

Alexandre Nobre Leal Nogueira

**MUDANÇAS CLIMÁTICAS E VARIAÇÃO DO NÍVEL DO MAR: ESTUDO
DOS POSSÍVEIS IMPACTOS EM SÍTIOS DE INTERESSE GEOLÓGICO EM
ARMAÇÃO DOS BÚZIOS**

**Trabalho Final de Curso
(Geologia)**

UFRJ
Rio de Janeiro
2024



Alexandre Nobre Leal Nogueira

**MUDANÇAS CLIMÁTICAS E VARIAÇÃO DO NÍVEL DO MAR: ESTUDO
DOS POSSÍVEIS IMPACTOS EM SÍTIOS DE INTERESSE GEOLÓGICO EM
ARMAÇÃO DOS BÚZIOS**

Trabalho Final de Curso de
Graduação em
Geologia do Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio de Janeiro
(UFRJ), apresentado como requisito necessário
para obtenção do grau de Geólogo.

Orientadores:

Prof. Dra. Kátia Leite Mansur

Prof. Dr. José Carlos Sícoli Seoane

Rio de Janeiro
Novembro de 2024

NOGUEIRA, Alexandre Nobre Leal

**MUDANÇAS CLIMÁTICAS E VARIAÇÃO DO NÍVEL DO MAR:
ESTUDO DOS POSSÍVEIS IMPACTOS EM SÍTIOS DE
INTERESSE GEOLÓGICO EM ARMAÇÃO DOS BÚZIOS**

Alexandre Nobre Leal Nogueira

- - Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2024. 99 p.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) – Universidade

Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2024.

Orientadores: Kátia Leite Mansur; José Carlos Sícoli Seoane

1. Geologia. 2. IGEO – Trabalho de Conclusão de Curso.

I. Kátia Leite Mansur, José Carlos Sícoli Seoane UFRJ. II.

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências,

Departamento de Geologia. III. Mudanças climáticas e variação do nível do mar:

estudo dos possíveis impactos em sítios de interesse geológico em Armação dos Búzios

Alexandre Nobre Leal Nogueira

**MUDANÇAS CLIMÁTICAS E VARIAÇÃO DO NÍVEL DO MAR: ESTUDO
DOS POSSÍVEIS IMPACTOS EM SÍTIOS DE INTERESSE GEOLÓGICO EM
ARMAÇÃO DOS BÚZIOS**

Trabalho Final de Curso de Graduação
em Geologia do Instituto de
Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro
(UFRJ), apresentado como requisito
necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Orientadores:

Dra. Kátia Leite Mansur (UFRJ)

Dr. José Carlos Sícoli Seoane (UFRJ)

Aprovado em:

Por:

Orientadora: Prof. Dra. Kátia Leite Mansur (UFRJ)

Coorientador: Prof. Dr. José Carlos Sícoli Seoane (UFRJ)A

Dr, Jhone Caetano de Araújo (UFRJ)

Dr. Daniel Souza dos Santos (USP)

Dedico esse trabalho a toda minha família e meus amigos, por todo o apoio dado durante todos os anos de graduação. Especialmente ao meu pai, que sempre me incentivou e esteve comigo em absolutamente todos os momentos que precisei. A minha avó Ivone, minha saudade diária que infelizmente não está mais entre nós, e minha avó Ione, que também sempre me apoiou desde o começo.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente aos meus amigos, aos meus pais e a toda minha família, pelo incentivo durante toda a minha graduação. Agradeço à minha orientadora, Kátia Mansur, por todo o apoio e paciência que me foram dados desde o início deste trabalho e também ao meu coorientador, Cainho, por todo o suporte oferecido ao longo desse último ano. Agradeço também, em especial, aos professores Claudio Limeira e Renato Ramos, que foram os primeiros professores da Geologia que me fizeram realmente me interessar pela Geologia de campo.

Agradeço aos meus colegas de classe: Bruno Marques, Sofia D'orsi, Amanda Mendes, Gabriela Carvalho, Jacqueline Fernandes e Vitor Chagas, por todo o companheirismo e parceria durante todos esses anos de graduação, pessoas com as quais compartilhei muitos momentos bons juntos e que com certeza irei levar para sempre comigo.

Agradeço por último aos meus amigos pessoais de longa data Francisco Neves, Paula Barros e Camilla Bandeira, que sempre deram suporte às minhas escolhas e estiveram ao meu lado tanto nos momentos bons quanto ruins.

Resumo

Nogueira, Alexandre Nobre Leal. **Mudanças climáticas e variação do nível do mar: estudo dos possíveis impactos em sítios de interesse geológico em Armação dos Búzios.** 2024, 99p. Trabalho de Conclusão de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

