como apontado por Lins-de-Barros (2005) e Silva et al., (2008a). Por outro lado, Silva et al., (2008b) e Muehe (2011) sugerem que a resposta foi uma consequência dos processos dinâmicos costeiros e que o ambiente retorna a sua condição original antes do evento após alguns dias, isso implica que o recuo inicial da linha de costa pode não ser permanente.

Lins de Barros (2005), para a mesma área, utilizou trabalhos de campo com observações e entrevistas, classificando o grau de danos sofridos pelas propriedades, quiosques e avenidas. Alguns trechos da orla de Itaipuaçu foram classificados como áreas críticas e de risco potencial. Silva et al., (2008a) realizaram estudos utilizando análises

comparativas de fotografias aéreas, perfis topográficos e mapeamento com rastreador geodésico, buscando delimitar a linha de crista da restinga e os limites dos leques de arrombamento. Esses estudos constataram registros geomorfológicos de condições de mar extremas, retrogradação da barreira arenosa e impacto nas construções. Em outra pesquisa, Silva et al., (2008b) realizaram levantamentos de perfis topográficos nas épocas de verão e inverno, durante um período de 8 anos, e coleta granulométrica entre 2004 e 2006. Os resultados revelaram um caráter altamente dinâmico na praia de Itaipuaçu. Embora não apresente comportamento de tendência de erosão contínua, é uma praia com dinâmica elevada, podendo se estreitar consideravelmente com os eventos de tempestade costeira.

Diante dos fatos expostos acima, vem à tona a importância sobre o uso e ocupação de áreas litorâneas com histórico de erosão costeira, como é o caso da orla de Itaipuaçu. Os processos de ocupação da orla marítima como construção de residências fixas e casas de veraneio, estruturas urbanas de apoio à ocupação e estruturas de engenharias para contenção dos efeitos de ressaca podem causar alterações nos processos sedimentares da orla marítima. Com as alterações climáticas previstas para o aumento e frequência de ocorrência das ondas de tempestade (IPCC, 2013), e população costeira em constante expansão, a avaliação dos riscos atuais e futuros por eventos de tempestades é tarefa fundamental para os gestores costeiros. Para Ranasinghe; Callaghan (2017), essas análises são precursoras para determinação das consequências dos perigos costeiros, medidas de proteção costeira, desenvolvimento de gestão e planejamento da zona costeira a curto, médio e longo prazo.

Com isso, o objetivo principal deste estudo é a análise espacial de áreas vulneráveis aos eventos de tempestade na orla de Itaipuaçu em 2020, bem como elementos explicativos para compreensão dos processos costeiros, a fim de contribuir para o planejamento e gestão costeira. Para isso, considera-se essencial realizar uma avaliação detalhada do processo de ocupação do solo em um recorte espacial na Orla de Itaipuaçu, na região costeira de Maricá, buscando identificar as transformações na paisagem entre 1970 (imagem aéreas DRM-RJ) e 2020 (levantamento por aeronave remotamente pilotada - ARP).

Além disso, é fundamental quantificar e hierarquizar a suscetibilidade da área de estudo em relação aos riscos decorrentes de eventos meteorológicos extremos, utilizando o uso e ocupação do solo gerado, levantamento bibliográfico e Modelagem Digital do Terreno - MDT. Também foi realizada uma análise integrada da vulnerabilidade a eventos de tempestade, utilizando lógica *fuzzy* e dados georreferenciados em escala de detalhe, com o propósito de contribuir para o planejamento e a gestão costeira a nível cadastral.

De fato, a obtenção de diferentes resultados e conclusões nos estudos sobre a dinâmica morfológica das zonas costeiras pode estar relacionada a uma série de fatores, incluindo: 1. diferentes escalas de análise, sendo a dinâmica costeira altamente complexa e variável ao longo do tempo e espaço, e a escala da análise pode impactar a percepção dos fenômenos estudados. 2. Diferentes pesquisadores podem utilizar diferentes técnicas e instrumentos de medição para coletar dados. As diferentes abordagens metodológicas podem resultar em interpretações distintas dos processos costeiros em estudo. 3. As próprias definições e conceitos utilizados para descrever risco e vulnerabilidade costeira podem variar de acordo com o contexto e os objetivos do estudo. Alguns pesquisadores podem enfatizar aspectos econômicos e sociais, enquanto outros podem priorizar as questões ambientais e ecológicas.

Este estudo está dividido em quatro capítulos. O capítulo 1 aborda o referencial teórico desta pesquisa, iniciando em como os sistemas costeiros são descritos geomorfologicamente, com caracterização das suas dinâmicas e formas. A seguir, é apresentada uma discussão sobre os aspectos relacionados ao risco, vulnerabilidade e sua relação com a sociedade. Em seguida, é discutido também o tema sobre eventos meteorológicos extremos e mudanças climáticas, bem como o uso de geotecnologias aplicadas à análise de risco e vulnerabilidade.

No capítulo 2, serão abordadas as metodologias da pesquisa, a apresentação da área de estudo e seus aspectos físicos e sociais, bem como os materiais e métodos para alcançar os resultados esperados. O próximo tópico, capítulo três, apresenta as discussões e resultados encontrados no âmbito da pesquisa. Por último, o capítulo de conclusão aborda de maneira sintetizada os resultados encontrados. Perspectivas, limitações e desafios para a abordagem discutida neste estudo serão apresentados na parte de considerações finais.

1 REFERENCIAL TEÓRICO

A abordagem teórica desta pesquisa envolve a revisão de conceitos relacionados a questões ligadas aos aspectos para compreender a dinâmica ambiental da área de estudo. Isso inclui a caracterização da morfodinâmica e geomorfologia costeira, a suscetibilidade à erosão costeira e os processos erosivos. Além disso, serão discutidos os conceitos de riscos, perigos, vulnerabilidade, resiliência, adaptação e mudanças climáticas como parte das interações entre a sociedade e a natureza. Um ponto importante de discussão também será o uso das geotecnologias como um processo metodológico que oferece suporte para o desenvolvimento deste projeto.

1.1 Geomorfologia costeira: o passado, o presente e o futuro.

Para Ab'saber, (2006), a geomorfologia costeira recebeu no decorrer do século XX, estudos fundamentais. Da simples constatação de que o litoral está configurado entre o contato mar e terra, foi desenvolvido ao longo dos anos considerações mais amplas. O mesmo autor descreve:

Devido a essa ampliação do espaço-objeto de estudo, estamos mais preparados para retrazar a sequência dos fatos acontecidos na zona costeira, ao longo do Quaternário. O que nos permite dizer que os litorais na sua aparente simplicidade paisagística e na sua dinâmica habitual exigem considerações similares ou até mais complexas do que os espaços interiores, já que eles envolvem sérias questões relacionadas com as variações do nível do mar, paleoclimas e história vegetacional. Ou seja, o litoral, tal como outras áreas dotadas de paisagens ecológicas, pode ser considerado sempre como uma herança de processos anteriores remodelados pela dinâmica costeira hoje prevalecente. (AB'SABER, 2006, p. 80)

O ambiente costeiro, mais do que qualquer outro sistema físico, é caracterizado por mudanças frequentes, tanto espaciais quanto temporais, resultando em uma variedade de feições típicas. Essa intensa dinâmica costeira é marcada pela complexa interação dos processos erosivos e deposicionais, influenciados pelas ações das ondas, correntes de maré e correntes litorâneas. Além disso, há influência dos fluxos de sedimentos vindos dos sistemas fluviais, e das alterações das paisagens naturais litorâneas causadas pelas atividades humanas (ROSSETTI, 2008).

Ainda em relação ao ambiente costeiro, é importante mencionar que as denominações de zona costeira, litoral, orla costeira, faixa costeira, faixa litoral, zona litoral e área/região costeira são usadas sem diferenças por especialistas de diferentes áreas para se referir a porções do território de tamanhos variados, na área de interação entre a terra e mar. Além da delimitação dessas áreas dependerem do objetivo a que se propõe, a realidade física é muito diferente em cada local. A própria dinâmica desta área de transição é incompatível com a rigidez imposta pelos limites, seja qual for a escala de grandeza dos mesmos (GOMES et al., 2007).

Em relação a dinâmica da linha de costa, diversos indicadores estão sendo utilizados para representar a posição dessa, como: o topo de uma falésia, a crista ou o limite da vegetação de dunas, o alcance máximo da maré, escarpas erosivas, o limite da praia exposto ao alcance das ondas, linha de arrebentação das ondas, entre outros (BOAK; TURNER, 2005). Há um consenso em relação à complexidade da zona costeira, dos processos que ocorrem e das respostas dos sistemas, ao dinamismo, a sua alta sensibilidade, importância ecológica e econômica, conflitos de utilização, a pressão que essas áreas sofrem, a necessidade de promover o uso sustentável desses espaços, entretanto, o mesmo não se aplica ao estabelecimento de seus limites físicos (GOMES et al., 2007).

Em toda a extensão da zona costeira é possível encontrar várias formas de uso e ocupação e diferentes atividades humanas. Por causa dessa diversidade de padrões de uso e como consequência, conflitos, o planejamento e gestão dessas áreas é imprescindível. A zona costeira é uma região geograficamente distinta, o alto interesse imobiliário devido às suas características paisagísticas, alta riqueza biológica (MORAES, 2007), além de seus infinitos usos como navegação, comunicação, recursos pesqueiros, recursos energéticos, turismo, lazer, infraestrutura costeira, entre outros, tais configurações potencializam a ocupação do litoral brasileiro.

Sobre o ponto de vista geomorfológico, para Masselink; Gehrels (2014), a zona costeira é representada pela região da superfície da Terra que teve/tem interação dos processos costeiros, como as ondas e marés, durante o período geológico do Quaternário. O Quaternário é o intervalo da história geológica da Terra mais recente, sendo dividido em duas épocas, o Pleistoceno e Holoceno, aproximadamente os últimos 11,7 b2k (o que equivale a milhares de anos antes de 2000 AD - Anno Domini) (FERNADEZ, et al., 2022). De acordo com a delimitação geopolítica, o decreto N° 5.300/2004 delimita a zona costeira no Brasil com base em critérios políticos e administrativos. A porção terrestre é delimitada pelos limites políticos dos municípios litorâneos e contíguos conforme os Planos Estaduais de

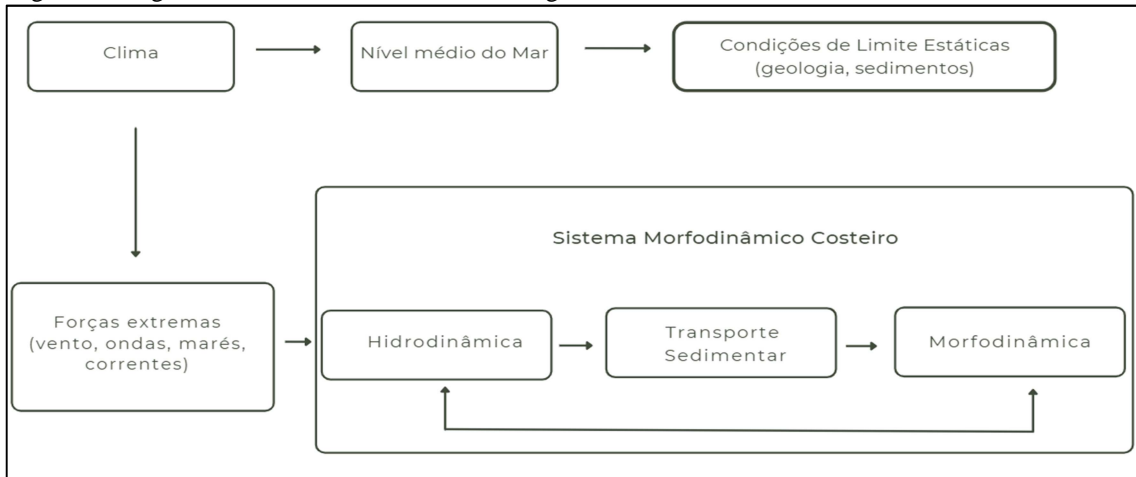
Gerenciamento Costeiro, enquanto a porção marinha é delimitada pela extensão do Mar Territorial (12 milhas náuticas ou 22,2km a partir da linha de base¹).

Rossetti (2008) ainda aponta que os ambientes costeiros são considerados laboratórios naturais capazes de fornecer informações relativas à dinâmicas das alterações do nível do mar, tanto no passado como em tempos atuais, com registros preservados nas sucessões sedimentares. “A análise da paisagem costeira atual e da sua evolução no tempo geológico permite reconstituir os padrões de variações do nível do mar, bem como entender os fatores intrínsecos e extrínsecos que influenciaram suas mudanças através do tempo.” (ROSSETTI, 2008, p.8). Sendo assim, a caracterização do ambiente costeiro, sejam atuais ou do passado, em termos geológicos ou geomorfológicos, trazem informações relevantes na observância da sua dinâmica, sendo fundamental para a reconstituição da história geológica e também como possibilidade de intervir nos impactos negativos para as sociedades atuais e futuras.

A figura 1 apresenta um diagrama mostrando os sistemas morfodinâmicos costeiros e as condições-limite ambientais (nível do mar, clima, forças externas e condições-limite estáticas). É relacionada aos processos atuais ativos endógenos e exógenos e alteram as formas de relevo (FLORENZADO, 2016). Os sistemas costeiros compreendem três elementos interligados (morfologia, processos e transporte de sedimentos) que possuem um certo grau de autonomia em seu comportamento, mas são impulsionados e controlados por fatores ambientais (WRIGHT; THOM, 1977). Estes ambientes possuem condições que incluem o limite do meio físico (geologia e sedimentos); clima e forças externas (vento, ondas, tempestades, marés e tsunamis); e com o nível do mar servindo como orientação para determinar onde os processos costeiros operam. Quanto aos sistemas e processos costeiros contemporâneos, as atividades humanas também devem ser levadas em conta. Deste fato, ao longo de muitas das nossas costas brasileiras as atividades humanas, como alimentação artificial de praias, construção de defesas costeiras e dragagem, são tão importantes quanto a dinâmica costeira e, portanto, não podem ser ignoradas (MASSELINK; GEHREL, 2014).

¹ O Art. 1º estabelece que a Linha de Base do Brasil é formada pela combinação de Linhas de Base Retas (LBR), que são definidas pelas linhas retas que unem pontos na linha de costa, selecionados de acordo com os critérios listados no artigo 7 da CNUDM. Elas delimitam águas interiores do mar territorial e outras zonas marítimas. As Linhas de Base Normais (LBN), são os elementos básicos do qual o mar territorial e os outros limites marítimos são determinados; sendo definida como a linha de baixamar ao longo da costa, conforme indicado em cartas náuticas de grande escala (Decreto nº 8400 de 04/02/2015).

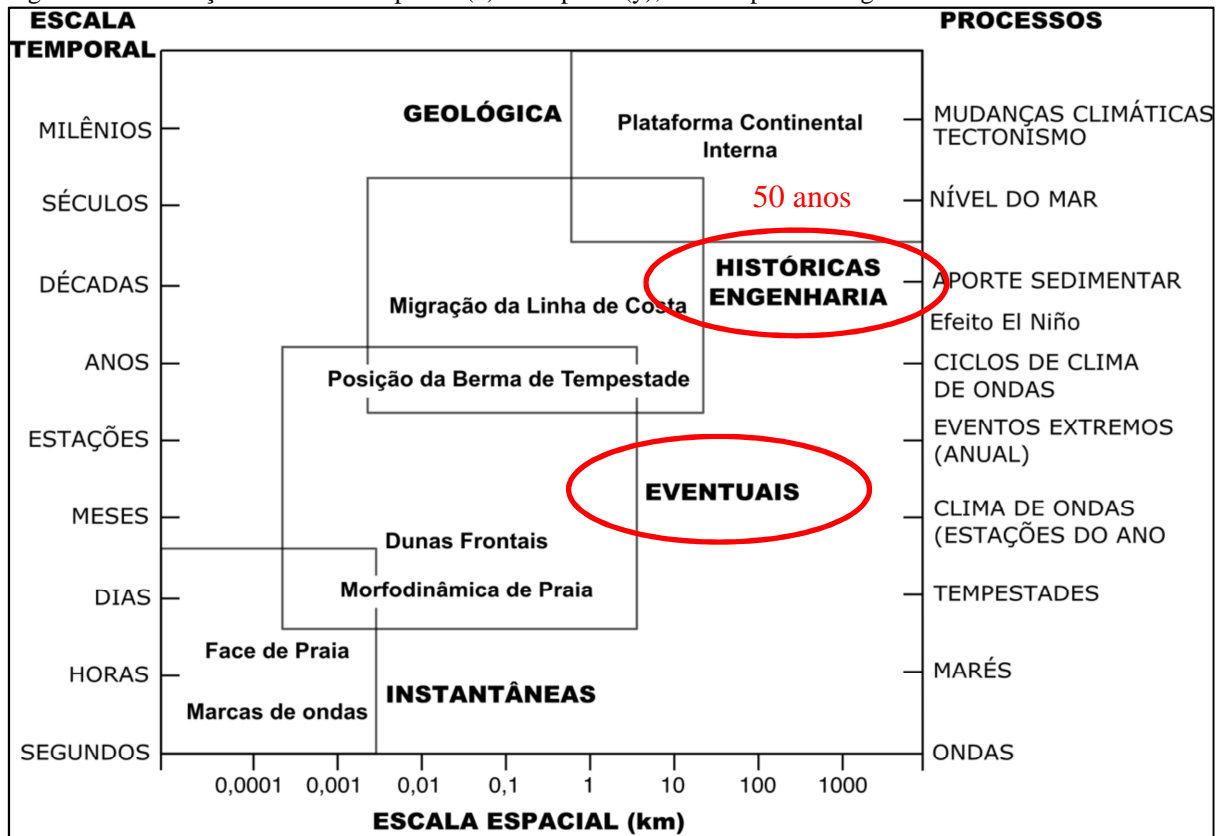
Figura 1: Diagrama conceitual ilustrando a abordagem morfodinâmica



Fonte: Masselink, 2012. Adaptado pela autora, 2022.

Wright; Thom (1977) definiram a abordagem morfodinâmica envolvendo três análises: 1. A variabilidade espaço-temporal das condições ambientais costeiras; 2. os processos hidrodinâmicos, morfodinâmicos de interação e transformação responsáveis por operar dentro do sistema costeiro para produzir padrões morfológicos e mudanças morfológicas; e 3. as sequências evolutivas de curto e longo prazo que, em última análise, produzem morfologias e estratigrafias preservadas, e que alteram progressivamente o ambiente dinâmico e combinações de processos. A Figura 2, apresenta a abordagem morfodinâmica (SHRODER, 2013), que pode ser encontrada em Carter; Woodroffe (1994) onde, segundo Wright; Thom (1977), enfatizaram a aplicabilidade da abordagem em uma ampla gama de escalas de tempo e espaço.

Figura 2: Distribuição das escalas espacial (x) e temporal (y), com os processos governantes.



Nota: Os círculos vermelhos correspondem às escalas temporais investigadas nesse trabalho. Distribuição das escalas espacial (eixo x) e temporal (eixo y), com os processos governantes, identificando diferentes ambientes que seriam dinamicamente alterados. A partir de determinados processos definidos por escalas de tempo e espaço, flutuações em alguns ambientes costeiros foram posicionadas, para melhor exemplificação. No caso das escalas instantâneas e eventuais, são os eventos considerados instáveis. Os eventos históricos e geológicos, por serem mais lentos, tem sua predição mais clara.

Fonte: Carter; Woodroffe, 1994. Adaptado por Fernandez et al., 2021.

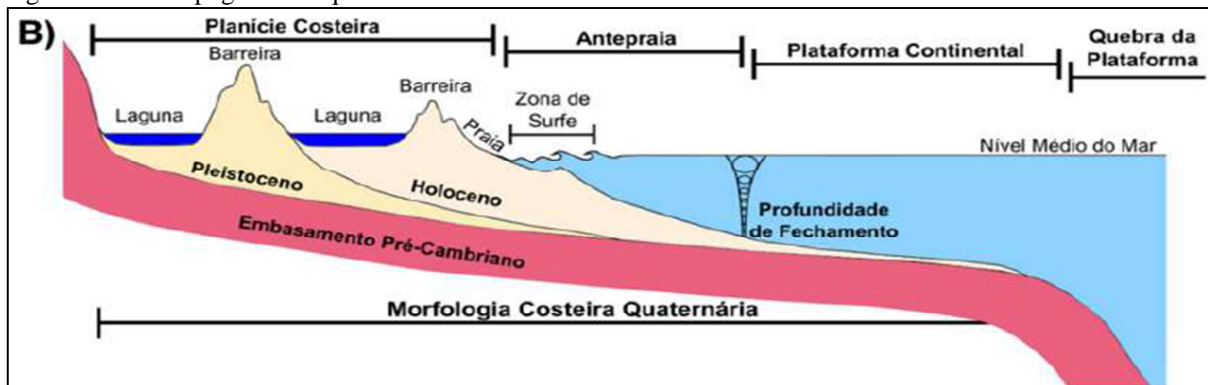
As escalas espaciais e temporais **instantâneas** estão relacionadas às alterações morfodinâmicas de curta duração a partir das forças como a ação das ondas, ventos e ciclos de marés. As **eventuais** são escalas de difícil predição, uma vez que seriam instáveis (MASSELINK; GEHRELS, 2014). São processos determinados por alterações que ocorrem ao longo de um ano ou até mesmo de alguns dias, são os casos das tempestades, clima de ondas, eventos como o *El Niño* e *La Niña*. Estas escalas são percebidas por uma rápida mudança morfológica, que é possível detectar no tempo e no espaço, com levantamento de topografia de detalhe e por imagens aéreas, com isso, é possível notar uma forte relação entre processos transformadores costeiros e alterações na morfologia (FERNANDEZ, et al., 2021).

As **histórias ou de engenharia** podem ser notadas a partir de décadas ou séculos com a ocorrência dos fenômenos morfodinâmicos, como por exemplo, a mudança da localização

da linha da costa, balanço sedimentar e alterações antrópicas realizadas por obras de engenharia. Por último, na **escala geológica** é onde ocorrem os fenômenos de larga escala temporal e espacial, é onde ocorrem as flutuações do nível médio do mar com mudanças climáticas e tectonismo.

Em relação à geomorfologia, umas das principais feições onde os estudos discorreram são as barreiras arenosas costeiras (Figura 3). Também denominadas de cordões litorâneos, são formadas pela acumulação de sedimentos paralelos à costa que se elevam acima do nível da maré e são depositados por ondas e/ou ventos. Essas barreiras podem assumir características de feições transgressivas, regressivas ou agradacionais, de acordo com as curvas de variação relativa do nível do mar ao longo do quaternário. Sua ocorrência pode estar ou não associada a sistemas lagunares e canais de marés (ARNOTT, 2010; SHRODER, 2013). As barreiras arenosas possuem esse termo pois derivam o seu nome da proteção que eles exercem sobre o continente, protegendo-o de tempestades costeiras e da elevação do nível do mar (DAVIS JR.; FITZGERALD, 2004; SHRODER, 2013). As barreiras são associadas ao quaternário e tem como limite o tempo geológico da estrutura geológica antecedente.

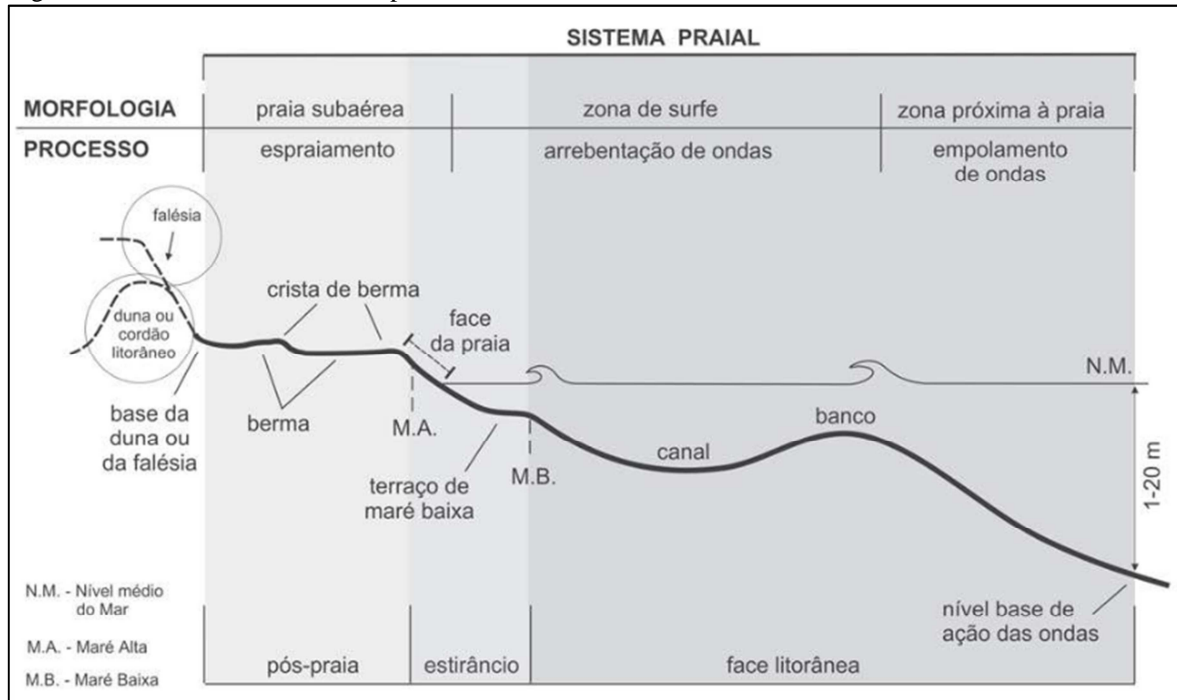
Figura 3: Perfil topográfico esquemático das formas de relevo costeiro.



Fonte: Fernandez, et al., 2022.

Outra feição importante nesse estudo são as praias. Por definição, praias são depósitos de material inconsolidado, como areia e cascalho, formadas entre a terra, o mar, ou outro grande corpo aquoso, como os rios e lagos. São modelados constantemente pelos processos litorâneos (SUGUIO, 1992). Conforme a Figura 4, as praias constituem a parte frontal dos cordões alongados paralelos a linha de costa, incluindo a subdivisão dos seus ambientes em: além da frente de praia (face litorânea), antepraia (estirâncio) e parte de trás das praias (pós praia), sendo esse sistema mais predominante em costas dominadas por ondas em regimes de micro a mesomaré (SOUZA et al., 2005; ROSSETTI, 2008).

Figura 4: Nomenclatura do sistema praial.



Fonte: Short, 1999. Adaptado por Souza, et al., 2005.

Conforme aponta Souza et al., (2005), a nomenclatura dos ambientes praias, feições e processos associados não possui padronização na literatura internacional ou brasileira. Os diversos limites de denominações, são empregados por diferentes profissionais e dependem dos diferentes fatores como particularidades regionais do sistema praial, foco no interesse do estudo, uso afamado de termos regionais, e para o Brasil, traduções dos termos para a língua portuguesa. Para o presente estudo, usaremos as nomenclaturas apresentadas por Souza et al., (2005), para um claro entendimento à nomenclatura empregada. O quadro abaixo (Quadro 1) apresenta a descrição de cada nomenclatura apresentada na Figura 4.

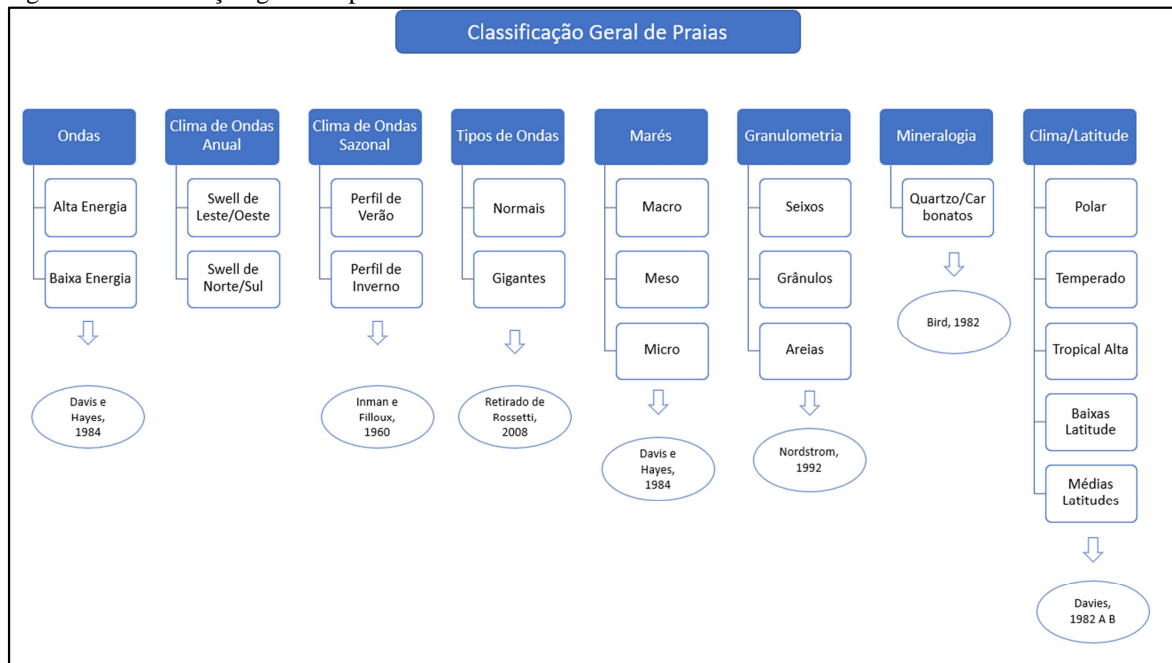
Quadro 1: Nomenclatura do sistema praial

Setor da Sistema Praial	Descrição
Pós-praia (<i>backshore</i>)	Essa zona costeira abrange a área até o nível do mar na maré alta de sizígia, alcançando a base de uma feição costeira ou a linha de vegetação permanente. É influenciada pelas ondas de tempestade, podendo formar uma berma de tempestade, atingir seu limite superior ou até mesmo ultrapassá-lo.
Estirâncio (<i>foreshore</i>)	Essa zona costeira é conhecida como a área entre o nível do mar na maré alta de sizígia e o nível do mar na maré baixa de sizígia. Os biólogos a chamam de zona intermaré. A zona intermaré inferior é delimitada pelas linhas de maré baixa de quadratura e maré baixa de sizígia.
Face litorânea (<i>shoreface</i>)	Essa zona costeira é situada entre o nível do mar na maré baixa de sizígia e o nível em que as ondas atuam em condições de tempo bom. Além disso, é chamada de zona inframaré por estudiosos de ambientes de macromarés.
Praia subaérea	Essa zona costeira vai da última quebra de onda normal na face da praia até o limite máximo de ação das ondas de tempestade. Inclui a pós-praia e parte do estirâncio. A posição da face da praia varia com as mudanças diárias e sazonais da maré.
Zona de surfe e de arrebentação de ondas	Essa zona costeira vai da primeira linha de arrebentação de ondas até o ponto de última quebra da onda na face da praia.
Zona próxima à praia	Essa zona costeira abrange o espaço entre o nível base de ação das ondas de tempo bom sobre o fundo marinho e a primeira linha de arrebentação de ondas. Nessa área, ocorre o processo de empolamento de ondas (<i>wave shoaling</i>), que é a redução progressiva do comprimento de onda e o aumento de sua altura, levando à arrebentação das ondas.

Fonte: Souza, et al., 2005, adaptado pela autora, 2023.

O modelo de Short (1999) (Figura 5) ilustra a existência de vários tipos de praia, que podem ser classificadas através de vários elementos, são eles: ondas, clima de ondas anual, clima de ondas sazonal, tipo de ondas, marés, granulometria de praia, tipo de minerais presentes e tipo de climas. As praias são consideradas ambientes muito sensíveis e com grande dinâmica em seus processos, tendo diversas funções, entre elas, a proteção para os ecossistemas próximos e as atividades humanas, como moradia, recreação, turismo e habitat para diversas espécies de animais e vegetais (SOUZA, et al., 2005).

Figura 5: Classificação geral de praias



Fonte: Short, 1999. Adaptado pela autora, 2023.

As variações no perfil de praia em razão da migração transversal de sedimentos são em função da razão entre a altura de ondas e o seu comprimento, denominada esbeltez da onda. Quanto maior a esbeltez da onda, maior é a capacidade de transportar sedimentos para águas profundas. As ondas de tempestade possuem maiores valores de esbeltez, possuindo também, maiores alturas e períodos. O empilhamento de água na costa é uma resultante desses eventos e intensifica o fluxo da contracorrente sentido costa afora. A capacidade das ondas em levantarem os sedimentos de fundo está relacionada e sua relação com a direção do fluxo da corrente resultante da ação das ondas (DEAN; DALRYMPLE, 2002).

Investimentos em milhões de dólares têm acontecido em muitos países na recuperação de praias (HOUSTON, 2013). Para Souza (2005), não existem dados consistentes para a conservação ou manutenção de praias no Brasil pois o mesmo ocorre de maneira pontual, com investimentos municipais ou até mesmo particulares. A erosão costeira em praias pode ser resumida como uma resultante da deficiência de sedimentos em determinado segmento do litoral durante um determinado tempo e ocorre quando a relação suprimento/supressão desses materiais que transitam se dá num balanço negativo. A questão do tempo é fundamental para distinguir os eventos episódicos, como em uma tempestade, de um comportamento de tendência erosiva de médio a longo prazo, que resultaria numa migração deste segmento da linha de costa em direção ao continente (MUEHE, 2011).

As causas podem ser naturais ou antrópicas, onde na primeira os sedimentos são remobilizados devido ao funcionamento natural dos sistemas costeiros, com movimentações

transversais à costa de material para setores mais profundos do prisma praial ou para suprir campos de dunas no pós-praia, ou até mesmo, a partir do transporte longitudinal, depositando em trechos adjacentes da linha de costa. Por outro lado, sob a influência antrópica estão associados às ações de intervenção no balanço sedimentar a partir da construção de estruturas de engenharia para infraestruturas na zona costeira, urbanização sobre a faixa arenosa e, de maneira indireta, mas não menos importante, as alterações promovidas nas bacias hidrográficas, como barragens e mineração de areias, que podem alterar profundamente o aporte de sedimentos para a zona costeira.

Em áreas que sofrem erosão costeira, os problemas são notados e agravados por obras rígidas de engenharia que afetam o equilíbrio ecológico local, como por exemplo, espigões, estrutura de abrigo para portos ou terminais marítimos. Muitas dessas obras não consideram o equilíbrio geomorfológico das costas. Com isso, as alterações momentâneas do nível do mar, através de eventos meteorológicos, ressacas, diminuição do aporte de sedimentos, ocorrem mudanças no perfil da praia, podendo afetar as estruturas urbanas na zona costeira (PEDROSA, 2015).

Em um ambiente praial em equilíbrio sedimentar, à medida que essas forças, como ventos, ondas e correntes interagem com os sedimentos costeiros, a energia se dissipa, de forma que, em condições normais seus efeitos no litoral são mínimos. Entretanto, durante as tempestades, os níveis elevados de energia e água podem estar acima da capacidade de dissipação promovidas por feições como bancos arenosos submersos, face litorânea e bermas (HARLEY, 2017).

Este ambiente é dos mais vulneráveis a eventos de tempestades. Sendo situado na interface entre terra e oceano, a praia é uma área com fluxo constante de sedimentos e nutrientes, sendo constantemente remodelados pelas forças ambientais. Sendo assim, a zona costeira, é considerada uma das áreas que mais sofrem variações morfológicas em seus ambientes. Quando o sistema de sedimentos é substituído por estruturas urbanas, corre o risco de desencadear um processo de erosão e dificultar a recomposição sedimentar da praia/duna. Muitos desses exemplos ocorrem onde a dinâmica local não foi devidamente observada (PEREIRA, 2017).

Para o passado histórico, a geomorfologia costeira tem sido importante para entender a história geológica da Terra, incluindo a evolução da costa ao longo do tempo. No presente, a geomorfologia costeira é importante para entender a relação entre os processos naturais e humanos que afetam a costa, incluindo o desenvolvimento costeiro, a exploração de recursos naturais, a conservação de ecossistemas costeiros e a gestão de riscos. Estudos dessa

disciplina são fundamentais para avaliar os impactos das mudanças climáticas na costa e desenvolver estratégias de adaptação para reduzir os riscos de desastres naturais, proteger a vida humana e os ecossistemas costeiros.

1.2 Risco, vulnerabilidade, resiliência e o ciclo de geração “tempo, lugar e pessoas”

Os estudos dos perigos naturais ou *natural hazard* são tradicionais na geografia desde 1920, com foco no desenvolvimento de políticas públicas e no bem-estar da sociedade. A manutenção e conservação dos recursos, bem como os impactos, perigos e riscos dos ambientes, estão intrinsecamente relacionados, sendo a relação população e ambiente o centro do debate sobre os perigos naturais (MARANDOLA JR.; HOGAN, 2004).

O termo “risco” é derivado do italiano antigo “*risicare*”, que significa ousar, arriscar. Sendo assim, nesse sentido, risco seria uma opção e não um destino (BERNSTEIN, 1997). Com as organizações humanas e com as diferentes formas de interação social e apropriação do espaço, a palavra risco passa a ter um novo significado. Para Houaiss (2015), risco está relacionado a probabilidade de perigo. Risco, portanto, assumiu também o sentido de uma situação, enquanto perigo é o evento, o qualitativo que causa danos (MARANDOLA JR.; HOGAN, 2006).

Medonça; Buffon (2021) destacam que, para que um evento gerado pela natureza se torne um perigo, deve-se estar diretamente associado a exposição da sociedade a ele. Portanto, não existe risco para a natureza, uma vez que o risco é uma construção social que surge da condição da sociedade exposta ao perigo. É nessa conjuntura que os riscos naturais se formam. Marandola (2008) também ressalta que os eventos naturais só são caracterizados como risco quando causam danos a população, uma vez que são resultados da relação sociedade-natureza. Desta forma, a palavra “vulnerabilidade” tornou-se presente nos mais diversos campos do conhecimento e da gestão pública, justamente porque aborda uma situação vivida no dia a dia em nossa sociedade contemporânea (MARANDOLA, 2009).

Para Valencio et al., (2009), o risco é construído pela sociedade a partir da sua interação com o mundo físico. Com isso, o que era um evento natural se transforma em perigos de diversas magnitudes e intensidades. A intersecção da suscetibilidade física ao evento e da vulnerabilidade das populações expostas ao perigo cria o cenário dos riscos. Marandola (2009) afirma que o conceito de risco é importante porque nos permite pensar

tanto nos termos de probabilidade quanto aos lugares de ocorrência. O perigo é destacado como o evento propriamente dito, os *hazard*, conforme aponta Marandola Jr.; Hogan (2004), é um conceito utilizado para apresentar eventos que produzem alterações em um sistema, sendo responsáveis por provocar danos na relação entre população e ambiente. Marandola (2008) destaca que os riscos e perigos se referem ao mesmo fenômeno, sendo conceitos que nos permitem pensar em momentos diferentes do processo. Em Marandola Jr. (2009) o autor afirma que:

Todo perigo se refere a um risco, todo risco se refere a um perigo, sem prevalência de um sobre o outro. O uso de um ou outro termo no discurso acadêmico e político se refere à ênfase que se direciona às ações preventivas pré-evento (risco) e à compreensão do processo de produção e distribuição dos eventos (perigo)” (MARANDOLA, 2009, p.37.)

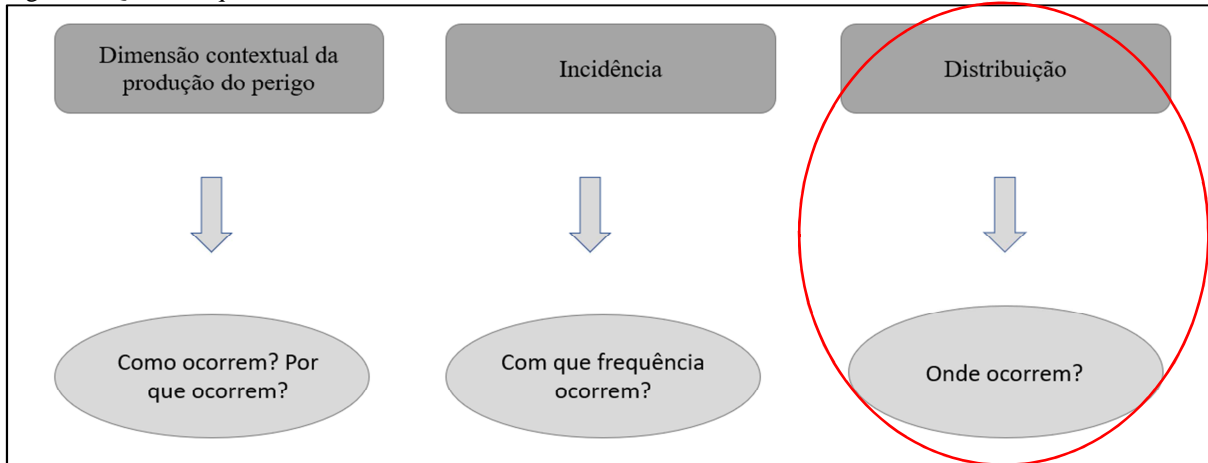
Para Beck (1992), a nossa sociedade já vive há um tempo em uma situação de risco constante. Os riscos associados ao padrão de produção atual, à forma de ocupação do uso do solo, a forma como é feita a gestão dos recursos naturais, são reconhecidos pela teoria social como uma peça central de uma sociedade que produz e distribui os seus riscos globalmente. Smith et al., (2017), apontam que os processos sociais dos riscos são resultados das decisões humanas quanto a forma pelo qual os recursos são utilizados por quem e para quem. As decisões humanas são moldadas através de muitas forças e pressões, sejam de incentivos ou restrições. No contexto dos riscos ambientais, Porto (2012) afirma que esses eventos acontecem através de ciclo de geração, exposição e efeitos, seja os mesmos já ocorridos ou que estejam para ocorrer. Os territórios onde essas relações ocorrem, são frutos do tempo, lugar e pessoas, em distintas escalas espaciais, temporais e sociais.

Para Veyret (2015), o conceito de risco pode ser definido como a possibilidade de um acontecimento catastrófico para o coletivo humano ou como uma probabilidade de ocorrência de um acontecimento com consequências que podem comprometer a sociedade, em sua totalidade ou em uma parte do sistema. Assim, a autora privilegia uma abordagem que afeta diretamente grupos sociais onde a vulnerabilidade poderia ser medida por uma estimativa dos danos potenciais que podem afetar um alvo, como estruturas físicas e a própria população, permitindo expressar a capacidade de resiliência dos alvos diante dos fenômenos físicos.

Conforme Figura 6, para mensurarmos os riscos em um determinado espaço-tempo, é necessário um conhecimento da dimensão contextual de como o perigo se produz no espaço, seus danos potenciais, incidência e distribuição (HEWITT, 1997). O tempo, nesse sentido, é uma variável que contribui para os estudos geográficos no sentido de que não apenas a materialidade física se transforma, mas também as visões de mundo e por consequência, as

culturas também se transformam. Em relação ao grau de incidência, Lieber; Romano-Lieber (2002, p.1) apontam que a “possibilidade dos acontecimentos ou eventos futuros é definida a partir das probabilidades de ocorrência, calculada com base nos eventos do passado”.

Figura 6: Questões que norteiam os estudos sobre os riscos



Nota: O círculo em vermelho apresenta a questão norteadora sobre o risco discutida neste estudo.

Fonte: A autora, 2022.

Porto (2012) afirma que para enfrentarmos os riscos de forma eficaz é necessário que os mesmos sejam compreendidos a partir de referenciais conceituais e metodológicos que envolvam seus níveis de complexidade e sua contextualização ocorra frente as realidades onde seus ciclos de geração-exposição-efeitos acontecem. Estes ciclos envolvem dimensões tecnológicas e econômicas, mas também realidades sociais, políticas, culturais, ecológicas, éticas e de saúde. Portanto, para o autor, o conceito de vulnerabilidade seguindo uma lógica mais acadêmica, está diretamente ligado à teoria de sistemas, com significado oposto ao de resiliência, que pode ser definida como uma característica dos sistemas ao se adaptarem às mudanças, choques e perturbações, sem comprometer suas funções estruturais.

O autor supracitado investiga a vulnerabilidade sob a ótica dos sistemas sociotécnicos e afirma que ela pode ser entendida como uma propriedade de um sistema socioambiental, onde um sistema ou unidade de exposição está sujeita a algum dano, exposto a alguma perturbação, ou estresse no sistema, bem como uma dificuldade para enfrentar, recuperar ou mesmo de adaptar de forma estrutural, adquirindo novas características, transformando assim em um novo sistema.

De acordo com Paula (2012), os impactos não são sentidos por todos de forma igual, pois depende do grau de exposição (físico e social), da vulnerabilidade (física e sociodemográfica) e do risco, não sendo assim resultante simplesmente de uma exposição a um evento perigoso, e sim historicamente construído por meio de ações humanas e processos

naturais. De acordo com Braga et al., (2006), a vulnerabilidade pode ser entendida como a suscetibilidade do ser humano, a um perigo ou danos. Desta forma, a vulnerabilidade envolve diversos fatores que pode diminuir ou aumentar os riscos no qual o ser humano está exposto nos mais diversos momentos ao longo da sua vida.

Sendo assim, a vulnerabilidade aparece como um sistema, articulado em torno de um número de variáveis, naturais e humanas, cujas dinâmicas no tempo e no espaço podem levar uma sociedade exposta ao perigo. Nesse sentido, Adger et al., (2004), afirma que cientistas sociais e físicos abordam de forma diferente a temática sobre vulnerabilidade, tornando comum usarem adjetivos “socioeconômica”, “física”, “ambiental” associados a esse conceito. Um dos maiores desafios nos estudos e abordagens dos temas de risco e vulnerabilidade gira em torno da própria polissemia conceitual existente entre eles. A palavra risco, assim como vulnerabilidade são discutidas na literatura, podendo ser encontradas inúmeras definições. Essa seria uma das condições desafiadoras para as duas temáticas, vulnerabilidade e risco, a polissemia inerente aos dois conceitos.

Para Marandola (2009), o uso do termo vulnerabilidade é o resultado da disseminação generalizada que não carrega uma construção conceitual precisa e além disso, está presente para expressar os mais diversos interesses. Carregada de ideologia, em outros momentos de força reacionária, o conceito, que ao mesmo tempo é forte em seu potencial de análise, se perde muitas vezes nos discursos que buscam a validade no espaço político e científico. De acordo com Souza; Zanella (2009), a pluralidade e muitas vezes a falta de rigor conceitual tem se mostrado um desafio na investigação dos riscos ambientais, dificultando a discussão entre os saberes envolvidos, sobretudo entre as ciências naturais e humanas.

No âmbito das abordagens de risco e vulnerabilidade, o método fenomenológico adquire relevância ao valorizar as vozes e representações dos sujeitos envolvidos na pesquisa (BORGES, 2016). Busca-se compreender não apenas as diferentes percepções, mas também realizar uma análise crítica de suas representações. Em outras palavras, o objetivo é compreender a relação da comunidade com a percepção dos riscos que possivelmente estão presentes na área de estudo.

A percepção dos atores está diretamente relacionada à capacidade de resiliência, tomando medidas mitigadoras próprias ou exigindo dos órgãos públicos ações preventivas e de gestão. Nesse sentido, metodologias aplicadas como mapeamentos participativos, são exemplos de ações integradoras onde as percepções locais dos moradores sobre ótica do risco, se apresentam como informações extremamente relevantes para comparação dos resultados adquiridos com as demais metodologias de mapeamento de risco.

Cutter (2003) reafirma sobre uma abordagem integradora que busque explicar as complexas interações existentes entre sistemas naturais, sociais e artificiais. A mesma autora ressalta que, ainda assim não, seria possível entender completamente os impactos dos acontecimentos naturais que dão origem aos riscos sem analisar a forma como esses processos de relacionam com a sociedade. Ainda para Cutter (2011), a ciência da vulnerabilidade se relaciona a uma integrada visão multidisciplinar das ciências sociais, das ciências naturais e da mecânica das circunstâncias que deixam as populações e locais expostos aos riscos e das variáveis responsáveis por aumentarem ou diminuïrem a capacidade de resposta da sociedade, sistemas físicos e infraestruturas em relação aos eventos naturais.

Houaiss (2015) define resiliência como uma propriedade que os corpos têm de retornar a forma original após terem sido submetidos a uma deformação. Em seus estudos, Cutter (2010) reitera que resiliência é um conjunto de capacidades que podem ser fomentadas por meio de intervenções e políticas, que por sua vez ajudam a construir e melhorar a capacidade de resposta de uma comunidade e se recuperar de desastres. Se as comunidades podem aumentar sua resiliência, através do apoio de políticas, então elas estão em uma posição benéfica para resistir à adversidade e para recuperar rapidamente caso não houvesse pouco ou nenhum investimento na construção da resiliência da comunidade.

Desde a publicação do IPCC sobre estratégias para adaptação ao aumento do nível do mar (IPCC CZMS), em 1990, vários estudos começaram a adotar o conceito de vulnerabilidade costeira (LINS DE BARROS, 2017). Vulnerabilidade costeira é um conceito espacial que identifica lugares e populações expostas a perigos que causam ameaças significativas aos sistemas costeiros, como perturbações físicas, econômicas e sociais (BEVACQUA, et al., 2018).

Bevacqua et al., (2018) fizeram uma revisão que examina mais de 200 trabalhos relacionados a vulnerabilidade costeira, que descreve a evolução do conceito de vulnerabilidade costeira com o objetivo de fornecer uma revisão na literatura que possa ser usado no aumento da resiliência e avanço da sustentabilidade em zonas costeiras. Para os autores, à medida que os estudos de vulnerabilidade costeira avançam, é previsto que os sistemas envolvidos sejam cada vez mais examinados de forma holística.

Lins de Barros (2020) aponta que existe uma complexidade em se avaliar a vulnerabilidade na zona costeira, tanto pela quantidade de variáveis envolvidas, quanto pela diversidade de paisagens e tipos de perigos. Com isso, a autora apresenta a dificuldade na definição de um método de avaliação que passa a ser aplicado a diferentes tipos de costa, o que implica em metodologias para escalas e abordagem diferentes.

Conforme aponta Lins de Barros (2020), as variáveis escolhidas para avaliar a vulnerabilidade costeira, precisam levar em consideração os aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos, uma escala adequada de análise, e as peculiaridades da área de estudo, procurando focar assim, em uma análise integrada que contemple a complexidade desse ecossistema.

Lins de Barros (2017) propôs um estudo de análise integrada em que a ideia central é que a vulnerabilidade costeira deve ser entendida a partir de uma perspectiva holística, reconhecendo a existência das dimensões físicas, sociais e ambientais e suas inter-relações. Para isso, a autora elaborou uma matriz de grau de exposição versus capacidade adaptativa nas zonas costeiras e um diagrama de avaliação integrada da vulnerabilidade costeira. Para a autora, a abordagem integrada é primordial para um entendimento da complexidade dos ecossistemas costeiros e permite um diagnóstico completo dessas áreas.

Nas últimas décadas, o interesse pela elaboração de análises integradas e avaliações da vulnerabilidade associadas aos perigos costeiros tem aumentado, o que deriva da magnitude dos perigos naturais, acrescidos a evolução da ocupação e atividades humanas junto a costa (TATE; CUTTER, 2010; MULER; BONETTI, 2014; WEIS, et al.; 2016; ASWANI, et al.; 2018). Vários estudos e procedimentos metodológicos foram desenvolvidos sobre a temática, no entendimento de lançar luz a uma visão holística sobre as pesquisas desse ambiente. A análise ou o mapeamento da vulnerabilidade pode utilizar diversos métodos quantitativos e qualitativos, proporcionando a contextualização dos riscos analisados nas dimensões sociais, institucionais, técnicas e culturais (PORTO, 2012).

As pesquisas de análise integrada devem comportar múltiplas disciplinas, sintetizando teoria e método, com a finalidade de adotar uma metodologia plural, enfrentando barreiras epistemológicas, que discuta tanto aspectos quantitativos quanto qualitativos. Para Smith et al. (2017) a coprodução, a estruturação e implementação dos projetos de pesquisa integrados têm se tornado desafiadores, se mostrando um subcampo da metodologia.