As mudanças climáticas já estão afetando o planeta e uma de suas consequências mais graves é o aumento do nível do mar, colocando milhões de pessoas que vivem em zonas costeiras em perigo. O Estado do Rio de Janeiro abriga o município de Armação dos Búzios que conta com importante acervo geológico referente tanto à amalgamação e quebra do paleocontinente Gondwana Essa região conta, ainda, com ocorrências geológicas raras a nível internacional Sendo assim, se configura como uma área de valor científico, cultural, didático, e turístico, sendo dotado de muitos sítios com relevância geológica a serem preservados. Após pesquisa bibliográfica, foram selecionados 18 pontos de relevância geológica. Com a utilização de geotecnologias e suas ferramentas em ambiente SIG, simulou-se, para todos os pontos escolhidos, quatro possíveis cenários de aumento do nível do mar até 2100, baseados no último relatório do IPCC: 0,55m; 0,75m; 1,1m; 1,74m. A média da maré alta da região no último ano foi calculada em 1,04m e somada aos valores estimados projeções do IPCC. Cada ponto foi analisado individualmente e classificado em: não afetado, parcialmente afetado e totalmente afetado. Foram produzidas tabelas, com a classificação para cada aumento. Para cada ponto individual foi elaborado um mapa indicando a área possivelmente afetada no futuro. A análise mostrou que mesmo na menor magnitude possível de aumento do nível relativo do mar o município irá enfrentar graves problemas e consequências. Todos os níveis simulados demonstraram perdas de caráter econômico, turístico, social, didático e ambiental. Sendo assim, urge que se instaure no município medidas tanto de prevenção e mitigação, quanto de adaptação às mudanças climáticas, principalmente no que se relaciona ao aumento do nível do mar.

Palavras-chave: mudanças climáticas, nível do mar, zonas costeiras

Abstract

Nogueira, Alexandre Nobre Leal. **Climate change and sea level variation: study of possible impacts in geological interest sites in Armação dos Búzios**. 2024, 99p. Trabalho de Conclusão de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Climate change is already affecting the planet, and one of its most serious consequences is the rise in sea levels, putting millions of people living in coastal areas at risk. The state of Rio de Janeiro is home to the municipality of Armação dos Búzios, which contains an important geological heritage related to both the amalgamation and breakup of the paleocontinent Gondwana. This region also has rare geological occurrences of international significance. Therefore, it is considered an area of scientific, cultural, educational, and touristic value, with many sites of geological relevance that need to be preserved. After a bibliographic survey, 18 points of geological relevance were selected. Using geotechnologies and their tools in a GIS environment, four possible sea level rise scenarios up to 2100 were simulated for all the selected points, based on the latest IPCC report: 0.55m; 0.75m; 1.1m; and 1.74m. The average high tide in the region for the last year was calculated at 1.04m and added to the estimated values from the IPCC projections. Each point was individually analyzed and classified as: unaffected, partially affected, and totally affected. Tables were created with classifications for each rise scenario. For each individual point, a map was produced indicating the area likely to be affected in the future. The analysis showed that even with the smallest possible magnitude of sea level rise, the municipality will face serious problems and consequences. All simulated levels indicated losses of economic, touristic, social, educational, and environmental character. Therefore, it is urgent that preventive, mitigating, and adaptive measures be implemented in the municipality, particularly with regard to the rise in sea levels.

Key words: climate change, sea level, coastal zones

Lista de Figuras

Figura 1 - Localização Geográfica de Armação dos Búzios.....	21
Figura 2 - Mapa Geológico de Armação dos Búzios (modificado de Schmitt et al., 2012; Tetzner, 2001; Rubim, 2004). Fonte: SRTM 30 Plus V.8.0 – Serviços Geológico do Brasil (CPRM) e Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) (2013); Topografia 1:25.000 – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2018). (GONÇALVES, 2021).....	22
Figura 3 - Valores da geodiversidade de acordo com os serviços ecossistêmicos (GRAY, 2013).....	25
Figura 4 - Projeções do IPCC do aumento da temperatura global até 2100 em função de diferentes cenários de emissão de poluentes. (IPCC, 2023).....	27
Figura 5 - Relação entre concentração de CO ₂ , temperatura global e nível do mar nos últimos 400 mil anos. Adaptado de Hansen & Sato (2013).....	28
Figura 6 - Diferentes cenários de aumento do nível do mar até 2100 projetados pelo IPCC. A terminologia SSP x - y se refere a Trajetória Socioeconômica Compartilhada descrevendo as tendências socioeconômicas subjacentes aos cenários, e 'y' se refere ao nível de forçante radiativa (em watts por metro quadrado, ou W m ²) resultante do cenário no ano 2100.....	29
Figura 7 - Interação de diferentes mecanismos que afetam diretamente o nível do mar (MARTIN, 1986).....	30
Figura 8 - Representação do nível máximo alcançado pelo mar no município no Holoceno.....	32
Figura 9 - Exemplo de paleonível marinho inferido a partir do contato (c) entre areias praias (p) e eólica (e), na Restinga do Ararapira, São Paulo (ANGULO et al. 2002).....	33
Figura 10 - Diferentes fatores que agem na erosão e deposição de sedimentos num ambiente praial. Modificado de <i>Bird</i> (1993).....	36
Figura 11 - Compartimentação de um ambiente praial. Modificado de <i>David</i> (1985) e <i>Albino</i> (1999) por <i>Barros</i> (2009).....	37
Figura 12 - Representação esquemática das variáveis utilizadas para aplicação da Regra de Brunn (LINS-DE-BARROS, 2010)	39

Figura 13 - imagem de satélite com os pontos escolhidos como relevantes.....	43
Figura 14 - MDE da área de estudo.....	44
Figura 15 - Ferramenta calculadora raster.....	45
Figura 16 - Raster recalculado para valores inferiores a 1,55m.....	45
Figura 17 - contorno das áreas afetadas extraído após o uso da ferramenta calculadora raster, em grande escala.....	46
Figura 18 - exemplo de contorno de área afetada pelo aumento de 1,55m, numa escala menor.....	46
Figura 19 - exemplo de área afetada pelo aumento do mar em 1,55m	47
Figura 20 - área do Mangue de Pedra.....	50
Figura 21 - área do Mangue de Pedra.....	50
Figura 22 - Área afetada no Mangue de Pedra pelo aumento do mar em 1,55m.....	51
Figura 23 - Praia da Ferradura.....	52
Figura 24 - ponto da orla após ressaca.....	52
Figura 25 - área afetada na Praia da Ferradura pelo aumento do nível do mar em 1,55m.....	53
Figura 26 - área alagada dentro da área do empreendimento Aretê.....	54
Figura 27 - área afetada no empreendimento Arete pelo aumento do nível do mar em 1,55m. Vale ressaltar que um aterro elevou a área do empreendimento neste setor.....	55
Figura 28 – dique de diabásio e ortognaisses da Ponta do Marisco.....	57
Figura 29 – dique de diabásio na praia de Geribá.....	58
Figura 30 – estrias de falha.....	58
Figura 31 - área afetada na Ponta do Marisco pelo aumento do nível do mar em 1,79m.....	59
Figura 32 - areia rosa da Praia do Forno, em razão da concentração do mineral granada.....	60
Figura 33 - área afetada na Praia do Forno pelo aumento do mar em 1,79m....	61
Figura 34 - escarpa da falha do Pai Vitório, na Ilha Feia. Obtido em https://caminhoslivres.wordpress.com/2014/04/07/buzios/	62

Figura 35 - área afetada na Ilha Feia pelo aumento do nível do mar em 1,79m	63
Figura 36 – barcos de pesca na Praia Rasa.....	64
Figura 37 - erosão na falésia adjacente à Colônia de Pesca da Rasa, evidenciando a instalação de um processo que pode afetar o local de guarda dos barcos dos pescadores artesanais.....	65
Figura 38 - área afetada na Colônia de Pesca da Praia Rasa pelo aumento do nível do mar em 1,79m.....	66
Figura 39 - área de abrangência da APAMB (PEDRINI, 2013).....	67
Figura 40 – Ponta do Pai Vitório.....	69
Figura 41 - área afetada na Ponta do Pai Vitório pelo aumento do nível do mar em 2,14m.....	70
Figura 42 – Praia de Tucuns.....	72
Figura 43 – erosão na praia após ressaca em 2021.....	72
Figura 44 - área afetada na Praia de Tucuns pelo aumento do nível do mar em 2,74m.....	74
Figura 45 - afloramentos de rochas metassedimentares na ponta da Lagoinha.....	74
Figura 46 - Praia da Foca.....	75
Figura 47 - área afetada na Ponta da Lagoinha-Foca-Forno pelo aumento do nível do mar em 2,74m.....	75
Figura 48 - diques de diabásio cortando gnaisses, na Praia de José Gonçalves	76
Figura 49 – blocos de rocha na praia de José Gonçalves.....	77
Figura 50 - área afetada na Praia de José Gonçalves pelo aumento do nível do mar em 2,74m.....	78
Figura 51 – Ponta das Poças.....	79
Figura 52 – Pedra do Guardiã.....	79
Figura 53 - área afetada na Ponta das Poças e Pedra do Guardiã pelo aumento do nível do mar em 2,74m.....	80
Figura 54 - foto panorâmica da Serra das Emerências.....	81
Figura 55 – Serra das Emerências vista por outro ângulo.....	81

Figura 56 - área afetada na Serra das Emerências pelo aumento do nível do mar em 2,74m.....	82
Figura 57 Praia das Caravelas.....	83
Figura 58 área afetada na Praia das Caravelas pelo aumento do mar em 2,74m.....	84
Figura 59 - nascente do Quilombo da Baía Formosa.....	85
Figura 60 – Nascente do Quilombo da Baía Formosa, não afetado em nenhum nível estudado.....	86
Figura 61 – Lagoa da Ferradura.....	87
Figura 62 - Fotomicrografias de grãos de pólen em sedimentos holocênicos da lagoa da Ferradura do testemunho RJ 92-5 (FREITAS, 2012).....	87

Lista de Tabelas

Tabela 1 - pontos considerados como relevantes para o trabalho.....	42
Tabela 2 - média de maré alta para a região.....	48
Tabela 3 - classificação dos pontos em relação ao risco de serem afetados pelo aumento do nível do mar em 1,55m.....	49
Tabela 4 - classificação dos pontos em relação ao risco de serem afetados pelo aumento do nível do mar em 1,79m.....	56
Tabela 5 - classificação dos pontos em relação ao risco de serem afetados pelo aumento do nível do mar em 2,14m.....	68
Tabela 6 - classificação dos pontos em relação ao risco de serem afetados pelo aumento do nível do mar em 2,74m.....	71

Lista de Quadros

Quadro 1 - método desenvolvido por <i>Gornitz</i> (1991) para se calcular o índice de vulnerabilidade costeira.....	35
---	----