Santos (2008), aborda que o espaço geográfico é uma produção tanto das relações entre homem e meio, quanto de um processo histórico. A série histórica e a análise espaço-tempo são etapas instrumentais importantes para entender a dinâmica de ocupação no litoral das áreas em estudo, subsidiando, portanto, argumentos para o diagnóstico sobre as interações humanas locais, além de identificar potencialidades e vulnerabilidades para fins de ações prioritárias de ordenamento e gestão territorial da zona costeira. Sob essa perspectiva, a historicidade é um dos elementos fundamentais na compreensão dos processos de formação e transformação do espaço geográfico, ou seja, os processos antropogênicos se apresentam

como uma “intrínseca relação de uso e troca com o meio físico” (SOLÓRZANO et al., 2009, p. 53).

Em última análise, enquanto a análise da vulnerabilidade surge como resultado da interação humana com o ambiente circundante, a suscetibilidade refere-se exclusivamente às características físicas do meio, isto é, a intensidade ou probabilidade de um determinado ambiente ser afetado por um perigo natural (UNDP, 2004). Para Girão, et al., (2018), a suscetibilidade é o quão provável um determinado fenômeno pode ocorrer independente dos fatores sociais, mas tendo a sociedade como elemento de interferência que acelera ou retarda. A suscetibilidade é influenciada por fatores como a localização geográfica, a exposição a perigos naturais e as características físicas do ambiente. O Quadro 2 oferece uma síntese dos conceitos balizadores nesta pesquisa. Os processos metodológicos, discussões dos resultados e conclusão estão embasados nesses conceitos.

Quadro 2: Conceitos balizadores desta pesquisa

Termo	Conceito	Autor	Exemplo
Perigo	Perigo é o evento, o qualitativo que causa danos. Para que um evento gerado pela natureza se torne um perigo, deve-se estar diretamente associado a exposição da sociedade a ele.	MARANDOLA JR. e HOGAN, (2006) e MEDONÇA; BUFFON (2021)	Eventos de Tempestade Costeira que podem afetar uma população.
Risco	Possibilidade de um acontecimento catastrófico para o coletivo humano ou como uma probabilidade de ocorrência de um acontecimento com consequências que podem comprometer a sociedade, em sua totalidade ou em uma parte do sistema.	VEYRET (2015)	Possibilidade de uma população ser afetada pelos eventos de Tempestade Costeira.
Suscetibilidade	Suscetibilidade é o quão provável um determinado fenômeno pode ocorrer independente dos fatores sociais.	GIRÃO, et al., (2018),	A suscetibilidade é influenciada por fatores como a localização geográfica, a exposição a perigos naturais e as características físicas do ambiente.
Vulnerabilidade	Pode ser medida por uma estimativa dos danos potenciais que podem afetar um alvo, como estruturas físicas e a própria população, permitindo expressar a capacidade de resiliência dos alvos diante dos fenômenos físicos.	VEYRET (2015)	Integração dos perigos, processos físicos e sociais da área afetada e a resposta ao evento. Inversamente proporcional a resiliência.
Resiliência	Conjunto de capacidades que podem ser fomentadas por meio de intervenções e políticas, que por sua vez ajudam a construir e melhorar a capacidade de resposta de uma comunidade e se recuperar de desastres.	CUTTER (2010)	Análise da percepção dos perigos, ações privadas e políticas públicas para diminuir o risco aos eventos de tempestade costeira.

Fonte: A autora, 2023.

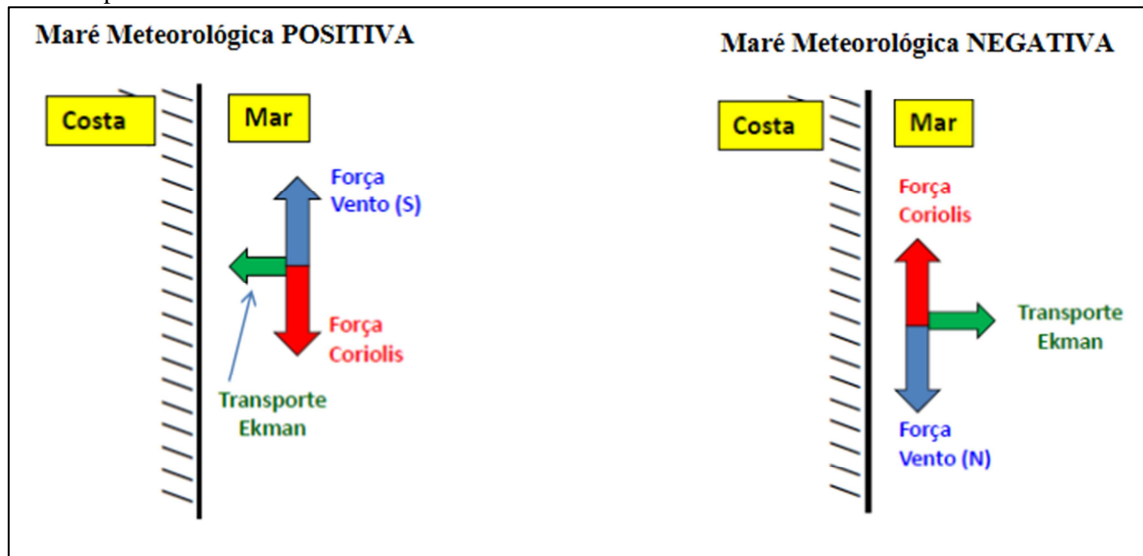
1.3 Eventos meteorológicos extremos como indicadores de perigos potencialmente localizados

Para Taborda; Dias (1992), a sobrelevação do nível do mar, ou “*storm surge*”, conhecida no Brasil como maré meteorológica, é a elevação do nível marinho acima do que é imposto pela maré e sua causa está normalmente associada a baixas pressões atmosféricas com presença de ventos fortes. A força tangente desses ventos sobre a superfície do mar provoca um transporte de massa, ocasionando um empilhamento de água junto à costa, tendo como consequência a sobrelevação do nível do mar. As marés meteorológicas possuem ordens de períodos de alguns dias, possuem pistas de atuações de ventos ocasionados pelos extremos de sobrelevação e podem ter extensão de ordem de centenas de quilômetros (CAMPOS, CAMARGO; HARARI, 2010).

Taborda; Dias (1992), complementam que a sobrelevação do nível do mar, principalmente associadas a grandes tempestades e períodos de marés vivas (marés de sizígia), aumenta consideravelmente o risco de inundações em áreas ribeirinhas e probabilidade de destruição de bens existentes. Para Bitencourt et al. (2002) o conceito de ressaca está relacionado ao aumento do nível do mar provocado pela elevação da maré astronômica, da maré meteorológica, ou dos dois ao mesmo tempo, com condições atmosféricas que ocasionam ondas maiores do que o normal. Os autores destacam que a maré meteorológica é o principal fator para o aumento momentâneo do nível do mar, que provoca o empilhamento da água na costa, ocasionado pela força do vento no mar.

Harley (2017) define as tempestades costeiras como uma perturbação que é induzida pela meteorologia em condições marítimas locais, como as ondas e níveis de água, que possui potencial de mudar de forma significativa a *backshore* e expor a praia às ondas, correntes e/ou inundações. Muitas das vezes, estão associados a uma passagem de sistemas ciclônicos, como os ciclones tropicais ou extratropicais. É importante destacarmos a importância da direção dos ventos quando os eventos de ressaca ocorrem, fenômeno conhecido como transporte de Ekman. Melo Filho (2017) elaborou um esquema (Figura 7) do mecanismo físico para geração da maré meteorológica local na Costa S/SE brasileira pelo vento do hemisfério Sul.

Figura 7: Esquema do mecanismo físico para geração da Maré Meteorológica local na Costa S/SE brasileira pelo Vento.



Fonte: Melo Filho, 2017.

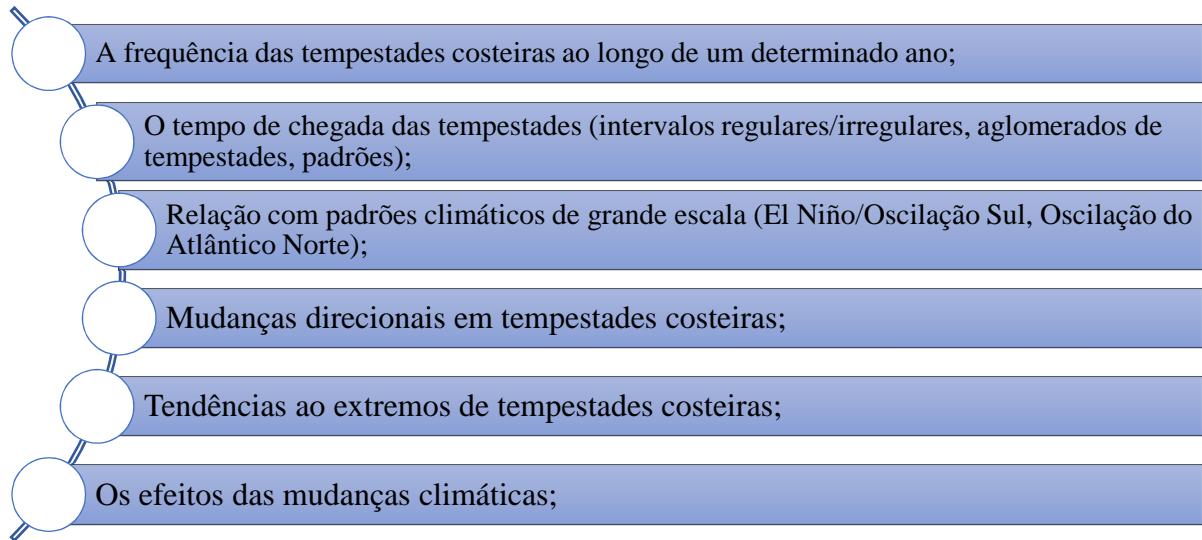
A maré meteorológica positiva ocorre quando o vento induz transporte de água do mar para a terra provocando sobreelevação do nível do mar. Já a maré meteorológica negativa é quando o vento provoca o efeito inverso e a água é levada para longe da costa, provocando um rebaixamento do nível (MELO FILHO, 2017). Assim sendo, o transporte de Ekman pode agir tanto para empilhar ou retirar água da costa, dependendo da direção do vento (BERTIN, 2016).

De acordo com Ciavola et al., (2007), as ressacas do mar são responsáveis por vários impactos como podemos citar a erosão de praias, dunas, inundações e alagamentos costeiros. Com o desenvolvimento de ocupações costeiras e por vezes, mal planejadas, sem um estudo aprofundado da dinâmica costeira local, as infraestruturas, construções urbanas e os próprios ecossistemas costeiros sofrem com os impactos desses eventos ocasionados por fenômenos meteorológicos. Conforme aponta Ferreira (2005) as mudanças de paisagem (sejam naturais ou antrópicas) mais bruscas, ocorrem durante esses eventos.

Após um evento de tempestade, segue um período de recuperação do ambiente que sofreu com a mudança da morfologia. A morfologia do litoral que foi alterada pela tempestade geralmente retorna a uma forma associada a condições de não-tempestades em uma escala de tempo maior que a própria tempestade. Dentro do estado de uma sequência de tempestades em prazos menores de tempo, a contínua interrupção pode levar a um processo de recuperação cada vez mais prolongado (HARLEY, 2017). Harley (2017) apresenta que uma questão importante para entender o grau de exposição de tempestades costeiras para uma

determinada região é analisar padrões temporais e tendências de chegada de tempestades, incluindo estudos como os citados na Figura 8.

Figura 8: Estudos a serem levados em consideração para entender o grau de exposição de uma região aos efeitos das tempestades.



Fonte: Harley, 2017. Adaptado pela autora, 2022.

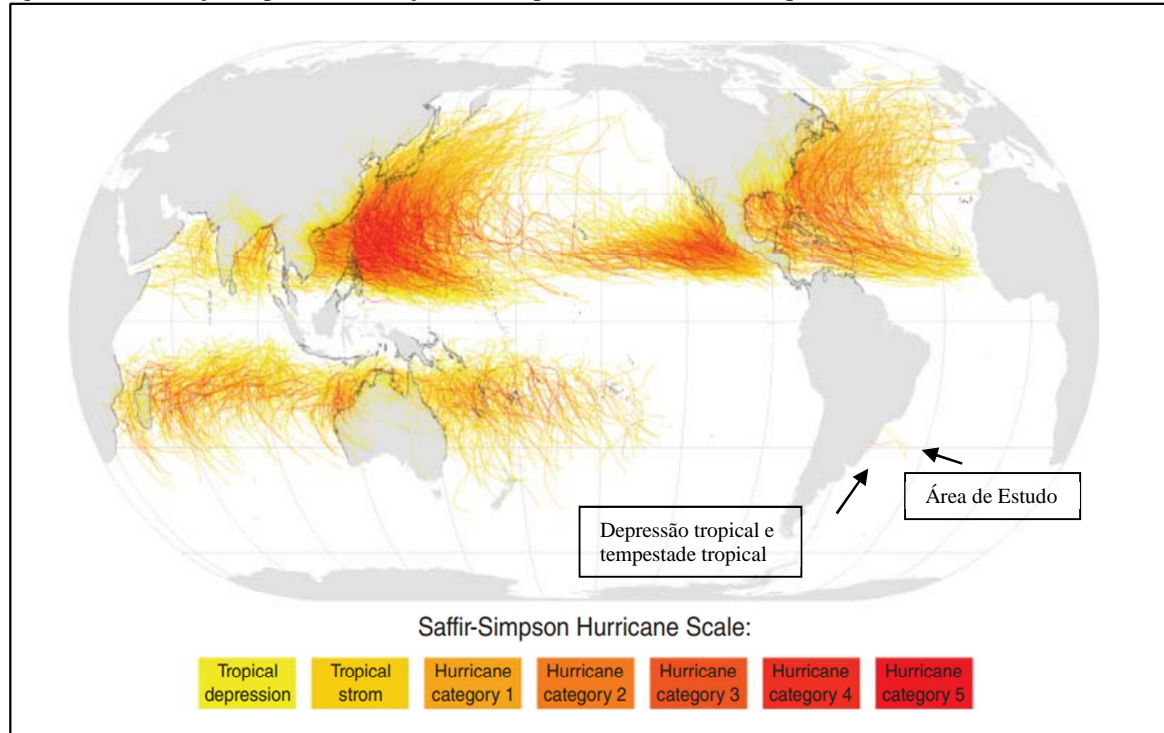
Nos estudos de avaliação de tempestades costeiras, há necessidade do levantamento de informação regionais, como a identificação de áreas que as tempestades atingem, padrões climáticos, dados de observações costeiras como registros de ocorrências, frequências de eventos e histórico de reportagens de jornais para a região em estudo. Contudo, para Paula et al., (2021), os estudos e a caracterização dos impactos desses eventos extremos na morfologia costeira e nas infraestruturas urbanas são escassos e muitas vezes inconclusivos. A principal limitação está na disponibilidade de dados históricos de ondas e marés que permitam estabelecer os limites para as ocorrências dos impactos sobre determinada localidade.

O mesmo autor destaca que a falta de um sistema de monitoramento por meio de boias ondógrafos é uma limitação significativa na maioria das regiões do Brasil para a quantificação das consequências das ressacas. Os eventos extremos que atingem a costa brasileira estão relacionados com ciclones extras e subtropicais. Os ciclones são considerados como escoadores de energia térmica e possuem o objetivo de estabilizar a atmosfera. Aparecem devido a circulação geral da atmosfera e se desenvolverem sob fortes condições de instabilidade com fortes ventos (ROCHA, ARAVÉQUIA; RIBEIRO, 2014).

A maioria dos sistemas sinóticos que atingem o Sul do país afetam a região Sudeste, ocorrendo algumas diferenças no sistema de intensidade e sazonalidade. A Figura 9 ilustra a distribuição espacial dos ciclones tropicais (TC) em todo o mundo de acordo com sua

gravidade com base na escala Saffir-Simpson². Para o sudeste brasileiro, as classes que podem atingir a costa são a *Tropical depression* (depressão tropical) com ventos de até 62 km/h e a *Tropical Storm* (tempestade tropical) com os ventos podendo chegar entre 63 a 118 km/h, e são formados no sul do Brasil.

Figura 9: Distribuição espacial da direção das tempestades de ciclones tropicais



Nota: Distribuição espacial de trilhas de tempestades de ciclones tropicais (1946–2006) e suas intensidades de acordo com a Escala de Furacões Saffir-Simpson. Classificação de depressão tropical e tempestade tropical no sul do Brasil, que podem atingir a área de estudo. Fonte: *Radical cartography*: www.radicalcartography.net. Fonte: Harley, 2017. Adaptado pela autora, 2022.

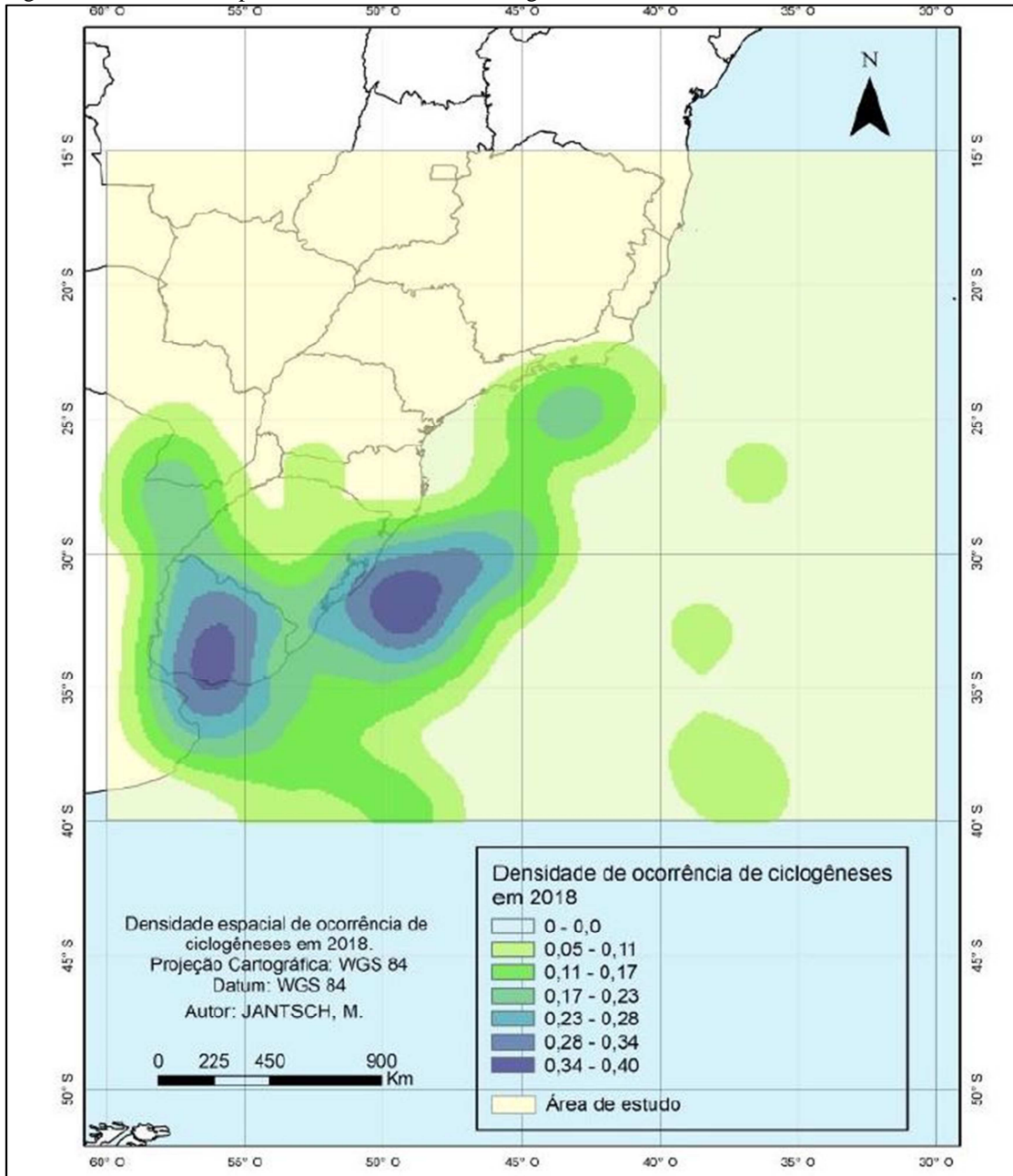
Os ciclones extratropicais (CE) desempenham um papel crucial no clima das regiões Sul e Sudeste do Brasil. Esses fenômenos são eventos regulares no sudeste da América do Sul e podem resultar em uma variedade de impactos, incluindo marés de tempestade nas áreas costeiras, precipitação intensa em curtos períodos e ventos de grande intensidade (Jantsch e Aquino, 2020). Os ciclones tropicais e extratropicais são sistemas meteorológicos distintos que se formam em diferentes regiões e têm características específicas.

De acordo com estudos conduzidos por Jantsch e Aquino (2020), foram identificados 43 ciclones extratropicais no ano de 2018, representando uma média de 3,58 por mês. O mês de março registrou o maior número de casos (6), enquanto abril, maio, setembro e novembro apresentaram os menores números (2). Em termos de sazonalidade, 15 ciclones ocorreram no

² Escala Saffir-Simpson: Esta escala de furacões classifica a gravidade do ciclone em uma das cinco categorias com base nas velocidades máximas de vento sustentadas por minuto.

verão, 13 no inverno, 10 no outono e 7 na primavera. Observou-se uma maior incidência desses sistemas nos primeiros meses do ano e durante o inverno. A Figura 10 ilustra as áreas principais de ocorrência que foram a região do Rio da Prata e a costa do Rio Grande do Sul ao longo do ano, enquanto a costa do Sudeste do Brasil, especialmente no verão, foi identificada como a segunda área mais propensa aos impactos dos ciclones extratropicais no país.

Figura 10: Densidade espacial de ocorrências de ciclogêneses³ em 2018.



Fonte: Jantsch; Aquino, 2020.

³ Processo de abaixamento da pressão atmosférica de superfície com consequente formação de circulação ciclônica.

Para Ranasinghe; Callaghan (2017), a primeira questão que precisa ser abordada ao realizar uma análise de risco de erosão por tempestades costeiras é a distribuição do período dos eventos (1 em 100 anos, 1 em 50 anos, etc.), ou a probabilidade de excedência (1%, 10%, 99% de probabilidade). O Ano de 2007 ficou conhecido para a história ambiental com a divulgação do 4º relatório do IPCC, o ARC-4, que incorporou o tema de mudança climática e do termo vulnerabilidade como ideia central para as políticas públicas e deu espaço para a importância do tema nas esferas municipais, estaduais, federais, científicas, políticas, globais e da sociedade civil (MARANDOLA, 2009).

De acordo com o quarto relatório do *International Panel on Climate Change* (IPCC, 2007), o aquecimento global é evidente e que tanto as temperaturas da atmosfera quanto dos oceanos estão maiores do que em qualquer outro período dos últimos cinco séculos. Com isso, padrões na precipitação serão alterados e eventos tropicais, como ciclones ocorrerão em maiores intensidades e frequências (NUNES, 2009). Cada uma das últimas quatro décadas foi sucessivamente mais quente do que qualquer década que a precedeu desde 1850. Em escala global, projeta-se que eventos extremos diários de precipitação se intensifiquem em cerca de 7% para cada 1°C de aquecimento global. Projeta-se que a proporção de ciclones tropicais intensos (categorias 4-5) e as velocidades de pico dos ventos dos ciclones tropicais mais intensos aumentem em escala global com o aumento do aquecimento global (IPCC, 2021).

De acordo com o relatório do IPCC (2021), nas cidades costeiras, a combinação de eventos extremos, devido ao aumento do nível do mar, ondas de tempestade e eventos extremos de chuva, com aumento de fluxo de rios, tornará as inundações mais prováveis. O relatório ainda pontua que o aumento relativo do nível do mar contribui para o aumento da frequência e gravidade das inundações costeiras em áreas baixas e para a erosão costeira ao longo das costas arenosas.

De acordo com estudos da ONU-Habitat, (2012), 42% da população da América Latina e do Caribe vive a uma distância máxima de 100 quilômetros da costa, o que significa que estão expostos às vulnerabilidades específicas de cada cidade em relação ao aumento do nível médio do mar (NMM) e às tempestades e inundações associadas. Os problemas já observados com o aumento dos extremos climáticos nas cidades costeiras indicam que as mudanças climáticas projetadas para as próximas décadas se tornem um grande desafio a ser enfrentado pela sociedade no século XXI (PBMC, 2016).

A região costeira tem enfrentado eventos extremos desde os primórdios. No entanto, as mudanças climáticas e o rápido desenvolvimento urbano têm intensificado seus impactos, resultando em prejuízos econômicos e perdas ambientais (PBMC, 2016). Nicholls (2006)

previu que, para perigos associados a ressacas do mar na costa atlântica da América do Sul, o número de pessoas potencialmente expostas aumentaria de 4,6 milhões em 1990 para 6,7 milhões em 2020. Além disso, os dados mostram que o número de pessoas afetadas por inundação costeira anualmente aumentaria de 33 mil em 1990 para 36 mil em 2020. Quadro 3, apresenta os tipos de riscos que podem ocorrer em regiões costeiras.

Quadro 3: Riscos associados às mudanças climáticas nas zonas costeiras

Tipo de Risco	Perigo Natural	Definição
Risco de início rápido	Sobrelevação do NMM e ressaca do mar (<i>storm surge</i>)	Elevação temporária do NMM (maré meteorológica positiva) e forte agitação marítima causada por tempestades intensas, associadas a sistemas de baixa pressão atmosférica e fortes ventos (tempestades tropicais e extratropicais).
	Ondas geradas por ventos extremos	Ondas extremas geradas por ventos locais ou no oceano.
Risco cumulativo ou progresso	Elevação do NRM de longo período	Elevação global do nível do mar devido à expansão térmica dos oceanos e ao derretimento de geleiras.
	Erosão costeira	Perda de terras costeiras causada pela ação de ondas, marés e correntes, associadas, potencializadas ou não por intervenções antrópicas

Fonte: IOC, 2009. Adaptado pela autora, 2021.

Como consequência da mudança do clima global, a ocorrência e distribuição geográfica dos fenômenos meteorológicos extremos estão mudando. As estatísticas de desastres mostram um aumento no número de eventos e condições climáticas nas últimas décadas. Eventos que costumavam ocorrer a cada quatro anos na década de 1950, agora ocorrem a cada três anos desde 1990. Começaram a ocorrer também fenômenos extremos em áreas onde nunca antes haviam sido registrados, como no caso do ciclone Catarina. Em março de 2004, o ciclone Catarina foi o primeiro sistema de furacões registrado no Atlântico Sul a atingir as costas do Brasil (ONU-HABITAT, 2012).

O planejamento urbano e a gestão das cidades terão cada vez maior importância nos cenários futuros de mudança climática, por influenciarem tanto direta quanto indiretamente as fontes de emissão de gases efeito estufa (GEE), quanto a intensidade de ocorrência dos efeitos

dos eventos extremos. As decisões sobre o desenvolvimento urbano precisam cada vez mais estar amparadas em conhecimento técnico - científico e tecnológico (PBMC, 2016).

Uma contribuição importante na avaliação das vulnerabilidades nas cidades costeiras brasileiras é ter um maior conhecimento sobre tendências e projeções de tempestades e ressacas. Em um estudo realizado por Reed et al., (2015), desenvolvido para a cidade de Nova Iorque, foram analisadas tendências e projeções de ciclones tropicais que podem produzir tempestades intensas, gerando intensas ressacas, como aconteceu em 2012, durante o furacão Sandy, causando perdas na ordem os 50 bilhões e destruindo 650.000 casas como consequência de uma ressaca com ondas de 3 a 4 metros. De acordo com PBMC (2016), estudos como esses ainda não foram feitos no Brasil devido à falta de um histórico de estatísticas confiáveis de tempestades e ressacas que possam ser usadas na avaliação de projeções para o futuro das cidades brasileiras.

Estudos realizados pelo Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) em 2016 em cidades costeiras de médio e grande porte como Fortaleza, Recife, Salvador, Rio de Janeiro, Santos e Vale do Itajaí foram conduzidas devido à importância desses locais em termos econômicos e aos impactos que já sofreram devido à elevação do nível do mar. Esses estudos indicam que essas cidades estão apresentando um aumento na temperatura média anual, de acordo com a tendência observada. Além disso, de acordo com o PBMC (2016), as inundações costeiras serão mais graves no litoral do Nordeste, Sul e Sudeste.

Diversos estudos foram feitos no estado do Rio de Janeiro em relação a esses eventos meteorológicos ao longo do litoral do estado do Rio de Janeiro. Santos et al. (2004), Lins de Barros (2005), Silva et al., (2006), Bulhões et al., (2010), Muehe et al., (2011), Muehe et al., (2015), Fernandez et al., (2011 e 2015), Pereira et al., (2017) e Machado et al., (2019) desenvolveram pesquisas relacionados aos impactos nos litorais ocasionados pelos eventos extremos de tempestades. Com as mudanças climáticas em curso, as cidades enfrentam e enfrentarão desafios significativos relacionados aos riscos naturais. O aumento da frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, como tempestades mais fortes e inundações, representam ameaças cada vez maiores para áreas urbanas em todo o mundo. A necessidade de medidas de adaptação e mitigação se tornou uma prioridade para garantir a resiliência das cidades às mudanças climáticas. Por isso, torna-se importante o estudo sobre os perigos costeiros, frente às áreas urbanas.

1.4 Geoprocessamento: abordagem metodológica fundamentada na análise sistêmica

Uma das contribuições metodológicas de destaque do geoprocessamento para a pesquisa geográfica reside na capacidade de viabilizar a implementação de análises que, quando abordadas apenas em termos conceituais, parecem extremamente complexas. Essas abordagens e análises sistêmicas constituem conceitos que introduziram nas disciplinas que lidam com uma ampla diversidade de variáveis um considerável avanço na aproximação entre o modelo de estudo e a realidade (MOURA, 2014). Moura (2014) ainda pontua que, o geoprocessamento, frequentemente associado apenas à aplicação das técnicas de análises espaciais, deve ser entendido em um contexto mais abrangente. Ele não se limita apenas ao uso de técnicas, mas é o resultado de um enfoque científico que guia a compreensão da realidade.

Pode-se acreditar que o termo **geoprocessamento**, surgido no sentido de processamento de dados georreferenciados, significa implantar um **processo** que traga um **progresso**, um andar avante, na **grafia** ou representação da **Terra**. Não é somente representar, mas é associar a esse ato um novo olhar sobre o espaço, um ganho de conhecimento, que é a informação (MOURA, 2014, p. 4).

O Geoprocessamento pode ser dito como um conjunto de técnicas matemáticas e conceitos sobre representação computacional do espaço e engloba áreas como o Processamento Digital de Imagens, Cartografia Digital e Sistema de Informação Geográfica (SIG). O SIG é um sistema computacional que materializa os conceitos de geoprocessamento e que permite realizar análises complexas e criar banco de dados georreferenciados. Os SIGs são sistemas usados para armazenar, analisar e manipular dados geográficos, isto é, dados com atributos locais que representam objetos e eventos. Comportam diversos tipos de dados e nas mais diversas áreas do conhecimento. Está relacionado a tecnologia computacional e se diferencia dos sistemas de informação tradicionais pela sua característica geográfica (CÂMARA; DAVIS, 2001).

Ainda de acordo com Câmara; Davis (2001) é costume dizer que o geoprocessamento é uma tecnologia interdisciplinar, permitindo a integração de diversas disciplinas científicas para os estudos ligados ao meio ambiente e ao urbano, entretanto, se torna fundamental a tradução dos conceitos que estão sendo abordados para o ambiente SIG.

[...] cada especialista lida com conceitos de sua disciplina (exclusão social, fragmentos, distribuição mineral). Para utilizar um SIG, é preciso que cada especialista transforme conceitos de sua disciplina em representações computacionais. Após esta tradução, torna-se viável compartilhar os dados de estudo

com outros especialistas (eventualmente de disciplinas diferentes). Em outras palavras, quando falamos que o espaço é uma linguagem comum no uso de SIG, estamos nos referindo ao espaço computacionalmente representado e não aos conceitos abstratos de espaço geográfico (CÂMARA; DAVIS, 2001, p.22).

O desenvolvimento do primeiro SIG ocorreu no Canadá, em torno dos anos de 1960. Esse sistema foi criado com o objetivo de realizar o Inventário de Terras do Canadá, uma iniciativa governamental para identificar os recursos naturais do país e seus usos potenciais. Um segundo momento de inovação ocorreu no final da década de 60, em um órgão de recenseamento dos Estados Unidos, no planejamento para realizar o Censo Demográfico de 1970, em que foram criados registros digitais das ruas dos Estados Unidos, como referência para os levantamentos do censo (LONGLY, et al., 2013).

Gatrell (1983, apud Ferreira, 2014, p.49), apresentou a análise geoespacial em relação a três temas fundamentais: os **arranjos espaciais**, **processos espaço-tempo** e **modelagem espacial**. O arranjo espacial seria representado pela localização padrão dos objetos, como os pontos, as linhas e os polígonos, como a configuração do limite das cidades, estradas e lotes. Os processos espaço-tempo são focados na modelagem das alterações sofridas pelos arranjos espaciais em razão dos movimentos e interação espacial. Com a modelagem espacial, a análise geoespacial buscaria a identificação de modelos e arranjos espaciais futuros com base na construção de cenários baseados em evoluções observadas no passado.

No prefácio de Bastian; Steinhardt (2002), Zev Naveh afirma que os Sistemas de Informação Geográfica e Sensoriamento Remoto são “as mais importantes ferramentas holísticas para análises, planejamento e gestão da paisagem” (p.25), os SIGs podem fornecer contribuições valiosas no apoio às atividades de planejamento de alta complexidade (LANG; BLASCHKE, 2009). As geotecnologias direcionadas para o sensoriamento remoto apresentam latente aplicação em diversas áreas do conhecimento, sendo notório os avanços técnicos dos equipamentos, resultando em maior precisão no detalhamento. Com isso, a geografia vem aprimorando o uso de técnicas e equipamentos de geoprocessamento, por exemplo, nos estudos de riscos de desastres (FLORENZANO, 2011).

Ainda conforme aponta Florenzano (2008), a ciência geomorfológica é uma das mais beneficiadas pelo sensoriamento remoto pelo fato de o relevo geralmente ser bem destacado em fotografias aéreas e imagens de satélites e também pela possibilidade de utilização de dados multitemporais possibilitando a análise dos processos morfodinâmicos. Essa ferramenta é cada vez mais essencial para o monitoramento contínuo da evolução da dinâmica costeira, permitindo a comparação entre séries de imagens em diferentes momentos temporais.

A integração dos mais diversos conhecimentos revela-se, então, como um fator crucial no enfrentamento dos desafios futuros da geomorfologia costeira em razão das incertezas da recorrência dos eventos extremos, aumento da ocupação no litoral e mudanças climáticas. A geomorfologia costeira, como ambiente dinamicamente alterável, será um elemento chave na determinação do futuro dos processos observados da superfície da Terra, sendo assim, a utilização de geotecnologias cada vez mais precisas nas predições dos aspectos costeiros, trará desafiantes temas para a discussão no campo científico (FERNANDEZ, et al., 2022).

Com o avanço tecnológico, surgiu também a era da informação, em que a tecnologia se tornou um condutor das novas percepções do tempo, o que pode ser de extremamente valioso no âmbito do planejamento e dos estudos ambientais. Sendo assim, as metodologias adotadas utilizando o geoprocessamento e SIG são instrumentos técnicos de grande potencial, possibilitando o mapeamento das alterações do uso do solo ao longo do tempo, a caracterização das condições atuais e a criação de cenários futuros, fornecendo apoio às tomadas de decisões (LIMA, 2017).

Para Veyret (2015), os riscos são expressos espacialmente por meio de zoneamentos e sua importância não precisa ser mais salientada. “Assinalar o risco em um mapa equivale a “afirmar o risco” no espaço em questão. O zoneamento e a cartografia que o acompanham constituem a base de uma política de prevenção” (p.60). O zoneamento permite determinar os espaços em que existem riscos altos, áreas em que a ocupação deve ser normalizada ou, em alguns casos, proibida, e locais em que o risco é baixo ou quase inexistente. Com isso, o zoneamento permite apresentar o risco com caráter objetivo.

A cartografia de riscos e vulnerabilidades é concentrada nos sistemas físicos e na delimitação dos riscos associados aos perigos. Assim, verifica-se na literatura o uso de SIG para cartografar perigos de erosão costeira ou inundações provocadas por tempestades nas zonas costeiras (THIELER; HAMMAR KLOSE, 1999; AYAD, 2004; SOUZA, 2009; RIBEIRO, et al., 2012; JANA; HEGDE, 2016; FRASER, et al., 2017; HASHMI; AHMAD, 2018; PEPONI, et al., 2019).

Bukvic et al., (2020), fizeram uma revisão sistemática de 65 artigos sobre o mapeamento da vulnerabilidade costeira e fornecem sete recomendações para o avanço deste campo para a melhoraria o rigor metodológico da avaliação da vulnerabilidade, são elas: personalizar a abordagem para corresponder ao contexto da área em estudo; selecionar uma escala e conjuntos de dados adequados; seguir boas práticas cartográficas; ter uma visão holística; considerar uma contribuição para a política; incluir a participação da população quando apropriado e abordar adequadamente a incerteza e a validação do mapeamento.

A identificação de padrões de mudança no uso do solo pode fornecer elementos importantes para o desenvolvimento de políticas públicas que tenha como central o bem-estar da população. Esse procedimento pode ser feito através de uma análise multitemporal de uso e ocupação do solo. A utilização de imagens de alta resolução é uma importante fonte de dados, o que permite o levantamento de feições submétricas, trazendo para uso mapas detalhados e cartografia precisa. A extração dessas informações das imagens para a obtenção de mapas pode ser usada por meio de interpretação visual ou por método de classificação automática de objetos (PINHO et al., 2007).

Os mapas de perigos representam a probabilidade espacial e temporal do acontecimento de um dado fenômeno capaz de causar danos à sociedade. As formas de avaliar o perigo estão relacionadas ao tipo do processo e das características da área em estudo. Estas técnicas envolvem o mapeamento de risco, podendo ser qualitativas (como uma análise em campo), ou quantitativas, (por meio de análises estatísticas) (MEDONÇA; BUFFON, 2021).

Ainda de acordo com Medonça; Buffon (2021), o SIG é uma ferramenta de apoio no processo de construção de mapas de riscos. No momento em que os dados são trabalhados em ambiente SIG, podem ser extraídas análises empíricas, probabilísticas e determinísticas. Através da análise empírica, podem ser apontadas as áreas de possíveis futuras instabilizações, ao passo que a análise probabilística apresenta os fatores causadores das instabilidades no sistema, já a análise determinística proporciona informações quantitativas sobre o perigo.

Quando se trata de estudos de riscos em escala de detalhe, a aplicação da geotecnologia é notória nas últimas décadas como um dos caminhos metodológicos fundamentais para o levantamento de informações, mapeamentos e análises espaciais. Uma das ferramentas fundamentais para isso são as Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP), conhecidos também como *drones*. As ARPs são aeronaves operadas remotamente por um piloto ou de maneira autônoma por meio de sistemas de controle e sensores embarcados. Por ser um instrumento inserido recente nos estudos de riscos, o seu domínio pode apresentar fragilidades e potencialidades nas pesquisas que vão refletir diretamente nos resultados. Por isso, é tão importante a elaboração de pesquisas que consigam contribuir metodologicamente com a aplicação de tal ferramenta (SALES, et al., 2022).

Para os levantamentos detalhados (que abrangem escalas de 1:2.000 a 1:10.000), a base apropriada é de ortoimagens e os Modelos Digitais de Terrenos (MDT) (CAVALCANTI, 2018). Por meio dos sensores ópticos embarcados em ARP, é possível obter essas ortofotos, que constituem importante ferramenta para análise da problemática

socioambiental na perspectiva de riscos e vulnerabilidades (BUFFON, PAZ; SAMPAIO, 2017). Para Crepani et al., (2001), os mapas detalhados podem ser utilizados como base para a modelagem da vulnerabilidade ambiental, uma vez que os mesmos são capazes de fornecer informações dos mais diversos temas ambientais (como o relevo, os solos, e a vegetação). Estando a orla costeira em mudança constante, as fotografias aéreas são um importante material no monitoramento contínuo da sua morfodinâmica, conseguindo registrar com grande detalhe os elementos dispostos na paisagem (GOMES, 2018).

As ARPs são um progresso para os levantamentos aéreos. Estes aparelhos não têm contato físico direto, e podem ser controlados de forma automática, semiautomática ou manual (SALES, et al., 2022). Surge como uma ferramenta flexível, de uso rápido e custo mais acessível (GOMES, 2018). Os SIGs desempenham um papel fundamental nas bases em que os ambientes naturais e humanos, enriquecidos com dados socioeconômicos, são avaliados e modelados no contexto do planejamento urbano e regional contemporâneo. A informação geográfica desempenha um papel central nesse novo paradigma de representação, análise e prognóstico dos sistemas urbanos e regionais, abrangendo áreas como cidades, regiões rurais, áreas urbanas, paisagens naturais e áreas influenciadas pela ação humana. Os SIGs constituem o alicerce essencial para a gestão eficaz desses dados e representam uma plataforma indispensável para um processo de planejamento eficiente (BATTY, 2007).

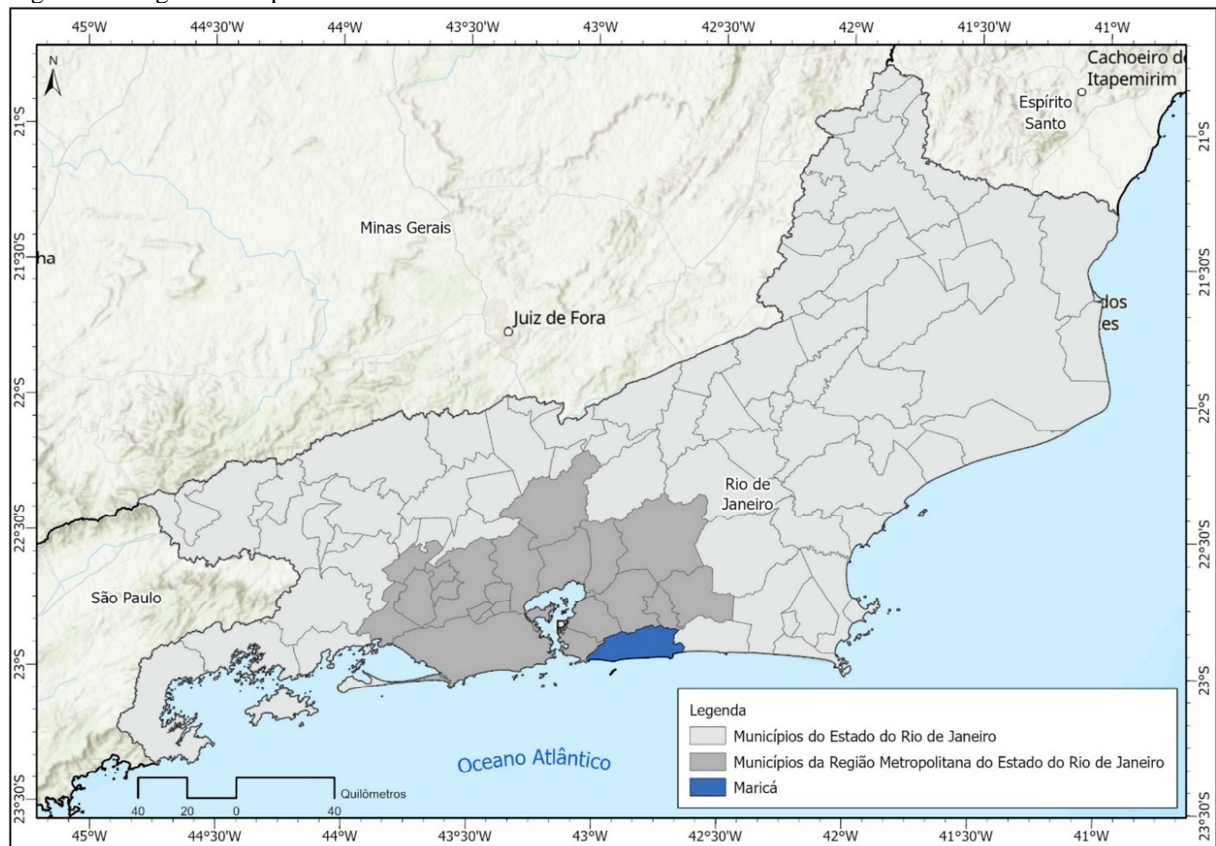
2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

2.1 Área de estudo

2.1.1 Localização e caracterização socioeconômica

O município de Maricá faz parte da Região Metropolitana do estado do Rio de Janeiro (RMRJ). Com área total de 361,6km², está dividido em 4 distritos: Maricá, Ponta Negra, Inoã e Itaipuaçu. Faz fronteira com os municípios de Niterói, São Gonçalo, Itaboraí, Tanguá e Rio Bonito (Figura 11).

Figura 11: Região metropolitana do estado do Rio de Janeiro.



Fonte: Malha Municipal Digital, IBGE (2022), mapa elaborado pela autora, 2023.

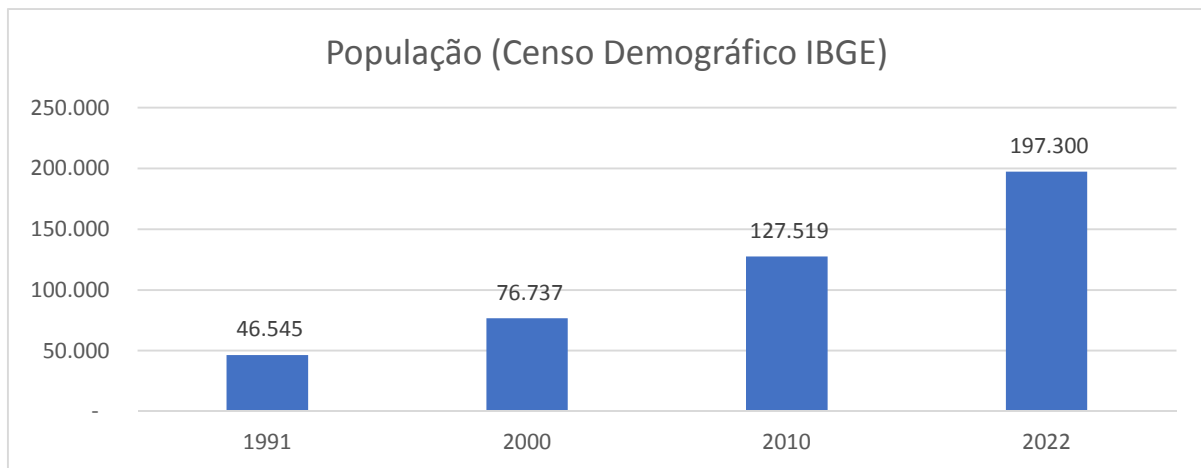
O município possui um complexo ecossistema de lagunas e de restingas, região de atrativas de praias, lagoas plácidas e comunidade local de costumes simples, além de sítios arqueológicos, unidade de conservação com berçário de espécies endêmicas e presença de uma comunidade tradicional em seu entorno. Tal diversidade não passou despercebida nem pelos diários do naturalista Charles Darwin em meados do século XIX.

No decurso dos primeiros quilômetros”, diz-nos êle, - â estrada emaranhava-se por um deserto de lagunas e pântanos, dando a cenário banhado de luar o aspecto mais desolador que se podia imaginar. Alguns pirilampos cruzavam o ar perto de nós, e a nosso ouvido chegavam o ruído da narceja que fugia a nossa passagem. As ondas que se quebravam nas praias longínquas mandava-nos através do silêncio da noite o seu marulhar surdo e monótono (DARWIN, 2013, p.20).

A evolução geomorfológica quaternária do ambiente costeiro propiciou a formação de uma sequência de lagos e lagunas ao longo desse trecho da costa fluminense. Depois do Rio Grande do Sul, o Rio de Janeiro é o estado nacional que mais possuem corpos costeiros, possuindo mais de 50 sistemas entre Ilha Grande e a Baixada Campista, as maiores partes dos corpos hídricos estão concentradas na macrorregião denominada Região dos Lagos, formada pelos municípios de Araruama, Maricá e Saquarema (GUIMARÃES, 2007). A região apresenta forte apelo turístico em virtude de uma geodiversidade costeira com praias, lagoas e pontos geológicos exuberantes, grande diversidade de maciços costeiros, um vasto sistema lagunar que ocupa 9% de sua área e com 42 km de orla marítima para Oceano Atlântico (ALIPRANDI et al., 2014).

Nesse sentido, Maricá atrai moradores fixos da Região Metropolitana desde o século XX, como forma de estabelecimento de casas de veraneio, como segunda residência. O veraneio turístico de Maricá data de 1940, quando praticantes de esportes náuticos do Rio de Janeiro chegaram à cidade (PMM/SMA, 2013). Desde esse período os processos de ocupação do solo maricaense vem se intensificando e provocando profundas transformações na paisagem regional. Segundo resultados do Censo Demográfico de 2022, divulgado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a população de Maricá cresceu 54% entre 2010 e 2022, passando de 127.519 para 197.300 pessoas, tendo o maior crescimento populacional dentro do estado do Rio de Janeiro. Maricá está na 15ª posição no ranking de população no Estado e na 154ª colocação no Brasil (Figura 12).

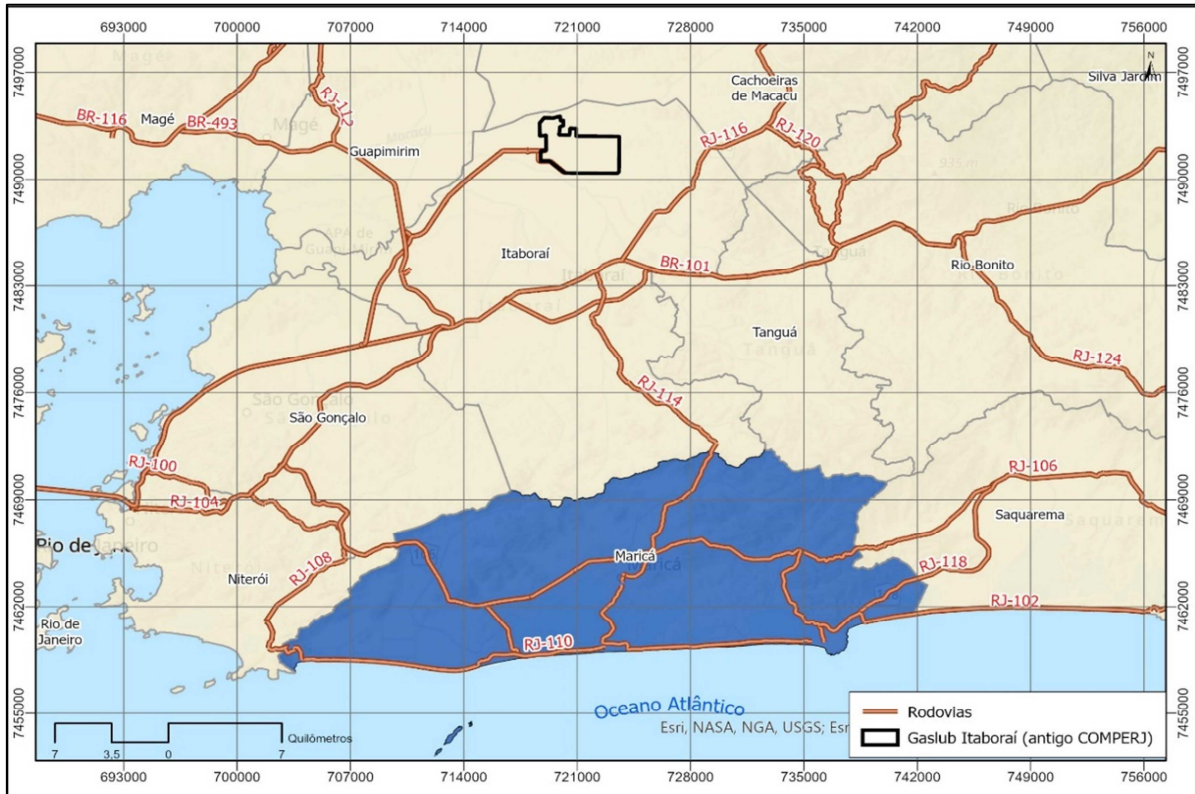
Figura 12: Série histórica dos Censos Demográficos (IBGE) – População do município de Maricá.



Fonte: IBGE (acesso em 17/07/2023), adaptado pela autora, 2021.

De acordo com o Plano Diretor (MARICÁ, 2020), a economia do município está baseada no serviço e na indústria, além da agropecuária. Com seu litoral voltado para a Baía de Santos, Maricá possui uma posição estratégica para o Petróleo, possibilitando ampliação da visibilidade para a socioeconômica da região. Na Figura 13, é possível analisar os principais eixos viários indutores no crescente processo de ocupação e circulação em Maricá. O acesso ao município é feito tanto pela RJ-106 (Rodovia Amaral Peixoto), principal eixo longitudinal de acesso e que intercepta todo o município, portanto interligando as cidades de Niterói, São Gonçalo e Saquarema. Pela RJ-114, ligando Maricá ao município de Itaboraí e ao Gaslub Itaboraí (antigo COMPERJ, complexo Petroquímico do Rio de Janeiro). As rodovias RJ-104 e BR 101 são principais eixos de passagem para a região dos lagos, e outro eixo longitudinal importante é a RJ-102, acesso que estimula à ocupação litorânea ao longo da orla do município.

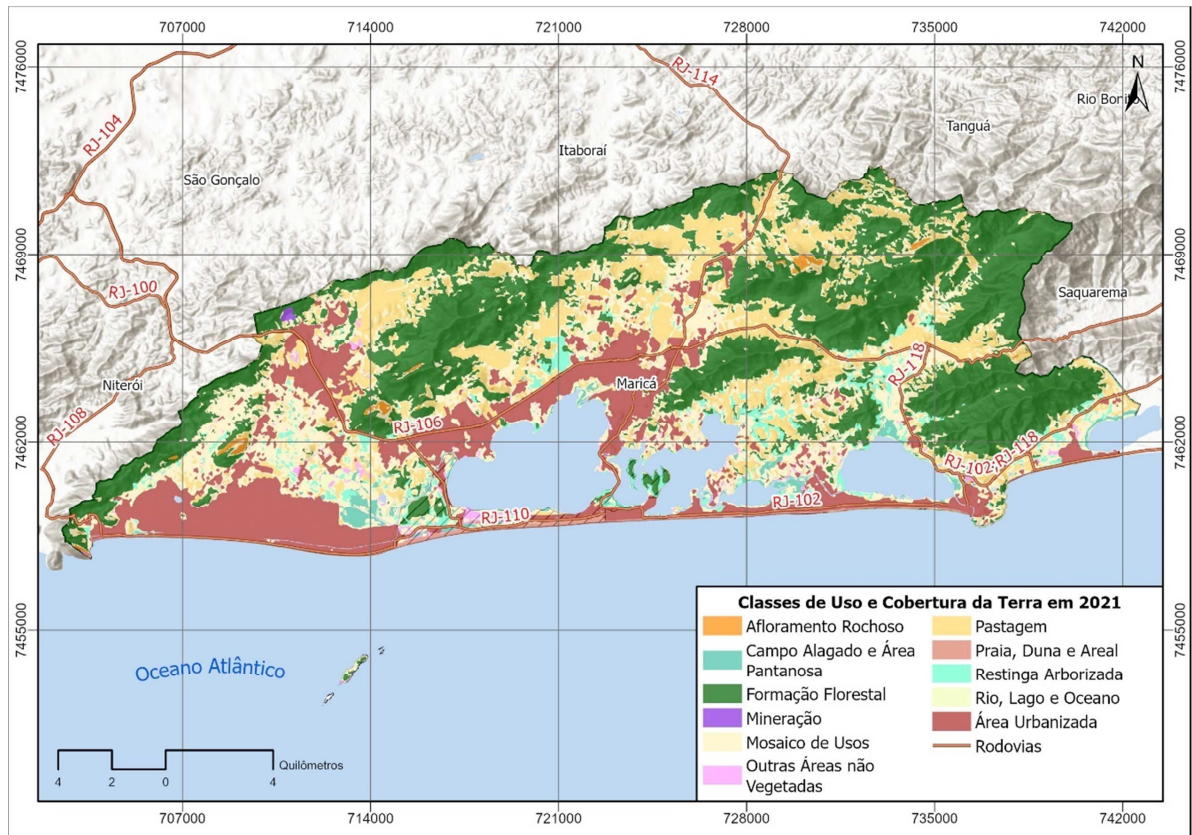
Figura 13: Mapa dos Principais Eixos Viários do Município de Maricá.



Fonte: Base cartográfica IBGE (2021), mapa elaborado pela autora, 2020.

A Figura 14 apresenta os usos recentes do território no município, de acordo com mapeamento de cobertura e uso da terra de Maricá (MAPBIOMAS, 2021). É predominante as formações florestais ocupando relevos montanhosos, solos rochosos e rasos, despidos de sua vegetação para cultivo e formações de gramas nas áreas mais planas, utilizadas para pastagem recentemente (ALIPRANDI et al., 2014). Conforme a Tabela 1, a formação florestal corresponde a cerca de 32,92 % do território maricaense. As áreas de infraestrutura urbana é a segunda classe mais representativa, correspondendo cerca de 16,33 % do município. Nela é possível perceber a ocupação em planícies, proximidades com as lagoas e na zona costeira. A terceira classe mais expressiva é a pastagem, representando 13,82 % da área total do município.

Figura 14: Mapa de cobertura e uso da terra de Maricá em 2021.



Fonte: MAPBIOMAS (2021), disponível em: <https://mapbiomas.org>, mapa elaborado pela autora, 2023.

Tabela 1: Quantitativo do mapeamento de cobertura e uso da terra para o município de Maricá

Quantitativo das classes de cobertura e uso da terra (ha)		
Classes de mapeamento	Área (ha)	Porcentagem (%)
Afloramento Rochoso	134,16	0,37
Área Urbanizada	5.927,56	16,33
Campo Alagado e Área Pantanosa	469,49	1,29
Formação Florestal	11.951,30	32,92
Mineração	19,34	0,05
Mosaico de Usos ⁴	7.431,52	20,47
Outras Áreas não vegetadas	310,30	0,85
Pastagem	5.017,77	13,82
Praia, Duna e Areal	367,77	1,01
Restinga Arborizada	1.042,38	2,87
Rio, Lago e Oceano	3.629,00	10,00
Total Geral	36.449,03	100,00

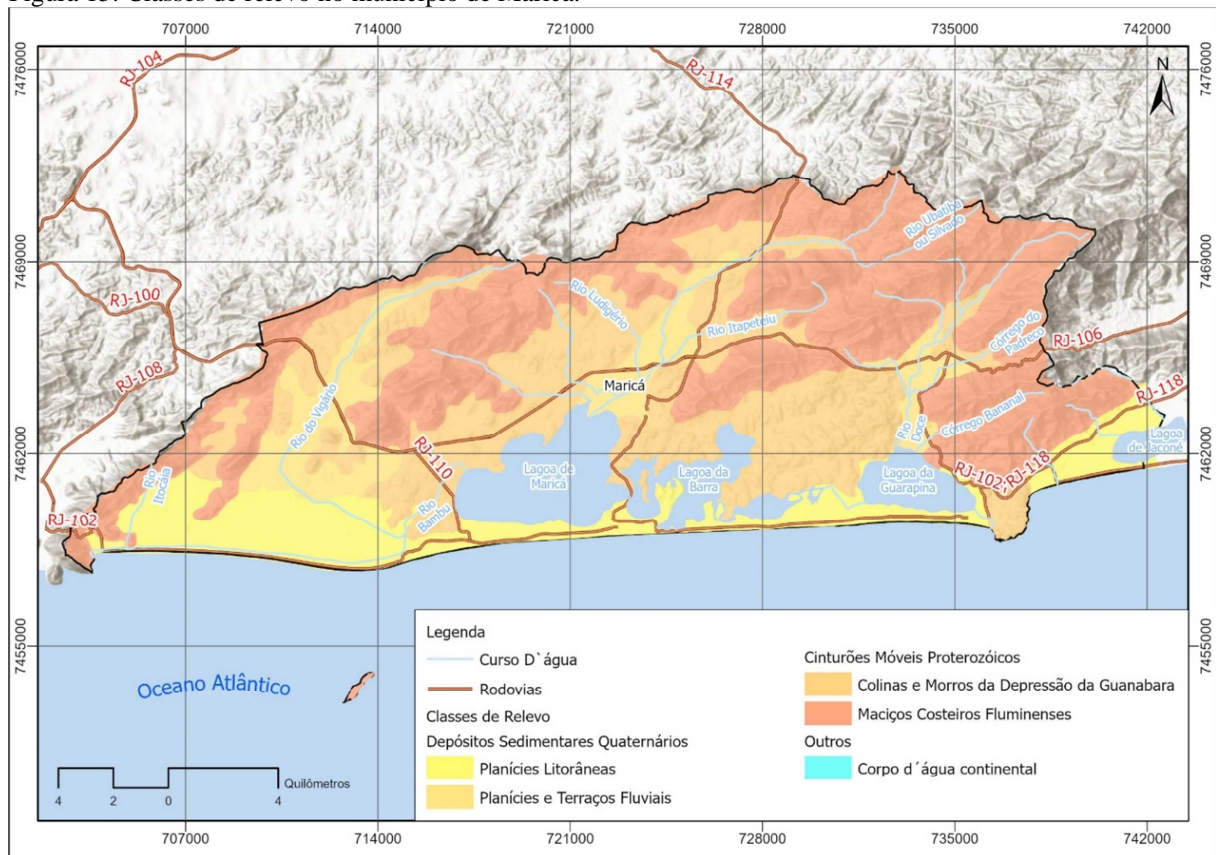
Fonte: Mapbiomas (2021), adaptado pela autora, 2023.

⁴ Áreas de uso agropecuário onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura, ou áreas de vegetação urbana, incluindo vegetação cultivada e vegetação natural florestal e não-florestal (MAPBIOMAS, 2023).

A Área de Proteção Ambiental de Maricá (APAMAR), localizada a leste da praia de Itaipuaçu, possui um complexo ecossistema de restinga com espécies endêmicas e área periurbana. Nas áreas de entorno, principalmente no balneário de Itaipuaçu, a maior parte das habitações é de uso de primeira residência, o que se diferencia da parte costeira das lagoas, sendo, na sua maioria, casas de veraneio (ALIPRANDI et al., 2014). O complexo lagunar Maricá – Guarapina, é provido de ecossistemas brejosos, rios, riachos, área que compreende as lagoas de Maricá, Barra de Maricá, do Padre, Guarapina e Jaconé e suas principais praias são as de Jaconé, Ponta Negra, Barra de Maricá, do Francês e Itaipuaçu. Todos os rios nascem e desaguam no município, sendo o principal rio o Ubatiba/Mombuca, responsável pelo abastecimento do centro da cidade e alguns bairros.

A evolução geológica da zona costeira de Maricá ao longo do Quaternário foi intensamente alterada por mudanças relativas do nível do mar. Essas alterações tiveram principal responsabilidade pela deposição e erosão das unidades deposicionais, assim como, por controlar a formação e migração das barreiras, causando progradação e retrogradação das mesmas (SILVA, 2011). A Figura 15 apresenta as unidades morfoestruturais de Maricá. A cidade é cercada por maciços costeiros e as serras principais são Calaboca, Mato Grosso, Lagarto, Silvado, Espreado e Tiririca (compartimento que forma o Parque Estadual da Serra da Tiririca). A Unidade Planícies Litorâneas, propriamente inserida na área em estudo, pode apresentar diferentes níveis de terraços marinhos que indicam flutuações do nível do mar no passado.

Figura 15: Classes de relevo no município de Maricá.



Fonte: IBGE, 2019. Mapa elaborado pela autora, 2020.

A região costeira do município tem como característica geomorfológica o desenvolvimento de cordões litorâneos compostos por duas barreiras arenosas costeiras, onde a barreira mais interna, de idade pleistocênica, faz margem com o complexo lagunar do município, formado pelas lagoas de Maricá, Barra, Padre e Guarapina. Entre as barreiras interna e externa, sobretudo nas áreas ainda preservadas, surgem pequenos brejos, alagados e lagoas efêmeras em depressões, dispostos linearmente ao longo da costa entre os cordões pleistocênicos e holocênicos.

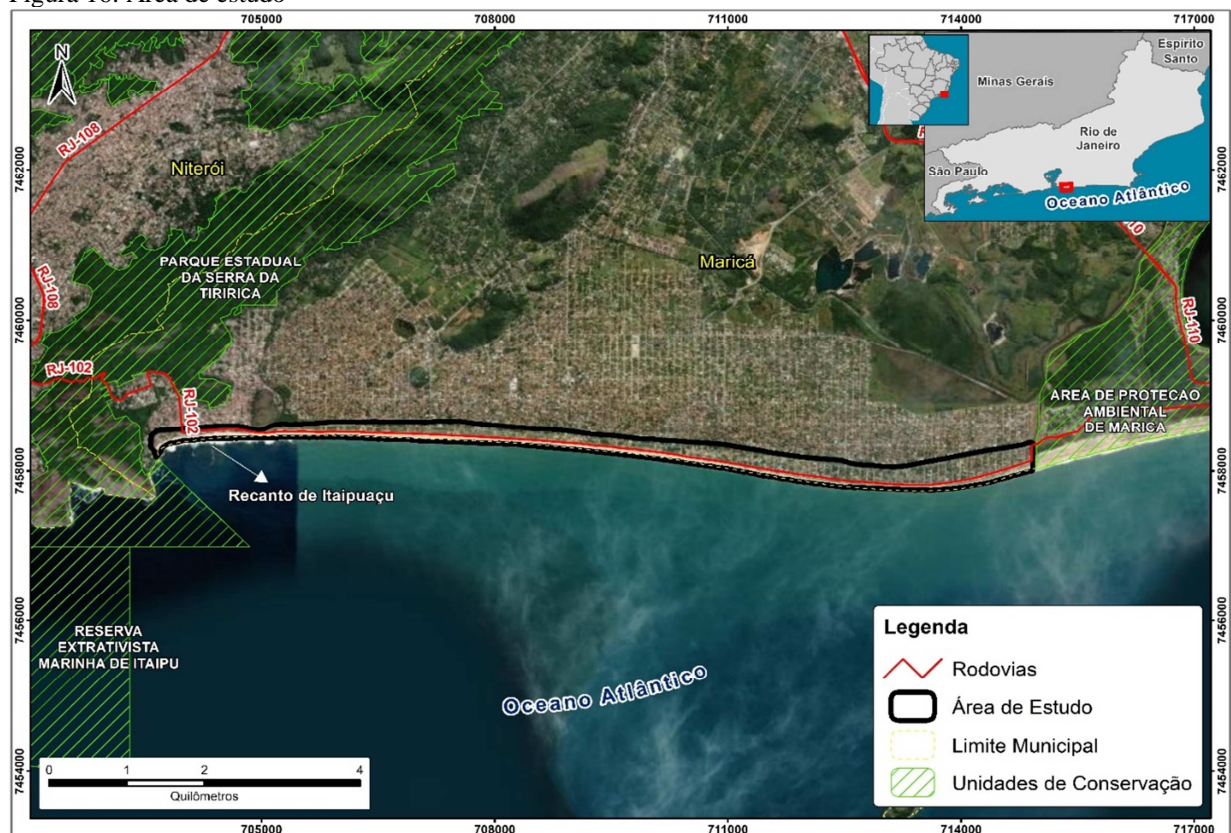
É um litoral exposto a uma intensa dinâmica de ondas de alta energia cuja morfologia é de extensos arcos de praias e cordões litorâneos estreitos, marcados por transposição de ondas (LINS DE BARROS et al., 2003; LINS DE BARROS, 2005; SILVA, 2014). Os pesquisadores mencionados destacam ainda que certas porções da faixa urbanizada possuem riscos elevados de erosão costeira. Nesse contexto, o foco do presente estudo será na borda da planície costeira de Itaipuaçu, onde a barreira holocênica, de desenvolvimento mais recente, se encontra particularmente vulnerável aos processos morfodinâmicos, como as transposições de ondas de tempestades e a erosão costeira. Essas questões serão abordadas detalhadamente no próximo tópico.

2.1.2 Caracterização física da Orla de Itaipuaçu

Itaipuaçu, um termo tupi que significa "grande pedra na qual a água faz barulho", através da junção de itá (pedra), 'y (água), pu (barulho) e gûasu (grande) (CARVALHO, 1987). A causa provável para o nome de Itaipuaçu é a existência da Pedra do Elefante, um grande monolito com 452 metros de altura e que aflora do chão a beira mar, entre as praias de Itaipuaçu e Itaipu determinando a divisa entre o município de Niterói e o distrito de Itaipuaçu, do município de Maricá. As águas extremamente agitadas do mar dessa região batem nessa pedra fazendo muito barulho.

A orla de Itaipuaçu possui uma extensão aproximada de 09 quilômetros de faixa de areia, localizada a oeste do município de Maricá. Esta praia está sujeita à ação de ondas provenientes de SE, S e SW, possui clima tropical e regime de micromaré⁵. Localiza-se a leste da baía de Guanabara e apresenta orientação E-W. Seus limites estão a oeste com a Pedra do Elefante e a leste da APA de Maricá (Figura 16 e Figura 17).

Figura 16: Área de estudo



Fonte: A autora, 2021.

⁵ Em função da latitude geográfica, as costas apresentam diferentes regimes de marés, que são classificadas em três tipos: micromarés, quando a amplitude de maré de sizígia é <2 m; mesomarés, quando as amplitudes variam entre 2 e 4 m; ou macromarés, quando as amplitudes são >4 m (Souza et al., 2005).

Figura 17: Imagem oblíqua da área de estudo



Nota: A área de estudo compreende a faixa amarela ilustrada na figura, em seu comprimento começando na Pedra do Elefante e terminando na APA de Maricá e em largura, começa na parte de sedimentos emersos (início da Barreira Holocênica) e vai até o canal de Itaipuçu (contato com a Barreira Pleistocênica).

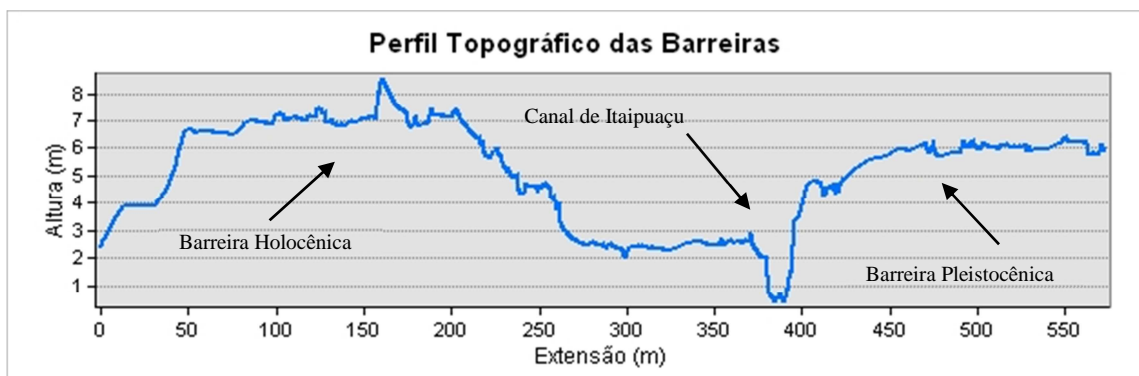
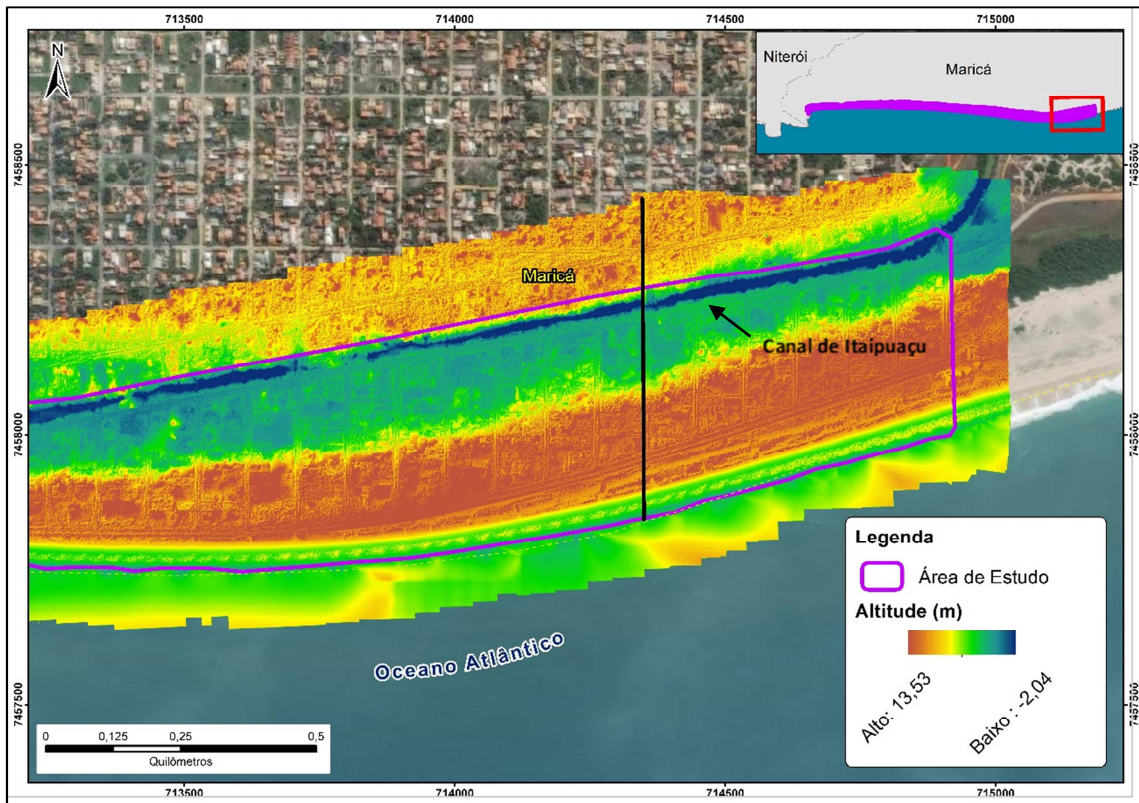
Fonte: A autora, 2022.

A barreira holocênica teve o seu desenvolvimento mais recente, com idade de aproximadamente de 5.300 anos A.P. (MUEHE, 1982), e sua dinâmica de tempos em tempos é regida por eventos de alta energia, onde pode ocorrer transposição de ondas sobre a barreira.

Na

Figura 18 é apresentada um trecho da barreira holocênica destacando sua morfologia mais elevada, que apoia o sistema praial na sua parte frontal enquanto, que em sua retaguarda é observada uma depressão formada no contato com a barreira pleistocênica mais ao interior, com sua idade de formação de até 120.000 anos A.P, (SUGUIO; MARTIN 1978).

Figura 18: Modelo Digital de Terreno (MDT) no trecho mais a leste da área de estudo.



Nota: perfil topográfico das barreiras arenosas na área de estudo. O Canal de Itaipuaçu fica em uma área de depressão, separando as duas barreiras, a Holocênica, a mais próxima do mar e a Pleistocênica, mais ao interior.

Fonte: A autora, 2021.

Ao longo de parte dessa depressão foi construído artificialmente um canal de drenagem (canal de Itaipuaçu) que liga a parte mais a oeste do sistema lagunar ao mar. Segundo Pereira et al., (2004), a praia de Itaipuaçu possui uma característica sedimentar constituída por areias grossas e grânulos de quartzo puro, de forma arredondada. Outras formas granulométricas também encontradas localmente são seixos, fragmentos de seixos, conchas inteiras, fragmentos de conchas e fragmentos de arenitos de praia. O gradiente topográfico do estirâncio e da face litorânea adjacente é bastante acentuado, típico de praias refletivas, e isso faz com que a zona de surfe se torne mais estreita junto ou muito próximo ao

estirâncio, quando se tem um padrão de ondas associada às condições de tempo bom que propagam do quadrante leste-sudeste. Quando o clima de ondas muda para o quadrante sul e sudoeste, o perfil tende a ficar menos refletivo, com a faixa de arrebenção de ondas deslocadas para a zona submarina, gerando uma maior zona de surfe devido a formação de bancos submarinos decorrente de ressacas e erosão da praia. (IGNARA, 1989).

De acordo com estudos feitos por Silva (2017), os leques de arrombamento, que foram mapeados na orla de Itaipuaçu são aqueles que podemos observar na paisagem atual, relaciona a suscetibilidade da orla de Itaipuaçu e entorno ao fenômeno de transposição de ondas no presente. Os leques de arrombamento são identificados em costas arenosas e são associados a eventos de alta energia como tempestades extremas de inverno. Com isso, podem ser considerados como indicadores para o registro de tempestades intensas em escala de tempo de eventos ou histórica (DONNELLY et al., 2004; BOGGS JR., 2006).

Silva (2006) afirma que nas últimas três décadas (1970 a 2003), nessa costa, embora exista dinâmica morfológica de depósitos sedimentares de praias emersas bastante intensa, com rápido estreitamento no inverno em resposta às ações das ondas de tempestade predominantes de SW, há também, uma rápida recuperação sob a ação de ondas construtivas, apresentando alta dinâmica que condiciona a área de estudo a suscetibilidade às variações hidrodinâmicas, entretanto não apresentando comportamento de tendência erosiva.

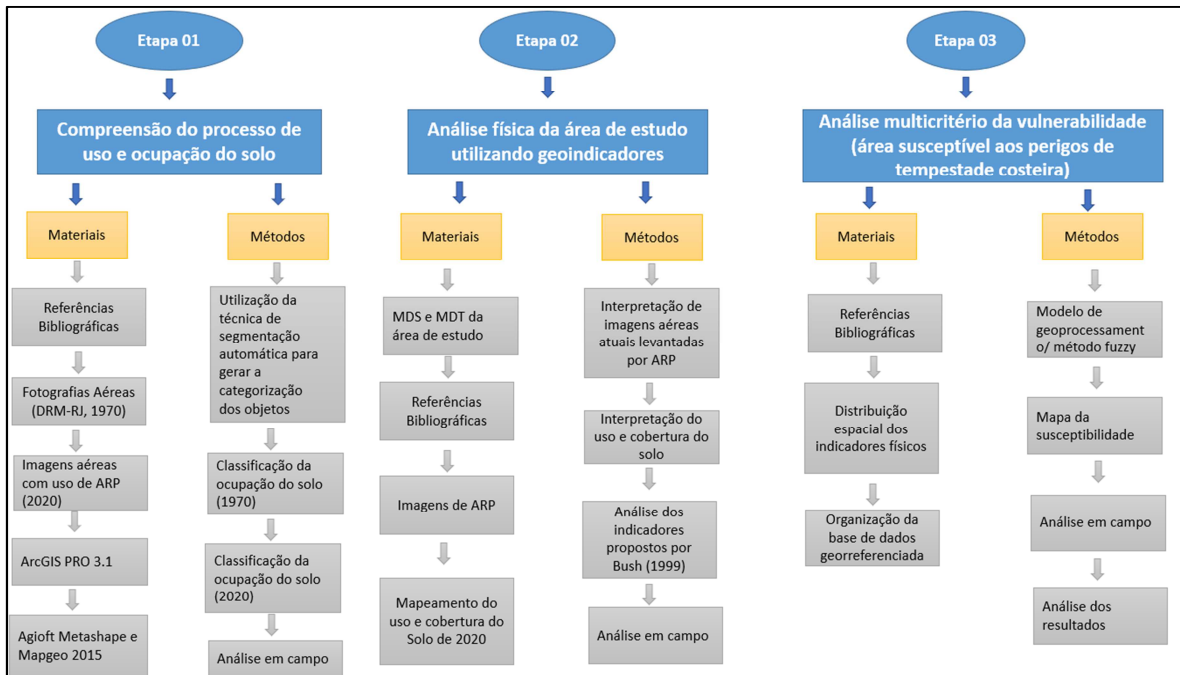
2.2 Materiais e métodos

A presente pesquisa procurou reunir uma abordagem metodológica que se destaca por analisar uma série de elementos. Inicialmente, a atenção foi dada para uma caracterização morfológica de detalhe sobre a barreira arenosa Holocênica, através de aerolevanteamento (ARP). Para esse propósito, foram utilizadas imagens aerofotogramétricas, bem como um Modelo Digital de Terreno, permitindo uma análise detalhada das elevações e da localização das residências e quiosques ao longo da beira da praia.

Além disso, destaca-se o emprego de uma análise multicritério, que utiliza a metodologia de lógica *fuzzy* para a geração de mapas e a avaliação da vulnerabilidade frente a eventos meteorológicos extremos. Essa abordagem multifacetada oferece uma perspectiva mais abrangente para a compreensão das complexas interações entre os fatores em jogo. A Figura 19 apresenta a estrutura metodológica deste trabalho que é desenvolvido em três

etapas. A primeira delas refere-se ao mapeamento comparativo de uso e ocupação do solo entre os anos de 1970 e 2020 do local de estudo. A segunda confere a caracterização física da orla de Itaipuaçu através de geoindicadores. A terceira e última etapa se refere à elaboração da análise integrada sobre os dados levantados na primeira e segunda etapa. A seguir será apresentado um fluxograma dessas três etapas que abordam o desenvolvimento deste projeto.

Figura 19: Fluxograma das três etapas que norteiam o desenvolvimento deste projeto.



Fonte: A autora, 2023.

2.2.1 Compreensão do processo de uso e ocupação do solo na área de estudo

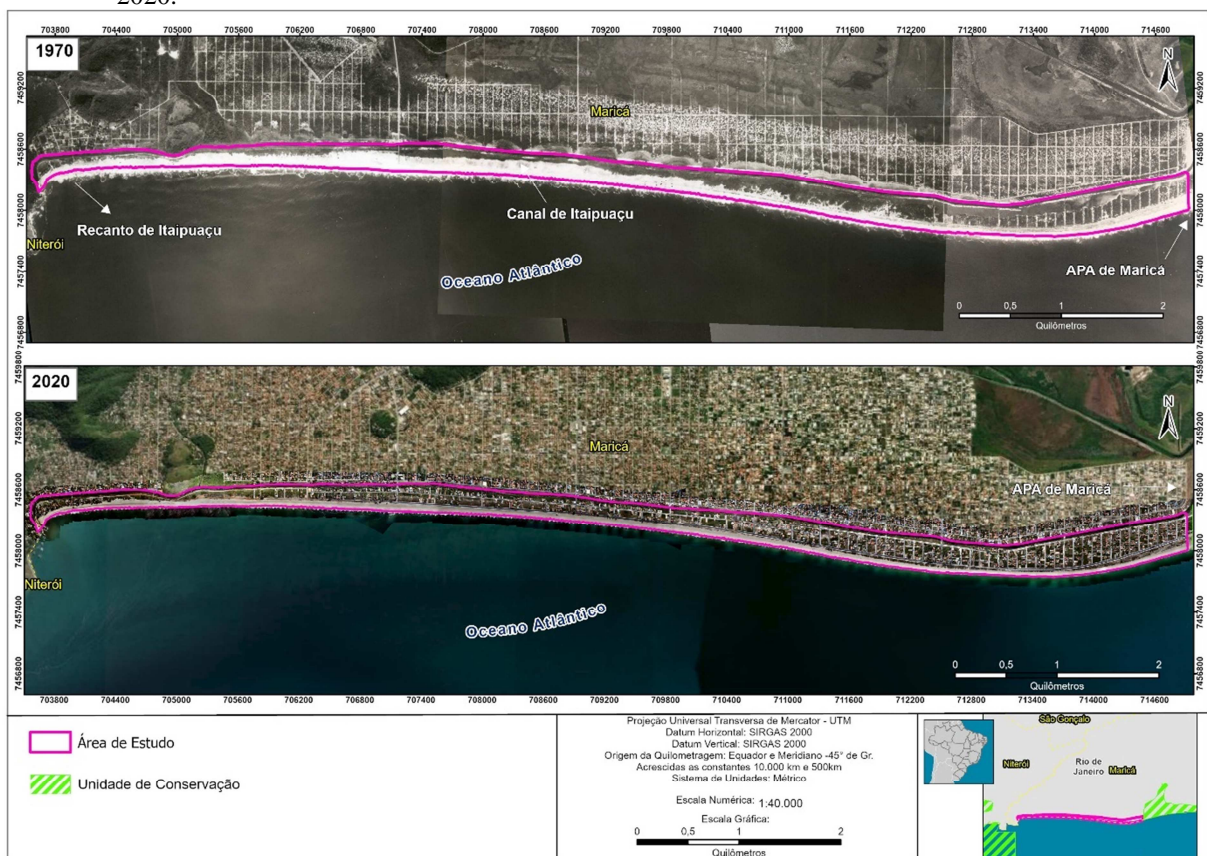
O uso e ocupação do solo pode ser apresentado através de mapas, refletindo a distribuição espacial da ação humana na superfície terrestre. Esses mapas são criados por meio de imagens remotamente sensoriadas, que revelam padrões homogêneos característicos da área mapeada. Esses dados, quando atualizados e comparados historicamente, se tornam ferramentas cruciais para o planejamento e a orientação da ocupação da paisagem, levando em consideração a capacidade de suporte e a estabilidade/vulnerabilidade do ambiente (LEITE; ROSA, 2007).

A compreensão dos padrões de organização do espaço requer o conhecimento e monitoramento do uso e ocupação do solo, pois isso permite analisar suas tendências. Esse

monitoramento envolve a busca de informações sobre como o homem utiliza a terra e, quando não é utilizada pelo homem, a identificação dos diferentes tipos de vegetação natural que cobrem o solo, bem como suas respectivas localizações. Resumidamente, o termo "uso da terra" ou "uso do solo" refere-se à forma como o espaço é ocupado pelo homem (ROSA, 2007).

A análise da evolução da urbanização da área de estudo contou com o levantamento de referências bibliográficas sobre o histórico de ocupação do município de Maricá e da orla de Itaipuaçu. A historicidade da ocupação foi avaliada também através da classificação de uso e ocupação do solo de diferentes anos. Na Figura 20 são apresentadas as imagens aéreas que serviram de subsídio para esse estudo. Foram utilizadas imagens de fotografias aéreas do ano 1970, disponibilizadas pelo Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro (DRM-RJ), e para o ano de 2020, foi utilizado o levantamento aerofotogramétrico com ARP. Este trabalho fez a comparação do uso e ocupação do solo com imagens pretéritas, permitindo a identificação de padrões e/ou rupturas de paisagens ao longo da área de estudo.

Figura 20: Fotografias aéreas de 1970 e aerofotogramétrico aéreo com ARP, aeronave remotamente pilotada, em 2020.



Fonte: A autora, 2021.

As fotografias aéreas de 1970 foram adquiridas no Departamento de Recursos Minerais (DRM-RJ), em 2014, antes do levantamento aerofotogramétrico, com isso as mesmas foram digitalizadas e georreferenciadas com base nas ortofotos de 2005 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE), após o georreferenciamento, as fotografias de 1970 foram recortadas para a área de estudo e foi criado um mosaico de fotos utilizando a ferramenta *mosaic to new raster*, utilizando a ferramenta do ArcGIS PRO 2.7.0.

Para o mapeamento de uso e ocupação do solo de 2020 foi realizado levantamento aerofotogramétrico aéreo com ARP, com câmera embarcada e uso de métodos de aquisição e processamento de pontos de apoio obtidos por meio de rastreamento geodésico de pontos fiduciais marcados ao longo do perímetro da área mapeada. O trabalho de campo foi realizado nos dias 22 de julho de 2020 e 27 de novembro de 2020 em que foram levantados 597 hectares de imageamento para a área de estudo. O levantamento foi feito em duas datas diferentes, sendo um dos motivos o tamanho da área, o que demandou dois dias de voos no total. Outro ponto, foi o período dos levantamentos realizados durante a pandemia, em que foi mais restritivo as viagens e apoio técnico em campo. O Quadro 4 apresenta as informações gerais a respeito do levantamento aerofotogramétrico.

Quadro 4: Informações de parâmetros

Informações gerais sobre o levantamento aerofotogramétrico	
Datas dos Voos	22 de julho de 2020 e 27 de novembro de 2020
Altura do Voo	102 metros
Resolução	3.26 cm/pixel
Número de Imagens	3357 fotos tiradas, sendo 3319 aproveitadas no processamento aerofotogramétrico
Área de Cobertura	5.97 km ²
Pontos de apoio	64 pontos
Erro do Projeção	0.692 pixel
velocidade automática limitada	em até 10m/s
Tempo de voo	7 vôos de até 20min

Fonte: A autora, 2022.

A Figura 21 apresenta um organograma das principais etapas do levantamento aerofotogramétrico. O processo de aerolevanteamento com ARP, com o objetivo de gerar produtos cartográficos, foi dividido em três etapas: o planejamento, a aquisição e o processamento. Para o planejamento prévio, foi feita a delimitação do tamanho da área de

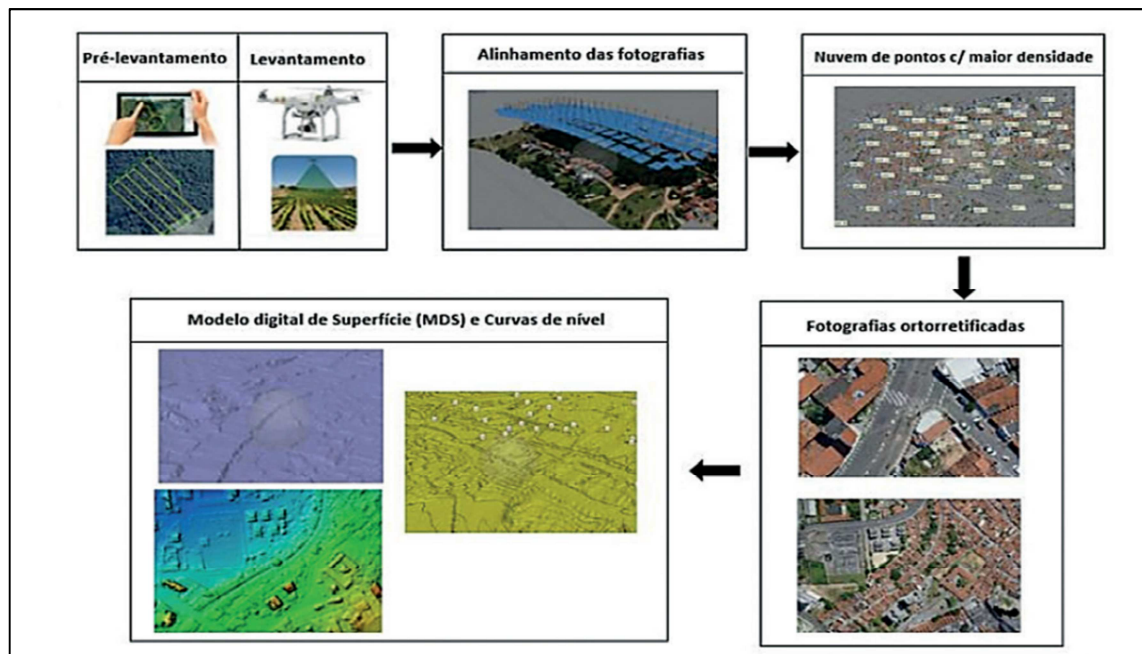
interesse, configurações dos planos de voos, como altura do voo, porcentagem da sobreposição das imagens e a verificação das condições meteorológicas para a data proposta para o levantamento. Na etapa da aquisição, no plano de voo do ARP, o aparelho percorreu o caminho planejado capturando as fotografias aéreas sequenciais com o tamanho da sobreposição escolhida. Após a aquisição de imagens, foi feito também o procedimento expedito, para a averiguação da eficiência da coleta das imagens, como a presença de lacunas e qualidade das mesmas.

Na primeira etapa do processamento, a parametrização, é o momento do alinhamento das fotografias. O software *Agisoft Metashape* identifica semelhanças entre as fotografias e faz a sobreposição entre elas. Depois, com o objetivo de materializar o sistema de coordenadas, foi realizado o apontamento dos pontos de apoio rastreados no campo com o uso do GNSS, para assim determinar as coordenadas do terreno em relação a um referencial do mesmo. A base utilizada foi da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo, do IBGE, com o uso dos dados posicionais da Estação do Observatório Nacional. Foram levantados 60 pontos de controle no campo, sendo 15 de verificação e 45 de controle.

Após o referenciamento posicional da base cartográfica, cria-se a nuvem de pontos esparsa e depois a nuvem de pontos densa, para a geração posteriormente do modelo tridimensional com dados altimétricos. Com isso, é possível gerar automaticamente o Modelo Digital de Elevação (MDE) e o Modelo Digital do Terreno (MDT). O MDE é um item muito importante na correção da variação do relevo para a etapa de ortorretificação das imagens e para a produção do MDT e o MDS⁶.

⁶ O Modelo Digital de Superfície (MDS), diferente do Modelo Digital de Terreno (MDT), considera para o cálculo de altimetria a superfície da área, abrangendo o que está em cima dela, como as edificações, vegetação e automóveis.

Figura 21: Organograma das operações realizadas no levantamento aerofotogramétrico



Fonte: Sales, et al., (2022).

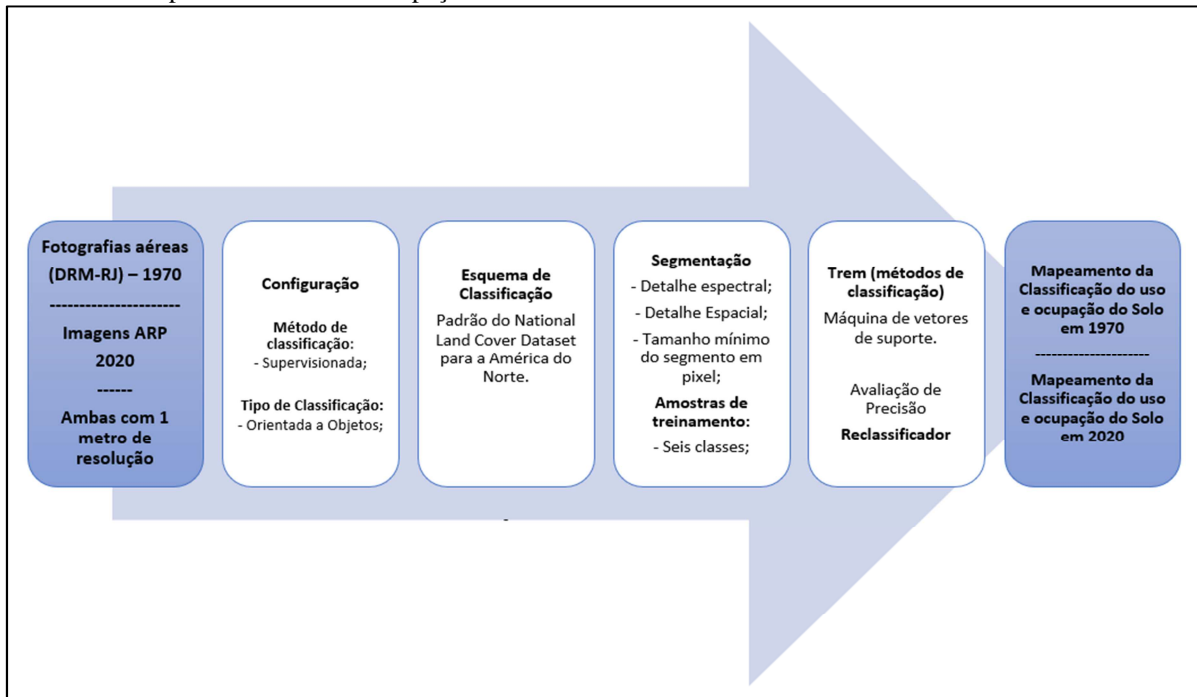
Após a aquisição das imagens, a próxima etapa é o mapeamento da classificação do uso e cobertura do solo das imagens dos anos de 1970 e 2020. Nesta etapa, foram adotadas técnicas de segmentação automática de imagens de alta resolução utilizando a ferramenta *Image Classification Wizard*, disponível na licença de ArcGIS PRO 3.0. A segmentação é o método que permite que uma imagem seja subdividida em partes constituintes ou regiões, gerando áreas homogêneas a partir de propriedades dos pixels (nível de cinza e textura) e relações espaciais entre os objetos, trabalhando com elementos espectrais e não espectrais. Vários testes foram feitos para detectar a melhor metodologia de segmentação que contemple a análise visual das imagens.

Por fim, os métodos adotados foram a segmentação supervisionada e orientada a objetos. Após a geração de um arquivo tipo raster, o mesmo foi convertido para polígonos. A partir disso, foi feita uma análise visual em relação a imagem original para revisão de ruídos na categorização dos objetos para as classes que definem as unidades da área de estudo.

A Figura 22 apresenta um organograma dos processos de segmentação de imagens na ferramenta assistente do ArcGIS PRO 3.0, o *Image Classification Wizard*. A primeira etapa ao abrir o assistente, após selecionar a imagem que será realizada o processamento, é a

própria configuração do procedimento. Existem duas opções para o método de classificação, **supervisionada** ou **não supervisionada**.

Figura 22: Esquema do *Image Classification Wizard*, utilizado para segmentar as imagens e produzir o mapeamento de uso e ocupação do solo dos anos de 1970 e 2020.



Fonte: A autora, 2022.

O resultado da classificação não supervisionada é determinado sem amostras de treinamento. Os pixels são agrupados em classes com base em características espectrais e espaciais. É possível fornecer o número de classes a serem computadas e as classes são identificadas e mescladas assim que a classificação for concluída. Para a classificação supervisionada, o produto da classificação depende das amostras de treinamento fornecidas. Para este trabalho foi utilizado esse método de classificação, em que permite a inserção do conhecimento do analista, caracterizando as feições a serem identificadas.

Para os tipos de classificação, temos duas opções, a **orientada por objetivos** ou a **orientada por pixel**. A baseada em pixels, é onde as características espectrais do *pixel* individual determinam a classe à qual ele é atribuído. As características dos pixels vizinhos não são consideradas na abordagem baseada em pixels. Este é considerado o método de classificação mais tradicional. A orientada por objetos é realizada em vizinhanças localizadas de pixels, agrupadas durante o processo de segmentação. Para esta etapa do projeto, foi utilizado o tipo de classificação **baseada em objetos**, por ser a classificação *pixel a pixel* limitada em cenas heterogêneas, como as áreas urbanas (PINHO et al., 2007), além disso, a

classificação baseada em objetos, durante os testes, foi a que apresentou a classificação dos contornos dos elementos das imagens mais adequada com a realidade, além de casar bem com a segmentação supervisionada.

Para o esquema de classificação, inicialmente foi adotado o padrão do *National Land Cover Dataset* para a América do Norte em que classes pré-existentes foram apresentadas. Entretanto, após essa escolha é possível editar as classes que formaram o uso e cobertura do solo de acordo com a região e finalidade da pesquisa. Existem três parâmetros que controlam como as imagens são segmentadas em objetos, sendo elas: **detalhe espectral, detalhe espacial e tamanho mínimo do segmento do *pixel***. No detalhe espectral, é definido o nível de importância das diferenças espectrais dos recursos das imagens. Os valores válidos variam de 1,0 a 20. Valores altos são apropriados quando se deseja uma classificação mais detalhada, como diferenciação entre tipos de árvores, por exemplo. O detalhe espacial define a importância da proximidade entre os recursos das imagens.

Os valores válidos são de 1,0 a 20. Um valor mais alto é interessante quando os recursos de interesse são pequenos e agrupados, como classificar casas e estradas em classes distintas. O tamanho mínimo do segmento do *pixel* está relacionado a unidade mínima de mapeamento, podendo mesclar segmentos menores de acordo com o segmento vizinho mais adequado. Após testes, os valores selecionados foram detalhe espectral: 15, detalhe espacial: 15 e tamanho mínimo do segmento do *pixel*: 20.

Nos produtos gerados, é possível identificar a presença de características geográficas delimitadas por meio de recursos vetoriais. Devido à semelhança nas tonalidades de pixels entre algumas classes, foi necessário realizar uma reclassificação das características, assim como editar manualmente os polígonos com base na análise visual da imagem. Esse método de delimitação por meio de classificação permitiu definir com precisão os limites dos objetos nas ortofotos, resultando em uma melhoria quantitativa para a escala do estudo, graças à alta qualidade da delimitação vetorial. Além disso, a exclusão de ruídos foi necessária para aprimorar a precisão do mapeamento, por meio da fusão de células com classes vizinhas.

Na etapa de seleção das amostras de treinamento, é possível criar novas classes e remover classes existentes para personalizar o esquema. Foram criadas as classes, sendo elas: **vegetação, canal ou ponte, praia, residência ou quiosque e solo exposto** para as imagens de 1970 e 2020. Em 1970 foi mapeada a classe **caminho arenoso** (caminho aberto para passagem sobre a restinga) e área inundável. Em 2020, a classe identificada foi de **arruamento** (devido ao padrão de asfaltamento e urbanização) das vias.

O método de classificação escolhido foi classificador *Support Vector Machine*, que é um método avançado de classificação de aprendizado de máquina capaz de processar uma entrada raster segmentada ou uma imagem padrão. É menos suscetível a ruído, bandas correlacionadas e um número ou tamanho desequilibrado de locais de treinamento dentro de cada classe. Após a escolha do método de classificação, o processamento da segmentação é iniciado.

O método de avaliação de precisão (teste de acurácia) compara o resultado da classificação da imagem com dados de referência que foram fornecidos. Essa etapa é muito útil para avaliar a precisão dos resultados classificados. No final das etapas, foi criado o arquivo de mapeamento de ocupação do solo. Essas etapas foram processadas para cada mosaico de imagem (1970 e 2020), ambas com 1 metro de resolução. Para esse mapeamento de ocupação do solo, foi possível utilizar a escala de detalhe de 1:5.000.

2.2.2 Análise física da área de estudo utilizando geoindicadores

A suscetibilidade a eventos costeiros extremos diz respeito a vulnerabilidade das áreas costeiras de resistir e se proteger contra fenômenos naturais intensos e destrutivos, tais como tempestades, furacões, ressacas, marés de tempestade, erosão costeira e inundação. Esses eventos têm o potencial de causar danos significativos à infraestrutura costeira, propriedades, ecossistemas e, em certas situações, podem resultar na perda de vidas humanas.

Para esta etapa do projeto foram utilizados 07 geoindicadores propostos por avaliação de riscos costeiros e estudos de mitigação de danos a propriedades. Os indicadores, que estão apresentados no Quadro 5, avaliam o risco de perigos costeiros, como erosão costeira e inundação de maré de tempestade. A localização desses aspectos contribuiu para a caracterização física da orla conforme critérios adotados. As análises utilizadas foram: a caracterização física da orla de Itaipuaçu através de análise de campo, interpretação de imagens aerofotogramétricas e levantamento bibliográfico. Foi utilizado o mapeamento de uso e ocupação do solo com as imagens aéreas de 2020 e o MDT (resolução espacial de 1m), de acordo com a seção anterior.

O MDT foi reclassificado nos parâmetros conforme apresentado por Bush (1999), utilizando a ferramenta *reclassify* do ArcGIS PRO, depois foi utilizado o *intersect* para cruzar

as camadas de uso e cobertura do solo com elevação. Os métodos adotados para cada geoindicador são apresentados a seguir conforme itemização do Quadro 5.

Indicador 1 - classificação através do modelo digital de terreno (MDT) a partir de métodos de aquisição por aerofotogrametria com o uso de Aeronaves Remotamente Pilotadas – ARP. É importante mencionar que a área de ocorrência do canal entre a barreira holocênica e pleistocênica apresenta uma elevação menor, portanto, se realizarmos apenas a classificação da área de estudo com as categorias de classificação de *Bush* (<3m = alta suscetibilidade; 3-6m = suscetibilidade moderada e >6m = suscetibilidade baixa), será apresentado que as áreas de alta suscetibilidade estão no interior da área de estudo, próxima ao canal de Itaipuaçu.

Essa análise seria interessante, por exemplo, para avaliar o risco de inundação. No entanto, neste estudo, o foco está nos eventos extremos de tempestades em áreas costeiras. Portanto, a elevação considerada será da região que vai desde a face da praia até o topo da barreira holocênica, que é a região exposta às ondas de tempestade costeira. Os indicadores de número 2, 4, 7 – mapeamento de uso e ocupação do solo de 2020, interpretação de imagens aéreas oblíquas e verticais e visualização em campo.