Sumário

1. INTRODUÇÃO	19
1.1 Localização da área de estudo	21
1.2 Geologia de Armação dos Búzios	22
2. OBJETIVOS	24
3. CONTEXTO TEÓRICO	25
3.1 Geodiversidade e Patrimônio Geológico	25
3.2 Mudanças Climáticas	26
3.3 Variação do Nível do Mar	30
3.4 Índice de Vulnerabilidade Costeira	34
3.5 Dinâmica Sedimentar em ambientes costeiros	34
4. MATERIAIS E MÉTODOS	40
4.1 Revisão Bibliográfica	40
4.2 Seleção dos pontos de análise	41
4.3 Geoprocessamento	43
5. RESULTADOS	48
5.1 Aumento de 1,55m	49
5.2 Aumento de 1,79m	56
5.3 Aumento de 2,14m	68
5.4 Aumento de 2,74m	71
6. DISCUSSÃO	89
7. CONCLUSÃO	92

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

93

1. INTRODUÇÃO

O Holoceno é uma época geológica que está inserida no período Quaternário e teve início há cerca de 11.700 anos, após o término do último evento glacial ocorrido no planeta, durante o Pleistoceno (BROECKER et al, 1988). Foi nesse período que as sociedades começaram a se desenvolver de forma mais rápida e concisa e, a partir da segunda metade do século XVIII, teve início na Inglaterra a primeira Revolução Industrial, que deu início a uma série de transformações sociais, econômicas e ambientais em todo o planeta. Nesse contexto de rápido desenvolvimento das sociedades, é inegável a influência humana sobre o clima do planeta: a queima de combustíveis fósseis, desmatamento, atividades agropecuárias e poluição dos oceanos são alguns dos exemplos de atividades antropogênicas que impactam o clima do planeta em escala muito mais rápida que a do tempo geológico (BINDOFF et al, 2007). Segundo o relatório de 2023 do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas), a temperatura do planeta pode subir entre 1,8 e 4,8 até 2100, em relação aos níveis pré - industriais.

As mudanças climáticas exercem influência direta sobre o nível do mar. *Cunha* (2016) pontua que o Quaternário possui um padrão natural de grandes períodos de resfriamento do planeta a cada 110.000 anos, os glaciais, seguidos de pequenos períodos de aquecimento em torno de 12.000 anos, os interglaciais, que também interferem diretamente o nível do mar. O ciclo de Milankovitch é uma teoria que relaciona os ciclos astronômicos com essas alterações climáticas em longo prazo, com alterações na órbita da Terra, sendo as responsáveis pelas variações cíclicas de energia solar que atingem o planeta, influenciando nos padrões climáticos (IMBRIE e IMBRIE, 1979). Além das mudanças climáticas, outros fatores podem influenciar o nível do mar, como: variações de volume de água dos oceanos (glácio-eustasia), modificações de volume nas bacias oceânicas (tectono-eustasia) e modificações da superfície do geóide (geóide-eustasia) (SUGUIO, 1993).

O litoral brasileiro possui aproximadamente 10,9 mil km de extensão, contornando 279 municípios em 17 estados, além da Lagoa de Patos (RS). Sua superfície aproximada é de 251,3 mil km², correspondendo a cerca de 2,9% do território brasileiro (IBGE, 2012). É caracterizado por uma extensa e diversa paisagem resultante da ação de diferentes agentes geológicos e geomorfológicos. Seu processo de formação remonta ao Jurássico - Cretáceo, a partir do processo de quebra do supercontinente Gondwana e consequente abertura do oceano Atlântico, entre 180 e 130 milhões de anos (PONTE e ASMUS, 1978). Como resultante desse processo, ocorreu, ainda, a formação de diversas bacias sedimentares ao longo da costa do Brasil, com grande potencial exploratório para óleo e gás, tanto no continente como na margem adjacente, o que foi denominado por Almeida e Carneiro (1987) como reativação pós paleozoica.

O município de Armação dos Búzios, localizado no litoral do estado do Rio de Janeiro, registra um importante acervo geológico relacionado ao processo de amalgamação do paleocontinente Gondwana, especialmente no último processo de colisão entre o Brasil e África, há aproximadamente 525 Ma, evento conhecido como Orogenia Búzios (SCHMITT et al, 2001). Além disso, também possui registros da quebra desse supercontinente e consequente abertura do Oceano Atlântico, na forma de diques de diabásio, e das reativações posteriores, como a falha do Pai Vitório (REIS e LICHT, 1982; REIS e MANSUR, 1995). Essa região possui ocorrências geológicas raras e exclusivas do estado do Rio de Janeiro e do Brasil, como gnaisses com cianita, silimanita, granada e biotita, que atestam sua origem sedimentar (Reis, 1982) e uma estrutura mineral de caráter único que é o crescimento pseudomórfico da cianita sobre a silimanita, o que indica metamorfismo retrógrado, além de altas pressões (9 kbar) e temperaturas (780) de formação para essa rocha. Estas rochas ainda apresentam deformações e estruturas como dobras, falhas e lineações, resultantes dos esforços tectônicos aos quais foram submetidas em sua história geológica (SCHMITT et al, 2004)