Indicadores de número 3, 5, 6, 7 - levantamento bibliográficos de estudos na orla de Itaipuaçu, interpretação de imagens e análise em campo. Para a taxa de erosão, foram utilizados como parâmetros quantitativos estudos desenvolvidos para uma classificação com base na relação metro por ano, conforme descrito nos estudos de Esteves; Finkl (1998), Rader et al., (2018), Luijendick (2018) e Magalhães (2018). Esses autores propuseram as seguintes categorias com base no cálculo da taxa de EPR (end point rate), que se refere à variação espacial (em metros) entre a linha de costa mais antiga e a mais recente, em relação à variação temporal (em anos) entre a linha de costa mais antiga e a mais recente. Esses parâmetros podem ser verificados no Quadro 5.

Indicador 4 – O polígono da classe praia foi transformado em pontos através da ferramenta *feature vértices to points*, disponível no ArcGIS PRO 3.1, após isso, os pontos foram separados em duas camadas, os pontos do limite interno (próximo a vegetação e outra camada, próximo ao contato úmido/seco do sedimento). Com isso, foi utilizada outra ferramenta, o *near*, em que é possível calcular a distância de proximidade entre as feições de entrada e a feição mais próxima em outra camada. O cálculo por imagens aéreas foi o contato úmido-seco, para o limite inferior e para o limite superior, a linha de vegetação. Usando os parâmetros de classificação de Corrêa (2013), os trechos da orla com valores de variação da largura da praia superiores a 40 metros receberam classificação de baixa suscetibilidade, áreas

entre 20 e 40 metros tiveram classe de suscetibilidade moderada e valores inferiores 20 metros foram classificados como alta suscetibilidade.

Quadro 5 - Indicadores que foram utilizados na caracterização da suscetibilidade (SUSC) física a eventos meteorológicos extremos costeiros na área em estudo.

ID	Indicador	Justificativa	Alta Suscetibilidade	Suscetibilidade moderada	Baixa Suscetibilidade	Metodologia
1	Elevação no topo da barreira	A elevação topográfica da área costeira desempenha um papel crucial na proteção contra eventos extremos. Áreas com alta elevação têm maior capacidade de resistir aos impactos das ondas e inundações costeiras.	<3m	3-6m	>6m	Modelo Digital de Elevação (MDE)
2	Vegetação	A presença de vegetação costeira, como manguezais, dunas vegetadas e vegetação de restinga, desempenha um papel fundamental na proteção da orla. As raízes das plantas ajudam a fixar o solo e os sedimentos, reduzindo a erosão causada pelo impacto das ondas e correntes. Além disso, a vegetação atua como uma barreira natural, dissipando a energia das ondas e protegendo a costa contra a erosão.	Estéril; esparsa; derrubada; espécies não-nativas	Gramíneas e arbustos bem estabelecidos	Florestada; vegetação madura; ausência de evidências de erosão na vegetação Parâmetros de linha de costa	Uso e Cobertura do Solo e bibliografia

3	Taxa de erosão	A taxa de erosão costeira é um indicador crítico para a manutenção da orla. O monitoramento e controle adequados da taxa de erosão ajudam a identificar áreas vulneráveis e adotar medidas de proteção necessárias. A erosão costeira pode levar à perda de terras, danos a estruturas e infraestruturas costeiras e colocar em risco as comunidades que habitam a área.	Erosão severa a lenta (Erosão: -0,5m/ano a -1m/ano; Erosão severa -1,0m/ano a -3m/ano; Erosão extrema: < -3m/ano”)	Estável (-0,5m/ano a 0,5m/ano)	Acreção (Acreção: > 0,5m/ano)	Bibliografia
4	Largura da praia, inclinação e espessura	Uma praia ampla fornece uma área de amortecimento natural para dissipar a energia das ondas, reduzindo o impacto na costa. A inclinação e espessura adequadas da praia também ajudam a refletir e dissipar a energia das ondas, evitando a erosão e o recuo da linha costeira.	Estreita e plana; fina com lama, turfa ou troncos expostos; pouco suprimento de sedimentos (até 20 metros de largura);	Largura da praia seca moderada a estreita; potencial para a interrupção do fornecimento de sedimentos (de 20 a 40 metros de largura);	Larga com berma bem desenvolvida; bom suprimento de sedimentos (superior a 40 metros de largura)	Uso e Cobertura do Solo e bibliografia
5	Configuração das dunas (parâmetro interior e de linha de costa)	As dunas atuam como barreiras naturais, ajudando a proteger a costa contra a erosão causada pelas ondas e tempestades, também desempenham um papel na estabilização dos sedimentos.	Sem dunas (ver overwash)	Dunas baixas ou descontínuas; dunas arrasadas	Dunas altas, contínuas com cristas não rompidas	Interpretação de Imagens

6	Overwash	O overwash é um fenômeno natural que ocorre em áreas costeiras expostas a condições climáticas extremas. Sua existência é um indicativo de orla exposta a ação das ondas e tempestades costeiras.	Frequente; inúmeros leques de transposição; dunas rompidas por trilhas ou término de estradas	Ocasional; transposição de alcance limitado	Sem ocorrência	Bibliografia
7	Estruturas de engenharia	As estruturas de engenharia rígidas, como quebra-mares, diques e muros de contenção, são projetadas para fornecer proteção adicional contra a erosão e os impactos das ondas. Essas estruturas ajudam a reduzir a energia das ondas, protegendo a costa e as áreas adjacentes. No entanto, é importante considerar que o uso de estruturas de engenharia rígidas pode ter impactos significativos na dinâmica costeira e nos ecossistemas locais, exigindo um planejamento cuidadoso e a avaliação de seus efeitos a longo prazo.	Numerosos espigões; diques; quebra-mares	Poucas estruturas	Ausência de estruturas Parâmetros de inlets	Interpretação de Imagens

Fonte: A autora, 2023.

2.2.3 Análise da vulnerabilidade

A identificação de fatores relacionados às características costeiras e causadores dos perigos costeiros são o primeiro passo para avaliação da vulnerabilidade (MULLICK et al., 2019). Para a análise da vulnerabilidade e localização de áreas de risco se faz necessário reconhecer os locais e circunstâncias que favorecem os episódios de determinados fenômenos. Para isso, os SIGs surgem como ferramenta importante no conhecimento desta problemática (LIMA, 2017).

2.2.3.1 Lógica *Fuzzy*

O modelo de objetos considera que os limites, entre os atributos representados, por exemplo, em mapas de polígonos, são bem definidos, não ponderando a existência de incertezas no processo da transição espacial entre polígonos das feições próximas. Essa conjectura pode suprimir as condições reais dos dados vizinhos e da proximidade em um ambiente SIG, quando se trata de uma superfície. A lógica *fuzzy*, permite que os limites espaciais entre duas ou mais classes, sejam representados por zonas descontínuas distribuídos de maneira que os limites espaciais entre duas ou mais classes são representados por zonas transitórias (FERREIRA, 2014). Segundo Rodrigues; Santos (2005), um conjunto *fuzzy* representa classes de elementos e não tem fronteiras definidas.

Desenvolvida por Aristóteles, a lógica clássica, foi estabelecida por um conjunto de regras rígidas, baseadas em conclusões e premissas, para que pudessem ser logicamente válidas. A lógica binária, tendo a informática baseada nessa álgebra, foi desenvolvida por Boole (lógica booleana). Essa ideia, parte da visão da declaração falsa ou verdadeira, e apenas utiliza dois valores 0 ou 1, não podendo ser parcialmente verdade ou parcialmente falsa (COELHO, 2008; SILVA; GONÇALVES, 2012).

A lógica *fuzzy*, também conhecida como lógica nebulosa ou difusa, é a qual uma variável pode assumir vários valores, podendo ser falso ou verdadeiro ao mesmo tempo. É capaz de analisar informações vagas, descritas em uma linguagem natural e converter em um modelo numérico (SAMPAIO, et al., 2007). Vejamos um exemplo de dados de declividade conforme classificação da Embrapa: plano (0-3%), suave ondulado (3-8%), Ondulado (8-20%), Forte Ondulado (20-45%), Montanhoso (45-75%), Escarpado (>75%).

Tabela 2: Esquema de declividade em porcentagem em três classes

Ondulado		Forte Ondulado		Montanhoso	
9,5%	19,3%	22,7%	44,8%	47,2%	73,3%

Fonte: A autora, 2023.

No processo booleano, as classes de declividade adotadas na Tabela 2 indicam que o valor 44,8% pertencem à classe de “Forte Ondulado” e não pertence à classe “Montanhoso”, assim como o valor 22,7%. Portanto, podemos dizer que 22,7% e 44,8% pertencem igualmente à classe “Forte Ondulado” e, por isso, apresentam identidade entre si. No entanto, ao observarmos esses dados com mais atenção, notamos que o valor 44,8% estão muito mais próximos do valor 47,2% do que o valor 22,7%. Isso nos levaria a concluir que o 44,8% pertencem mais à classe “Montanhoso” do que a classe “Forte Ondulado”, e não exclusivamente a essa classe. Essa afirmação revela que há uma maior afinidade do valor 44,8% com a classe “Montanhoso” do que com a classe “Forte Ondulado”. Com isso, é possível perceber a necessidade de um processo classificatório gradual e transitório. Nesse processo, cada elemento tem uma maior probabilidade de pertencer como membro (*Membership*) de uma classe e menor probabilidade de pertencer a outra classe. Isso, em síntese, é a lógica *fuzzy*.

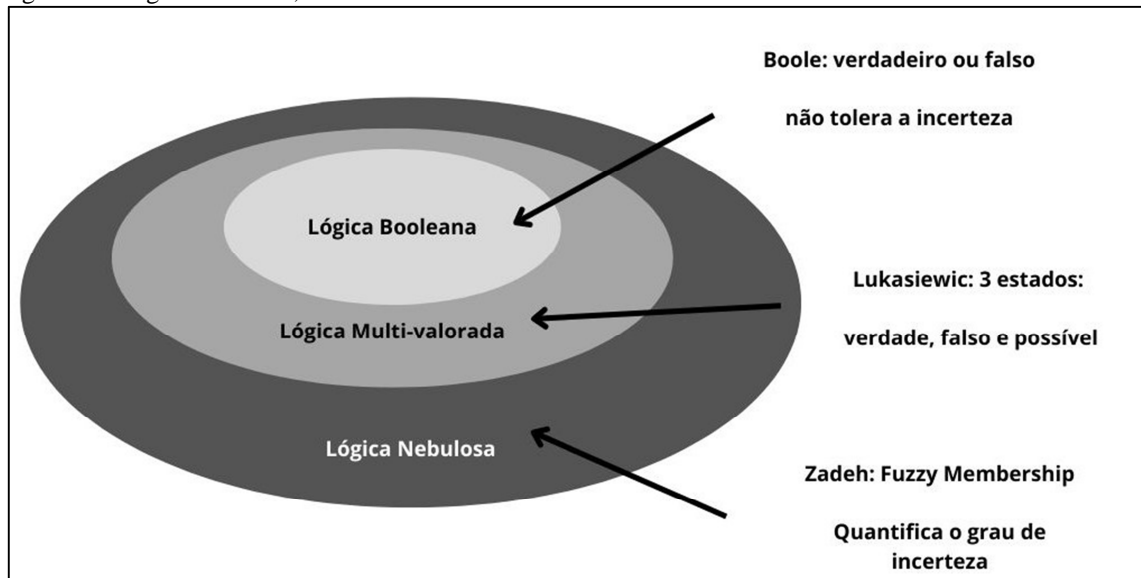
Jan Lukasiewicz, em 1920, desenvolveu os princípios da teoria *fuzzy*, com base em conjuntos com grau de pertinência e lógica (LIMA, 2017). Em 1965, a lógica nebulosa é desenvolvida por Lofti A. Zadeh, professor de Teoria dos Sistemas na Universidade da Califórnia, Berkeley, utilizando a teoria dos conjuntos *fuzzy*. Essa lógica, possibilita que seja mais adequada a representação de um problema relativo a incerteza e a imprecisão das informações (BITTENCOURT; OSÓRIO, 2002). O artigo foi publicado pelo autor em 1965 na revista *Information and Control* e revolucionou o assunto com a criação de sistemas Nebulosos. O autor fez o prefácio da obra de Cox (1994), em que é apresentado abaixo:

“My 1965 paper on fuzzy sets was motivated in large measure by the conviction that traditional methods of systems analysis are unsuited for dealing with systems in which relations between variables do not lend themselves to representation in terms of differential or difference equations. Such systems are the norm in biology, sociology, economics and, more generally, in fields in which the systems are humanistic rather than mechanistic in nature” (ZADEH, 1994).⁷

⁷ “Meu artigo de 1965 sobre conjuntos *fuzzy* foi motivado em grande parte pela convicção de que métodos tradicionais de análise de sistemas são inadequados para lidar com sistemas nos quais relações entre variáveis não se prestam à representação em termos de equações diferenciais ou de diferenças. Tais sistemas são a norma em biologia, sociologia, economia e, mais geralmente, em campos em que os sistemas são humanistas em sua natureza, em vez de mecanicistas” (tradução própria).

Para Fernandez; Santos (s.d., apud Camargos, 2022, p.2), a lógica que foi desenvolvida por Zadeh, é uma combinação de lógica multivalorada, probabilidade, redes neurais e inteligência artificial para que o pensamento humano possa ser representado, entendendo-se que muitos conceitos são mais bem definidos por palavras do que pela matemática. A Figura 23 ilustra as diferentes lógicas desenvolvidas por Boole, Lukasiewicz e Zadeh.

Figura 23: Lógica de Boole, Lukasiewicz e Zadeh



Fonte: Bittencourt; Osório; 2002. Adaptado pela autora, 2022.

Desde o seu desenvolvimento por Zadeh, tem havido discussões sobre a teoria dos conjuntos difusos para lidar com imprecisos dados espaciais. Em SIG, a teoria dos conjuntos *fuzzy* parece ter dois benefícios principais: capacidade de lidar com operações de modelagem lógica, como sobreposição de mapas em dados inexatos e a possibilidade de usar diversas expressões de linguagem para qualificar a incerteza (HUISMAN; ROLF, 2009).

A lógica *fuzzy* vem sendo utilizada por diversas áreas. Sua utilização vem avançando nos últimos anos em distintas áreas de estudos, em pesquisas e em desenvolvimento, sendo fundamental nas áreas de incerteza (SILVA, 2013). A lógica *fuzzy* ultrapassa a visão binária. Um sim ou um não, falso ou verdadeiro, como resposta, é na maioria das vezes, imprecisa. Existem diversos graus de incertezas, entre a certeza de ser ou não ser (UEM, 2012). A Lógica *fuzzy* tem apresentados resultados interessantes nos estudos de modelagem ambiental, gerando mapas temáticos que podem ser aplicados ao planejamento urbano, como o uso solo, avaliação de bacias hidrográficas, mapeamento de solos, geologia, geomorfologia, declividade, vulnerabilidade (LIMA, 2017). A cartografia de síntese (fusão de mapas) se torna

importante para o mapeamento de riscos híbridos⁸, sendo possível uma vez que permite condensar e analisar um grande volume de dados em um aspecto integrado. Sendo assim, a gestão de riscos parte de uma visão sistêmica, sendo um desafio frente às possibilidades e limites do conhecimento, a partir de uma perspectiva holística e integradora (MEDONÇA; BUFFON, 2021).

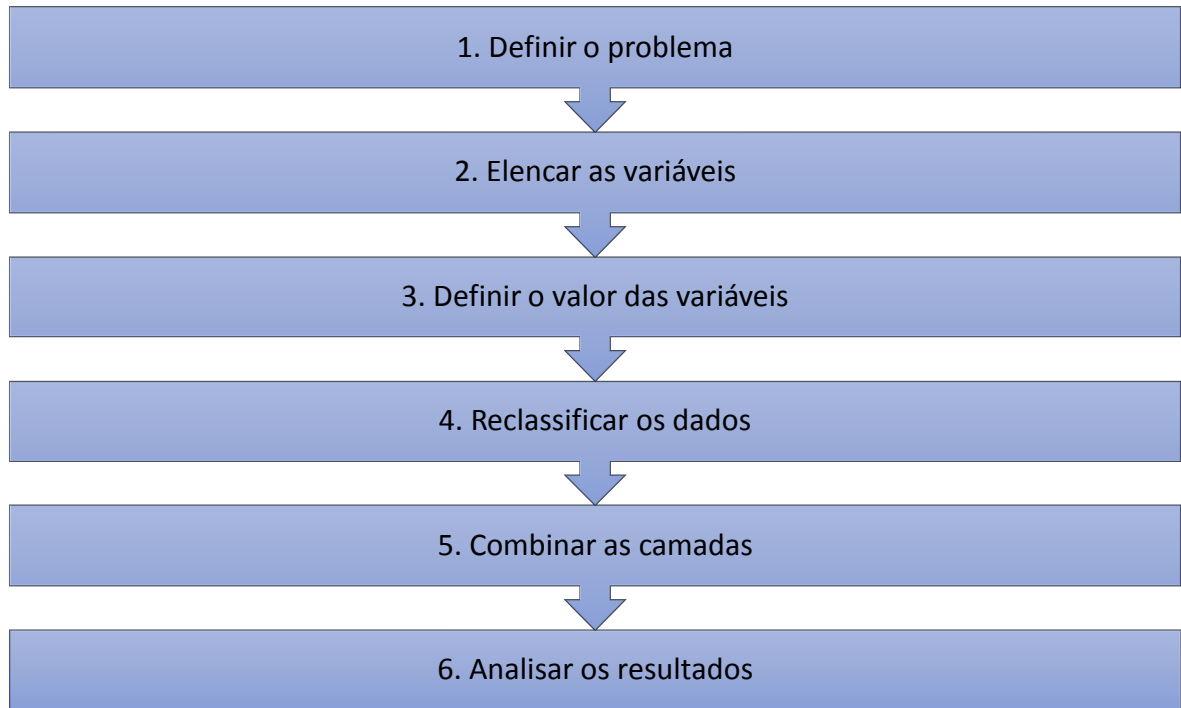
2.2.3.2 Modelo de geoprocessamento: Método *fuzzy*

A lógica *fuzzy* constata que os limites nítidos na informação espacial não é uma linha precisa, mas sim, uma área de transição. Como regra, os limites difusos são mais comuns quando analisados os fenômenos naturais. Nos últimos anos, vários esforços de pesquisa abordaram a questão do tratamento explícito de limites difusos (HUISMAN; ROLF, 2009). O geoprocessamento está profundamente entrelaçado com a modelagem, uma vez que os modelos constituem uma abordagem fundamental para simplificar a representação da realidade. Eles desempenham um papel crucial na exploração das correlações e do comportamento de variáveis ambientais, tanto no passado, presente e cenários futuros (MOURA, 2014).

Para responder à pergunta do objetivo principal deste trabalho “Onde estão localizadas as áreas vulneráveis e com maior exposição aos riscos associados aos eventos de tempestade costeira na Orla de Itaipuaçu?” é proposto um tipo de análise multicritério, o método *fuzzy*, fundamentada na teoria dos conjuntos. LIMA (2017) apresenta um passo a passo metodológico para a análise multicritério, em que há uma combinação de diferentes informações e procedimentos para chegar a um resultado integrado (Figura 24).

⁸ "Os riscos híbridos explicitam o fato de que os três grandes grupos de riscos (naturais, sociais e tecnológicos) raramente se manifestam de maneira isolada um do outro." (MEDONÇA; BUFFON, 2021, p.26)

Figura 24: Passos da metodologia para a análise multicritério.



Fonte: Lima, 2017. Adaptado pela autora, 2022.

Para estabelecer comparações entre variáveis, é essencial definir uma escala que normalize todas as comparações realizadas. Saaty (1980) propôs uma escala de critérios de comparação composta por nove níveis numéricos, a qual pode ser utilizada conforme Quadro 6:

Quadro 6: Escala de comparação de critérios, de acordo com Saaty (1980)

Valor	Definição e Explicação
1	Igual Importância - os dois critérios contribuem de forma idêntica para o objetivo
3	Pouco mais importante - a análise e a experiência mostram que um critério é um pouco mais importante que o outro
5	Muito mais importante - a análise e a experiência mostram que um critério é claramente mais importante que o outro.
7	Bastante mais importante - a análise e a experiência mostram que um dos critérios é predominante para o objetivo
9	Extremamente mais importante - sem qualquer dúvida um dos critérios é absolutamente mais importante para o objetivo
2,4,6,8	Valores intermediários - que também podem ser usados

Fonte: Silva et al., 2008, adaptado pela autora, 2023.

Serão utilizadas quatro variáveis geoespaciais elencadas conforme Quadro 7, para análise integrada da vulnerabilidade. O levantamento das áreas com existência de vegetação no pós praia e localização de residências e quiosques foi realizado através do mapeamento de

uso e ocupação do solo de 2020, com resolução de 1 metro. A elevação no topo da barreira seguirá o mapeamento de áreas pelo MDT e as estruturas de engenharia foram mapeadas através do levantamento de campo realizado no dia 16 de setembro de 2023, na orla de Itaipuaçu, através do aplicativo *Survey123*, que coleta dados centralizados em formulário, permitindo o levantamento de informações em campo, como dados descritivos, coordenadas e fotografias.

Quadro 7: Variáveis utilizadas para análise multicritério.

Variável	Justificativa	Classes	Pesos	Fonte do dado
Atributos Naturais e Antrópicos				
Uso e Ocupação do Solo (2020)	Os processos de uso e ocupação são importantes no entendimento a vulnerabilidade, pois revelam o conhecimento dos lugares onde há os elementos da paisagem naturais e antrópicos.	Canal e Ponte	1	Mapeamento de uso e ocupação do solo (2020)
		Estrada ou Arruamento	5	
		Praia	1	
		Residência ou Quiosque	9	
		Solo Exposto	5	
		Vegetação	1	
Existência de vegetação no pós praia	A presença de vegetação após a faixa de praia desempenha um papel de proteção da orla costeira. Quando essa vegetação é ausente, os impactos nas estruturas de engenharia se tornam evidentes, estabelecendo uma relação direta entre a falta de vegetação e ocorrência de danos nas áreas urbanizadas. Em resumo, a vegetação costeira desempenha um papel essencial na proteção contra danos causados por fenômenos naturais e na preservação das áreas urbanas próximas ao litoral.	Ausência de vegetação	9	Mapeamento de uso e ocupação do solo (2020)
		Largura da vegetação de até 30 metros	4	
		Largura da vegetação entre 30 a 60 metros	1	
Atributos Geomorfológicos				
Elevação (m) do topo da barreira	A elevação de um local é uma determinante na susceptibilidade a inundação. O topo da barreira é a área que pode ser atingida pelos eventos da tempestade. A mitigação de impactos as propriedades podem ocorrer localizando áreas acima das ondas e inundações costeiras.	-2,036184 - 1,541438	9	Modelo Digital de Terreno (MDT)
		1,541438 - 2,555097	8	
		2,555097 - 3,330249	7	
		3,330249 - 4,165027	6	
		4,165027 - 5,11906	5	
		5,11906 - 6,073092	4	
		6,073092 - 6,907871	3	
		6,907871 - 7,861903	2	
7,861903 - 13,168709	1			
Processos Antrópicos				
Estrutura de engenharia	Estruturas de engenharia para proteção costeira indicaram o histórico de eventos que podem afetar a população.	Estaca prancha	4	Mapeamento pelas ortofotos

	Além disso, as estruturas comprometem a dinâmica sedimentar, podendo agravar a situação de risco.	Revestimento com pedras	2	
		Ausência de estrutura de engenharia	1	

Fonte: A autora, 2022.

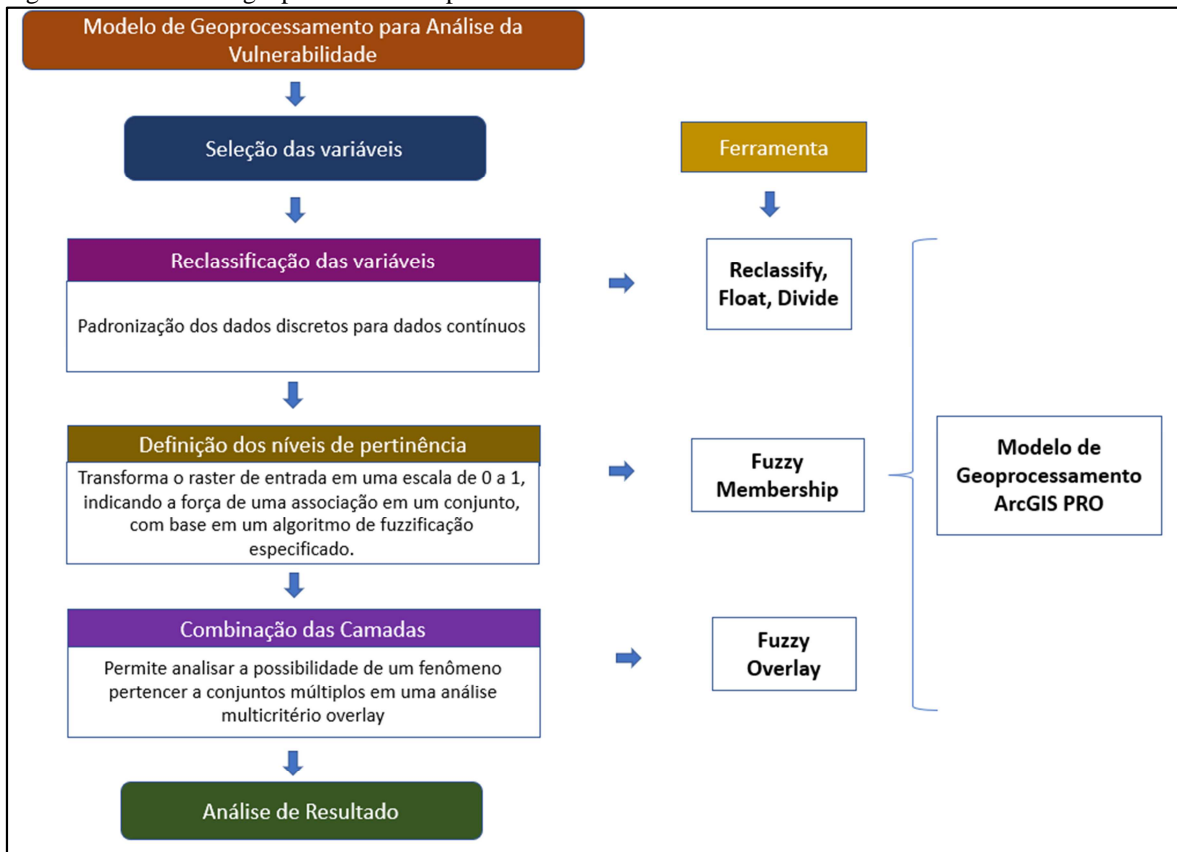
Após a seleção das variáveis, a aplicação da abordagem da modelagem da lógica *fuzzy*, conforme Figura 25, compreende primeiramente o procedimento de padronização *fuzzy*, na padronização dos dados discretos para dados contínuos. Os dados contínuos (arquivos *raster*) representam fenômenos em que cada localização na superfície é uma medida de concentração, não sendo espacialmente discretas. A transição entre os valores possíveis em uma superfície ocorre sem quebras bem definidas ou abruptas entre os valores.

Após a conversão das camadas em *raster*, é a vez de reclassificar (ferramenta *reclassify*) as classes. Na alocação dos pesos para cada atributo de classe, foi estabelecido que valores aproximados a 10 são considerados como ideais para representar áreas mais vulneráveis, enquanto valores próximos de 0 são vistos como áreas pouco vulneráveis. Essa atribuição de pesos permitiu a conversão de informações qualitativas espaciais em dados numéricos, um passo necessário para viabilizar a aplicação da lógica *fuzzy*.

A ferramenta *fuzzy membership* é útil para a derivação de pertinência (processo de inferência), que transforma o *raster* de entrada em uma escala de 0 a 1, indicando a força de uma associação em um conjunto, com base em um algoritmo de fuzzificação especificado. Um valor de 1 denota pertinência completa à vulnerabilidade, enquanto a pertinência diminui até 0, indicando que não há pertencimento às áreas vulneráveis. O algoritmo utilizado para análise foi o *Large*, usado para indicar que valores grandes do *raster* de entrada têm alta associação no conjunto difuso.

Por fim, a combinação das camadas e análise do mapa final ocorre com a utilização da ferramenta *Fuzzy Overlay*, que permite analisar a possibilidade de um fenômeno pertencer a conjuntos múltiplos em uma análise multicritério. O *Fuzzy Overlay* não apenas determina em quais conjuntos o fenômeno é possivelmente um membro, mas também analisa as relações entre os membros dos conjuntos múltiplos. O operador escolhido foi o *Gamma*, que inclui o produto entre a soma algébrica *Fuzzy* e produto *Fuzzy*.

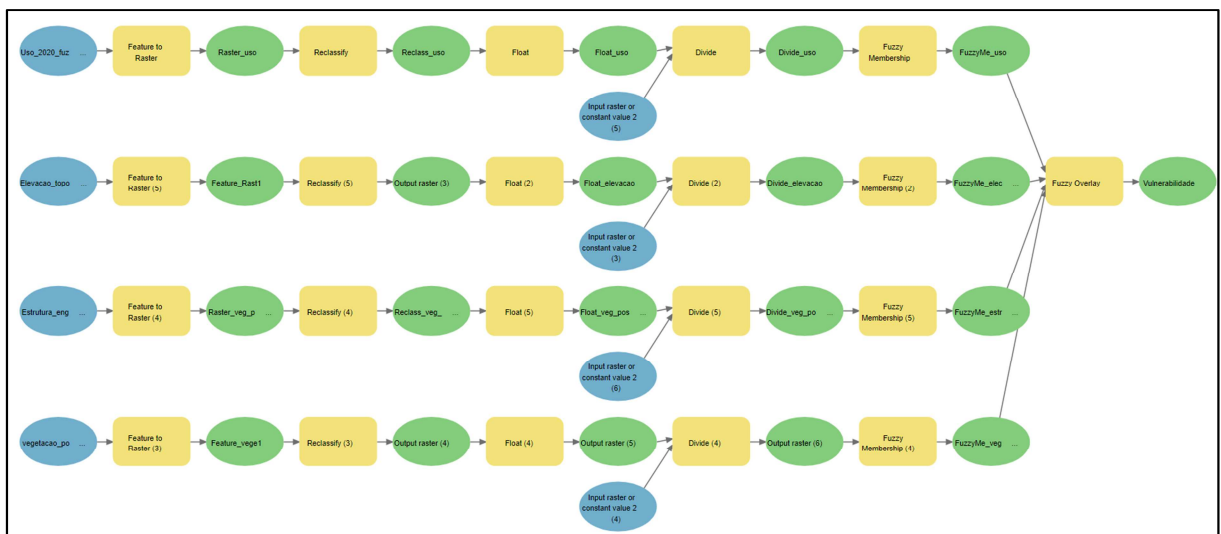
Figura 25: Modelo de geoprocessamento para análise da vulnerabilidade no ArcGIS PRO.



Fonte: Nyimbili; Erden, 2020. Adaptado pela autora, 2022.

Para realização dos processamentos foi construído um modelo do fluxo de trabalho no ArcGIS com as ferramentas utilizadas conforme apresentado na Figura 26.

Figura 26: Modelo conceitual (*modelbuilder*) das etapas de trabalho para criação do mapa de vulnerabilidade.



Fonte: A autora, 2023.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Compreensão do processo de uso e ocupação do solo na área de estudo

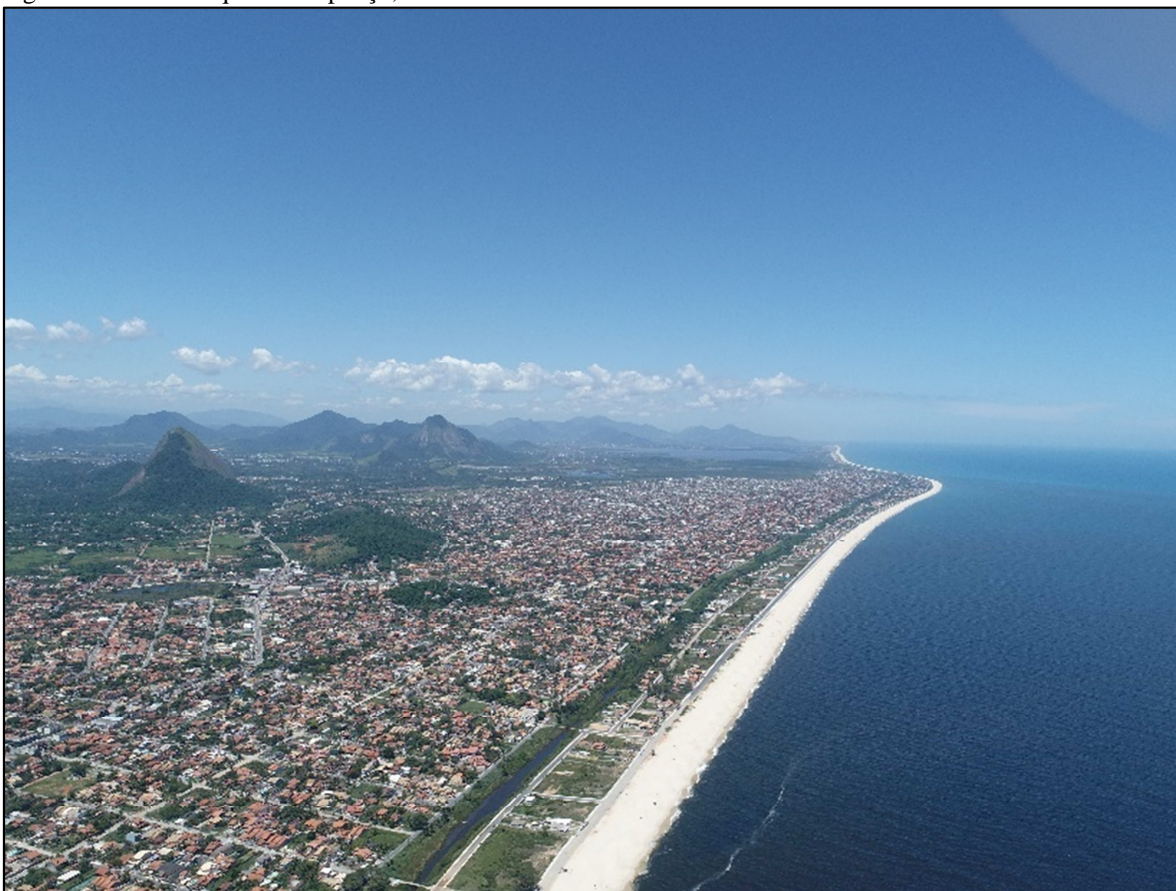
As informações históricas e cartográficas, quando comparadas e analisadas, configuram o espaço de um ambiente em estudo, sendo uma ferramenta importante para a detecção de mudanças de determinadas feições (SILVA; GONÇALVES, 2012). No trecho de orla em estudo, em 1940 (Figura 27), os lotes já apresentavam uma configuração estabelecida, com pouca ou nenhuma ocupação no parcelamento do solo. Contudo, em 2020 (Figura 28), se observa uma área urbana em processo de consolidação, com ruas lineares e forte padrão de ocupação.

Figura 27: Foto oblíqua de Itaipuaçu, em 1940



Fonte: COMINAT S/A Empreendimentos & Consultoria, 1940.

Figura 28: Foto oblíqua de Itaipuaçu, em 2020.



Fonte: A autora, 2020.

Uma importante via de expansão urbana foi a construção da Rodovia Amaral Peixoto (RJ-106) na década de 50, resultando em uma concentração significativa de ocupação ao longo dela, que se estende ao longo do município no sentido longitudinal (ALIPRANDI et al., 2016). ALIPRANDI et al., (2016) ainda aponta, que em 1976, um novo vetor de expansão ocorreu, sendo impulsionado pela inauguração da Ponte Rio-Niterói, que possibilitou um acesso ainda mais fácil e valorizou significativamente as terras em direção a Maricá e à Região dos Lagos como um todo.

De acordo com Lins de Barros (2005), a construção da Ponte Rio-Niterói e, posteriormente, em 1996, a autoestrada Via-Lagos, impulsionaram um significativo aumento populacional em todos os municípios da Região dos Lagos. Na década de 1990, Maricá apresentou a quinta maior taxa de crescimento do estado do Rio de Janeiro, conforme dados do IBGE (2000). Em uma tentativa de estabelecer um limite de proteção para a orla de Maricá, o Plano de Desenvolvimento Urbano do município implementou, em 1984, uma zona non-aedificandi. Contudo, a faixa definida nessa medida não ultrapassa a própria faixa de areia, sendo considerada totalmente inadequada para a proteção efetiva do litoral (LINS DE

BARROS, 2005). A Lei Complementar Nº 57, de 19 de março de 2007 especifica em seu Art. 41 que “Será considerada como ZNAM⁹ a faixa de 50 (cinquenta) metros ao longo do mar a partir da linha média da maré.”

É relevante ressaltar o papel desempenhado pela RJ-102 (Avenida Beira Mar) principal eixo viário da orla, que permitiu um rápido acesso por todo o litoral e consequentemente acentuou a ocupação nessa zona costeira. De acordo com uma análise histórica com o uso de imagens de satélite apresentada pela Prefeitura, observou-se que a expansão urbana no distrito de Itaipuaçu foi mais significativa a partir da década de 80, onde os loteamentos abertos na década de 1950, até então não ocupados, passaram para a condição de área urbana ocupada a partir da década de 2000 (MARICÁ, 2020). Portanto, a abertura de novos loteamentos não significou a formação rápida de ocupações na área de estudo.

Nesse sentido, a formação espacial em 1970 se resumia em pequenos trechos com loteamentos urbanos, delimitados por caminhos arenosos, sobretudo, no extremo leste da orla, próximo a APA de Maricá. Nas imagens aéreas deste ano foram identificadas apenas duas residências, uma no Recanto de Itaipuaçu e outra na atual Rua Oitenta e Três (mapas em escala de detalhe em anexo). Nas imagens áreas de 1970 também apresentam a ocupação e construção de residências nos primeiros lotes mais para interior, em cima da Barreira Pleistocênica.

A mudança nos padrões de uso e ocupação do solo pode facilmente ser observada, especialmente quando analisada quantitativamente a partir do mapeamento que analisou as paisagens nas décadas de 1970 e 2020 (Figura 29). O quantitativo do mapeamento de uso e ocupação do solo (Tabela 3) apresentou para a classe de Residência ou Quiosque, porcentagem de 0,06 hectares, compreendendo 0,02% da área de estudo, praticamente inexistente. Já em 2020, a mesma classe, constitui uma área de 65,37 hectares, com uma porcentagem em toda a área de estudo de 21,33%.

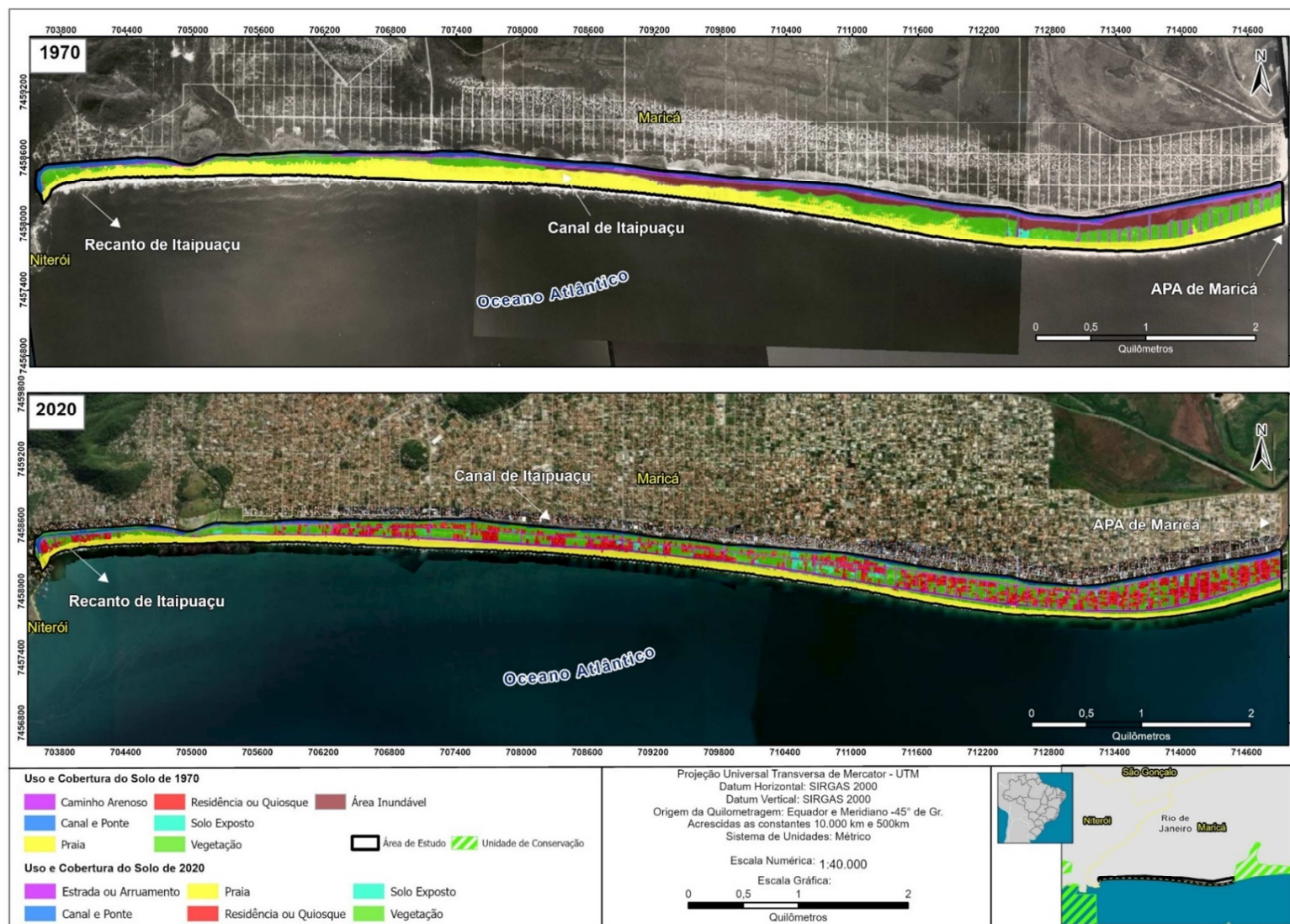
Em 2020, é possível observar um padrão de ocupação mais intenso nas proximidades da Área de Proteção Ambiental de Maricá (APAMAR). Existe um aumento na densidade de ocupação que é menos pronunciado nas áreas próximas ao Recanto de Itaipuaçu, onde a barreira de areia é mais estreita e apresenta algumas residências e quiosques próximos à praia. Essa configuração espacial de ocupação vai se intensificando gradualmente em direção ao outro extremo, próximo à APAMAR, onde há um padrão de ocupação caracterizado por lotes bem delimitados e uma faixa mais larga da barreira de areia. Isso indica que a ocupação atual

⁹ ZNAM - Zona *non-aedificandi* do mar

da orla de Itaipuaçu não ocorre de forma linear, mas aumenta no sentido oeste para leste ao longo da orla.

Nas imagens de 1970, é possível observar que os caminhos arenosos abertos para passagem, que em 2020 correspondem à Avenida do Canal e à Rua Oscar Niemeyer, apresentam deficiências em sua abertura em toda a área de estudo. Verifica-se o crescimento de vegetação em alguns pontos e a ocorrência de processos erosivos em determinadas áreas, especialmente nos loteamentos próximos à APAMAR. Além disso, a atual RJ-102, que era visível como uma rota ao longo da praia nas imagens de 1970, teve esse traçado apagado em muitos trechos devido aos processos costeiros em curso. Em certas áreas das imagens, é difícil identificar os caminhos arenosos devido à deterioração ao longo do tempo e ao baixo uso dessas vias. Atualmente, a RJ-102 contou com um processo de revitalização urbana de sua orla, que começou em 2019, com estacas pranchas sendo implantada para conter as consequências das ressacas do mar, incluindo a construção de um calçadão e ciclovia.

Figura 29: Mapeamento da ocupação do solo dos anos de 1970 e 2020.



Fonte: A autora, 2022.

Tabela 3: Quantitativo do mapeamento de uso e ocupação do solo para o recorte da área de estudo.

Uso e Cobertura do Solo em 1970			Uso e Cobertura do Solo em 2020		
Classes 1970	Área (ha)	%	Classes 2020	Área (ha)	%
Canal e Ponte	35,02	11,43	Canal e Ponte	28,33	9,24
Caminho Arenoso	27,41	8,94	Estrada ou Arruamento	43,37	14,15
Praia	131,26	42,83	Praia	69,52	22,68
Residência ou Quiosque	0,06	0,02	Residência ou Quiosque	65,37	21,33
Solo Exposto	0,96	0,31	Solo Exposto	4,18	1,36
Vegetação	74,35	24,26	Vegetação	95,71	31,23
Área Inundável	37,43	12,21	Total Geral	306,49	100,00
Total Geral	306,49	100,00			

Fonte: A autora, 2022

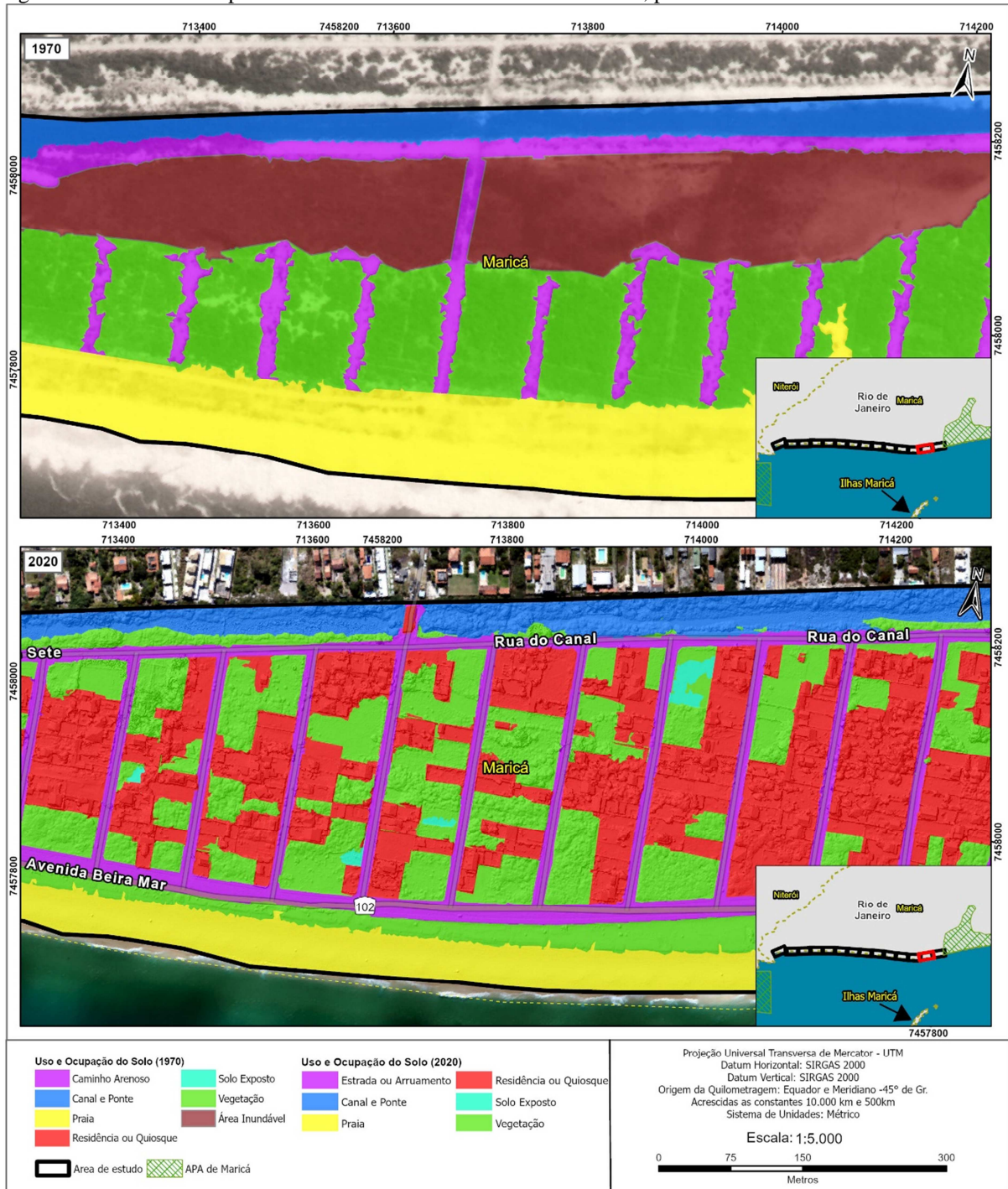
Conforme ilustrado na Figura 30, no extremo oeste da área de estudo, no Recanto de Itaipuaçu, é observada uma característica comum no padrão espacial de 1970, onde há a abertura de caminhos arenosos e quase inexistência de residências. Além disso, é possível identificar a delimitação entre a vegetação e a areia, com a vegetação costeira mais próxima do interior e uma praia mais ampla. Já em 2020, a ocupação mostra lotes vazios mais evidentes, com presença de vegetação e uma praia mais estreita. Há também a presença do canal de Itaipuaçu já nas imagens aéreas de 1970, que em 2020, pode-se observar um processo de assoreamento em alguns pontos desse canal.

A seguir, o mapeamento que retrata o trecho extremo Leste, adjacente à APAMAR (Figura 32 31), a configuração espacial é notadamente diferenciada no sentido de expansão urbana quando comparamos o período analisado na série histórica. As áreas que, em 1970, eram caminhos arenosos de loteamentos abertos, apresentam hoje um padrão de ocupação homogêneo, com uma parcela mínima de espaço não edificado.

Neste segmento, a barreira arenosa é mais ampla. Esse aumento da largura pode ser explicado pela presença do arquipélago das Ilhas Maricás, que exerce um papel de proteção, ainda que discretamente, contra a incidência direta das ondas de alta energia vindas do quadrante sul. Localizadas a uma distância aproximada de 5 km, a difração das ondas causadas por essas ilhas resultam em uma região de “sombreamento”, onde a baixa energia das ondas, comparada às áreas adjacentes, resultam em uma área de preferencial sedimentação. Esse fator contribui para uma largura mais substancial da barreira e também causa uma protuberância da linha de costa na forma de um arco reverso em direção ao arquipélago (vide Figura 27).

No ano de 1970, foi observada uma área de 37,43 hectares de área inundável, o que corresponde a aproximadamente 12,21% da área em estudo. Essa área corresponde à

Figura 31: Detalhe do mapeamento no extremo Leste da área em estudo, próximo a APA de Maricá



Fonte: A autora, 2022.

Conforme verificado no mapeamento de uso e ocupação realizado do ano de 2020, a orla de Itaipuaçu passa atualmente por um importante processo de expansão urbana, caracterizado por áreas com médio adensamento de construções, e recentes processos de ocupações. Esse processo ocorre principalmente devido ao estabelecimento e aprimoramento de modais viários e implementação de empreendimentos da indústria offshore no município e região. A maior demanda imobiliária e turística então altera a paisagem costeira já

parcialmente antropizada pelo estoque imobiliário restante do processo de loteamento da década de 50. Tal padrão se constitui por modelo horizontal (menos de quatro andares) em grande parte formada por residências.

É relevante destacar que ao longo de todo o litoral brasileiro há forte demanda de ocupação, e em Maricá o processo não se diferencia, ainda que não seja caracterizada uma região de alto padrão de ocupação comparada com outras cidades da RMRJ, como Niterói e a própria cidade do Rio de Janeiro. Contudo, essa situação chama atenção para os perigos costeiros e são desafios enfrentados nas diferentes tutelas governamentais e por parte das comunidades locais, que podem ser intensificados com o aumento das mudanças climáticas.

Conforme aponta Veyret (2015), a vulnerabilidade varia no espaço e no tempo, principalmente nas cidades, onde a transformação do espaço se dá de maneira mais acelerada. Um fato de atenção é que a ocupação na zona costeira, inicialmente era basicamente de um perfil voltado para veraneio, com ocupações de segunda residência. Com o passar do tempo, a ocupação do balneário foi direcionada para fins de habitação permanente. Isso levanta uma preocupação, uma vez que a população local, que agora reside permanentemente na área, se torna mais vulnerável aos perigos costeiros.

Portanto, diante do processo de consolidação urbana presente nesta região, emerge uma situação que coincide com a ausência de estudos relacionados à dinâmica fisiográfica dessa zona costeira, bem como à adequação do planejamento urbano local à tais condições. Situação essa que permite gerar processos de vulnerabilidade e riscos tanto para o ambiente geo-bio-físico dessa zona, quanto também para os aspectos socioeconômicos que estão em desenvolvimento.

Neste tipo de orla, o planejamento preventivo somado ao planejamento corretivo, a exemplo de medidas de cunho urbanístico com foco para ocupação futura ou em curso, se torna fundamental (PROJETO ORLA, 2002). Nesse sentido, os olhares dos poderes públicos precisam estar alinhados com as pesquisas científicas para encontrar o melhor caminho para o bem-estar social local, conservando a população livre dos riscos erosivos que são comuns de ocorrerem nessas áreas.

3.2 Análise física da área de estudo utilizando geoindicadores

A geomorfologia dos ambientes costeiros é modelada por diversos fatores geológicos e climáticos que operam sobre uma grande variedade de escalas. A frequência, intensidade e localização de processos físicos ou eventos são controlados por características regionais, como a estrutura geológica e a latitude, características locais específicas, como a composição e forma dos depósitos sedimentares e estrutura da cobertura vegetal (Bush et al., 1999). A suscetibilidade a eventos costeiros extremos é influenciada por vários critérios, incluindo controle estrutural, a exposição ao mar aberto, a elevação do terreno, a presença de barreiras naturais (ilhas, bancos de areia e dunas frontais), aporte sedimentar, a densidade populacional, e a falta de medidas de adaptação e mitigação entre outros aspectos. A seguir, contemplamos uma classificação dos indicadores propostos por (Bush et al., 1999). no que confere a suscetibilidade da área em estudo a eventos extremos costeiros consideradas mais consistentes para as análises que foram realizadas para a área em questão.

3.2.1 Elevação no topo da barreira

Neste indicador de elevação, como já mencionado na seção metodológica, foi realizada uma análise mais detalhada das áreas que se estendem desde a face da praia até o topo da barreira, que é a região diretamente exposta aos eventos extremos costeiros. Durante a análise do Modelo Digital de Terreno (MDT) em conjunto com o uso e ocupação do solo, observa-se que a estrada RJ-102 foi construída no topo da barreira arenosa (uma área com elevada altitude). Isso a tornou um dos pontos de referência para delimitação do limite da nossa análise.

Ao analisarmos a interseção entre o uso e ocupação do solo de 2020 e elevação no topo da barreira, podemos identificar áreas mais suscetíveis a eventos de tempestade, indicando que a ocupação humana não é recomendada ou deveria ser evitada nessas regiões. Dentro do parâmetro de alta suscetibilidade, destacam-se as maiores áreas ocupadas por Praia (65.190,43 hectares), seguido de Estradas ou Arruamentos (42,39 hectares), representando 99,90% e 0,06% da área de estudo, respectivamente.

No que diz respeito à suscetibilidade moderada, a Praia abrange uma área de 65.746,42 hectares (90,88%), seguida por Estrada ou Arruamento com 6.104,39 hectares (8,44%). Por fim, a baixa suscetibilidade também é predominante a classe de Praia, com 17.653,59 hectares (75,82%), Estrada ou Arruamento com 5.341,34 hectares (22,94%). Na Tabela 4, é possível observar esses quantitativos mencionados:

Tabela 4: Quantitativos da interseção do uso e ocupação do solo com elevação.

Classes	Área (ha)	% em relação a classe de suscetibilidade	% em relação a área total da face da praia até o topo da barreira
Baixa (> 6m)	23.284,72	100,00	14,47
Canal e Ponte	0,00	0,00	0,00
Estrada ou Arruamento	5.341,34	22,94	3,32
Praia	17.653,59	75,82	10,97
Residência ou Quiosque	16,15	0,07	0,01
Solo Exposto	4,18	0,02	0,00
Vegetação	269,45	1,16	0,17
Moderado (3-6 metros)	72.343,88	100,00	44,97
Estrada ou Arruamento	6.104,39	8,44	0,01
Praia	65.746,42	90,88	40,87
Residência ou Quiosque	9,60	0,01	0,01
Solo Exposto	4,18	0,01	0,00
Vegetação	479,29	0,66	0,30
Alta (< 3 metros)	65.253,02	100,00	40,56
Canal e Ponte	9,89	0,02	0,01
Estrada ou Arruamento	42,39	0,06	0,03
Praia	65.190,43	99,90	40,52
Residência ou Quiosque	7,47	0,01	0,00
Vegetação	2,84	0,00	0,00
Total Geral	160.881,63	100,00	100,00

Fonte: A autora, 2022.

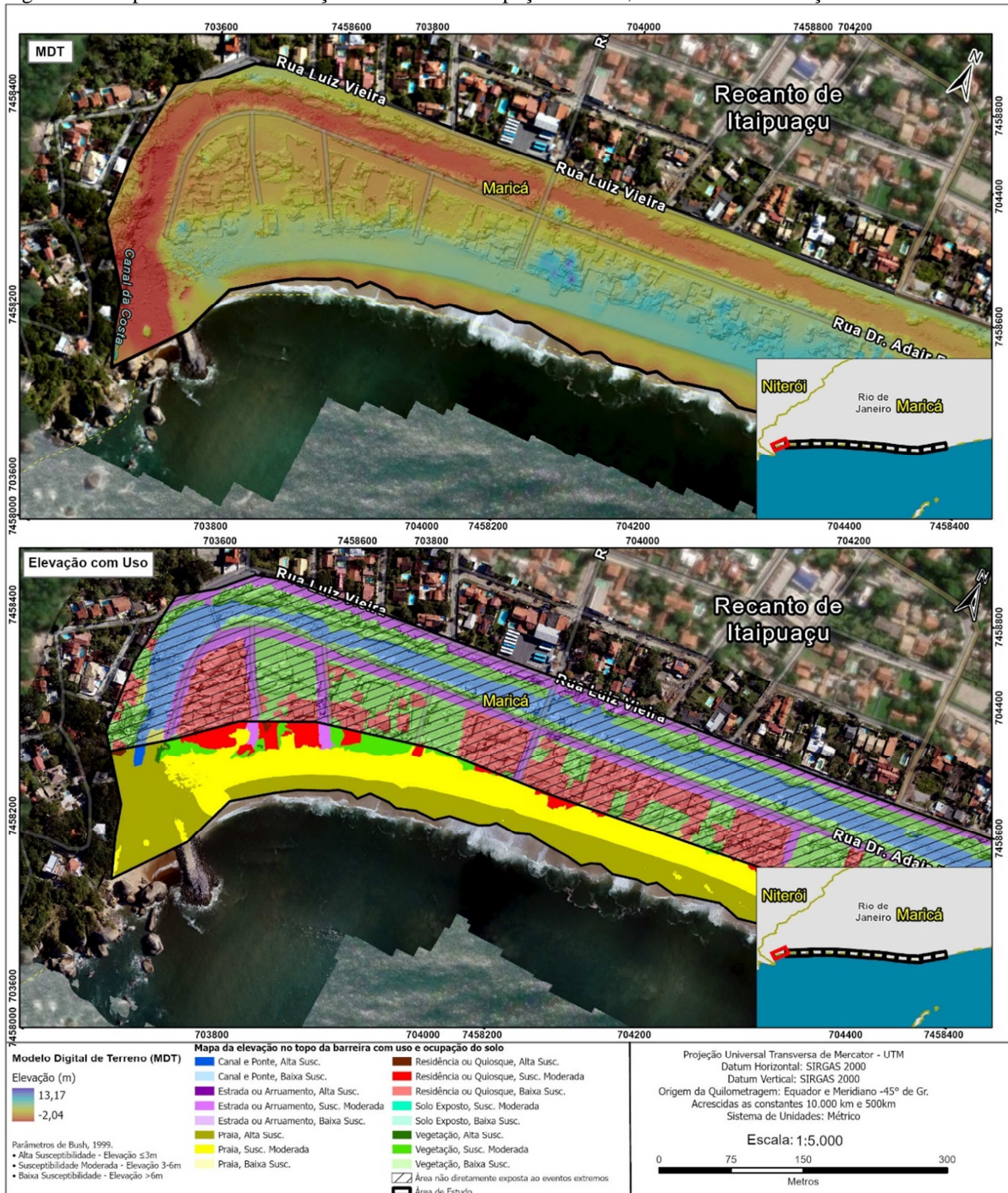
É importante retornar ao conceito de suscetibilidade discutido no referencial teórico, conforme apontado por Girão et al., (2018). A suscetibilidade refere-se à probabilidade de ocorrência de um determinado fenômeno, independentemente dos fatores sociais, embora a sociedade possa influenciar esse processo. Nesse contexto, as áreas da praia, estradas e arruamentos estão mais expostas a eventos de tempestades costeiras de acordo com este indicador, uma vez que estão localizadas em altitudes mais baixas.

É relevante destacar que, conforme ilustrado na Figura 32, as classes de residência ou quiosque no Recanto de Itaipuaçu são classificadas como tendo suscetibilidade moderada, devido à sua elevação variando entre 3 a 6 metros. Essas áreas estão localizadas em locais

com riscos potenciais significativos para a ocupação humana. Outras classes como Vegetação também apresentam suscetibilidade moderada nesse trecho, sendo importante priorizar a não ocupação dessas áreas próxima ao Recanto de Itaipuaçu.

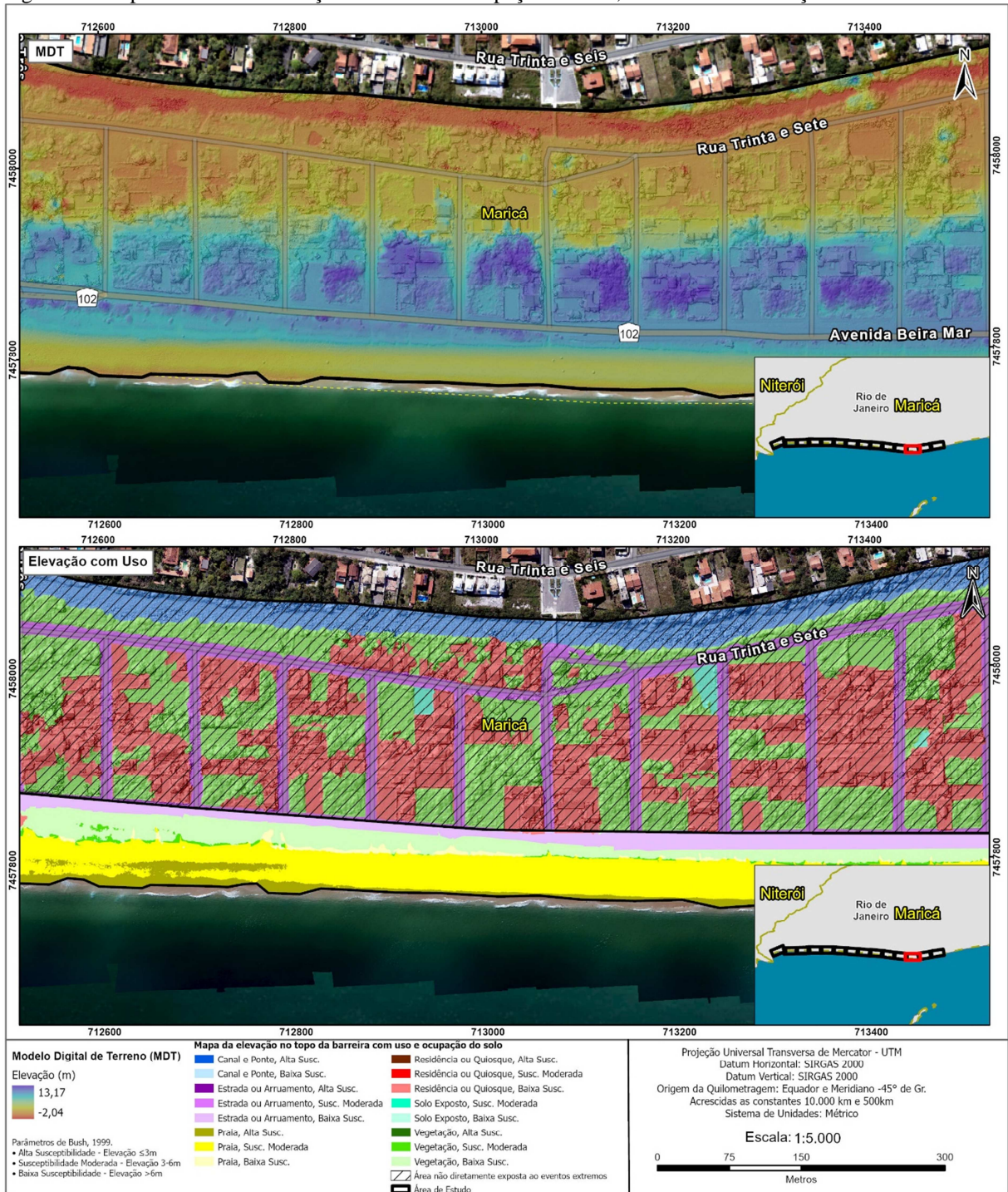
À medida que se aproxima da Área de Proteção Ambiental (APA), observa-se uma diminuição gradual da suscetibilidade, visto que as elevações são mais altas nesses trechos, conforme mostrado na Figura 33. Foram produzidos mapas em escala de detalhe para toda a Orla de Itaipuaçu, que apresentam a elevação no Modelo Digital de Terreno (MDT) e a interseção da elevação no topo da barreira com o uso e ocupação do solo. Esses mapas podem ser visualizados nos anexos.

Figura 32: Mapa do MDT e interseção com o uso e ocupação do solo, folha 01 da articulação.



Fonte: A autora, 2022.

Figura 33: Mapa do MDT e interseção com o uso e ocupação do solo, folha 12 da articulação.



Fonte: A autora, 2022.

3.2.2. Vegetação

No resultado das análises da vegetação na área de estudo, é possível observar um padrão de gramíneas predominantes próximas à praia, com a vegetação de restinga prevalecendo e ausência de espécies não-nativas. Ao longo dos anos, devido ao processo de ocupação, áreas vegetadas foram desmatadas para a construção de residências (Figura 34 e 35). Os dados de uso e ocupação do solo revelaram que, em 1970, 24,26% da área em estudo era composta por vegetação, sendo essa a segunda classe com maior representatividade naquele ano. Em 2020, a área vegetada aumentou para 31,23%. Essa expansão da vegetação em direção à praia é perceptível nas diferentes imagens, com um deslocamento da linha de alcance máximo das ondas nessa direção. Além disso, observou-se o surgimento de mata ciliar ao longo do canal.

Figura 34: Orla de Itaipuaçu em 1950, vista para a Pedra do Elefante.



Fonte: COMINAT S/A Empreendimentos e Consultoria, 1950.

Figura 35: Orla de Itaipuaçu em 2020, vista para a Pedra do Elefante



Fonte: A autora, 2022.

A vegetação desempenha um papel importante como barreira contra a ação de eventos extremos na costa. Portanto, a manutenção contínua de sua existência é fundamental. Com base nos resultados obtidos, essa costa pode ser classificada como uma costa com gramíneas e arbustos bem estabelecidos, sendo considerada uma área de suscetibilidade moderada de acordo com esse indicador.

3.2.3 Taxa de erosão

De acordo com Silva (2006), ao longo das últimas três décadas (1970 a 2003), essa costa tem sido caracterizada por uma intensa dinâmica morfológica dos depósitos sedimentares das praias emersas. Durante o inverno, ocorre um rápido estreitamento em resposta às ações das ondas de tempestade predominantes do quadrante sul-sudoeste. No entanto, há também uma rápida recuperação sob a influência das ondas construtivas, o que evidencia uma alta dinâmica na área de estudo, tornando-a suscetível a variações hidrodinâmicas. Com base nos estudos conduzidos por Silva (2006), foi constatado um processo estável da dinâmica sedimentar na orla de Itaipuaçu. Dessa forma, a costa apresenta

uma suscetibilidade moderada aos eventos extremos, seguindo os parâmetros estabelecidos por Bush (1999) para esse indicador.

3.2.4 Largura da praia, configuração e espessura

A Figura 36 apresenta, apenas como exemplificação, a distribuição da distância entre os pontos do contato úmido/seco e máximo alcance das ondas. (próximo a vegetação ou infraestruturas rígidas) em um recorte dos ortofotomosaicos da área. O ponto mais estreito é o restaurante Espaço Água Viva, com 34,83 metros (próximo ao ponto de bombeiros) e o ponto de maior largura localizado na foz do canal de Itaipuaçu, com 119,31 metros.

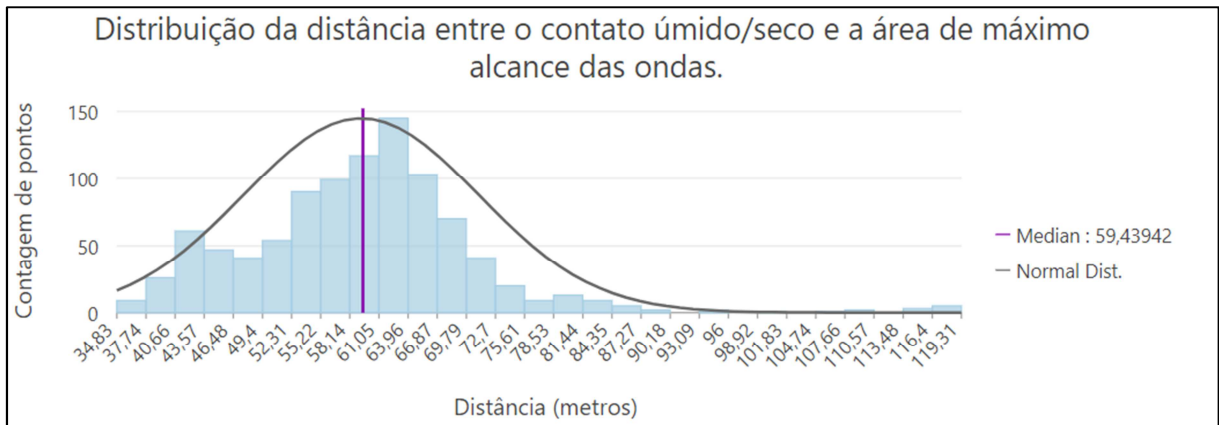
Figura 36: Ponto identificado mais curto entre o contato úmido e seco e construções.



Fonte: A autora, 2023.

As correntes de deriva litorânea prevalecem em direção oeste, de acordo com a maior frequência de ondas de tempo bom que resulta numa obliquidade da incidência das ondas de sudeste. Esse processo causa um alargamento da praia no extremo oeste (SILVA, 2006). Conforme classificação metodológica, a média de largura da praia nas datas do campo de levantamento aerofotogramétrico, teve um resultado de 59,44, tendo um resultado de baixa suscetibilidade para esse parâmetro (Figura 37).

Figura 37: Gráfico da distribuição da distância entre o contato úmido /seco e a área de máximo alcance das ondas.



Fonte: A autora, 2023.

É importante destacar a fragilidade desse indicador, uma vez que a largura da praia é altamente variável ao longo do dia, devido às mudanças entre preamar e baixamar, e está sujeita a alterações significativas devido às condições meteoceanográficas, como o tempo bom e tempestades. As imagens do levantamento realizado em 2020, utilizadas para analisar esse indicador, representam uma condição específica em um determinado momento. No entanto, esse indicador ainda é útil para observar as áreas da praia que variam em largura ao longo de todo o seu extenso arco.

Novamente, estudos realizados por Silva (2006), utilizando sobreposição de perfis topográficos na praia, juntamente com os dados de perfis coletados por Santos e Silva (2005), Santos (2000) e Muehe (1975), constatou que existe uma variação morfológica expressiva por toda a orla. No extremo oeste da Orla de Itaipuaçu com alta variabilidade, sobretudo entre o inverno de 2004 e o verão de 2005. Por outro lado, no extremo oposto da orla, próximo à APA de Maricá, a variação morfológica e largura de praia é mais sutil. Com isso, a variação morfológica é alta próximo ao Recanto de Itaipuaçu, e vai diminuindo ao longo da orla, até a APA de Maricá.

3.2.5 Configuração das dunas (parâmetro de linha de costa e interior)

Com base em imagens aéreas de 2020 e observações de campo, não há presença de dunas na área de estudo. Essa configuração ocorre devido à ausência de sedimentos finos e a uma orientação da linha de costa que não permite um transporte adequado dos sedimentos para a formação de dunas após a praia. A presença de dunas é uma característica importante

para o estoque de areia e proteção do continente contra a ação das ondas. Portanto, a área de estudo é classificada como altamente suscetível a eventos extremos, para estes parâmetros de Bush (1999).

3.2.6 Overwash

Estudos realizados por Silva; Silvestre (2017), Silva et al., (2018a) e Silva et al., (2018b), em relação a ocorrência de tempestades no município de Maricá, identificaram que o processo de sobrelavagem sobre a barreira arenosa costeira (*overwash*). Esse processo ocorre quando o nível da água sobrepõe a crista das dunas frontais ou o topo da restinga (SALLENGER, 2000), erodindo a porção frontal e formando depósitos sedimentares a sua retaguarda, chamados de leques de arrombamento (*washover fan*). Esses processos de transposição de ondas estão diretamente associados a eventos de alta energia como tempestades extremas de inverno. Com isso, podem ser considerados como indicadores para o registro de tempestades intensas em escala de tempo atual pelos leques de arrombamentos, e também numa escala de tempo geológico (DONNELLY et al., 2004; BOGGS JR., 2006), podendo ser identificados através de registros estratigráficos da barreira. Com isso, para esse parâmetro, a área de estudo apresenta alta suscetibilidade a eventos extremos.

3.2.7 Estruturas de engenharia

Para este indicador, o parâmetro de análise é a existência de estruturas de engenharia instaladas para proteger a orla contra eventos de tempestade. Na área de estudo, foi realizado um processo de revitalização da orla de Itaipuaçu, iniciado em 2019, se estendendo por toda a orla (Figura 38), exceto no Recanto de Itaipuaçu, sendo o único trecho da orla que não passou pelo processo de revitalização. O objetivo do projeto era realizar a pavimentação, com a via principal com cerca de 8 metros de largura, um calçadão (4,5 metros), e uma ciclovia (2,30 metros), além da iluminação. E a instalação longitudinal de estacas-prancha para proteger a orla da ação das ondas.

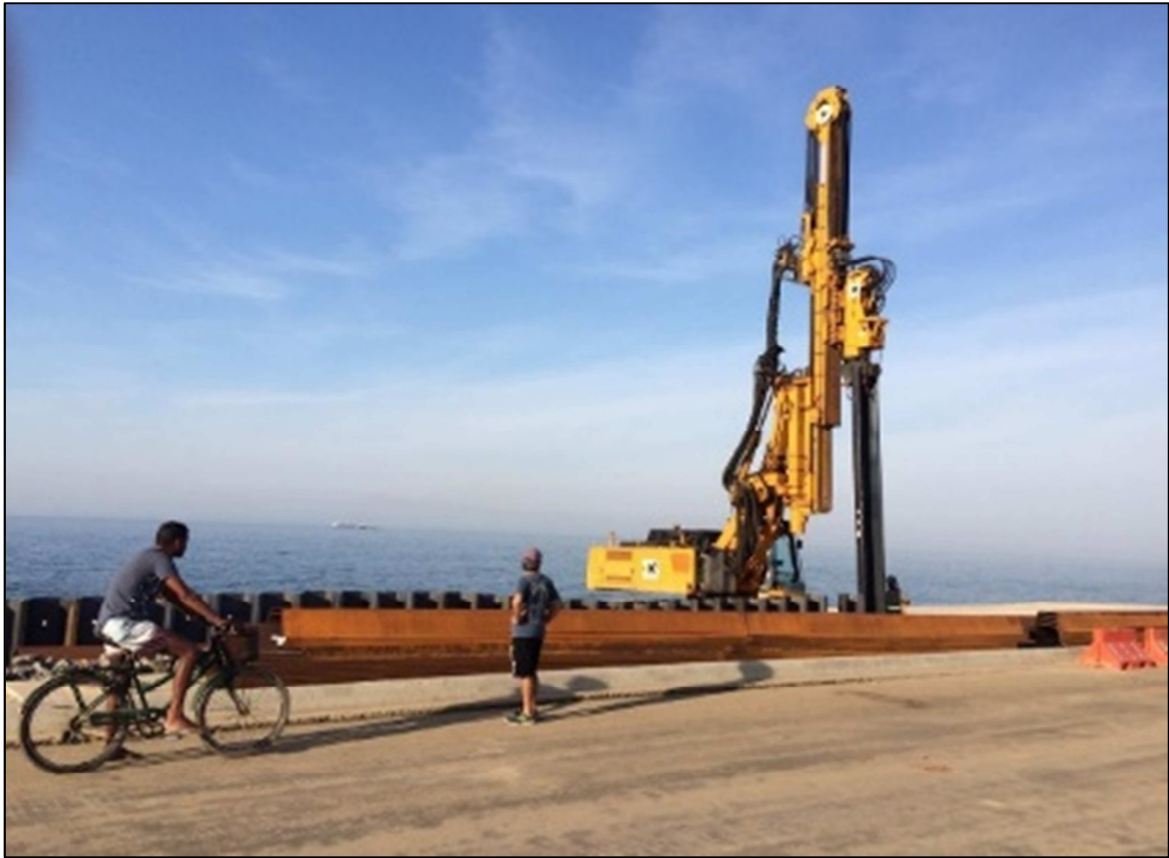
As chapas onduladas (Figura 39), foram alinhadas em uma extensão total de 510 metros, conforme levantamento de dados em campo, o estaqueamento começa logo no início da revitalização da orla próximo à Rua Nossa Senhora Aparecida, até a altura do Condomínio Atlântico. Essas estruturas foram projetadas para resistir aos impactos das ondas e possuem um comprimento de 12 metros. Além disso, a presença das Ilhas Maricás atua como uma contenção natural em caso de ressacas, evitando que a orla fique exposta às ondas fortes, como mencionado anteriormente. No entanto, durante o processo de instalação, a obra sofreu danos duas vezes devido à incidência de ressacas.

Figura 38: Orla de Itaipuaçu em setembro de 2023, revitalizada



Fonte: A autora, 2023.

Figura 39: Estacas-prancha sendo instaladas na orla de Itaipuaçu para contenção de ressacas, em setembro de 2019.



Fonte: A autora, 2019.

A instalação de estruturas de engenharia rígidas para conter os impactos de tempestades e os danos causados aos equipamentos urbanos da orla é um indicador de que a área é suscetível a esses eventos. No entanto, é importante observar que essas estruturas também causam impactos e mudanças na dinâmica sedimentar local. Segundo Bulhões (2020), essas estruturas, por serem paralelas e enraizadas na costa, não permitem a retenção da circulação longitudinal, resultando na perda contínua de sedimentos devido à ação oblíqua das ondas. Consequentemente, o contato das estruturas com o espraiamento das ondas leva a um aumento no transporte transversal de sedimentos devido ao efeito de reflexão das ondas na estrutura.

De acordo com a USACE (2011), esse efeito pode aumentar a velocidade do fluxo e o transporte de areia, resultando na perda sazonal ou até mesmo permanente da praia (PILKEY; WRIGHT, 1988). Essas informações destacam a importância de considerar não apenas a proteção contra eventos extremos, mas também os impactos na dinâmica costeira ao implementar estruturas de engenharia rígidas. Para esse indicador, a orla apresenta alta suscetibilidade a perigos associados a eventos extremos.

A matriz abaixo (Figura 40), apresenta os indicadores que demonstram a suscetibilidade da orla a perigos costeiros. Dos 7 indicadores avaliados, foram identificados 4 indicadores com grau moderado de suscetibilidade, incluindo elevação, vegetação, taxa de erosão e largura da praia (configuração e espessura). Além disso, foram identificados 3 indicadores com alta suscetibilidade, que são a ausência de dunas, *overwash* e presença de infraestruturas de engenharia.

Figura 40: Matriz de risco na orla de Itaipuaçu

ID	Indicador	Alta Suscetibilidade	Suscetibilidade moderada	Baixa Suscetibilidade
		1	Elevação	
2	Vegetação		X	
3	Taxa de erosão		X	
4	Largura da praia, configuração e espessura			X
5	Configuração das dunas (parâmetro de linha de costa e interior):	X		
6	Overwash	X		
7	Estruturas de Engenharia	X		

Fonte: A autora, 2022.

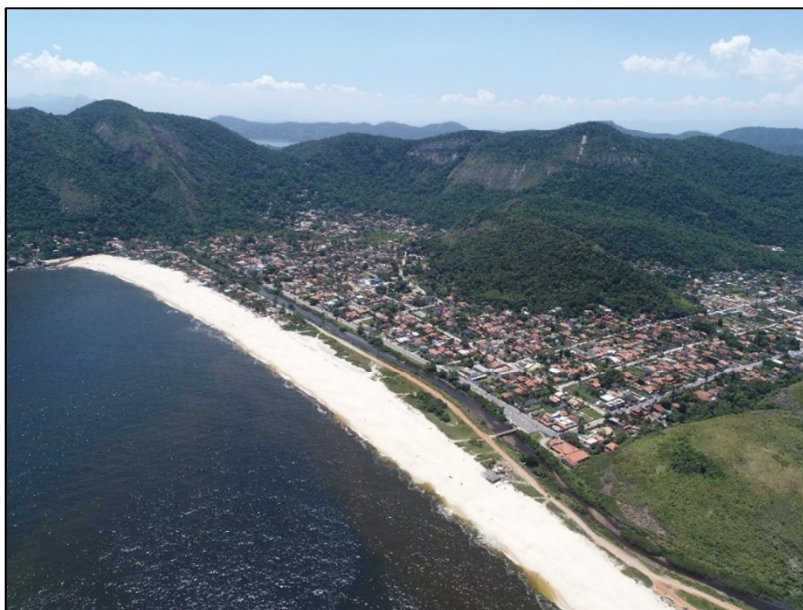
Com base nos resultados desses indicadores, é possível concluir que a orla de Itaipuaçu apresenta um risco alto e médio para ocupações. A maioria das variáveis analisadas indica a necessidade de uma abordagem cautelosa no planejamento e desenvolvimento da área, levando em consideração as medidas de proteção costeira e a gestão sustentável para minimizar os riscos associados aos perigos costeiros. No próximo capítulo, será analisado mais a fundo a integração desses indicadores espacializados em mapas, utilizando álgebra de mapas e adotando o método da lógica *fuzzy*.

3.3 Análise da vulnerabilidade

A existência de vegetação tem um papel importante no pós-praia e desempenha um fator de proteção da orla. Sem a vegetação natural do ambiente, os impactos de tempestades podem ocorrer diretamente sobre estruturas urbanas. Conforme aponta

Figura 41, a ausência total de vegetação no pós-praia é percebida no extremo oeste do Recanto de Itaipuaçu, e do Morro da Peça até próximo à Rua Professor Cardoso de Menezes.

Figura 42: Ausência de vegetação no pós-praia no Recanto de Itaipuaçu, com presença de residências e vegetação estreita até o Morro do Peça.



Fonte: A autora, 2020.

Figura 43: Presença de vegetação no pós praia no extremo leste da Orla de Itaipuaçu, próximo a APA de Mariça, com largura de até 60 metros.



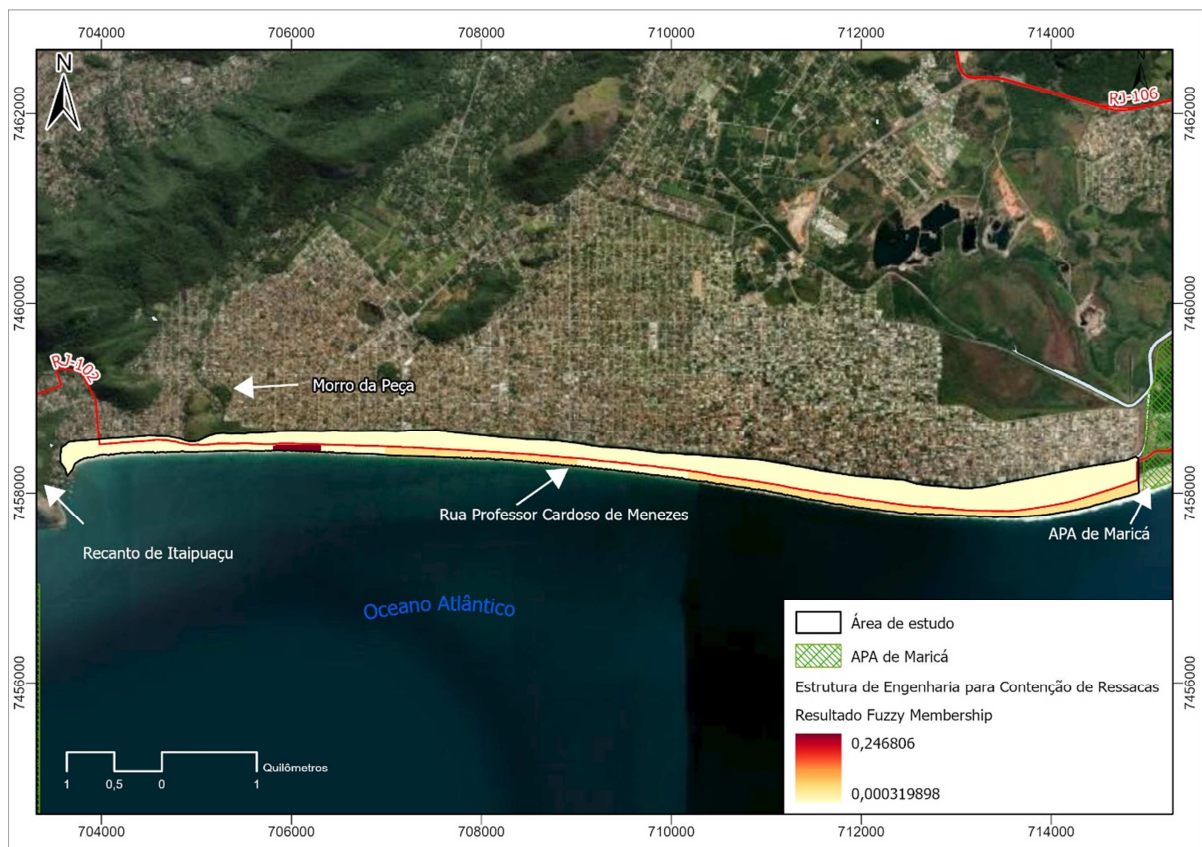
Fonte: A autora, 2023.

Conforme mencionado, as estruturas de engenharia rígidas representam um meio adicional de defesa contra os efeitos erosivos e os impactos das ondas. No entanto, é importante destacar que a implementação dessas estruturas pode acarretar consequências substanciais para a dinâmica costeira e os ecossistemas locais. A Figura 44 apresenta resultado do grau de pertinência para esta variável. No Recanto de Itaipuaçu, não existem

estruturas de engenharia de pavimentação na área pós-praia, sendo ocupadas em sua maior parte por residências.

As áreas da orla com estrutura do tipo estaca prancha estão implantadas ao longo de cerca de 510 metros paralelos à orla (área escura no mapa). A maioria da extensão da orla corresponde ao revestimento da pavimentação e urbanização, com pedras e cimento para proteção do calçadão, estendendo-se até o final da orla, próximo à APA. Em alguns trechos, não há calçadão, sendo implementadas apenas ciclovia e caminho para pedestres. A Figura 45, Figura 46, Figura 47, e Figura 48 apresentam imagens de trechos da revitalização da orla.

Figura 44: Resultado do grau de pertinência para estrutura de engenharia para contenção de ressacas



Fonte: A autora, 2023.

Figura 45: Trecho da orla com ciclovia e caminho para pedestres, sem calçamento e com proteção de restinga.

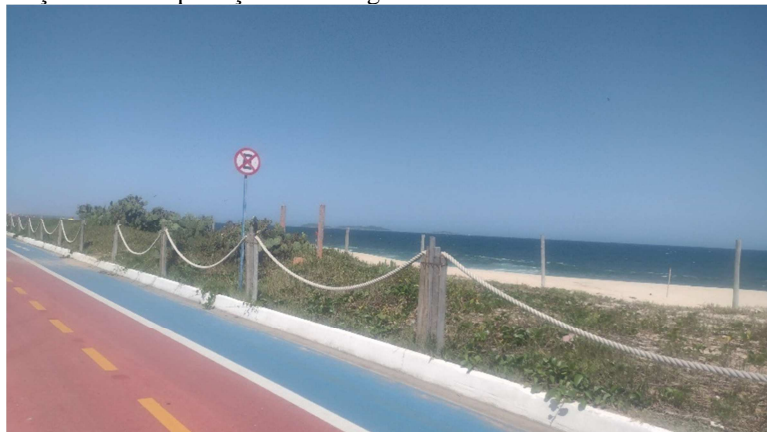


Figura 46: Trecho com presença de calçamento e pavimentação com pedras.

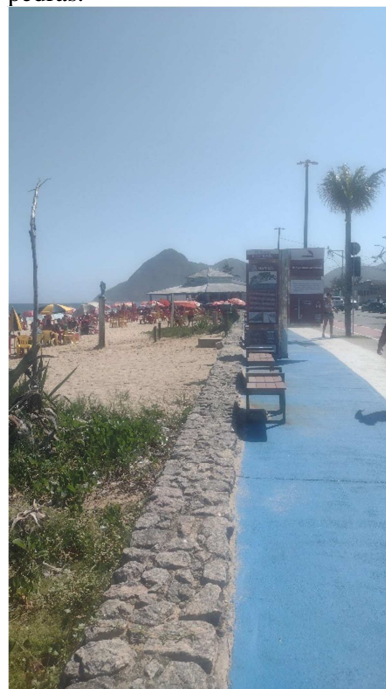
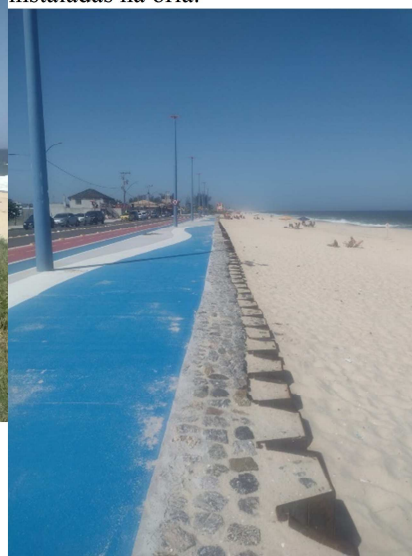


Figura 47: Ciclovia e caminho para pedestres, sem calçamento



Figura 48: Estacas-pranchas instaladas na orla.

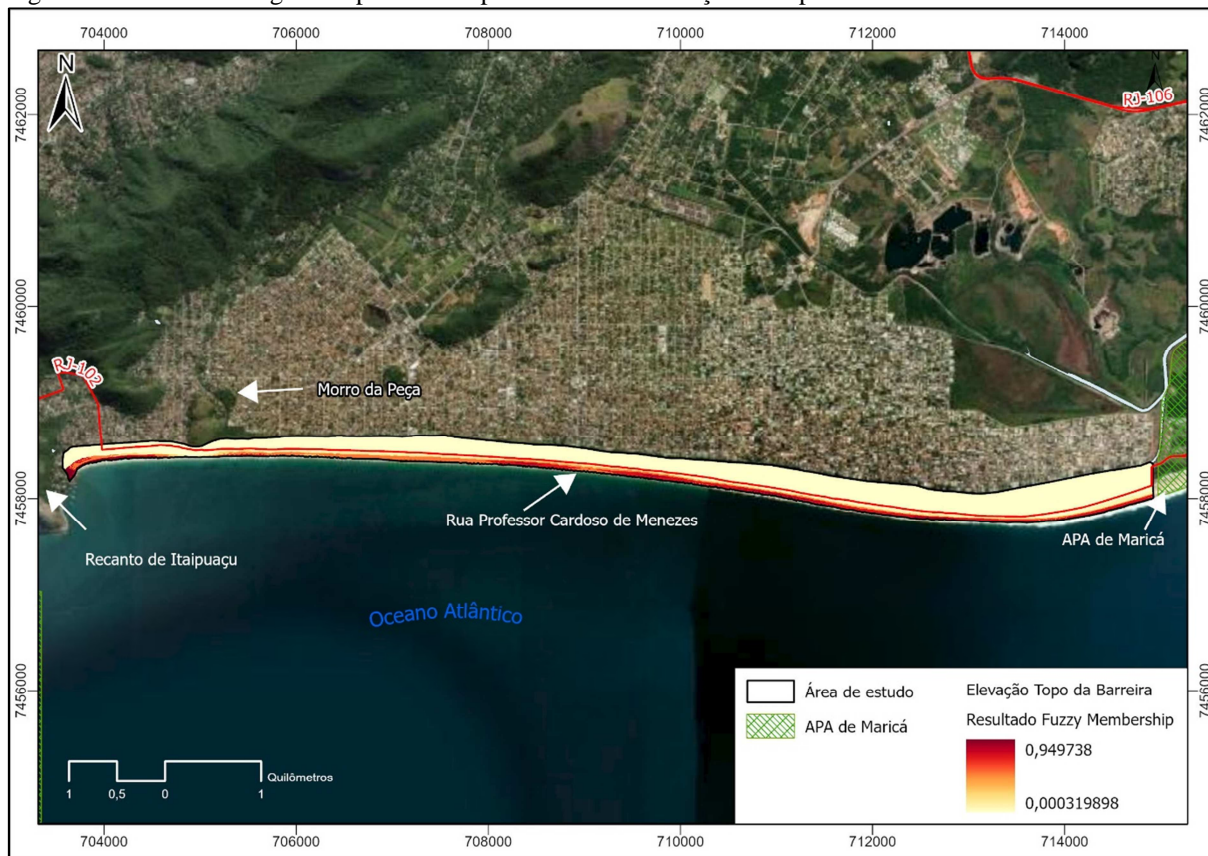


Fonte: A autora, 2023.

Conforme mencionado anteriormente, a elevação de um local é um fator determinante na suscetibilidade a eventos extremos. A Figura 49 apresenta o resultado do grau de pertinência da variável "elevação do topo da barreira". As áreas de maior grau de pertinência correspondem às regiões mais baixas próximas à praia, e a elevação aumenta gradualmente à medida que se avança para as partes mais interiores da área em estudo, incluindo áreas de alta

suscetibilidade, como parte da vegetação e das residências do Recanto de Itaipuaçu. Após o Morro da Peça, no sentido leste da costa, o gradiente de elevação torna-se mais proeminente e bem delimitado, indo da praia para o interior, com alto grau de pertinência apenas nas áreas da praia e vegetação.

Figura 49: Resultado do grau de pertinência para a variável elevação do topo da barreira.



Fonte: A autora, 2023.

A compreensão da vulnerabilidade é influenciada pelos processos de uso e ocupação, os quais fornecem percepções sobre as áreas que incorporam elementos tanto da paisagem natural quanto daquela moldada pela atividade humana. A Figura 50 ilustra os graus de pertinência associados à variável de uso e ocupação do solo. Nessa representação, é possível identificar que as localidades com residências e quiosques apresentaram uma maior relevância no conjunto *fuzzy*, enquanto as estradas e o arruamento detiveram uma relevância moderada. Por outro lado, as áreas de vegetação, praia, canal e ponte mostraram um grau de pertinência menor em relação à vulnerabilidade.

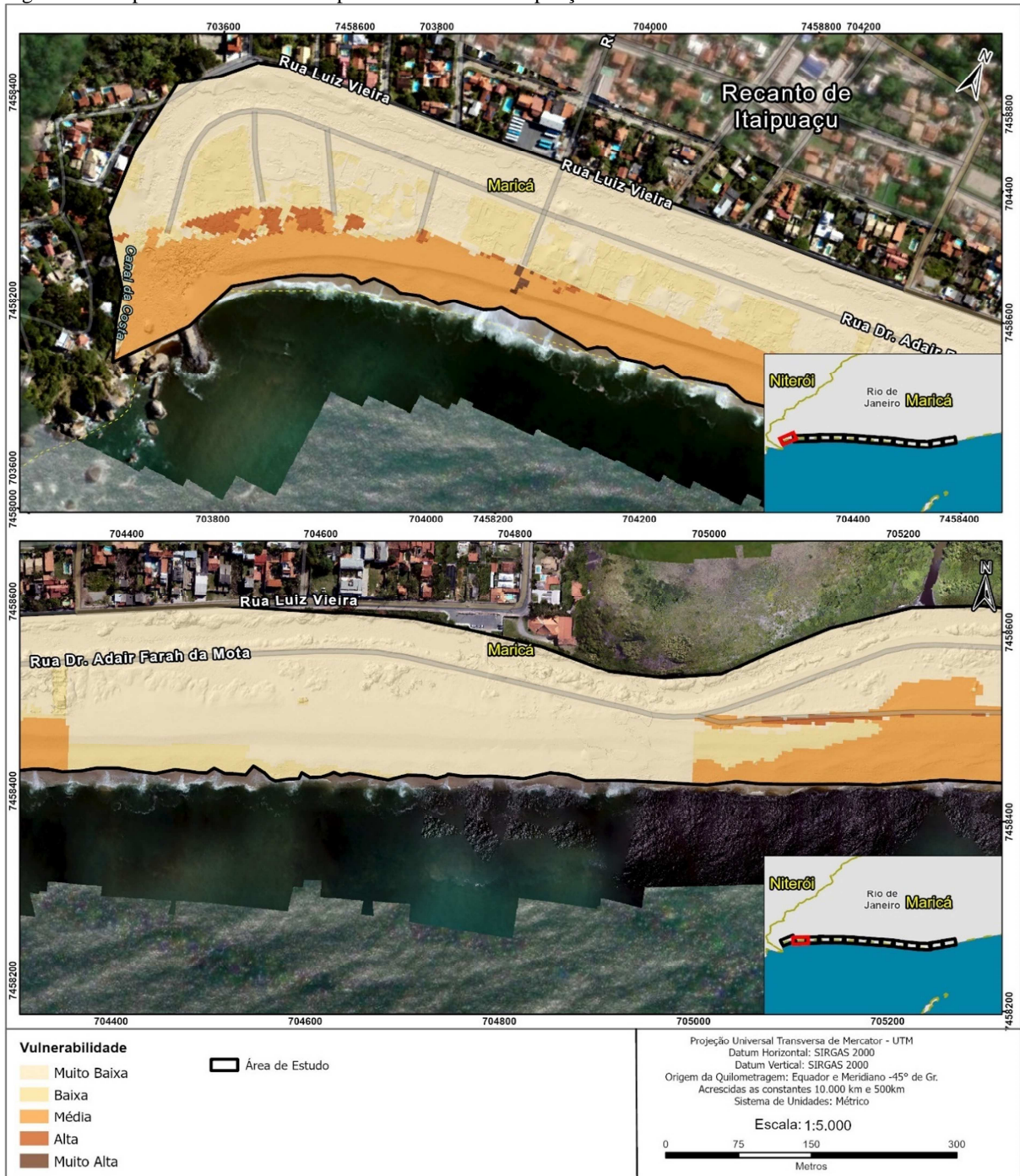
Figura 50: Resultado do grau de pertinência para o uso e ocupação do solo 2020.



Fonte: A autora, 2023.

A integração das camadas para gerar os resultados de pertinência (*fuzzy overlay*) é demonstrada nos mapas de vulnerabilidade subsequentes. A Figura 51 exibe a avaliação dos primeiros segmentos da orla de Itaipuaçu, indicando níveis de vulnerabilidade muito alta, alta e média. O foco está em áreas que apresentam residências posicionadas no topo da barreira, além da ausência de vegetação na zona costeira adjacente.

Figura 51: Mapa da Vulnerabilidade para o Recanto de Itaipuaçu.

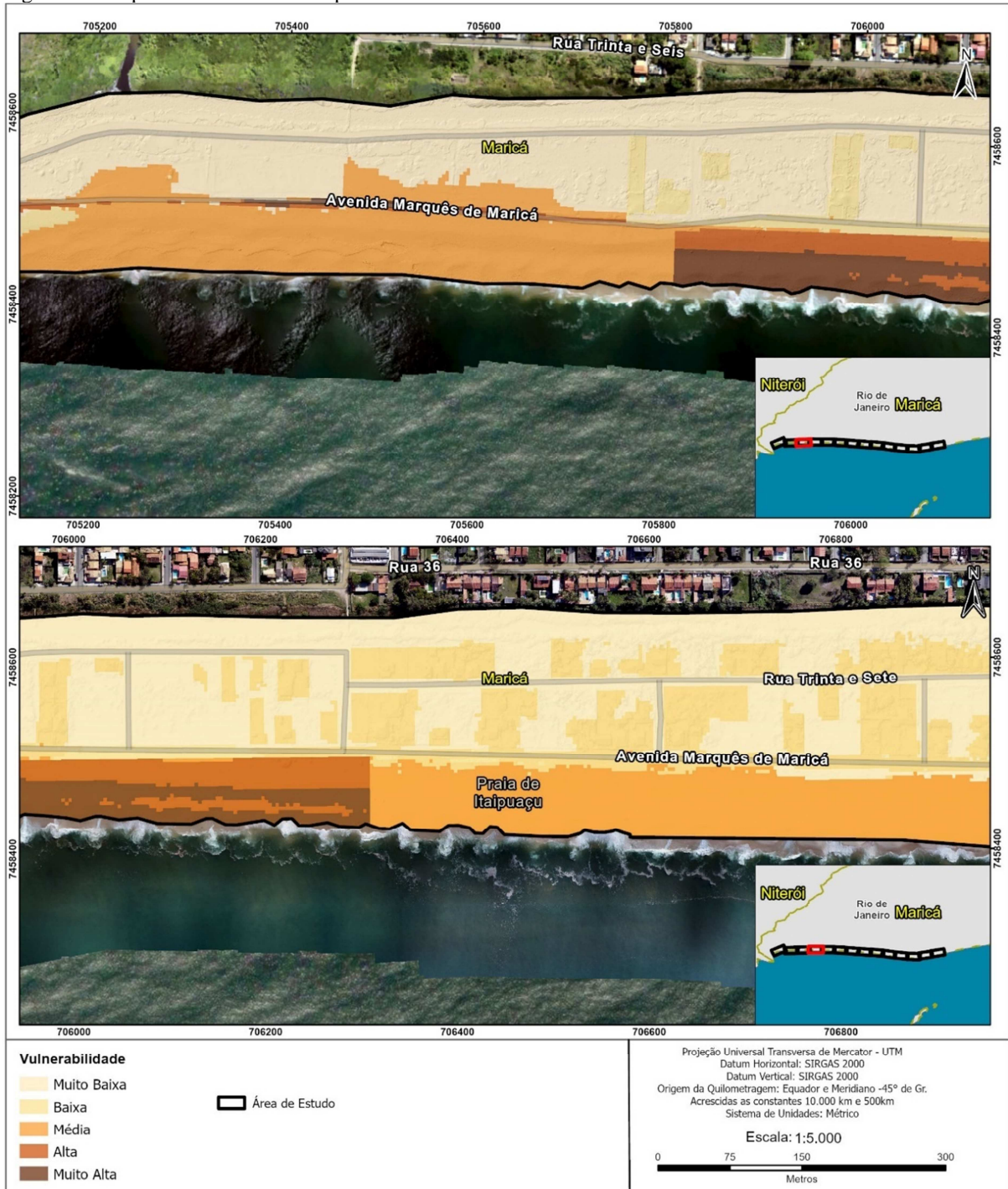


Fonte: A autora, 2023.

Na Figura 52, são destacadas as regiões com vulnerabilidade muito alta, alta e média para o terceiro e quarto trecho da área de estudo. O uso e ocupação do solo, além da sobreposição de características como baixa elevação, falta de vegetação no pós praia e a presença de estruturas de engenharia rígida, fator este que têm o potencial de influenciar significativamente a dinâmica sedimentar local, são variáveis que foram combinadas usando o *fuzzy overlay*. Nesta seção específica, não se encontram residências nem quiosques em áreas

de maior vulnerabilidade. No entanto, uma parte da Avenida Marquês de Maricá está situada em uma zona de vulnerabilidade moderada a alta, devido à sua baixa elevação e à ausência de vegetação, que normalmente atua como fator de proteção contra as ondas de tempestade.