Em razão desse caráter geológico único e raro, o município de Armação dos Búzios já foi alvo de diversos estudos, e no âmbito da geodiversidade,

foram selecionados alguns sítios com relevância geológica e cultural na região, com intuito de preservar esse importante acervo de caráter científico, educativo, cultural e turístico. Entre os principais sítios de Búzios, destacam-se o Mangue de Pedra e falésias ativas e paleofalésias associadas, Ponta da Lagoinha/Foca/Forno, Ponta do Marisco, Praia de José Gonçalves, Praia do Forno, Nascente do Quilombo da Baía Formosa e Ponta do Pai Vitório. Os registros variam desde os ortognaisses e ortoanfibolitos do embasamento, de 2 bilhões de anos expostos na Praia de José Gonçalves e na Praia de Geribá, deformados durante a colisão da América do Sul e África até antigas falésias ativas quando o nível do mar estava mais alto, há cerca de 5100 anos A.P (Geoparque Costões e Lagunas RJ, 2024). Com as Variações do Nível Relativo do Mar (VNRM) em possível elevação, o município e os geossítios nele mapeados podem perder funções, serviços ecossistêmicos e serem perdidos para os usos a que hoje se destinam. O município dispõe de uma base cartográfica de detalhe, o que permite estudos com maior acurácia. O objetivo desta pesquisa é avaliar, à luz do conhecimento hoje disponível, como estas alterações podem se dar e alertar para a necessidade de adaptações no uso das terras em Armação dos Búzios.

1.1 Localização da área de estudo

A região de estudo compreende o município de Armação dos Búzios, cuja área aproximada é de 70 km², localizado na região sudeste do Brasil, no estado do Rio de Janeiro (Figura 1) A região está a cerca de 175 km de distância da capital do estado e possui uma população estimada em cerca de 42 mil habitantes (IBGE, 2024).

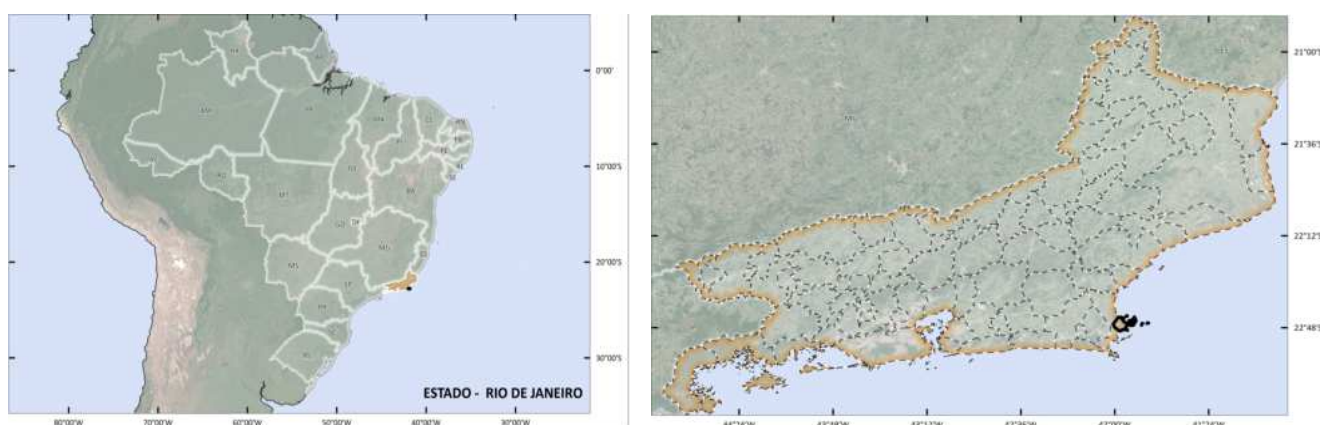


Figura 1: Localização geográfica da área de estudo. Fonte: CPRM, 2021

1.2 Geologia de Armação dos Búzios

Em relação à geologia, o município conta com a ocorrência dos seguintes grupos de rochas: o Complexo Região dos Lagos, o Grupo Búzios-Palmital, diques de diabásio, Formação Barreiras e sedimentos Quaternários (Figura 2)