Figura 52: Mapa de Vulnerabilidade para as folhas 03 e 04 da área de estudo.



Fonte: A autora, 2023.

Cabe ressaltar a importância de uma atenção especial à exposição do Recanto de Itaipuaçu aos eventos extremos de tempestades costeiras, onde áreas de ocupação foram classificadas pelo modelo como de Muita Alta e Alta Vulnerabilidade. Embora não seja uma área de ocupação intensiva, como o leste da orla, ainda é possível identificar a presença de residências e quiosques construídos no topo da barreira arenosa, além da ausência de vegetação na área pós-praia, que é uma proteção crucial para as áreas adjacentes. Este é um local que deve ser prioritário nas políticas de proteção e mitigação desses eventos. Cinco quiosques ao longo da orla também foram classificados como de vulnerabilidade alta e muita alta.

No estudo conduzido por Muehe; Corrêa (1989), apud Muehe (2011), a praia de Itaipuaçu já era classificada como apresentando risco moderado, com um trecho no Recanto de Itaipuaçu classificado como de risco elevado. O autor resalta que, na região oeste da praia de Itaipuaçu, onde ocorre um recuo da linha da praia estimado em cerca de 13 metros, é comum a ocorrência de transposição da barreira por ondas (*overwash*), juntamente com uma notável variação no formato do perfil da praia ao longo do tempo.

O mapa de vulnerabilidade das folhas 03 e 04 da área de estudo (Figura 52) indica que o trecho com estacas prancha é classificado como de alta vulnerabilidade. De fato, embora não tenham sido identificadas residências ou quiosques em áreas de risco, as estruturas de engenharia, como as estacas prancha, desempenham um papel na proteção da orla, ao mesmo tempo em que indicam que esta é uma área frequentemente sujeita a eventos extremos de tempestade costeira. Além disso, ao longo do tempo, essas estruturas podem afetar a dinâmica sedimentar local, levando a uma possível perda de sedimentos para áreas adjacentes. Esse fato, pode comprometer as classes vizinhas, como estradas e a própria ocupação para moradias.

Ao analisar a extensão da Orla de Itaipuaçu no sentido leste (conforme indicado nos mapas anexos), é evidente que os resultados do modelo classificam a vulnerabilidade como média e baixa apenas para área de praia. Alguns indicadores explicam por que essa parte da orla apresenta uma vulnerabilidade mais baixa, incluindo uma maior elevação no topo da barreira, a presença de vegetação no pós-praia e uma praia mais larga nesse trecho, sendo impulsionado pela proteção costeira fornecida pelas Ilhas Maricás a essa parte específica da orla.

Estudos realizados por Lins de Barros (2005) mostram que a praia de Itaipuaçu apresentou variação na estabilidade local, que pode ser muito elevada ou elevada devido à presença de vegetação densa ou esparsa, e granulometria grossa ou muito grossa. Após a

ressaca ocorrida em 2001, houve uma desvalorização da área devido à destruição de quiosques, casas e ruas. Em relação a percepção da comunidade local diante do ocorrido, em 2005, moradores afirmaram que as casas estavam se valorizando novamente devido ao intenso crescimento urbano.

Lins de Barros (2005) ainda aponta que em 1996, ocorrem ressacas severas, que causaram danos à Avenida Litorânea e a muros de casas, nove imóveis foram abandonados e o valor das casas na época caiu de R\$ 25 mil para R\$ 5 mil. No entanto, após um determinado período de tempo, a tendência de valorização das propriedades da orla foi retomada. Em Itaipuaçu, após 20 anos das fortes ressacas, o processo de valorização é uma realidade. Portanto, a menos que ocorra outra tempestade excepcionalmente forte, esperava-se que toda a orla continue em processo de valorização.

Conforme discutido por Veyret (2015), o risco está intrinsecamente ligado a eventos destrutivos que têm o potencial de afetar a sociedade, surgindo quando a coletividade humana está exposta a perigos. Este estudo se concentrou em analisar os riscos e vulnerabilidades nas áreas que atualmente apresentam ocupação, como é o caso da Orla de Itaipuaçu, que continua a passar por um processo de ocupação e implantação de infraestruturas rígidas. As áreas identificadas com vulnerabilidade média no Recanto de Itaipuaçu poderiam facilmente evoluir para uma situação de vulnerabilidade muito alta se a construção de novas residências no topo da barreira for continuada.

Quanto à vulnerabilidade, abordando novamente o conceito de Veyret (2015), estamos avaliando o potencial de danos que podem afetar alvos, como estruturas físicas ou a própria população. Estudos anteriores têm demonstrado que infraestruturas e residências foram danificadas por eventos extremos de tempestades costeiras, principalmente nas áreas mais a oeste da Orla de Itaipuaçu. Portanto, é crucial discutir não apenas a vulnerabilidade, mas também a resiliência desses alvos e se estão preparados para enfrentar esses eventos.

Na revisão do zoneamento do plano diretor de Maricá (2021), a área de estudo, a orla de Itaipuaçu está localizado na Macrozona da Orla é enfatizado no seu §1º que é necessário levar em conta as condições de uso e ocupação do solo na Macrozona da Orla, considerando que a erosão marinha está diretamente ligada a ressacas severas e à perda da vegetação de restinga. Além disso, o estudo pontua que é importante reconhecer que a tendência de elevação gradual do nível do mar pode agravar a intensidade e a frequência desses eventos ao longo do tempo, potencialmente aumentando os riscos de desastres costeiros.

O texto do anteprojeto de lei da revisão do plano diretor, elaborado em 2021 (produto 09), para a seção que fala sobre o enfrentamento das mudanças climáticas está a promoção de

estudos em conjunto com a Defesa Civil para elaboração de um Plano Municipal de Redução de Riscos – PMRR que contemple “a. a identificação e delimitação precisa das áreas vulneráveis ao alagamento, áreas inundáveis, áreas sujeitas a deslizamento e aquelas atingidas diretamente pela erosão marinha, estabelecendo restrições à ocupação, promovendo o planejamento e a implantação de intervenções preventivas e adotando os mecanismos para controle e monitoramento das parcelas do território com risco de serem afetadas pelos desastres naturais” [...] c. a indicação de restrições, se for o caso, ao licenciamento urbanístico novos parcelamentos ou edificações em áreas vulneráveis ou de risco iminente; [...] f. a indicação de programação de campanha pública e atividades de educação ambiental permanentes sobre a ocupação das áreas de risco e a manutenção de boas práticas pela população, a fim de evitar o agravamento dos efeitos dos eventos climáticos extremos.”

Além disso, também é previsto a implantação de um projeto para renaturalização da frente marítima do Município que contemple o estabelecimento de faixas “*non aedificandi*” ao longo da orla de Maricá, de forma a reconstituir a vegetação de restinga original e parar o processo de erosão marinha em progressão com adoção de medidas de adaptação para redução de riscos.

As estratégias de adaptação às mudanças climáticas envolvem combinações de atividades abrangentes, como prevenção de eventos climáticos extremos que podem resultar em desastres naturais, como tempestades e ressacas do mar. Isso também inclui fortalecimento institucional, coordenação interdepartamental e uma abordagem integrada na gestão dos recursos naturais. De acordo com a Zona Econômica Exclusiva (ZEE) de 2008, áreas costeiras têm potencial para serem adaptadas para mitigar riscos relacionados a fenômenos climáticos extremos, como aumento do nível do mar e suas ramificações, mediante a adoção de políticas tanto preventivas quanto reativas (PBMC, 2016).

Para PBMC (2016), é amplamente reconhecido que as medidas preventivas são mais eficazes e econômicas do que abordagens reativas, porém, a implementação da prevenção nem sempre é viável devido à falta de planejamento adequado, escassez de investimentos e resistência da opinião pública. Para tornar as comunidades costeiras mais resilientes, os formuladores de políticas precisam compreender as opções de adaptação e identificar os obstáculos para sua execução. O sucesso do processo de adaptação depende da maneira como os tomadores de decisão e o público enxergam e reagem aos riscos associados às ameaças ambientais e à vulnerabilidade da comunidade. Ignorar a percepção do risco por parte da comunidade pode resultar em políticas bem-intencionadas, mas ineficazes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados da historicidade do processo de ocupação urbana da orla de Itaipuaçu enriquecem a compreensão da interação entre a comunidade local e o ambiente, no sentido de compreender onde são as áreas com tendências para ocorrência dos perigos costeiros que representam vulnerabilidade e risco relacionados à ocupação urbana, e, conseqüentemente, a identificação para melhorias de infraestrutura em determinadas áreas. Ou seja, essa análise embasa o planejamento territorial local no quadro de diagnóstico social, sendo assim, um importante indicador relacionado à dinâmica costeira da Orla.

Na análise da área de estudo, foram avaliados sete indicadores para determinar a suscetibilidade a eventos de tempestade costeira. Três desses indicadores foram classificados como de alta suscetibilidade: a ausência de dunas, que desempenham um papel importante na proteção da costa, o *overwash* e a presença de estruturas de engenharia. Além disso, três indicadores foram classificados com suscetibilidade moderada, que incluem a elevação, a presença de vegetação e a taxa de erosão. Apenas o indicador relacionado à largura da praia, configuração e espessura apresentou uma suscetibilidade baixa. Isso evidencia a importância de estudos aprofundados para avaliar os riscos de ocupação nessa região.

A avaliação da vulnerabilidade frente a eventos extremos ao longo dos segmentos costeiros de Itaipuaçu revela níveis classificados como muito alta, alta e média no Recanto de Itaipuaçu e após o Morro da Peça. Nesse contexto, são realçadas áreas que abrigam residências situadas no topo da barreira, em conjunção com a carência de vegetação na faixa costeira adjacente. Essas regiões também se encontram em baixas altitudes e exibem a presença de estruturas de engenharia rígida, cujo impacto potencial sobre a dinâmica sedimentar local é significativo. É notável a gradual redução da vulnerabilidade à medida que se avança em direção ao leste da linha costeira, em direção à Área de Proteção Ambiental de Maricá.

Na revisão de seu Plano Diretor (2020), a Prefeitura de Maricá classifica a região como a Macrozona da Orla, destacando, em seu parecer técnico, a imperativa atenção à iminente ameaça de processos erosivos e eventos climáticos extremos. Com esse objetivo, a administração propõe a demarcação de faixas "*non aedificandi*" ao longo da orla de Maricá, com o propósito de revitalizar a restinga original. Além disso, ações adaptativas podem incluir a realocação planejada da comunidade em risco, ou seja, migração para áreas mais seguras, como parte de uma estratégia de longo prazo para reduzir riscos e aumentar a resiliência. Uma

abordagem adaptativa para o gerenciamento costeiro deve ser flexível para se ajustar às mudanças ao longo do tempo. Isso implica na implementação de medidas de adaptação que tragam benefícios simultâneos para o ambiente urbano, ecossistemas e sociedade.

Uma medida crucial envolve a implementação de uma abordagem mais rigorosa no uso das terras costeiras. Isso implica na demarcação de áreas inadequadas para construção, por exemplo, e no reforço do embasamento científico para projetos de infraestrutura urbana. Nesse contexto, é fundamental que os órgãos públicos estejam em sintonia com as pesquisas científicas, a fim de determinar a trajetória mais adequada para promover o bem-estar social local. Essa abordagem visa a proteção da população contra os perigos costeiros que são frequentemente observados nessas regiões.

Outro aspecto relevante que pode ampliar o debate sobre a vulnerabilidade na área de estudo é a avaliação das residências de veraneio em contraposição às residências de moradia permanente. Essa variável pode adicionar um peso significativo à identificação das áreas previamente identificadas como vulneráveis a eventos extremos, orientando assim a priorização das políticas públicas. Ter a residência principal em uma área considerada de risco pode ser um indicador importante de uma comunidade mais exposta aos perigos costeiros.

É fundamental ressaltar a relevância da abordagem metodológica nos estudos geográficos, pois a mesma área geográfica, como uma região ou município, pode apresentar resultados distintos em termos de vulnerabilidade e risco. Essa variação ocorre devido às diferentes abordagens adotadas por diferentes autores, que incluem a escala de análise, os procedimentos metodológicos e a interpretação de conceitos frequentemente sujeitos a múltiplas definições.

A aplicação de métodos de geoprocessamento e análise multicritério no estudo de riscos e vulnerabilidades a eventos extremos costeiros têm revelado a capacidade de estabelecer critérios técnicos mais sólidos para a identificação de áreas suscetíveis a perigos e prioritárias no âmbito das políticas públicas de planejamento urbano, sobretudo durante adoção de variáveis de dados contínuos. Isso ocorre por meio da integração ponderada das variáveis ambientais, infraestrutura de proteção costeira e características de ocupação do solo.

É igualmente relevante destacar a produção de produtos cartográficos resultantes desse estudo, que se baseiam na representação visual de informações geográficas para beneficiar gestores públicos, comunidades e profissionais especializados. Embora os mapas temáticos possam simplificar as complexas dinâmicas urbanas que se busca compreender e influenciar, eles permitem a combinação de diferentes tipos de informações geográficas, sejam

complementares ou contraditórias, para embasar processos de tomada de decisão de maneira objetiva e organizada.

No entanto, é crucial ressaltar que o aprimoramento das formas de participação política e social é essencial para avançar de maneira justa e democrática na resolução dos desafios abordados nesta pesquisa. Isso requer um comprometimento contínuo com o envolvimento da comunidade e a criação de instâncias participativas mais eficazes para enfrentar os problemas em questão.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. Fundamentos da geomorfologia costeira do Brasil Atlântico inter e subtropical. In: Ab'Saber, A.N. Brasil: Paisagens de exceção - O litoral e o pantanal mato-grossense patrimônios básicos. Cotia - SP: **Ateliê Editorial**, p.79-119, 2006.
- ADGER, W. N.; BROOKS, N.; BENTHAM, G.; AGNEW, M.; ERIKSEN, S. New indicators of vulnerability and adaptive capacity. **Tyndall Centre for Climate Change Research**, 2004, 128p.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. 2019. **Royalties e outras participações**. Disponível em <<http://www.anp.gov.br/royalties-e-outras-participacoes/royalties>.: royalties-tabelas-set-2019.xlsx. Acesso em 24 de setembro de 2019.
- ALCANTARA, A. M.; PALUDO, D. F.; SILVA, A. L. C. Sedimentação quaternária das barreiras arenosas (externa e interna) que formam a planície costeira central de Maricá. In: **Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, 2011, Dourados. Dinâmicas sócioambientais: das inter-relações às interdependências, 2011.
- ALIPRANDI, D. C.; CAPOTE, G.; FARIA, J. R. F.; NEVES, E. M.; SÁ, R.; Análise tipomorfológica da paisagem e do sistema de espaços livres urbanos do município de Maricá (RJ): escala urbana – bacia, **Paisagem e Ambiente**, 33, 83-96, 2014.
- ALMEIDA, C. M.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.M.V. Geoinformação em urbanismo: cidade real X cidade virtual. São Paulo. **Oficina de Textos**, 2007, 368p.
- ARNOTT, R. D. Introduction to Coastal Processes and Geomorphology, 2010. Cambridge, **Cambridge University Press**, 442p.
- ASWANI, S.; HOWARD, J. A. E.; GASALLA, M. A.; JENNINGS, S.; MALHERBE, W.; MARTINS, I. M.; SALIM, S. S.; VAN PUTTEN, I. E.; SWATHILEKSHMI, P.S.; NARAYANAKUMAR, R. An integrated framework for assessing coastal community vulnerability across cultures, oceans, and scales. **Climate and Development**, 11, p.365–382, 2018.
- AYAD, Y. M. Remote sensing and GIS in modeling visual landscape change: a case study of the northwestern arid coast of Egypt, **Landscape and Urban Planning**, 73, p.307-325, 2005.
- BALK, D.; MCGRANAHAN, G. MONTGOMERY, M.R.; SMALL, C.; M. KIM, D.; VALENTINA Mapping the Risks of Climate Change in Developing Countries, **ResearchGate**. New York, 2009, p.1-16.
- BASTIAN, O.; STEINHARDT, U. Development and perspectives of landscape ecology. **Kluwer Academic Publishers**, Dordrecht, 2022, 528p.
- BATTY, M. Geomatics in Urban and Regional Planning – Challenges & Perspectives, In. ALMEIDA, C. M.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.M.V. Geoinformação em urbanismo: cidade real X cidade virtual. São Paulo. **Oficina de Textos**, 2007, 368p.

BECK U. Sociedade de risco: rumo a uma outra modernidade. Tradução de Sebastião Nascimento. São Paulo: **Editora 34**; 2010. 368p.

BERNSTEIN, P. L. Desafio aos deuses: a fascinante história do risco. **Editora Campos**. 16ª Edição, 1997. 249p.

BERTIN, X. Storm surges and coastal flooding: status and challenges. *La Houille Blanche - Revue internationale de l'eau*, **EDP Sciences**, 2016, p. 64-70.

BEVACQUAA, A., YUA, D., ZHANGB, Y. Coastal vulnerability: Evolving concepts in understanding vulnerable people and places. **ELSEVIER, Environmental Science and Policy**, p.19-29, 2018.

BITENCOURT, D. P.; QUADRO, M. F. L.; CALBETI, N. O. Análise de dois casos de ressaca no litoral da região Sul no verão de 2002. In: **XII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Foz do Iguaçu, 2002, p. 3910-3917.

BITTENCOURT, J. R.; OSÓRIO, F. S. FUZZYF-Fuzzy logic Framework: Uma solução software livre para desenvolvimento, Ensino e Pesquisa de Aplicações de Inteligência Artificial Multiplataforma. In: **III Workshop sobre software Livre**, Porto Alegre, 2002, p.58-61.

BORGES, J. A. Os Enfoques e os Olhares do Geógrafo: Uma abordagem Metodológica sobre Método, Metodologia e Técnicas de Pesquisa. **OBSERVATORIUM: Revista Eletrônica de Geografia**. 2016. 21p.

BRAGA, T. M.; OLIVEIRA, E. L.; GIVISIEZ, G. H. N. Avaliação de Metodologias de Mensuração de Risco e Vulnerabilidade Social a Desastres Naturais Associados à Mudança Climática. São Paulo em Perspectiva, São Paulo: **Fundação SEADE**, v.20, n.1, p.81-95, 2006.

BUFFON, E. A. M.; PAZ, O. L. S.; SAMPAIO, T. V. M. Uso de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) para mapeamento das vulnerabilidades à inundação urbana: referenciais e bases de aplicação. **Revista do Departamento de Geografia**, [S. l.], p. 180-189, Volume especial – Eixo 9, 2017.

BUKVIC, A. ROHAT, G.; APOTSOS, A.; SHERBININ, A. A Systematic Review of Coastal Vulnerability Mapping, **Sustainability**, p.1-26, 2020.

BULHÕES, E. M. R. FERNANDEZ, G. B. ROCHA, T. B. Efeitos Morfológicos nas Barreiras Costeiras do Litoral Centro-Norte do Estado do Rio De Janeiro: Resultados do Evento de Tempestade de Abril de 2010. **Revista de Geografia**. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. especial VIII SINAGEO, n. 2, 15-30p, 2010.

BULHÕES, E. M. R. Erosão Costeira e Soluções para a Defesa do Litoral. In: *Geografia marinha: oceanos e costas na perspectiva de geógrafos*. Org. MUEHE, D.; LINS-DE-BARROS, F. M.; PINHEIRO, L. S., **PGGM**, p.655-682p, 2020.

BUSH, D. M.; NEAL, W. J.; YOUNG, R. S.; PILKEY, O. H. Utilization of Geoinicators for Rapid Assessment of Coastal-hazard Risk and Mitigation. **Ocean. & Coast. Management.**, 42, 8, p.647-670, 1999.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. **Conceitos Básicos em Ciência da Geoinformação**. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. Introdução a Ciência da Geoinformação. São Paulo: INPE, 2001. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>; acesso 01 de outubro de 2022.

CAMARGOS, F. L.; **Lógica Nebulosa: uma abordagem filosófica e aplicada**, 2002. Ciências da Computação, 5ª fase. Departamento de Informática e Estatística (INE). 1-5p. Disponível em: <http://www.inf.ufsc.br/~j.barreto/trabaluno/IAfernandoLC.pdf>, acesso em 05 de dezembro de 2022.

CAMPOS, R. M.; CAMARGO, R.; HARARI, J. Caracterização de eventos extremos do nível do mar em Santos e sua correspondência com as reanálises do modelo do NCEP no sudoeste do Atlântico Sul. **Rev. bras. meteorol.** [online], 25, 2, p.175-184, 2010.

CAPRA, F. O ponto de mutação: a ciência, a sociedade e a cultura emergente. São Paulo: **Cultrix**. 2012. 429p.

CARVALHO, M. R. Dicionário Tupi (antigo) Português, **Salvador**, 314p, 1987.

CAVALCANTI, L. C. S. Cartografia de Paisagens: fundamentos. 2ed. São Paulo: **Oficina de Textos**, 2018, 96p.

CIAVOLA, P., ARMAROLI, C., CHIGGIATO, J., VALENTINI, A., DESERTI, M., PERINI, L., LICANI, E. P. Impact of storm along the coastline of Emilia-Romagna: the morphological signature on the Ravenna coastline (Italy). **Journal of Coastal Research**, SI 50, p.1-5, 2007.

COELHO, A. L. **Método de Previsão de maré oceânica, utilizando análise harmônica em séries de 18, 69 Anos**, 2016, 144f. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

COELHO, C. J. C. **Lógica Fuzzy e Geoprocessamento na Determinação da Vulnerabilidade à Ocupação Direta dos Mangues na Bacia Hidrográfica do Anil, na Ilha de São Luís-MA**, 2008, 110f. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Maranhão. São Luiz, 2008.

COWEL, P. J.; THOM, B. G. Morphodynamics of coastal evolution. In: CARTER, R. W. G.; WOODROFFE, C. G. (Org.) Coastal Evolution. **Cambridge University Press**, United Kingdom. p. 33 – 86. 1994.

CORRÊA, W. B. **Metodologia de Diagnóstico Paisagístico de Orla Marítima: contribuição ao gerenciamento costeiro do município de Cabo Frio, RJ**, 2013, 115f. Dissertação de mestrado. Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2013.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. DE; HERNANDEZ, P.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento territorial. São José dos Campos. **SAE/INPE**, 2001, 103p.

CUTTER, S. L. The Vulnerability of Science and the Science of Vulnerability. Oxford. **Association of American Geographers**, v. 93, p. 1 – 12, 2003.

CUTTER, S. L., BURTON, C. G., & EMRICH, C. T. Disaster Resilience Indicators for Benchmarking Baseline Conditions. **Journal of Homeland Security and Emergency Management**, p. 1 – 10, 2010.

DARWIN, C. Viagem de um naturalista ao redor do mundo. Vols. 1 e 2. Porto Alegre: **LP&M Editores**, 2013, 200p.

DAVIS R. A, F, G. D. M. Beaches and Coasts / Richard A. Davis Jr. and Duncan M. FitzGerald. **Blackwell Pub. Co**, 2004, 205p.

DEAN, R.G., AND DALRYMPLE, R.A. Coastal Processes with Engineering Applications, **Cambridge University Press**, New York, Ny, 2002, 474p.

DONNELLY JP, BUTLER J, ROLL S, WENGREN M & WEBB III T. A Backbarrier Overwash Record of Intense Storms from Brigantine, New Jersey. **Marine Geology**, 210: p.107–121, 2004.

ESTEVEES, L. S.; FINKL, C. W. The problem of critically eroded areas (CEA): An evaluation of Florida beaches. **Journal of Coastal Research**, SI 26, 11–18. 1998.

FERNANDEZ, G. B.; BULHÕES, E. M. R.; ROCHA, T. B. Impacts of severe storm occurred in april 2010 along Rio de Janeiro Coast, Brazil. **Journal of Coastal Research**, SI 64. Proceedings of the 11th International Coastal Symposium, p.1850-1854, 2011.

FERNANDEZ, G. B.; ROCHA, T. B.; FILHO, S.R. O.; VASCONCELOS, S.C.; SILVA, A. L.C.; PEREIRA, T. G.; MOULTON, M. A. B; Evolução Morfodinâmica de Planícies Costeiras: do Quaternário aos Eventos Atuais, **União da Geomorfologia Brasileira**, 2021, 50p.

FERNANDEZ, G.; MALUF, V.; BULHOES, E.; ROCHA, T. B. DA; PEREIRA, T. G.; OLIVEIRA FILHO, S. Impactos morfológicos e resiliência das praias no litoral do rio de janeiro: referência especial à morfodinâmica praial In: PAULA, D. P.; DIAS, J. A. (orgs.), Ressacas do Mar / Temporais e Gestão Costeira, **Editora Premium**, Fortaleza, CE, Brasil, pp. 277–329, 2015.

FERREIRA, M. C. Iniciação à análise geoespacial: teoria, técnicas e exemplos para geoprocessamento – 1ª ed. – São Paulo: **Editora Unesp**, 2014, 344p.

FERREIRA, O. Storm groups versus extreme single storms: predicated erosion and management consequences. **Journal of Coastal Research**, SI 42, p. 221-227, 2005.

FLORENZANO, T. G (Org.). Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: **Oficina de textos**, 2008. p.318.

FLORENZANO, T. G. Iniciação em Sensoriamento Remoto, 2011. 3ª edição. **Oficina do Texto**. 2011, 128p.

FRASER, C.; DUGAS, S.; BERNATCHEZ, P.; Development of a GIS coastal land-use planning tool for coastal erosion adaptation based on the exposure of buildings and infrastructure to coastal erosion, Québec, Canada, 2017. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, 2017. 22p.

GIRÃO, I. R. F.; RABELO, D. R.; ZANELLA, M. E. Análise teórica dos conceitos: Riscos Socioambientais, Vulnerabilidade e Suscetibilidade. **REGNE**, 4, p.71-83, 2018.

GOMES, F. V.; BARROCO, A.; PEREIRA, A. R.; REIS, C. S. CALADO, H.; FERREIRA, J. G. FREITAS, M. C; BISCOITO, E. GIZC, Bases para a Estratégia de Gestão Integrada da Zona Costeira Nacional. **Ministério do Meio Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional**, 2007, 112p.

GOMES, P. J. L. **Monitorização e modelação da morfodinâmica costeira através de veículos aéreos não tripulados (VANT) – O caso das praias de Ofir e Bonança (Esposende, noroeste de Portugal)**, 2018, 124f. Dissertação de Mestrado. Dinâmica Externa e Mudanças Globais, Universidade do Minho, Portugal. 2018.

GRALATO, J. C. A.; SILVA, A. L. C.; SILVESTRE, C. P. Os efeitos das ondas de tempestades no litoral de Maricá, estado do Rio de Janeiro, Brasil. In: 14º Encontro de Geógrafos de América Latina, 2013, Lima. **Encuentro de Geógrafos de América Latina**. Lima, 2013. v. 1. p. 1-14.

GUIMARÃES, M. B. C. **A ocupação pré-colonial da região dos lagos, RJ: sistema de assentamento e relações intersociais entre grupos sambaquianos e grupos ceramistas tupinambá e da tradição una**. 2007, 382f. Tese (doutorado). Universidade de São Paulo, Programa de Pós-Graduação em Arqueologia, São Paulo, SP, 2007.

HARLEY, M. Coastal Storm Definition. In CIAVOLA, P.; COCO, G. (Ed.). Coastal Storms: Processes and Impacts, 2017, p.1-22. 1ª Edição. **John Wiley & Sons Ltd**. 241-256p.

HASHMI, S, G, M. D.; AHMAD, S.; GIS-Based Analysis and Modeling of Coastline Erosion and Accretion along the Coast of Sindh Pakistan, **Journal of Coastal Zone J Management**, 21, p. 1 – 7, 2018.

HEWITT, K. Regions of Risk: A geographical introduction to disasters. Essex: Addison Wesley **Longman**, 1997. 383p.

HOGAN, D. J. MARANDOLA JR. E.J.; População e mudança climática: dimensões humanas das mudanças ambientais globais. Campinas: **Nepo/UNFPA**, 2009. 283p.

HOUAISS, A.; VILLAR, M. S. Dicionário Houaiss da língua portuguesa. Rio de Janeiro, RJ: **Objetiva**, 2015, 1986p.

HOUSTON, J. R. 2013. The Economic Value of Beaches: a 2013 update. *Shore & Beach*, 86, p. 1 – 11, 2018.

HUISMAN, O.; ROLF, A. Principles of Geographic Information Systems. **Enschede**, 2009, 540p.

IBGE, **Manual Técnico de Geomorfologia. Manuais Técnicos em Geociências**. 2ª edição, 2009. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv66620.pdf>. Acesso em 10 de abril de 2020.

IGNARRA, S. M. N. **Os arenitos de praia de Itaipuaçu e Jaconé - RJ: origem, idade, distribuição e influência no fluxo de Sedimentos**. 1989, 60f. Tese (doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Rio de Janeiro, RJ, 1989.

IPCC. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. **IPCC**, Geneva, Switzerland, 2007, 104 pp.

IPCC. Summary for policymakers. In: T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. Allen, J. Boschung, et al. (Eds) Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of working group to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. **Cambridge University Press**, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [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, and B. Zhou (eds.)]. **Cambridge University Press**, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391p.

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

JANA, A. B. HEGDE, A. V. GIS Based Approach for Vulnerability Assessment of the Karnataka Coast, India, 2016. **Department of Applied Mechanics and Hydraulics**, NITK, Surathkal, Mangaluru, India. p.1-10, 2016.

JICZM, Journal of Integrated Coastal Zone Management. RGCI – **Revista de Gestão Costeira Integrada**), 207. Disponível em: <https://www.aprh.pt/rgci/glossario/mare.html>; acesso em: maio de 2021.

JANTSCH, M.; AQUINO, F. E. Ocorrência e distribuição espacial de ciclones extratropicais na região sul do Brasil em 2018. **Revista Eletrônica**, p.234-249, 2020.

LANG, S. THOMAS B. Análise da Paisagem com SIG. São Paulo, **Oficina de Textos**, 2009. 423p.

LEITE, E. F; ROSA, R. Análise do uso, ocupação e cobertura da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Formiga, Tocantins. **OBSERVATORIUM: Revista Eletrônica de Geografia**, 4, 12, p.90-106, 2018.

LIEBER, R. R.; ROMANO-LIEBER, N. S. O conceito de risco: Janus reinventando. In: MINAYO, M. C. de S.; MIRANDA, A. C. (Org.). Saúde, ambiente e desenvolvimento: estreitando nós. Rio de Janeiro: **Fiocruz**, 2002, 344p.

LIMA, M. L. da S. **Vulnerabilidade e Riscos Socioecológicos no Sistema Hidrográfico do Rio do Portinho, Região de Guaratiba no Município do Rio de Janeiro (RJ)**, 115f, 2017. Dissertação (Mestrado em geografia) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2017.

LINS DE BARROS, F. M; Muehe, D.; ROSO, R. H. Erosão e danos na orla costeira do município de Maricá, RJ. In: **II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa**, 2003, Recife, 2003.

LINS DE BARROS, F. M. **Risco de vulnerabilidade à erosão costeira no município de Maricá, Rio de Janeiro**, 2005, 147f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

LINS DE BARROS, F. M.; MUEHE, D. Avaliação local da vulnerabilidade e riscos de inundação na zona costeira da Região dos Lagos, Rio de Janeiro. **Quaternary and Environmental Geosciences**. 2, 1, p.55-66, 2010.

LINS DE BARROS, F. M. Integrated coastal vulnerability assessment: A methodology for coastal cities management integrating socioeconomic, physical, and environmental dimensions - Case study of Região dos Lagos, Rio de Janeiro, Brazil; **Ocean & Coastal Management**, 149, p.1-11, 2017.

LINS DE BARROS, F. M.; BATISTA, C.M. Os limites espaciais da zona costeira para fins de gestão a partir de uma perspectiva integrada. In SOUTO, R.; Gestão ambiental e sustentabilidade em áreas costeiras e marinhas: conceitos e práticas, 2020. p.22-50. Rio de Janeiro. **IVIDES.org**, 2020, 259p.

LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. Sistemas e Ciência da Informação Geográfica. 3ª ed. Porto Alegre. **Bookman**. 2013, 560p.

LOURENÇO, M. C. M.; FERREIRA, N. J.; GAN, M. A; **Vórtices ciclônicos em altos níveis de origem subtropical**, 2021. Disponível em <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/vociclo.html>, acesso em maio de 2021.

LUIJENDIJK, A.; HAGENAARS, G.; RANASINGHE, R.; BAART, F.; DONCHYTS, G.; AARNINKHOF, S. The State of the World's Beaches Nature, **Scientific Reports**, 8, p.6641, 2018.

MACHADO, J. P. MIRANDA, G. S. B. GOZZO, L. F. CUSTÓDIO, M. S. Condições Atmosféricas Associadas a Eventos de Ressaca no Litoral Sul e do Sudeste do Brasil durante o El Niño 2015/2016. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 34, 4, p.529 – 544, 2019.

MACMANUS, K. BALK, D. ENGIN, H. MCGRANAHAN, G. INMAN, R.; Estimating population and urban areas at risk of coastal hazards, 1990–2015: how data choices matter. **Earth Syst. Sci. Data**, 13, p. 5747–5801, 2021.

MAGALHÃES, B. L. Dinâmica da linha de costa e vulnerabilidade à erosão costeira nos arcos de praia da Tartaruga e de Costa Azul (Rio das Ostras, RJ), 2018, 88f. Dissertação de mestrado., Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal Fluminense, 2018.

MARANDOLA JR., E.; HOGAN, D. J. Natural hazards: o estudo geográfico dos riscos e perigos. **Ambiente e Sociedade** [online], 7, 2, p.95-110, 2004.

MARANDOLA JR. e HOGAN, D. J. As dimensões da vulnerabilidade, São Paulo em **Perspectiva**, 20, 1, p. 33-43, 2006.

MARANDOLA JR. E. J.; Habitar em Risco: mobilidade e Vulnerabilidade na Experiência Metropolitana. 2008., 278f. Tese (Doutorado). **Instituto de Geociências**, Universidade Federal de Campinas, Campinas. 2008.

MARANDOLA JR. E. J.; Vulnerabilidade do lugar vs. Vulnerabilidade sociodemográfica: implicações metodológicas de uma velha questão. **Revista Brasileira de Estudos de População**, Rio de Janeiro, 26, 2, p.161-181, 2009.

MARANDOLA JR. E. J.; Tangenciado a Vulnerabilidade. In HOGAN, D.J. MARANDOLA JR. E.J.; População e mudança climática: dimensões humanas das mudanças ambientais globais. 2009. p29-52. Campinas: **Nepo/UNFPA**, 2009. 283p.

MARICÁ, **Plano diretor. Produto 03. Diagnóstico técnico.** Caracterização geral do município de Maricá, 2020. Disponível em <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.marica.rj.gov.br%2Fwpcontent%2Fuploads%2F2020%2F11%2Fp3_diagnostico_tecnico_revfinal_27.11-.pdf&cLen=43057360&chunk=true> acesso em 5 de janeiro de 2021.

MARICÁ, **Plano diretor. Produto 09. Elaboração do Anteprojeto de Lei.** Disponível em <https://www.marica.rj.gov.br/plano-diretor/produto-9-minuta-do-anteprojeto-de-lei/> acesso em 10 de agosto de 2023.

MARENCO, J. A.; SCARANO, F. R.; Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas. Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas, **PBMC**, 2016, p.184.

MARICÁ. **Itaipuaçu ganha nova orla, estações de vermelhinhas e praça**, 2021. Disponível em: <https://www.marica.rj.gov.br/noticia/itaipuacu-ganha-nova-orla-estacoes-de-vermelhinhas-e-praca/>, acesso em 16 de julho de 2023.

MASSELINK G; TURNER I. L.; Large-scale laboratory investigation into the effect of varying back-barrier lagoon water levels on gravel beach morphology and swash zone sediment transport, **Coastal Engineering**, 63, p.23-38, 2012.

MASSELINK, G.; GEHRELS, R. Introduction to Coastal Environments and Global Change. In MASSELINK, G. & GEHRELS, R. Coastal Environments & Global Change. 2014, p.1-27. **Ohn Wiley & Sons**, 2014. 442p.

MEDONÇA, F. BUFFON, E.A.M. Riscos híbridos. In MEDONÇA, F. (org). Riscos híbridos: concepções e perspectivas socioambientais, Copyright. **Oficina de Textos**, 2021, 140p.

MELO FILHO, E. **Maré Meteorológica na Costa Brasileira**, 2017, 328f. Tese (doutorado) Professor Titular, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Rio Grande, 2017.

MENDONCA, F; BUFFON, E.A.M.; Riscos Híbridos. In MENDONCA, F; BUFFON, E.A.M.; FORTIN, G.; ZÊZERE, J.L.; ALMEIDA, L.Q.; VALENCIO, N.; MELO, R.; Riscos híbridos: concepções e perspectivas socioambientais, 2021. São Paulo. **Oficina de Textos**, 2021, 162p.

MORAES, A. C. R.; Contribuições para a gestão da zona costeira do Brasil: elementos para uma geografia do litoral brasileiro. São Paulo: **Annablume**, 2007, 232p.

MOURA, A. C. M. Geoprocessamento na Gestão e Planejamento Urbano. 3ª edição. Rio de Janeiro. **Interciência**, 2014. 286p.

MUEHE, D. Erosão Costeira - Tendência ou Eventos Extremos? O Litoral entre Rio de Janeiro e Cabo Frio, Brasil, **Revista da Gestão Costeira Integrada**. p.315-325, 2011.

MUEHE, M.; LINS-DE-BARROS, F.; OLIVEIRA, J.; KLUMB-OLIVEIRA, L. K. Pulsos erosivos e resposta morfodinâmica associada a eventos extremos na costa leste do estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 16, 3, 2015.

MUEHE, D.; Pós-praia não deve ser traduzido como backshore – uma revisão da terminologia brasileira do sistema praia – antepraia. 2019. **Quaternary and Environmental Geosciences**. p.40-49, 2022.

MULLICK, R. A. TANIMB, A.H. ISLAM SAMIUL, S. M. I. Coastal vulnerability analysis of Bangladesh coast using fuzzy logic based geospatial techniques. **Ocean and Coastal Management**. Elsevier. 174, p.154-169, 2019.

MULER, M.; BONETTI, J. An integrated approach to assess wave exposure in coastal areas for vulnerability analysis. **Marine Geodesy**, 37, p.220–237, 2014.

NGHIEM. Q. H. **GIS-based Spatial Multi-criteria Analysis: a vulnerability assessment model for the protected areas of Vietnam**. 2015. Department of Geography, University of Greifswald, Germany. Disponível em: https://www.austriaca.at/0xc1aa5576_0x003249e4 acesso em outubro de 2021.

NICHOLLS, R. J. Storm Surges in Coastal Areas. Natural Disaster Hotspots - Case Studies. Disaster Risk Management Series nº 6, 2006. **The World Bank Hazard Management Unit**. Washington, D.C., p.79-108, 2006.

NICOLODI, J. L, PETERMANN, R. M. Mudanças Climáticas e a Vulnerabilidade da Zona Costeira do Brasil: Aspectos ambientais, sociais e tecnológicos. Climate Changes and Vulnerability of the Brazilian Coastal Zone in its Environmental, Social, and Technological

Aspects, Revista de Gestão Costeira Integrada / **Journal of Integrated Coastal Zone Management**, 10, 2, p.151-171, 2010.

NUNES, L. H.; Mudanças Climáticas, extremos atmosféricos e padrões de risco a desastres hidrometeorológicos. In: População e mudança climática: dimensões humanas das mudanças ambientais globais. Campinas: **Nepo/UNFPA**, p. 53-73, 2009.

NYIMBILI, P. H.; ERDER, T. A combined model of GIS and fuzzy logic evaluation for locating emergency facilities: a case study of Istanbul. Proceedings Vol. 1, **8th International Conference on Cartography and GIS**, Nessebar, Bulgaria, p.191-203p, 2020.

OLIVEIRA FILHO, S. R.; SANTOS, R. A.; FERNANDEZ, G. B. Erosão e recuperação de praias refletivas de alta energia impactadas por ondas de tempestade geradas por ciclone tropical. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 21, 2, p.289-312, 2020.

OLIVEIRA, L. A. K.; **Variabilidade interanual do clima de ondas e tempestades e seus impactos sobre a morfodinâmica de praias do litoral sudeste do estado do Rio de Janeiro**, 2015, 250f. Tese (doutorado). Rio de Janeiro. Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), 2015.

ONU-HABITAT. Estado de las Ciudades de America Latina y el Caribe 2012: Rumbo a una nueva transición urbana, Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos, Nairobi, Kenia. **ONU**, p.196, 2012.

PAULA, D. P. **Análise dos riscos de erosão costeira no litoral de Fortaleza em função da vulnerabilidade aos processos geogênicos e antropogênicos**, 2015, 335f. Tese (Doutorado). Universidade Do Algarve, 2012.

PAULA, D.; FERREIRA, O.; DIAS, J.; Análise histórica das ressacas do mar no litoral de Fortaleza (Ceará, Brasil): origem, características e impactos. In *Ressacas do Mar / Temporais e Gestão Costeira*. 2021. PAULA, D.; DIAS, J.; 173-201p. Publisher: **Editora Premium**, Fortaleza, CE, Brasil, p. 173-201, 2021.

PEDROSA, F. J. A. Mudanças Climáticas e Gestão Costeira In: FURTADO, F.; PRIORI JUNIOR, L., ALCANTARA, E. (Orgs). Mudanças climáticas e resiliência de cidades. Recife: **Pikimagem**, pg. 89-106, 2015.

PEPONI, A. MORGADO, P. TRINDADE, J. Combining Artificial Neural Networks and GIS Fundamentals for Coastal Erosion Prediction Modeling. **Sustainability**, p. 110-121, 2019.

PEREIRA, A. J.; GAMBÔA, L.A.P.; SILVA, M.A.M; RODRIGUES, A. R. COSTA, A. A utilização do ground penetrating radar (GPR) em estudos de estratigrafia na praia de Itaipuaçu – Maricá (RJ), **SciELO**, p. 1 – 10, 2004.

PEREIRA, T. G., OLIVEIRA FILHO, S, MORAIS, C., LESSA, A. Impacto das Tempestades de 2016 em Orla Urbanizada: Arco Praial de Piratininga, Niterói, RJ. **Revista do Departamento de Geografia Universidade de São Paulo**, Volume Especial, p.75-84. 2017.

PEREIRA, T. G. Hotspots de Erosão em Orlas Urbanas no Litoral do Rio de Janeiro In COSTA, A. J. T.; TUNES, R. H. Geografia do Estado do Rio de Janeiro, estudos sobre cultura, globalização e natureza, **Consequência**. 512p, 2022.

PILKEY, O.H.; WRIGHT III, H.L. Seawalls versus beaches. **Journal of Coastal Research**, SI4, p.41- 64, 1988.

PMM/SMA. Plano de Manejo Integrado das Áreas Naturais Protegidas de Maricá - Unidades de Conservação Municipais (2014-2023). Maricá, **Prefeitura de Maricá**, Secretaria Municipal do Ambiente, 2, 157p, 2013.

PORTO, M. F. de S. Uma ecologia política dos riscos: princípios para integramos o local e o global na promoção da saúde e da justiça ambiental. Rio de Janeiro: Editora **FIOCRUZ**, 2012. 270p.

RADER, A. M.; PICKART, A. Foredune morpho dynamics and sediment budgets at seasonal to decadal scales: Humboldt Bay National Wildlife Refuge, California, USA. **Geomorphology**, 318, p. 69-87, 2018.

RANASINGHE, R.; CALLAGHAN, D. Assessing Storm Erosion Hazards. In CIAVOLA, P.; COCO, G. (Ed.). Coastal Storms: Processes and Impacts, 2017, p.241-254. 1ª Edição. **John Wiley & Sons Ltd**. 241-256p, 2017.

REED, A, MANN, M, EMANUEL, K, LIN, N, HORTON, B, KEMP, A, DONNELLY, JP. Increased threat of tropical cyclones and coastal flooding to New York City during the anthropogenic era, **PNAS**, 112, 12610–12615, 2015.

RIBEIRO, G.; RIBEIRO, G.P.; SOUZA, C. R. G.; WILLCOX, A.; Mapeamento temático apoiado por imagens Landsat e Theos de planícies costeiras do Norte Paulista e do Sul Fluminense, p. 1 – 9, 2012

ROCHA, F. P., ARAVÉQUIA, J.A.; RIBEIRO, B. Z.; **Estudo de Ciclones e de Padrões de Circulação Atmosférica no Oceano Atlântico Sul Próximo à Costa das Regiões Sul e Sudeste do Brasil Usando Dados da Reanálise do Era-Interim**, 2014, 125f. Dissertação (mestrado) INPE. São José dos Campo, 2014.

RODRIGUES, E. G; PEREIRA, T. G; LIMA, M. L. S. Análise histórica da urbanização na orla de Itaipuaçu (Maricá, Rio de Janeiro, Brasil), no período de 1970-2020. 2022. **XIV ENANPEGE** (Encontro Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Geografia). Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/78584>; acesso em 05 de setembro de 2022.

RODRIGUES, F. Z.; SANTOS, S. A. A Lógica Fuzzy na Administração de Empresas. **VII SEMEAD**, 2005, 3 p.

ROSA, R. Introdução ao sensoriamento remoto. Uberlândia: **Ed. UFU**, 2007, 248 p.

SALES, C. B.; FRANÇA, V.V.D, Rocha, D. F.; **Veículo aéreo não tripulado – vant: ferramenta para o estudo de risco de desastres em escala de detalhe, aplicada na comunidade são José do Jacó, município de Natal/RN**, 2022. Disponível: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/46080>; acesso em julho de 2022.

- SALLENGER, A. H. Storm impact scale for barrier islands. **Journal of Coastal Research**, 16, 3, p.890-895, 2000.
- SAMPAIO, L. M. D.; OLIVEIRA, M. J. F. O.; IGNACIO, A. A. V. Lógica nebulosa: aplicações e tendências, 2007. **SPOLM2007**. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/spolm/sites/www.marinha.mil.br/spolm/files/033.pdf>; Acesso em: 15 de junho de 2022.
- SANTOS, C. L.; SILVA, M. A. M.; SALVADOR, M. V. S. Dinâmica Sazonal e os efeitos das ressacas nas Praias de Niterói/RJ. **Revista Brasileira de Geociências**. p.355-360, 2004.
- SHORT, A. D.; BRANDER, R. W. Regional variations in rip density. **Journal of Coastal Research**, p.813-822, 1999.
- SILVA, A. L. C. **Comportamento morfológico e sedimentológico do litoral de itaipuaçu (Maricá) e Piratininga (Niterói), RJ, nas últimas três décadas**, 2006, 155f. Dissertação (mestrado). Universidade Federal Fluminense, Departamento de Geologia, 2006.
- SILVA, A. L. C.; SILVA, M. A. M.; SANTOS, C. L.; RIBEIRO, G.P.; SANTOS, R. A.; VASCONCELOS, S. C.; Retrogradação da barreira arenosa e formação de leques de arrombamento na praia de Itaipuaçu (Oeste De Maricá, RJ), 2008a. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 2, p.74-82, 2008.
- SILVA A. L. C, SILVA M. A. M; SANTOS C. L. Comportamento Morfológico e Sedimentar da Praia de Itaipuaçu (Maricá, RJ) nas últimas três décadas. **Revista Brasileira de Geociências** 38, 1, p.87-97, 2008b.
- SILVA, A. L. C. **Arquitetura sedimentar e evolução geológica da planície costeira central de Maricá (RJ) ao longo do Quaternário**. 2011, 185f. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Geologia e Geofísica Marinha da Universidade Federal Fluminense, 2011.
- SILVA, L. M.; **Modelagem fuzzy como subsídios para a espacialização da vulnerabilidade costeira à erosão**. 2013, 165f. Dissertação (mestrado), Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, 2013.
- SILVA, M. A. M.; SILVA, A. L. S.; SILVESTRE, C. P. Formação de Escarpas de Tempestade e seu reconhecimento no registro geológico: Planície Costeira de Maricá (Rio De Janeiro, Brasil), 2017. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 18, 4, p.841-852, 2017.
- SILVA, L. M.; GONCALVES R. M. Uma revisão da modelagem fuzzy da interface continente e oceano para identificar locais vulneráveis à erosão. Para desenvolver a terra: memórias e notícias de geociências no espaço lusófono. **Imprensa da Universidade de Coimbra**, 2012, 552p.
- SIQUEIRA, G. W.; APRILE, F. Eventos naturais da formação das marés meteorológicas e os efeitos negativos à navegação marítima, 2018. **ResearchGate**. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/fig6_324521482; acesso em março de 2021.
- SMALL, C. NICHOLLS, R. J. A Global Analysis of Human Settlement in Coastal Zones. **Journal of Coast Research**. **Journal of Coastal Research**, 19, 3, p.584-599, 2003.

SMITH, A. O.; AYLÁ, A. A.; BURTON, I.; LAVELL, A. A construção social do risco de desastres: buscando as causas de fundo. In Marchezini, V.; WISNER, B.; LONDE, R. SAITO, S. M. Reduction of vulnerability to disasters: from knowledge to action. **RiMa Editora**, 2017. 624p.

SOUZA, C. R. G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A.M.S.; OLIVEIRA, P.E. (Ed.). Quaternário do Brasil. Ribeirão Preto: **Holos**, 2005. 378p.

SOUZA, L. B.; ZANELLA, M. E.; Percepção de riscos ambientais: teoria e aplicações. Fortaleza: **Edições UFC**, 2009, 237 p.

SOUZA, C. R. G. Flood risk assessment in coastal drainage basins through a multivariate analysis within a GIS-based mode. **Journal of Coastal Research**. Special Issue 56, p.900-904, 2009.

SHRODER, J. F. Treatise on geomorphology. **Academic Press**, 2013, 447p.

SUGUIO K.; MARTIN L. BITTENCOURT A. C. S.P. Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário superior ao longo do litoral Brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. **Revista Brasileira de Geociências**, 15, 4, p.273- 286, 1985.

TABORDA, R.; DIAS, J. A. Análise da Sobreelevação do Mar de Origem Meteorológica durante os Temporais de Fevereiro/Março de 1978 e Dezembro de 1981. **Geonovas: A Geologia e o Ambiente**, nº especial, p.89-97, 1992.

TATE, E.; CUTTER, S. L.; BERRY, M. Integrated multihazard mapping. *Environ. Plan. B Plan. Des.* 37, p.646–663, 2010.

THIELER, R.; HAMMAR-KLOSE, E. National Assessment of Coastal Vulnerability to Future Sea-Level Rise: Preliminary results for the U.S. Atlantic Coast. **U. S. Geological Survey**, Open-File Report, p.99-593, 1999.

UEM, UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ – Conjuntos Nebulosos, 2012. Maringá/PR. Disponível em: <http://www.din.uem.br/~ia/intelige/difusa/Ideias.htm>; acesso em junho de 2022.

USACE - U.S Army Corps of Engineers. **Coastal Engineering Manual** - Part VI. 2011, 140p.

UNDP. United Nations Development Programme. **Reducing Disaster Risk: A Challenge for Development**. UNDP, 2004. Disponível em: <http://www.undp.org/bcpr>. Acesso em: 15 jan 2011.

VALENCIO, N, SIENA, M, MARCHEZINI, V, GONÇALVES, JC (org), Sociologia dos Desastres. Construção, Interfaces e Perspectivas no Brasil. **RiMa Editora**, 2009, 280p.

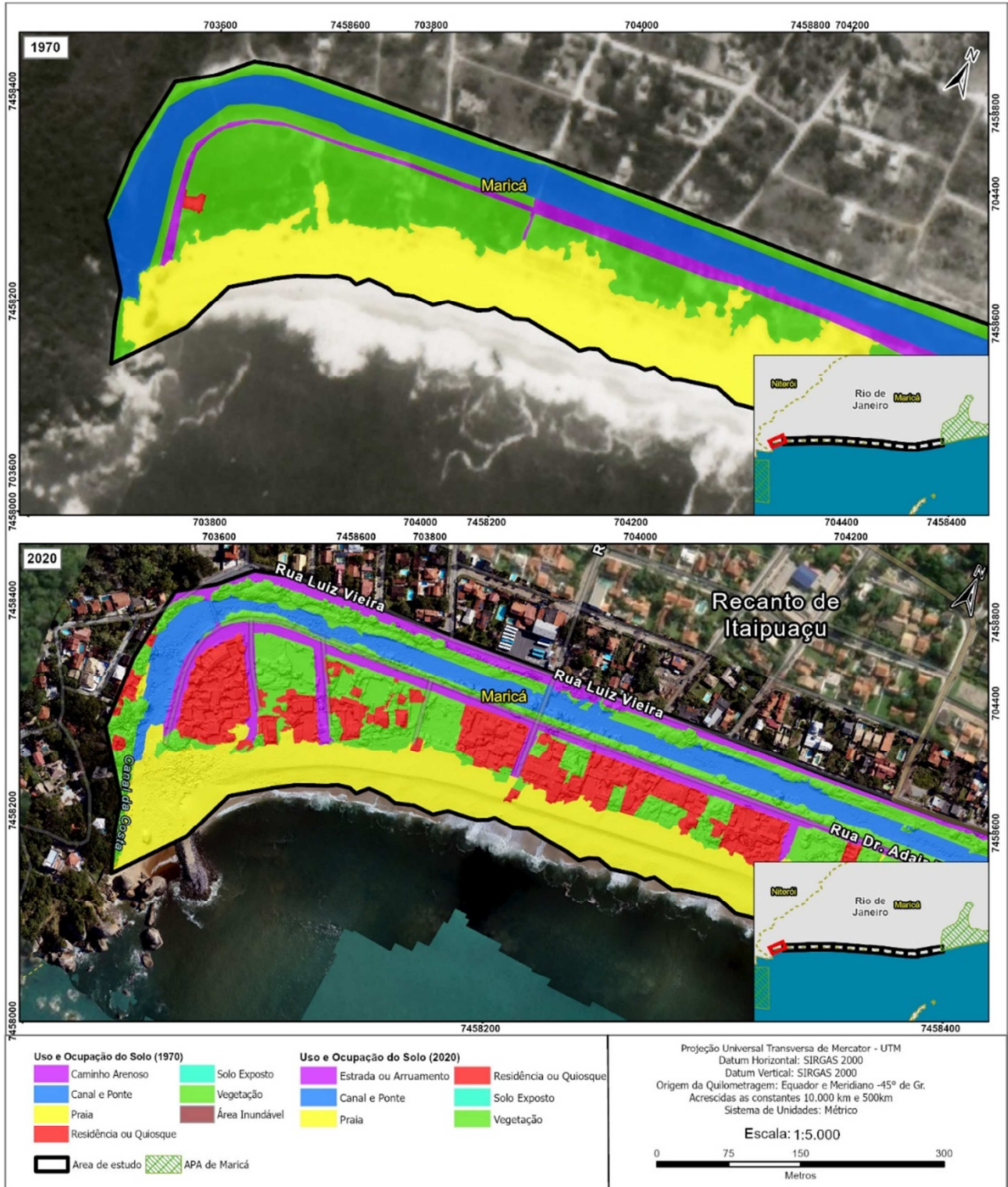
VEYRET, Y. Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente. São Paulo: **Contexto**, 2015, 319p.

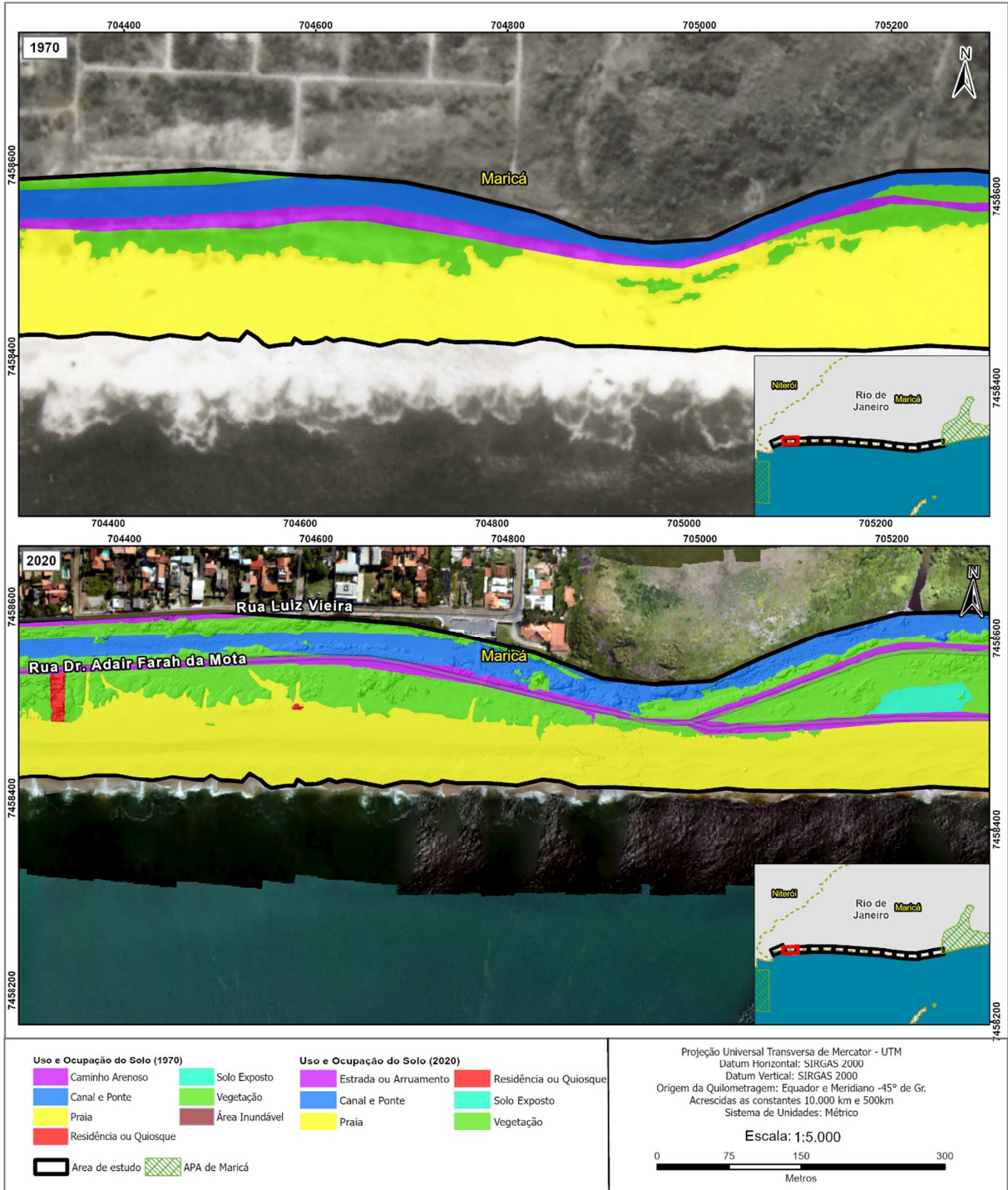
VIDAL, A. M. F. **Extração e avaliação de geo-informação pelo uso de imagens adquiridas por veículos aéreos não tripulados**. 2013, 59f. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto – Faculdade de Ciências, 2013.

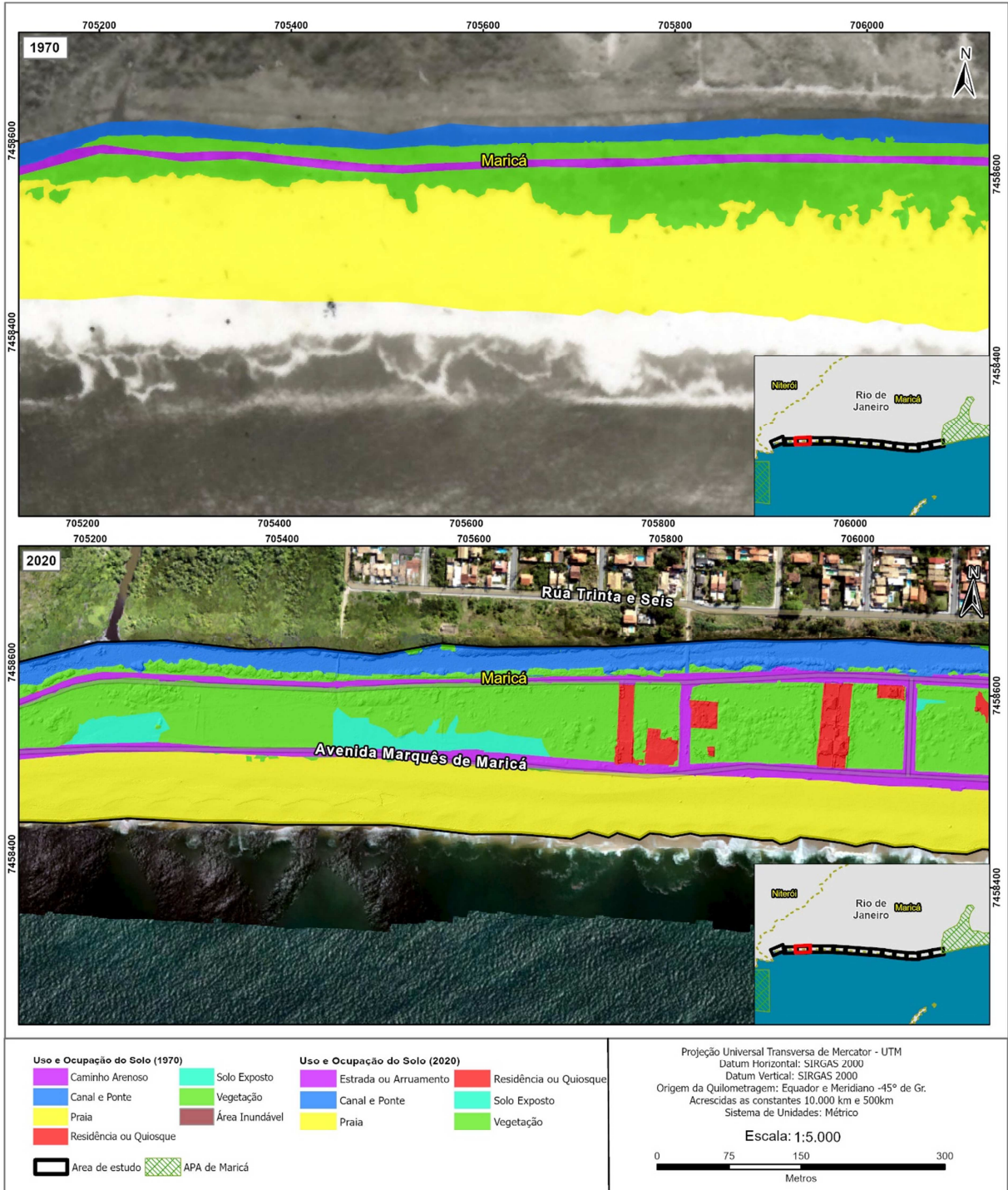
WEIS, S. W. M.; AGOSTINI, V. N.; ROTH, L. M.; GILMER, B.; SCHILL, S. R.; KNOWLES, J. E.; BLYTHER, R. Assessing vulnerability: An integrated approach for mapping adaptive capacity, sensitivity, and exposure. **Climatic change**, 136, p.615–629, 2016.

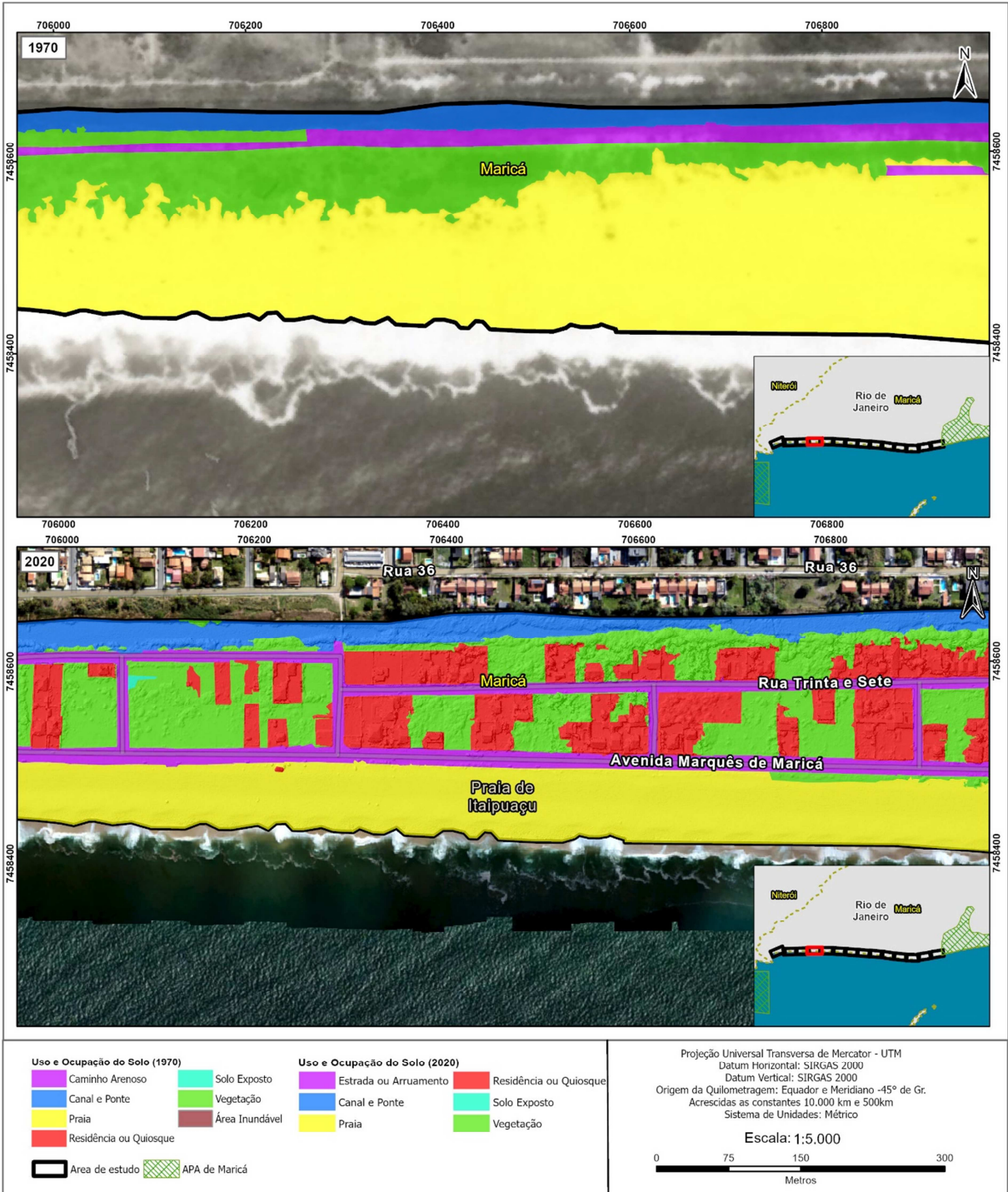
WRIGHT, L. D. THOM, B. G. Coastal depositional landforms: a morpho dynamic approach. **Progress in Physical Geography**, 1977, 412p.

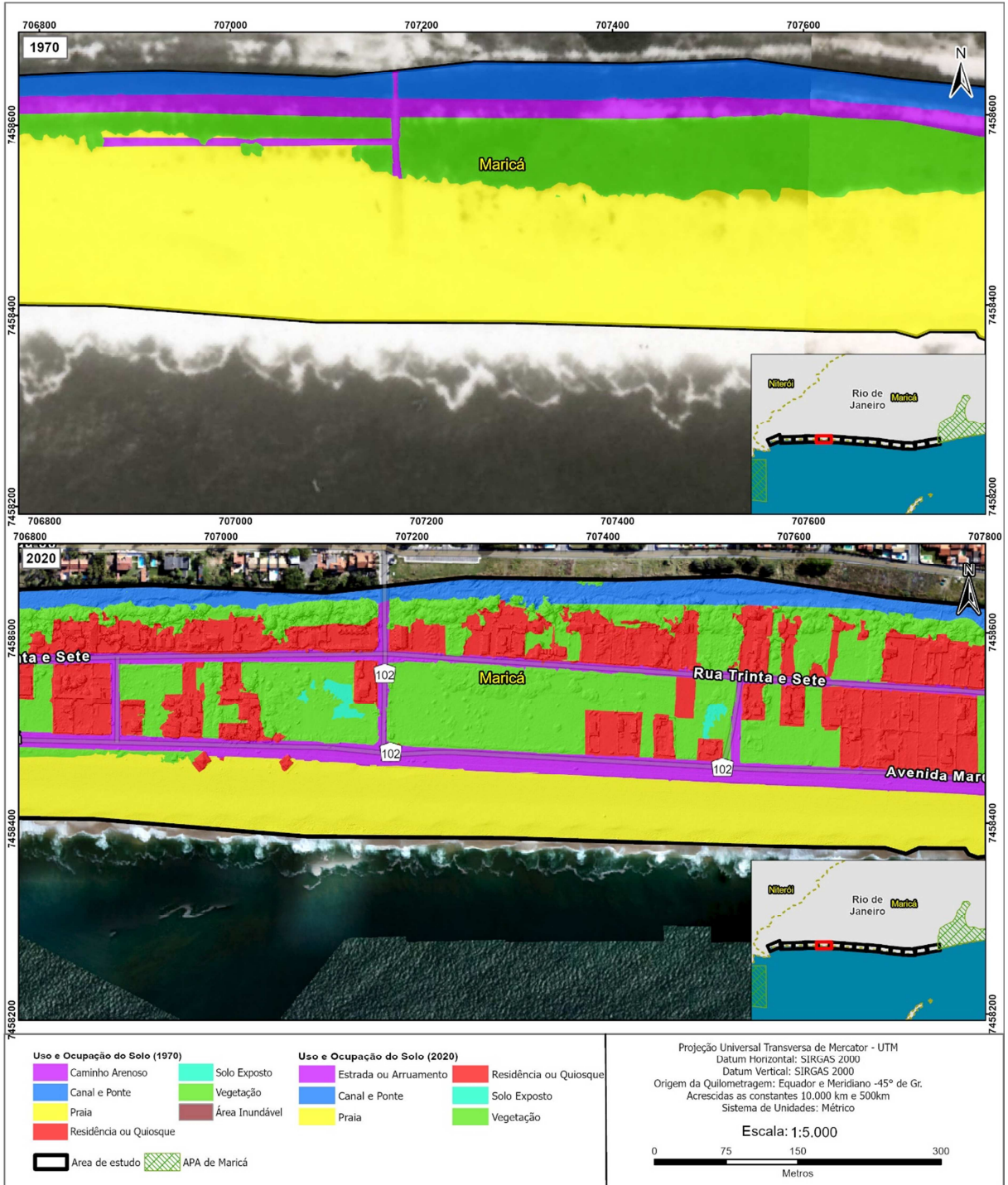
ANEXO A - Mapas de uso e ocupação do solo