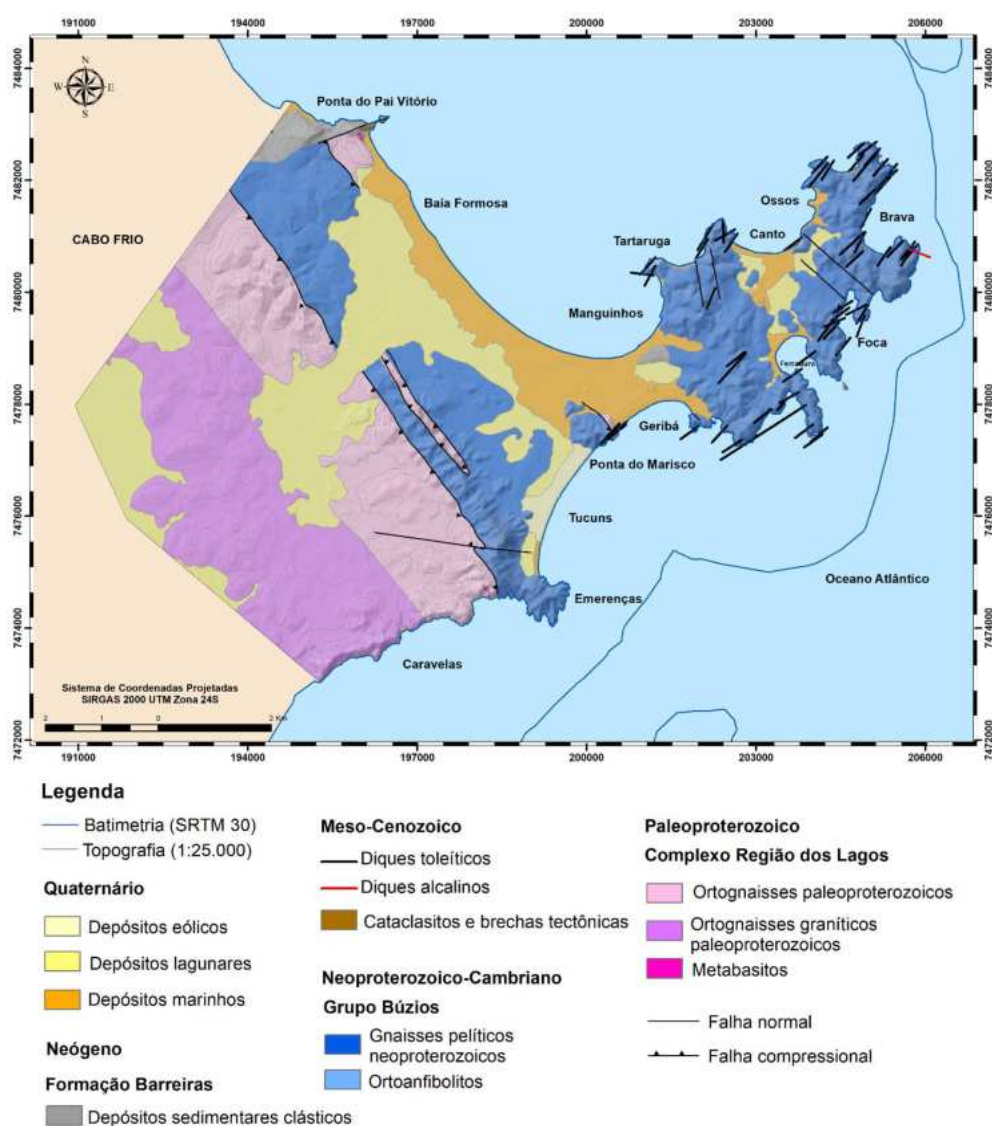


Figura 2: Mapa Geológico de Armação dos Búzios (modificado de Schmitt et al., 2012; Tetzner, 2001; Rubim, 2004). Fonte: SRTM 30 Plus V.8.0 – Serviços Geológico do Brasil (CPRM) e

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) (2013); Topografia 1:25.000 – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2018). (GONÇALVES, 2021)

O complexo Região dos Lagos corresponde ao embasamento cristalino de idade Paleoproterozoica e é formado por ortognaisses e ortoanfibolitos, situado no Terreno Cabo Frio, no extremo sudeste da faixa móvel Ribeira (FONSECA, 1989).

O Grupo Búzios é representado por um espesso pacote de rochas metassedimentares aluminosas, representadas principalmente por silimanita-cianita-biotita-granada-gnaisses bandados, enquanto a sucessão Palmital é composta por silimanita-biotita-gnaisses quartzo feldspáticos, sucessões de rochas que ocorrem intercaladas (SCHMITT ET AL, 2004).

Os diques de diabásio presentes na região são importante registro geológico do Mesozóico, sendo estruturas rúpteis formadas em resposta aos esforços tectônicos extensionais decorrentes do processo de abertura do Oceano Atlântico (TETZNER et al., 2001).

A Formação Barreiras ocorre como importante registro sedimentar de idade miocênica que se estende por mais de 4000 km, desde a região Amazônica até o estado do Rio de Janeiro (BEZERRA, 2001).

Os sedimentos quaternários se distribuem ao longo de praias, dunas e da plataforma continental, formando depósitos tanto flúvio-marinhos, associados a áreas de drenagem e inundações, quanto praias-marinhos (BULHÕES e FERNANDEZ, 2012).

2. OBJETIVOS

O objetivo geral do presente trabalho é realizar simulações num ambiente de SIG para compreender de que forma o aumento do nível relativo do mar, em diferentes cenários apontados pelo IPCC, , pode impactar de forma negativa alguns dos sítios de relevância geológica de Armação dos Búzios a longo prazo, em função do contexto de mudanças climáticas.

Mais especificamente, busca-se entender essa dinâmica ao se analisar cada ponto individualmente e sob a ótica de quatro possíveis aumentos, estudando as possíveis alterações individuais partir de uma classificação para cada ponto, em cada aumento em: não afetado, parcialmente afetado, totalmente afetado.

Além disso, busca-se compreender as dinâmicas de ocupação do território e como essas ocupações podem ser afetadas no futuro. Ao final, ~~foi~~ buscou-se contribuir para o enfrentamento das mudanças climáticas no futuro, com sugestões tanto de mitigação quanto de prevenção aos impactos decorrentes do aumento do nível do mar sobre geossítios selecionados e, consequentemente, com alertas para todo o território municipal.