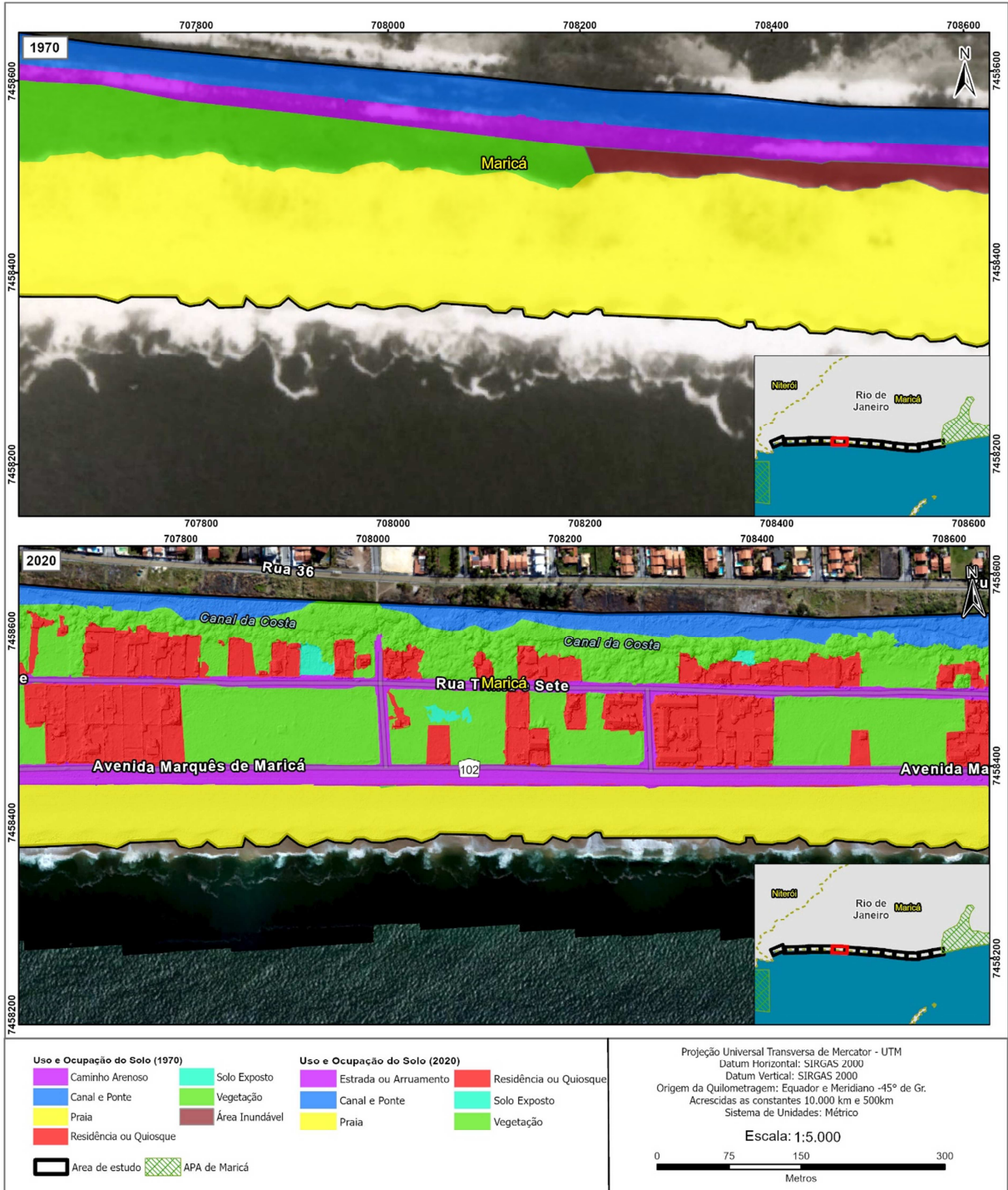


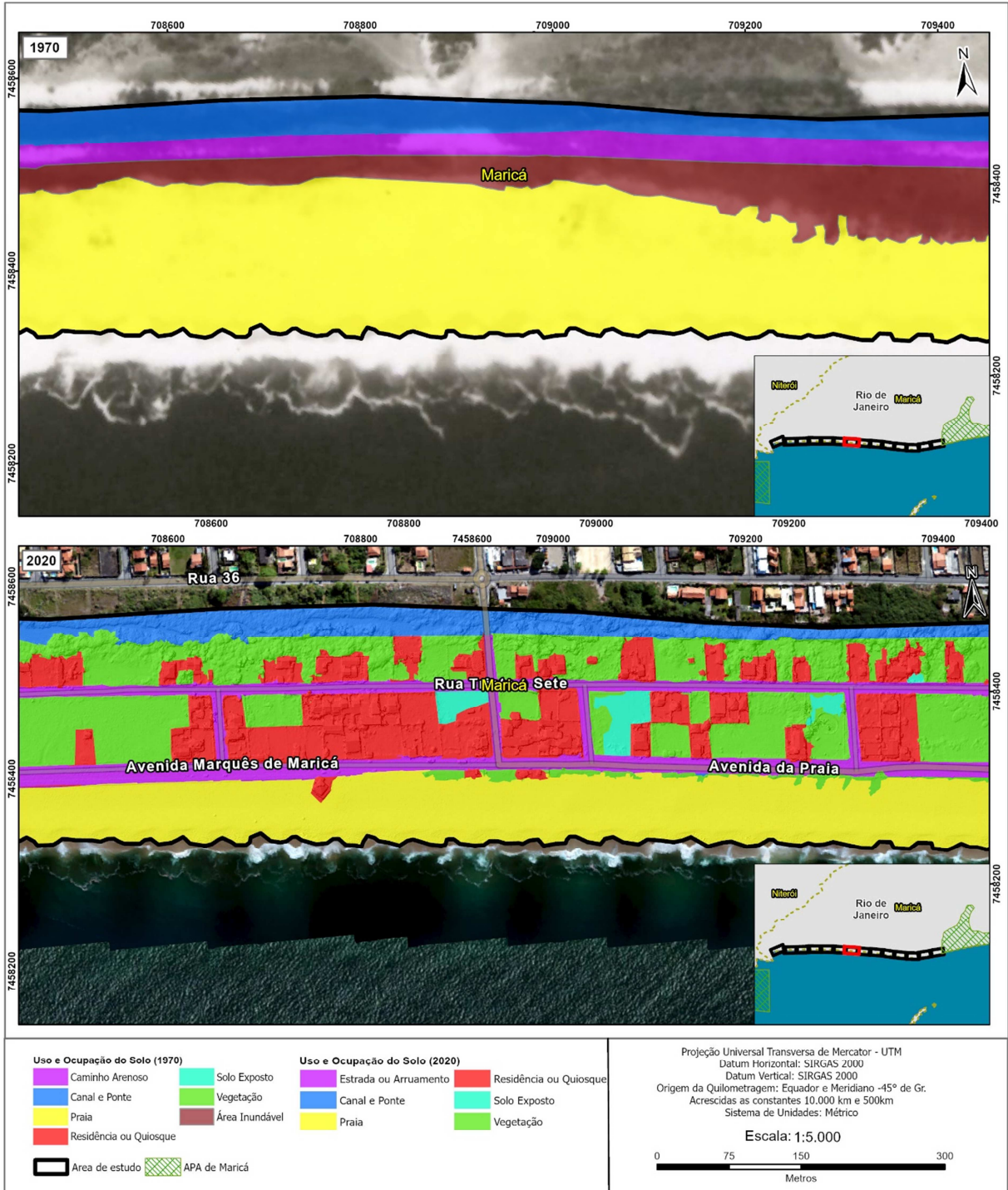


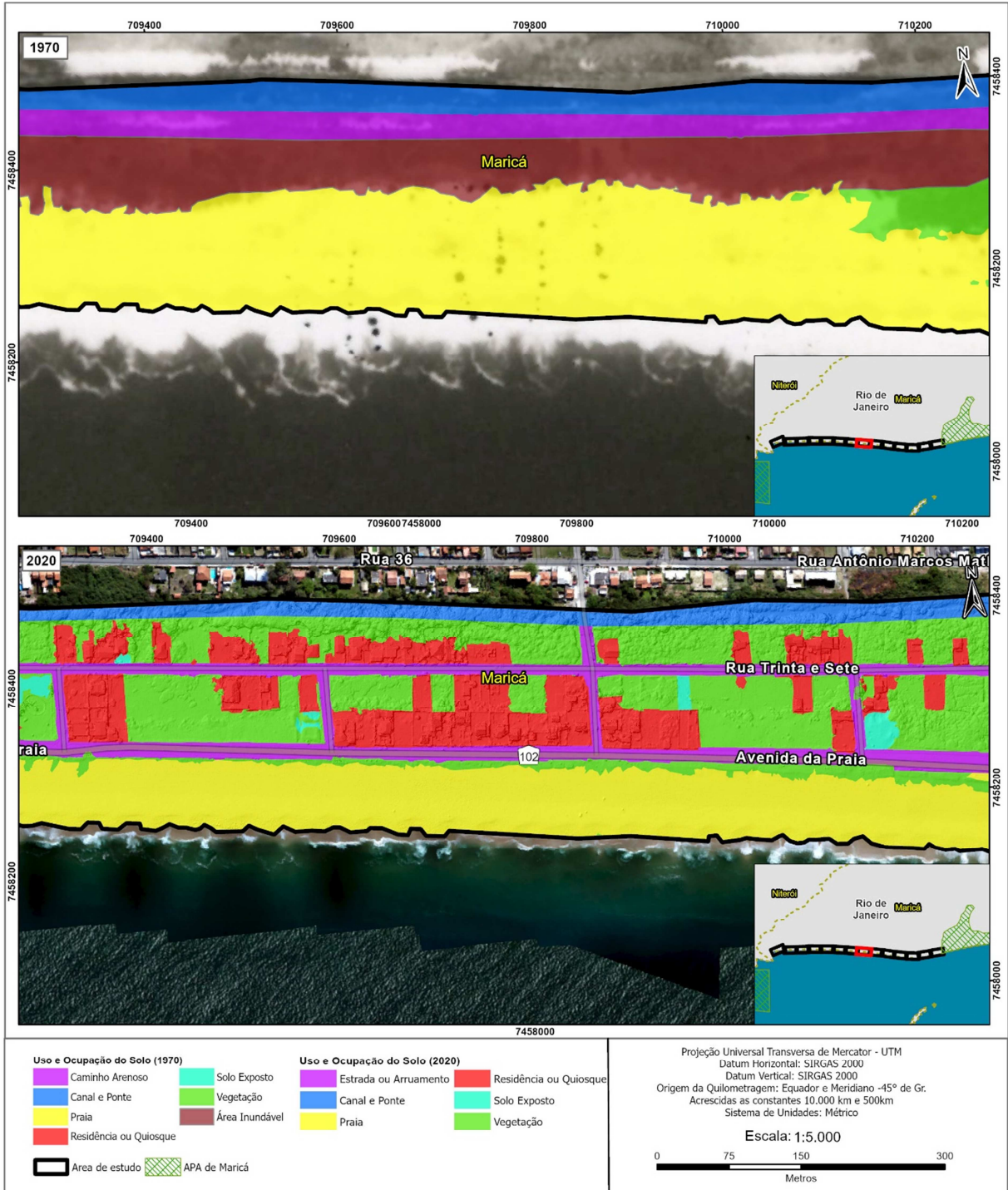


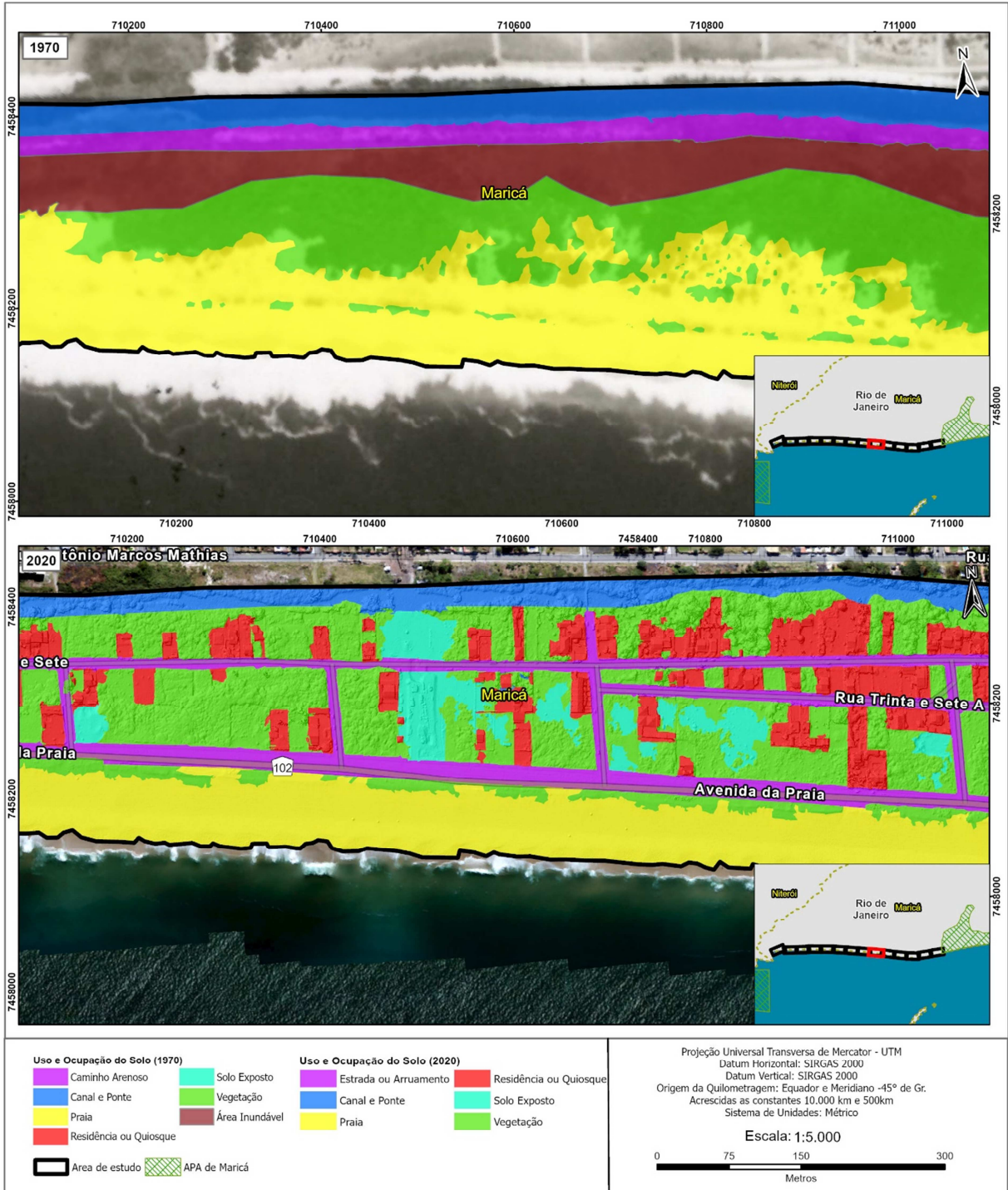


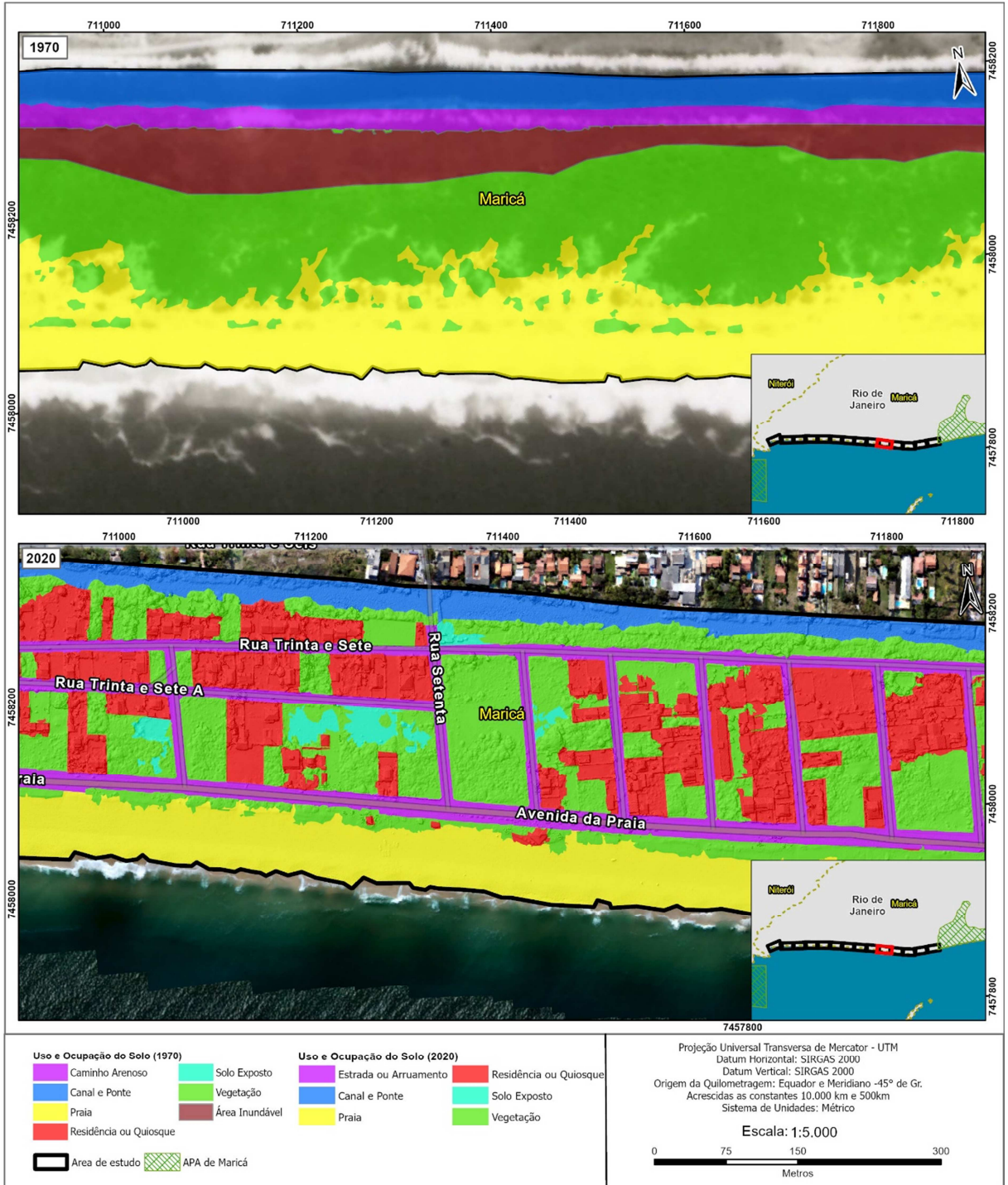


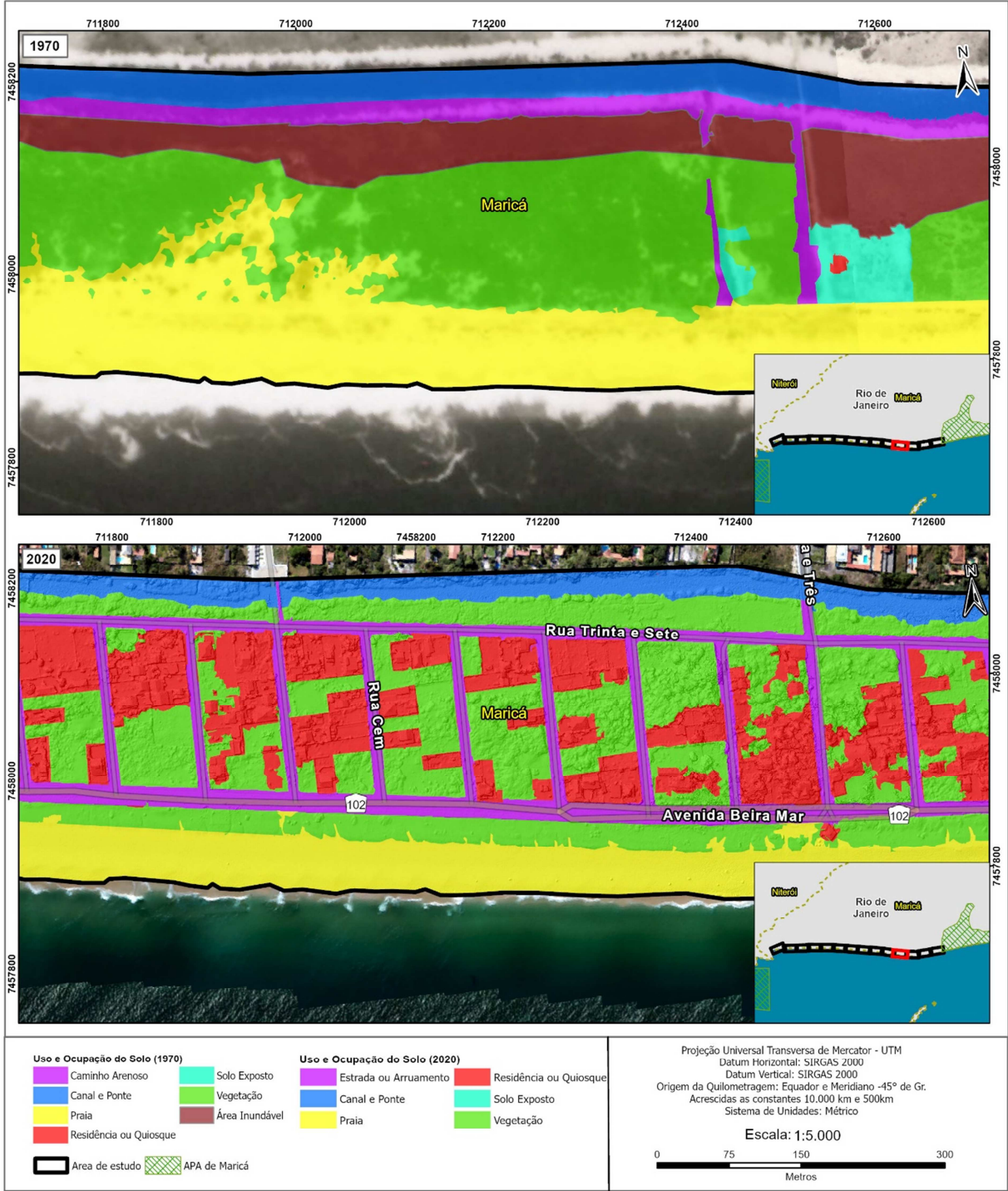


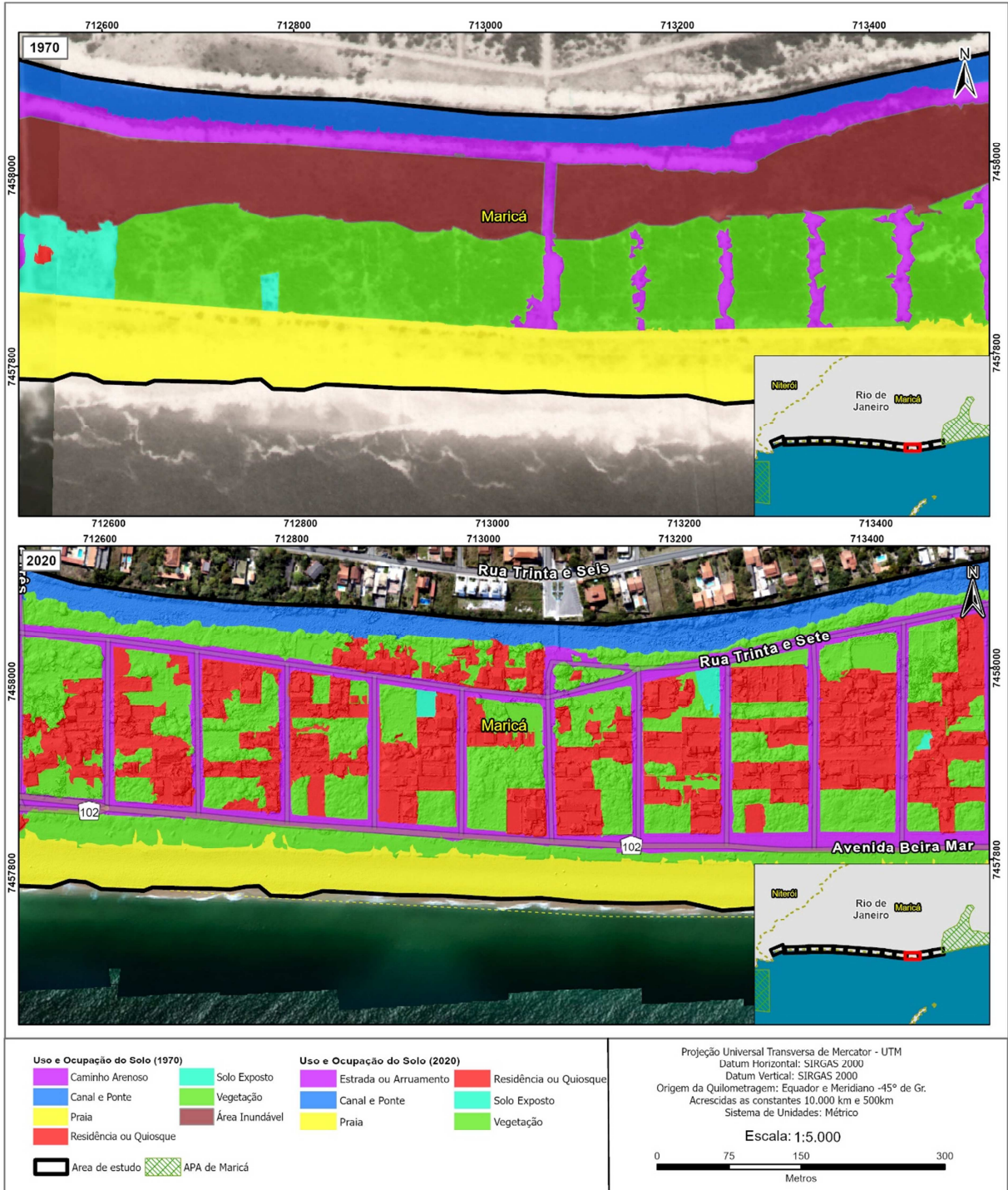


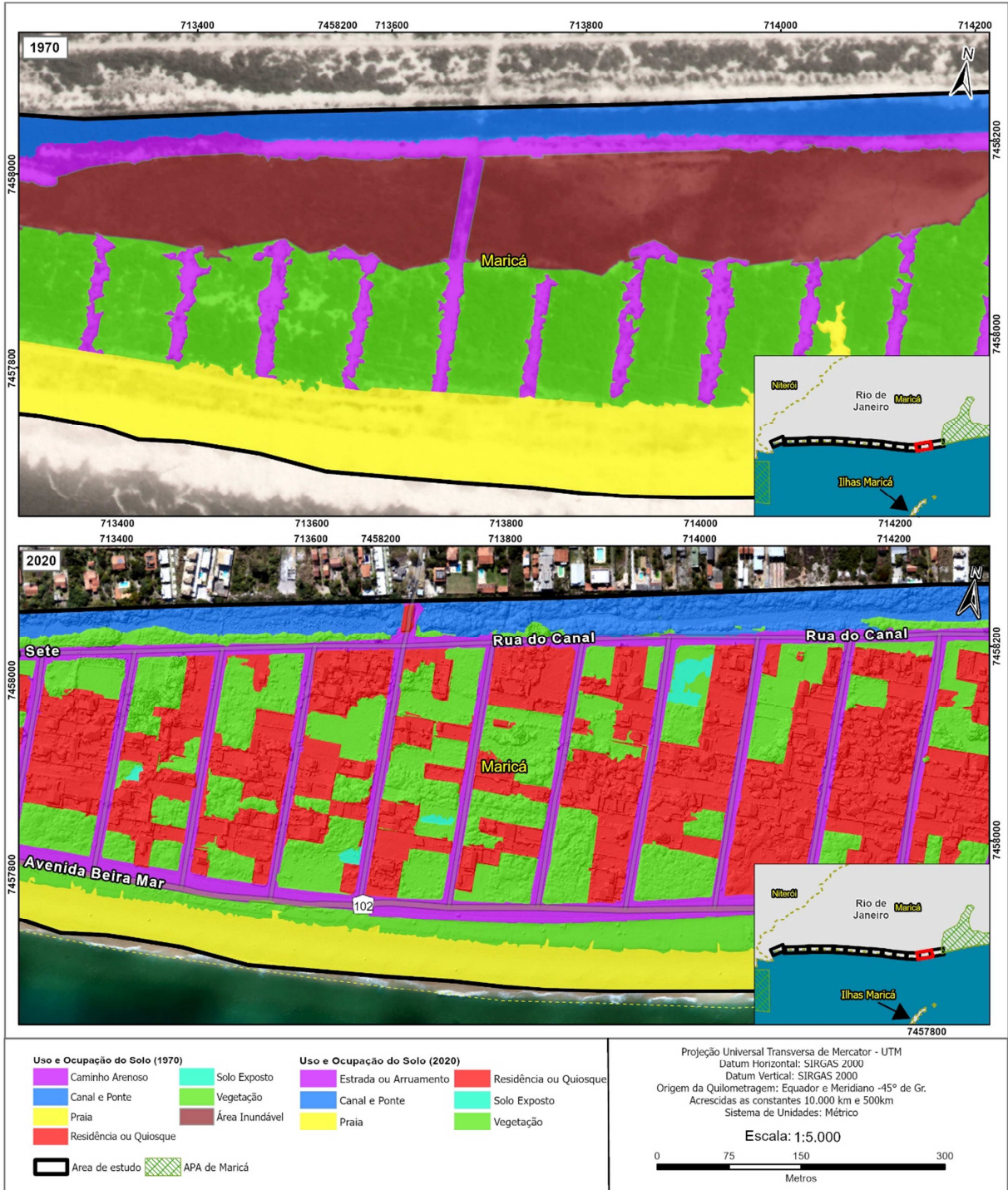


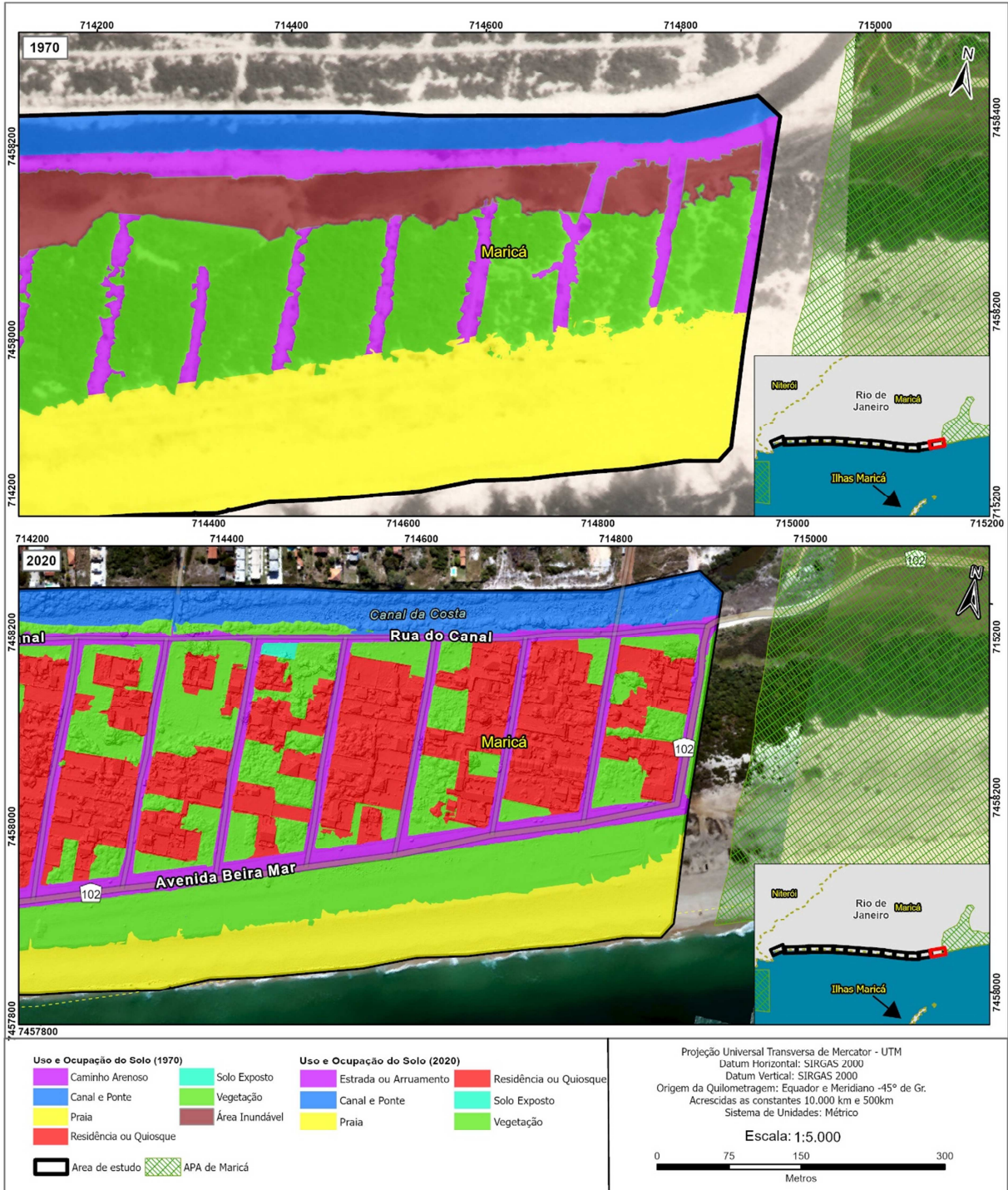




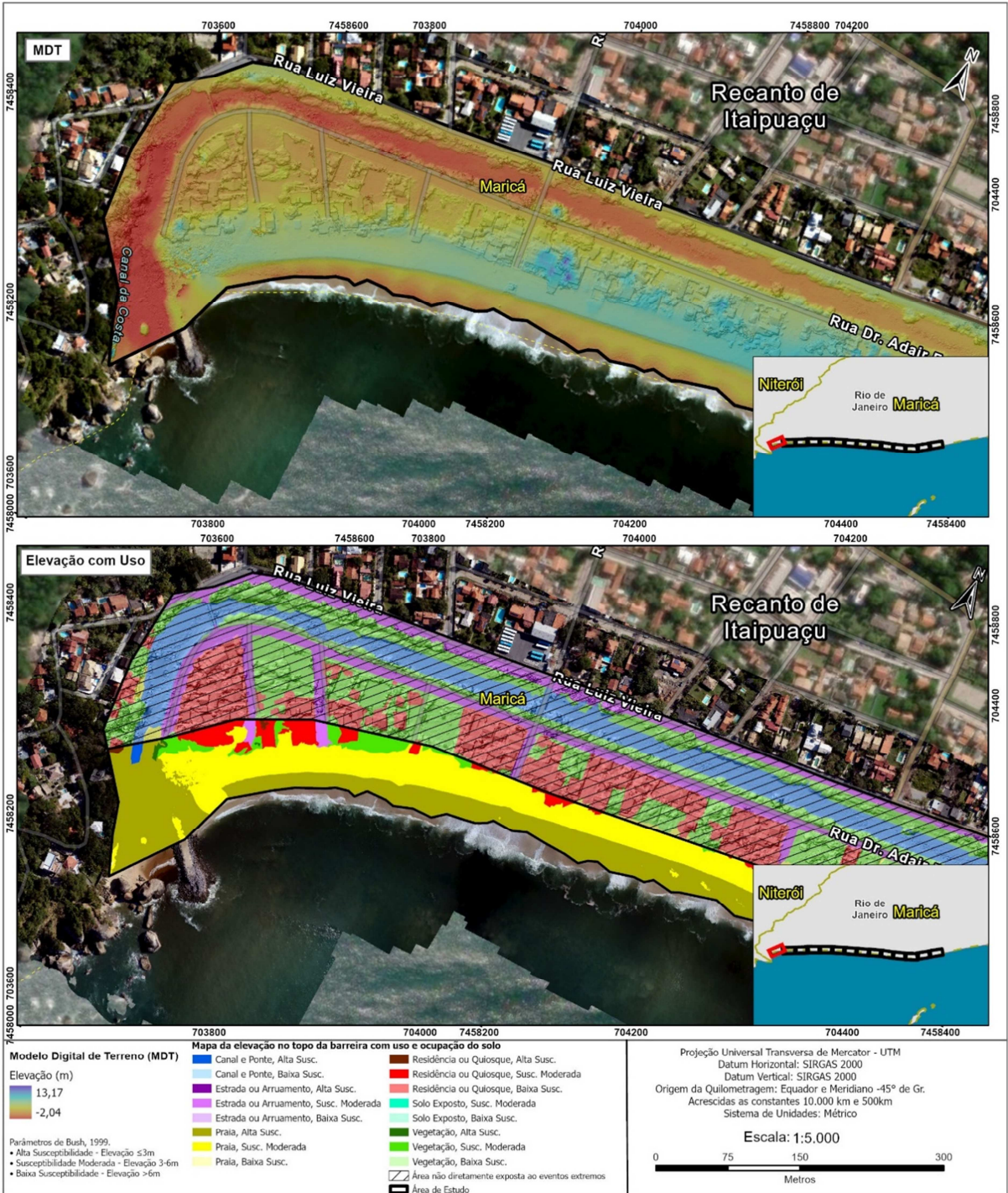


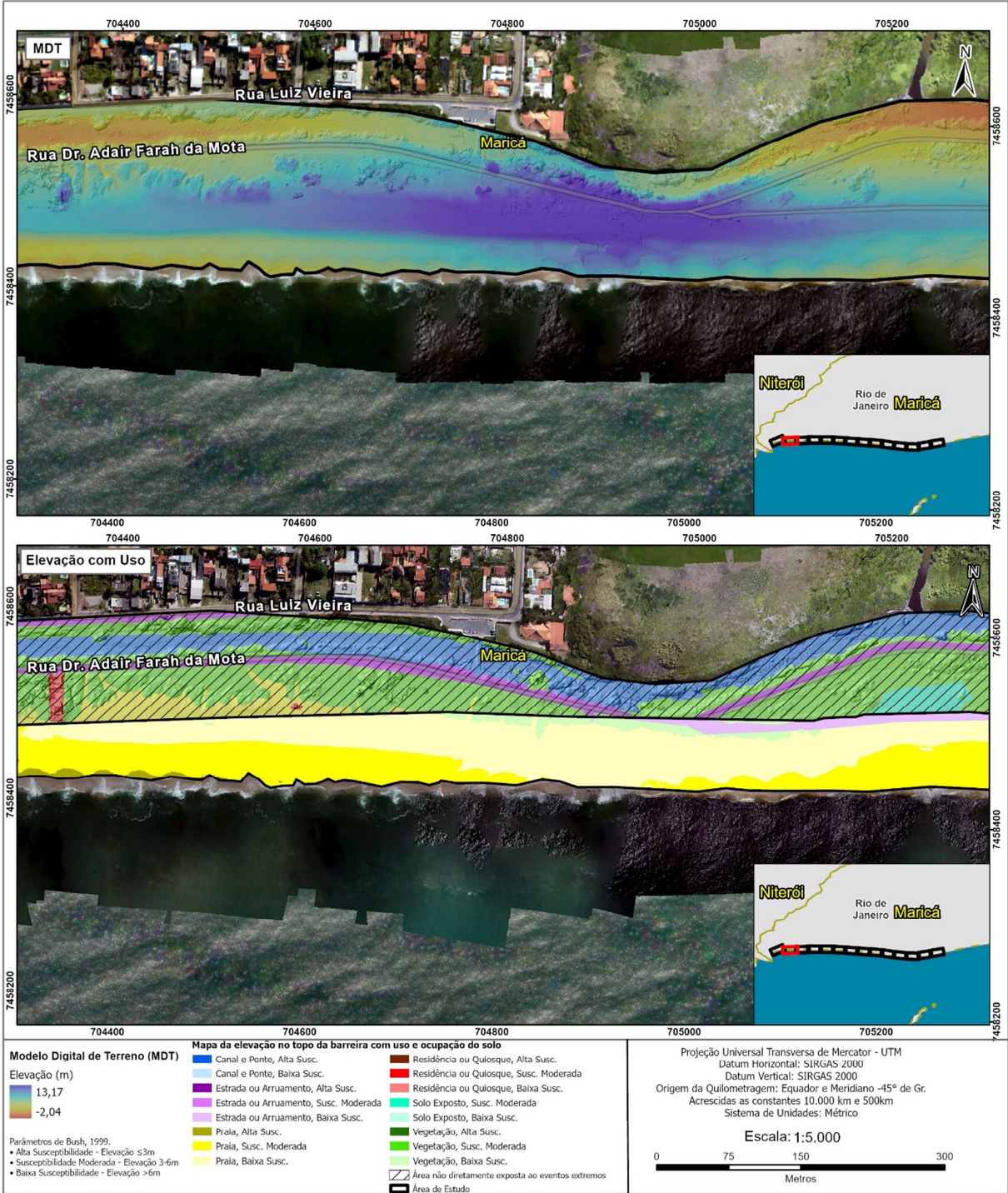


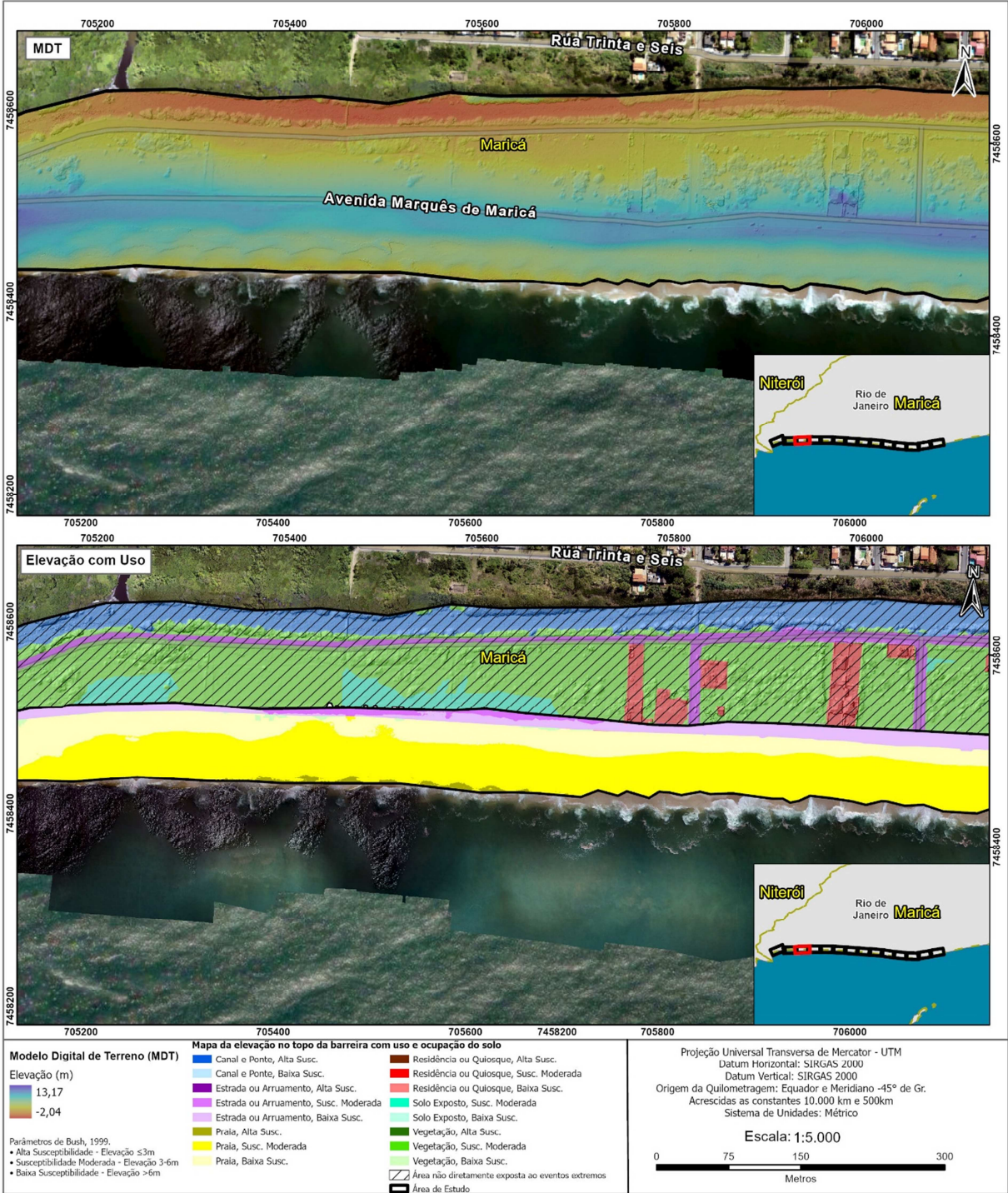


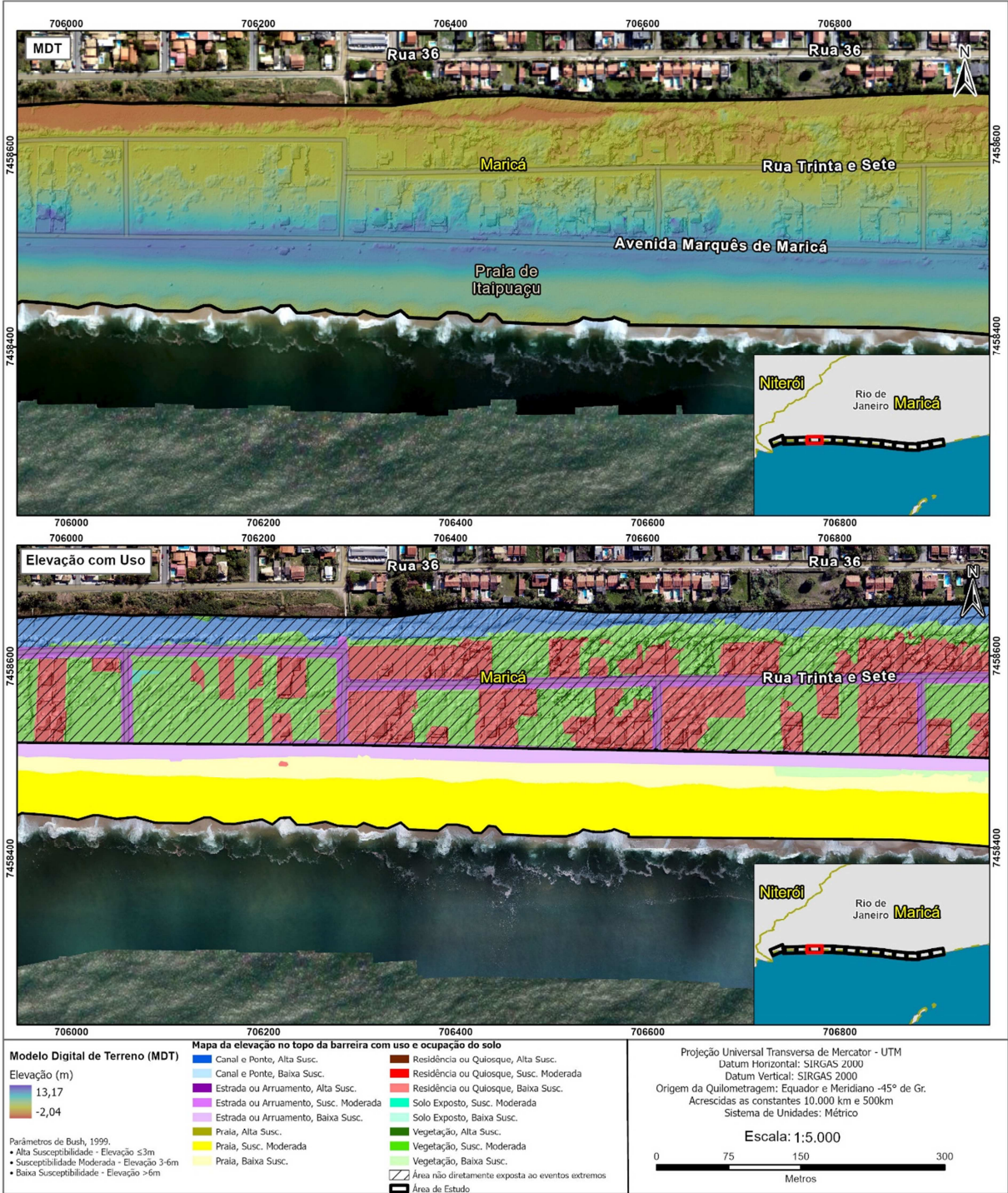


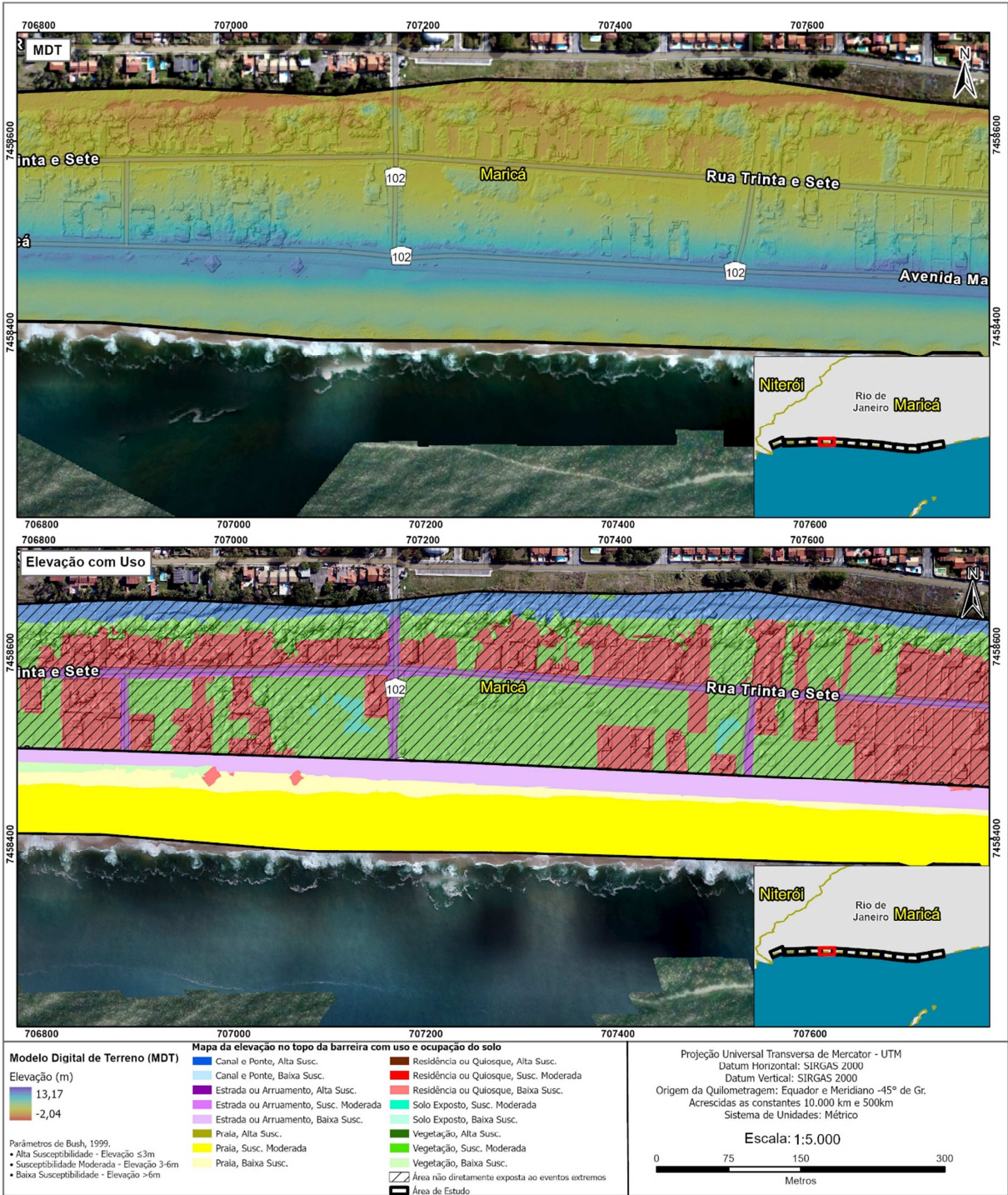
ANEXO B - Mapas de elevação com uso e ocupação do solo

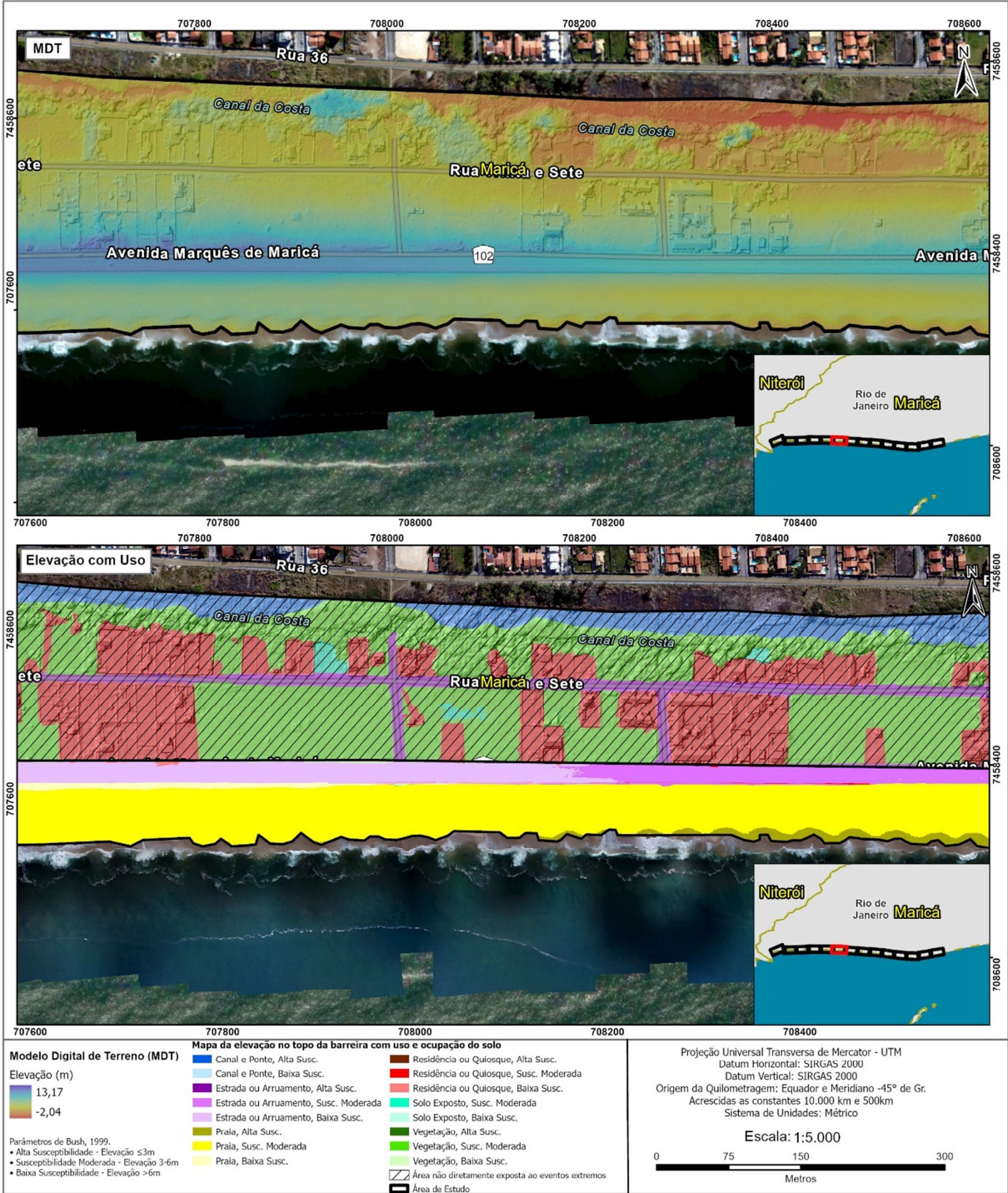


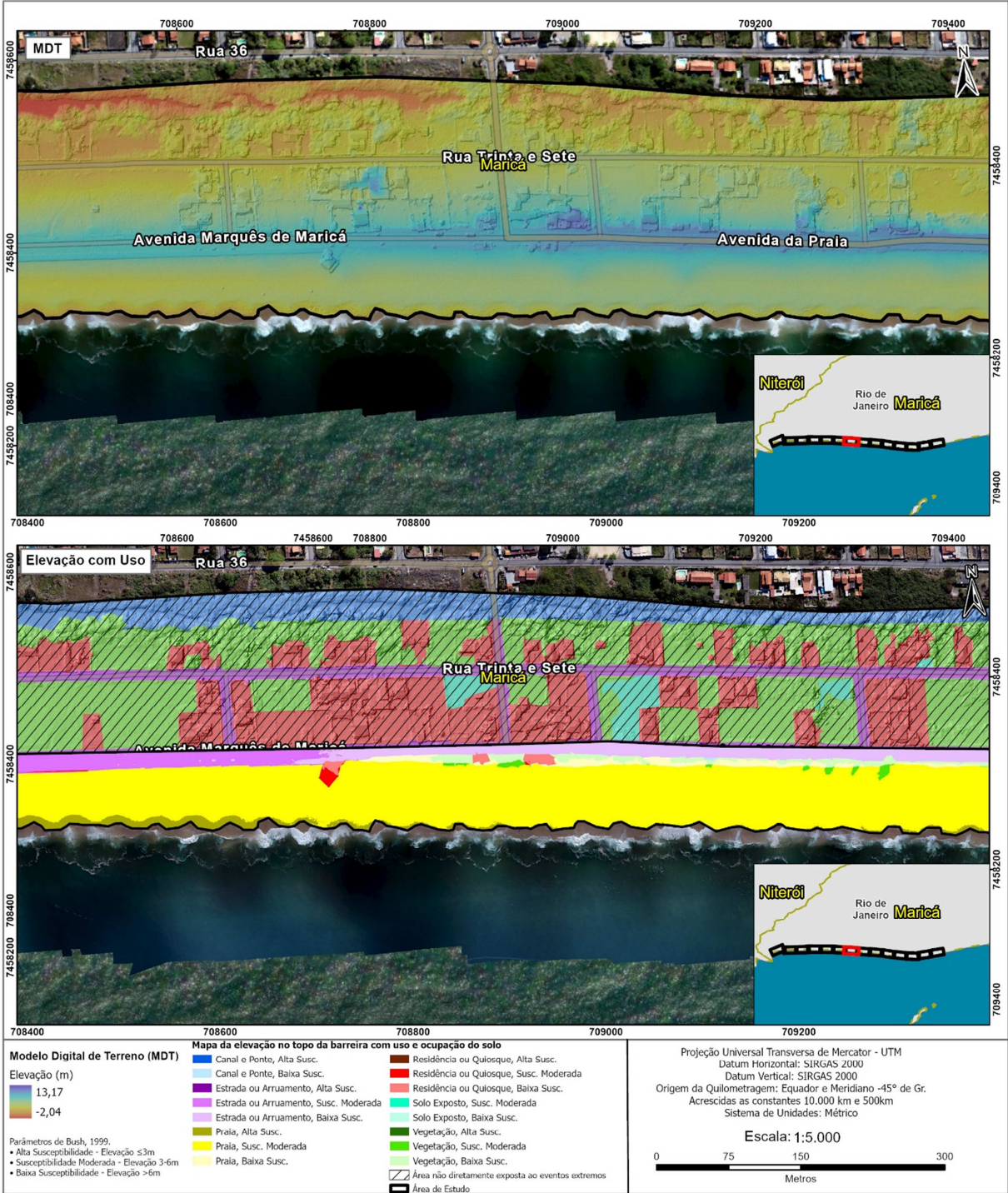


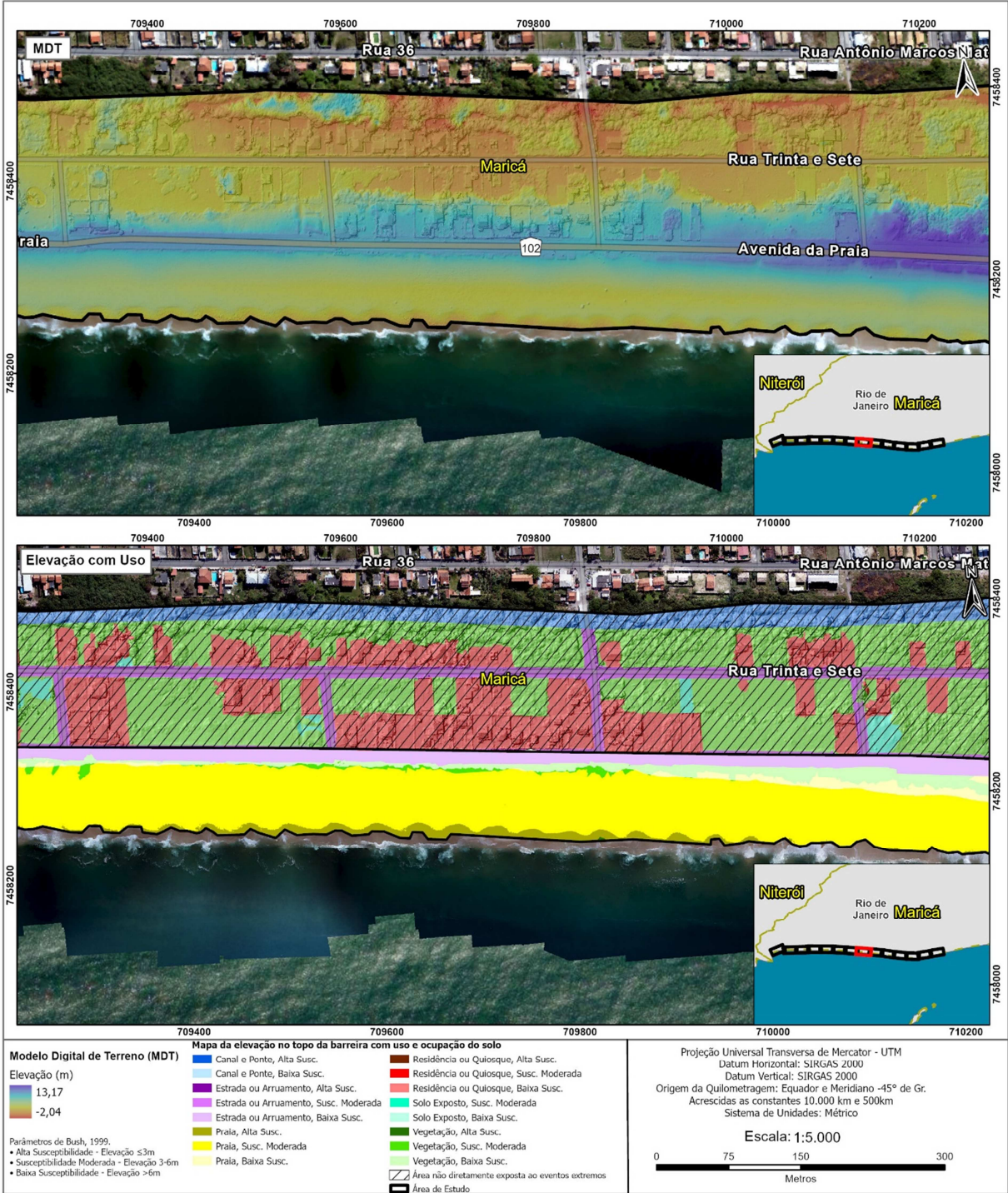


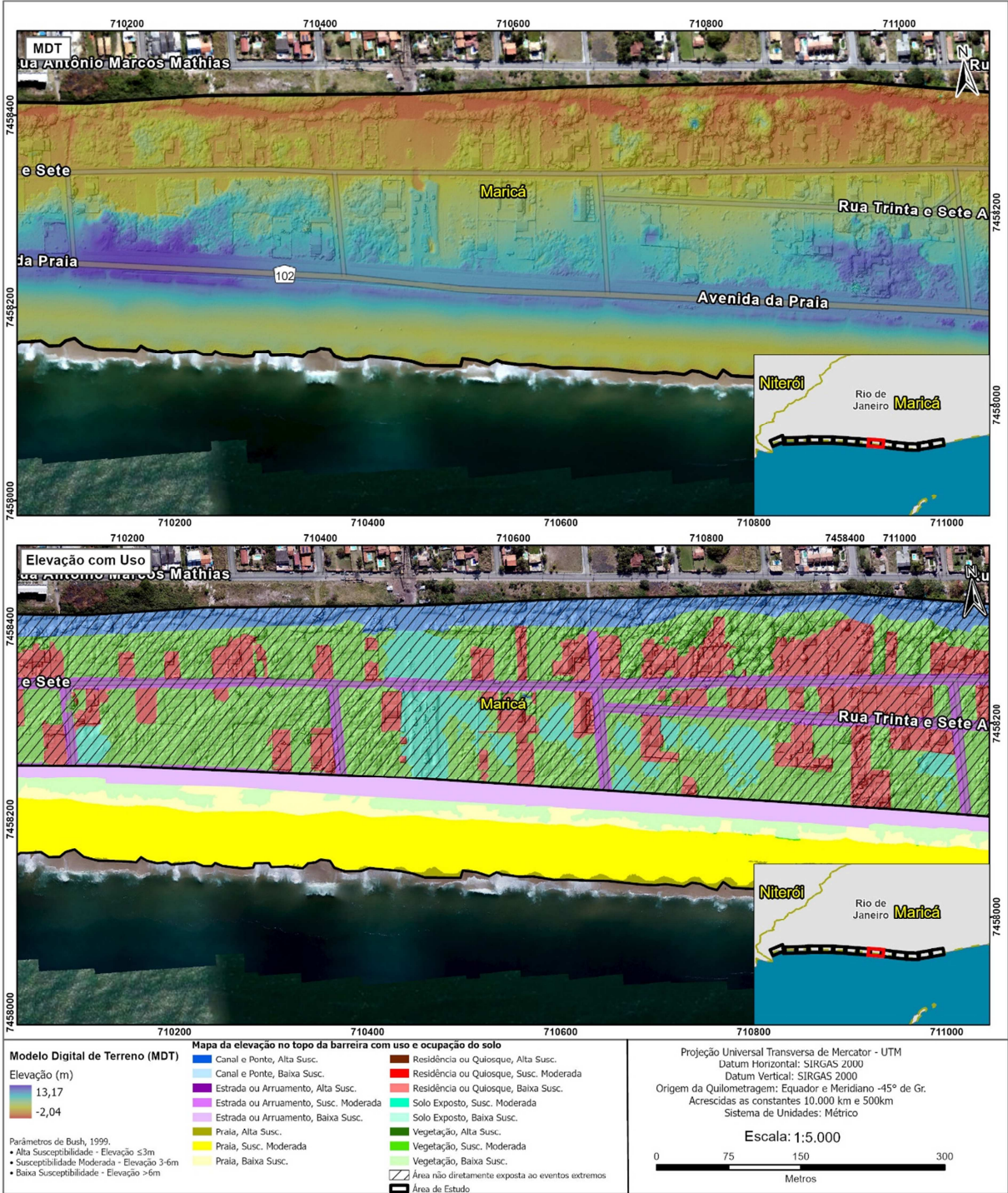


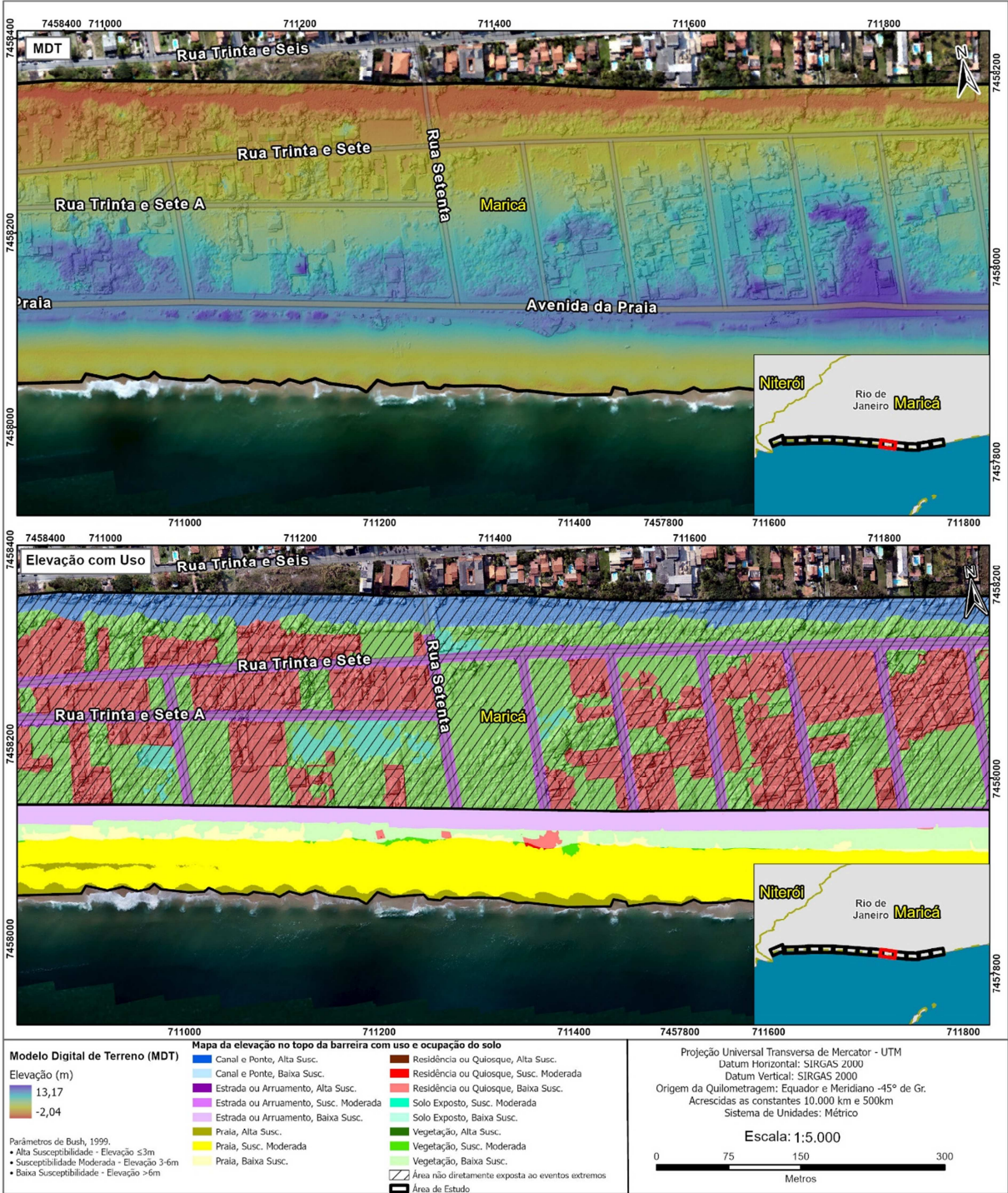


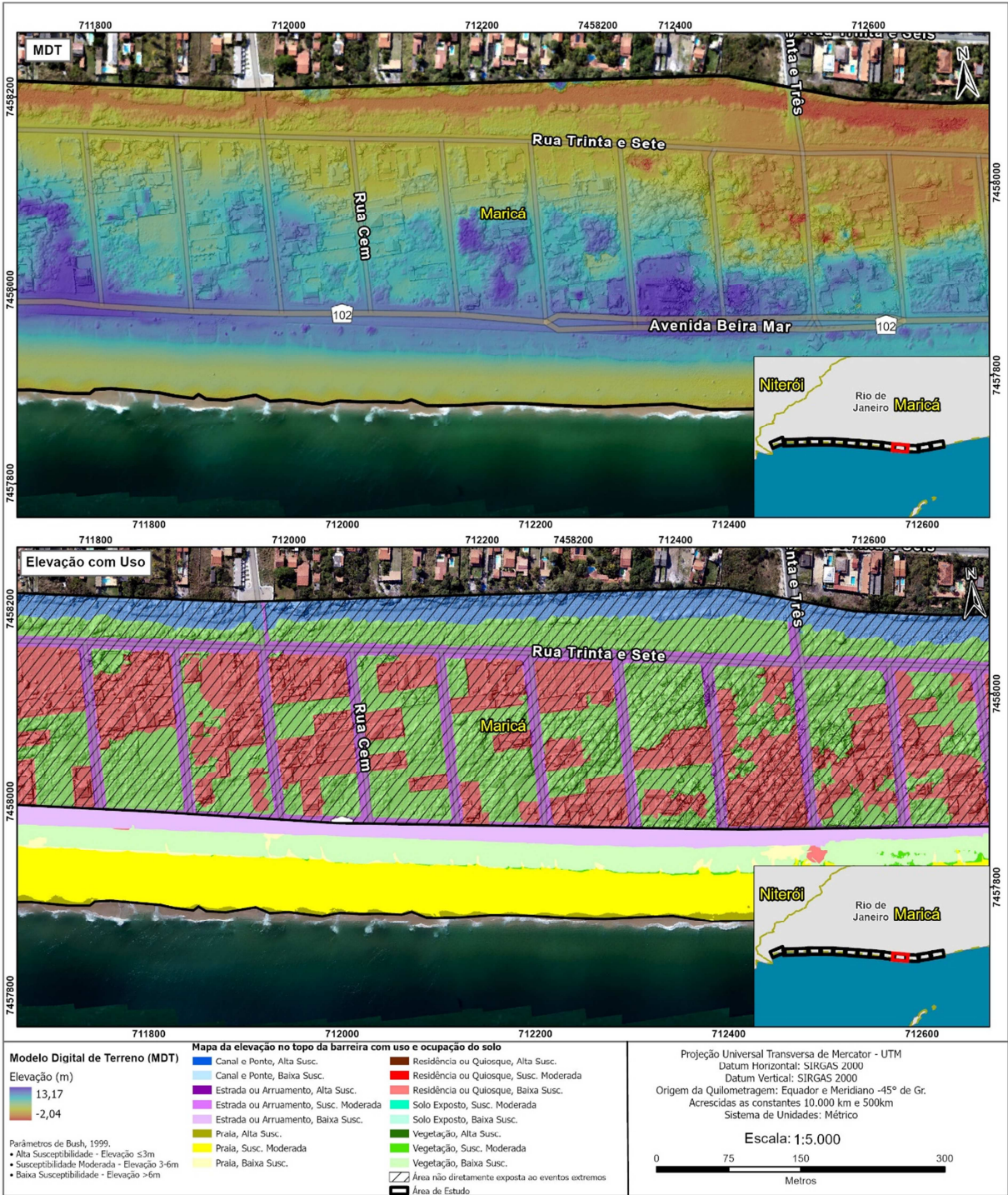


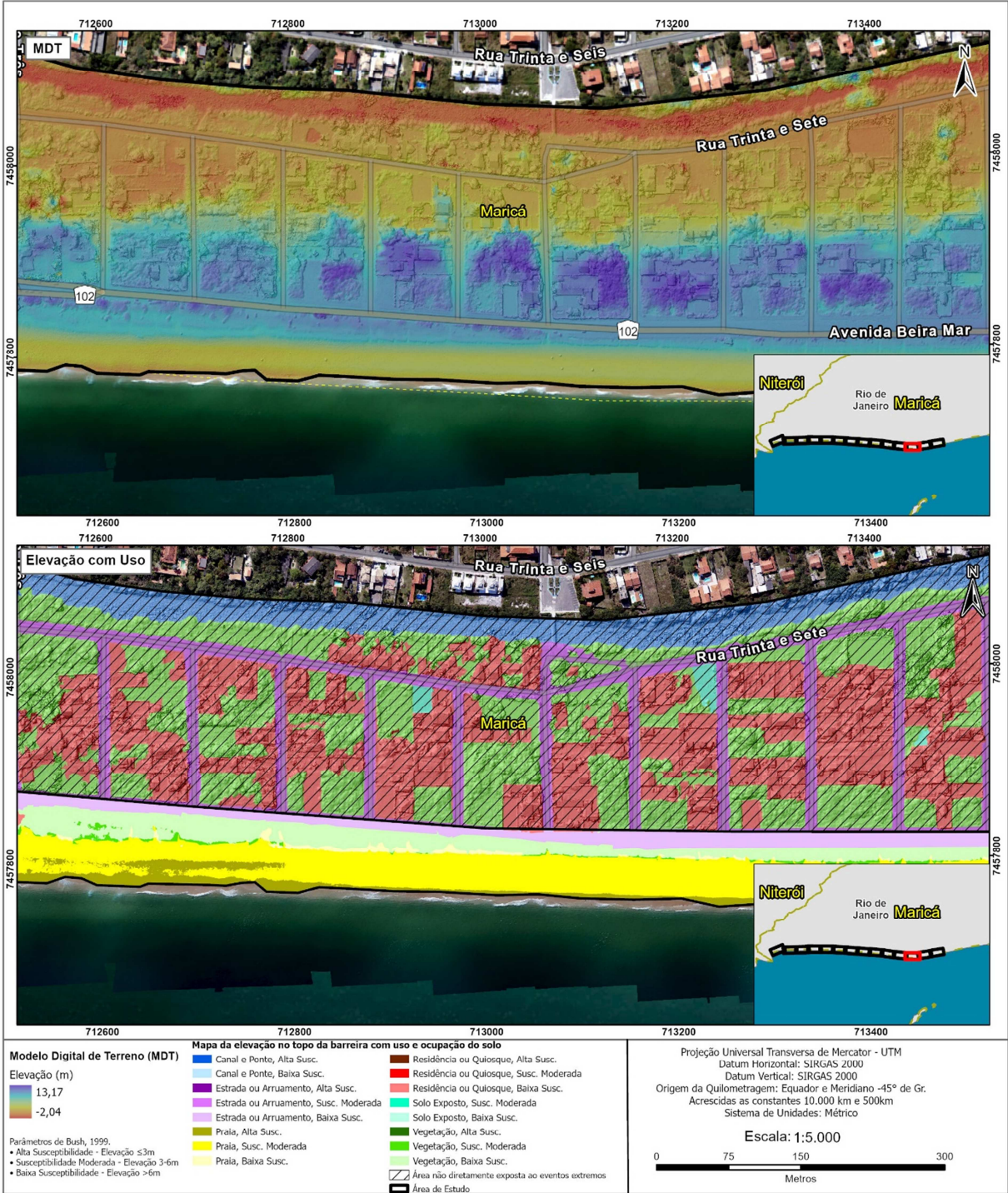


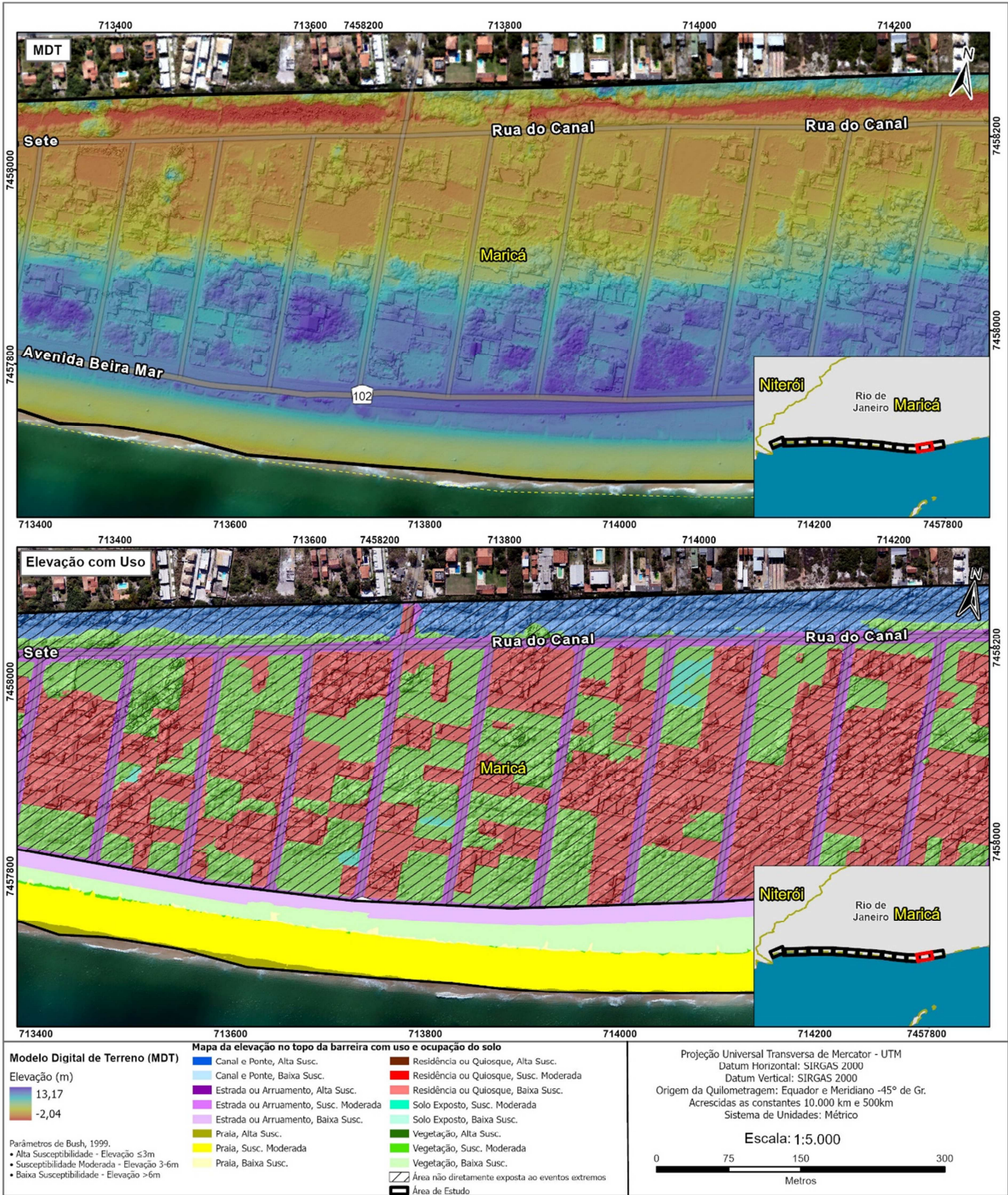


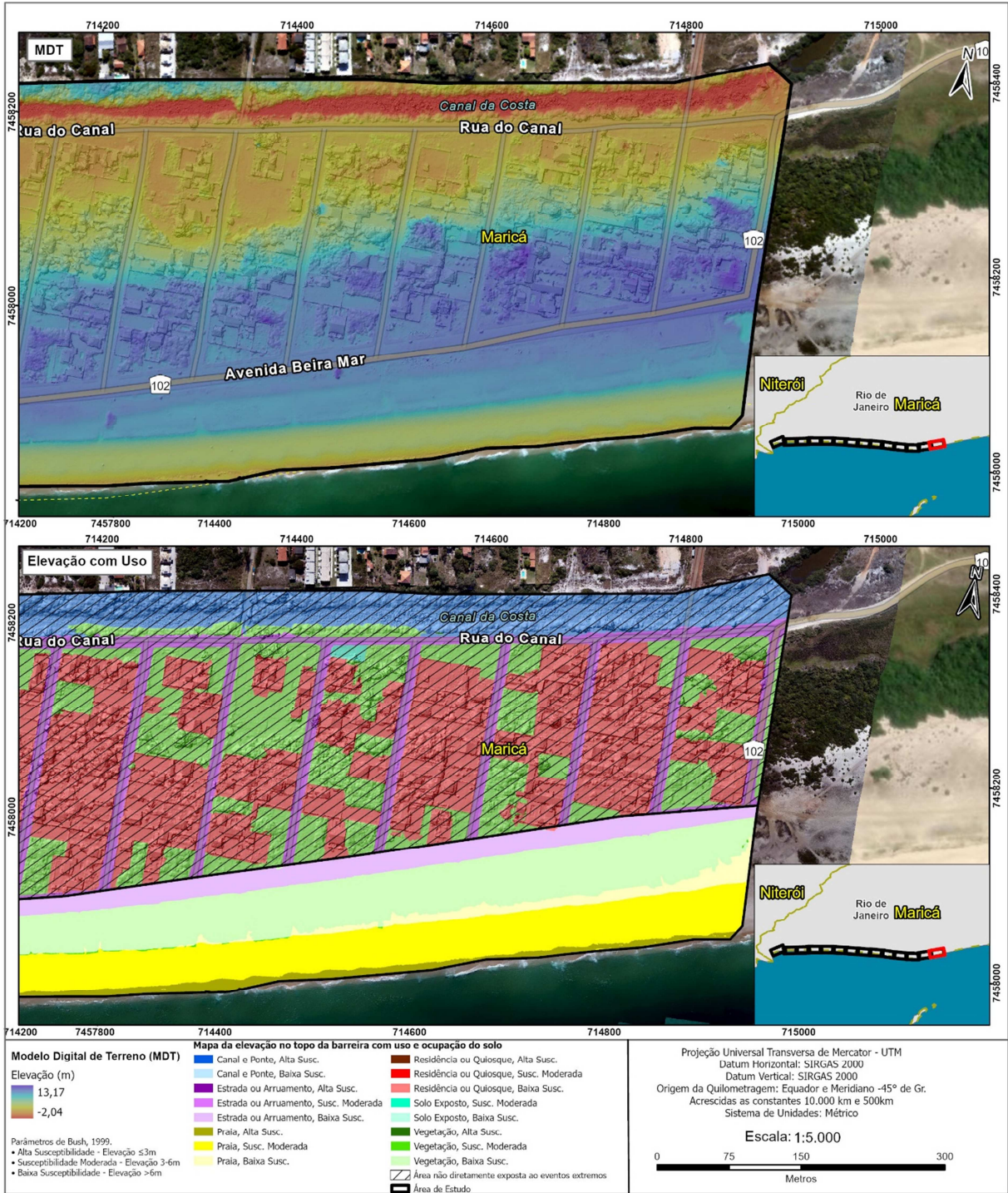












ANEXO C - Mapas da vulnerabilidade