3. CONTEXTO TEÓRICO

3.1. Geodiversidade e Patrimônio Geológico

A geodiversidade pode ser caracterizada como variedade de ambientes geológicos, fenômenos e processos ativos que dão origens a minerais, fósseis, rochas, paisagens, solos e depósitos superficiais que dão suporte para a vida na Terra (STANLEY, 2000). Em um dos primeiros trabalhos tratando da valoração da geodiversidade, Gray (2004) pontuou que esta possui sete valores diferentes: intrínseco, cultural, estético, econômico, funcional, científico e educativo. Posteriormente, o conceito de serviços ecossistêmicos da natureza passou a ser aplicado nos estudos da geodiversidade. Segundo Andrade e Romero (2009), esses serviços são definidos como “tangíveis (alimentos e madeira, por exemplo) e intangíveis (beleza cênica e regulação do clima) obtidos pelo ser humano, através das dinâmicas e complexas interações entre os diversos componentes do capital natural”. Gray (2013), definiu, então, baseado na Avaliação Ecossistêmica do Milênio, um novo sistema de valoração para a geodiversidade, composto por 1 valor (intrínseco), 5 serviços (regulação, suporte, provisão, cultural e conhecimento) e 25 bens e processos (Figura 3).

Brilha (2016) aborda o conceito de geodiversidade “in situ” em dois grupos: sítios com valor científico (ou geossítios) e sítios com outros valores. Ele também definiu (BRILHA 2005) o Patrimônio Geológico como o conjunto de geossítios com valor científico inventariados e caracterizados numa dada área ou região, e ressalta como a influência antrópica pode estar colocando em risco esses patrimônios. Os locais com valores diferentes, como turísticos, culturais, ou didáticos, são classificados como sítios de geodiversidade’ quando *in situ* e ‘elementos de geodiversidade’ quando *ex situ*. Essa divisão foi feita na tentativa de diminuir a subjetividade que poderia ser associada ao termo ‘patrimônio’, para que assim este não se tornasse um termo genérico. Sendo assim, dada a expressiva diversidade desses ambientes geológicos que ocorrem no planeta, definir especificamente quais elementos da geodiversidade devem ser protegidos e quais não é uma tarefa complexa, tornando necessário que a toda a comunidade geocientífica participe deste tipo de debate.

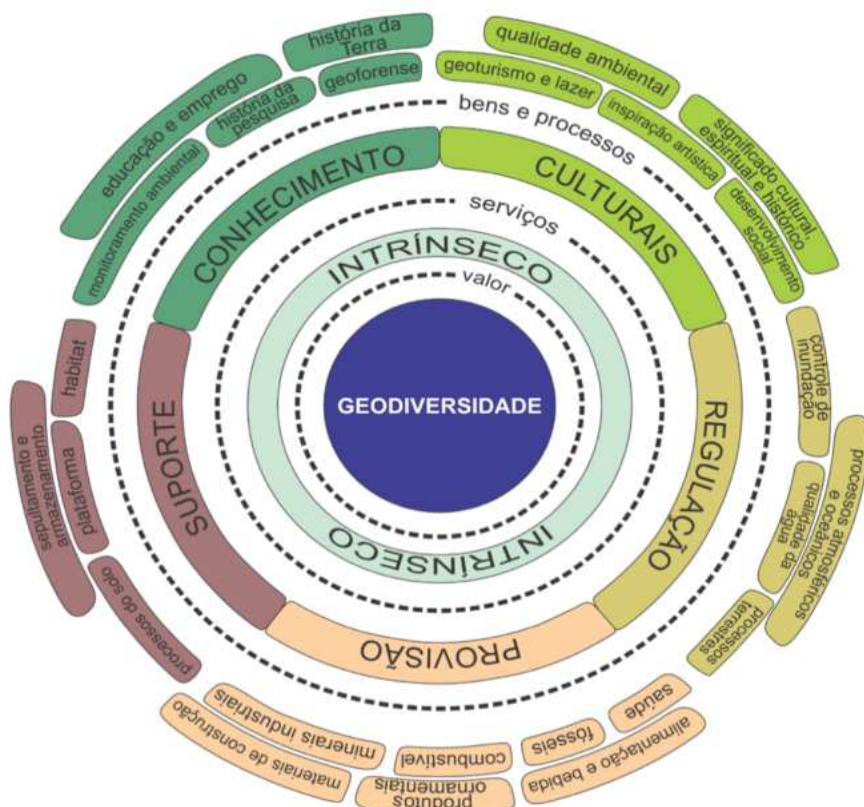


Figura 3: valores da geodiversidade de acordo com os serviços ecossistêmicos (GRAY, 2013).

O termo 'geopatrimônio' é um termo mais abrangente utilizado para designar Patrimônio Geológico, que por sua vez pode ser dividido em: Patrimônio Geomorfológico, Patrimônio Paleontológico, Patrimônio Mineralógico, Patrimônio Petrológico, Patrimônio Hidrogeológico, entre outros (MORAIS, MEIRA, 2016). Nesse sentido, levando em conta que é importante não apenas considerar a diversidade, mas conservar e divulgar esses patrimônios, urge a necessidade de estudos e avaliações mais aprofundados de como as mudanças climáticas podem afetá-los, especialmente no caso de Armação dos Búzios, em função da sua localização costeira.

3.2 Mudanças Climáticas

O aquecimento global é apontado como realidade pelo IPCC (2023) e as mudanças climáticas tornam cerca de 3.6 bilhões de pessoas no mundo altamente vulneráveis aos seus efeitos e consequências. Alguns dos seus efeitos são: ondas de calor extremo, chuvas torrenciais, El Niño/La Niña

acentuados, alteração do padrão de circulação das correntes oceânicas, extinção de animais, secas, desertificação e enchentes (ANDRADE e LACERDA, 2009). As Populações humanas, o meio ambiente e os animais sofrem as consequências diretas das mudanças climáticas. Segundo o IPCC (2023) a temperatura do planeta poderá subir entre 1,8 e 4,8 até 2100, a depender de medidas tomadas agora e do quanto for possível reduzir as emissões de gases poluentes para a atmosfera (Figura 4).

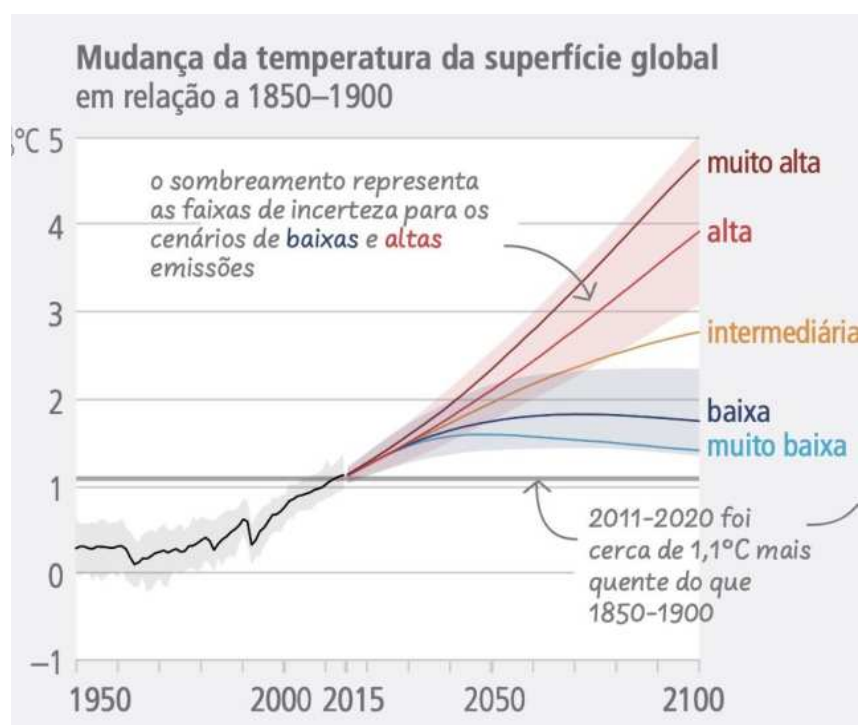


Figura 4: projeções do IPCC do aumento da temperatura global até 2100 em função de diferentes cenários de emissão de poluentes. (IPCC, 2023).

O Acordo de Paris é um acordo firmado em 2015 entre 196 países na intenção de diminuir a emissão de gases estufa e assim limitar o aumento da temperatura global em até 2 graus em relação aos níveis pré-industriais (UNFCCC, 2024). Entretanto, na década 2011-2020, o planeta registrou a temperatura média de 1.1°C acima dos níveis pré- industriais, o que já causa danos ambientais irreversíveis em algumas regiões do planeta. Segundo o observatório climático europeu Copernicus (C3S, 2024) a temperatura média global no período específico de 12 meses entre fevereiro de 2023 e janeiro de 2024 alcançou a impressionante marca recorde de 1.52 graus acima dos níveis

pré- industriais, pela primeira vez na história, demonstrando a impressionante velocidade na qual as mudanças estão ocorrendo.

Segundo o IPCC (2023) no melhor cenário possível, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa drasticamente, a temperatura global ainda subiria 1,8°C até 2100. Caso a emissão de gases de efeito estufa continue, a temperatura poderá subir 2,8°C até 2100. Esse aumento faria os recifes de corais desaparecerem completamente, aumentaria em 60 cm do nível do mar e tornaria as ondas de calor extremo 14 vezes mais frequentes do que atualmente. Caso as emissões se intensifiquem, esse aumento de temperatura pode chegar a 4,8°C, o que teria consequências catastróficas. O IPCC também estima que os países em desenvolvimento, sozinhos, precisarão de US\$ 127 bilhões por ano até 2030 e US\$ 295 bilhões por ano até 2050 para se adaptar às mudanças no clima.

O aumento do nível do mar é uma das possíveis consequências diretas das mudanças climáticas, ameaçando cidades e populações inteiras ao redor do mundo. Ao longo de sua história geológica, o planeta passou por diversos ciclos de aquecimento e resfriamento, com subida e descida do nível do mar. Conjuntamente com o nível de CO₂ na atmosfera, o entendimento desses três fatores integrados é essencial nos estudos referentes à subida do nível do mar, sendo possível observar a relação entre essas variáveis (Figura 5).

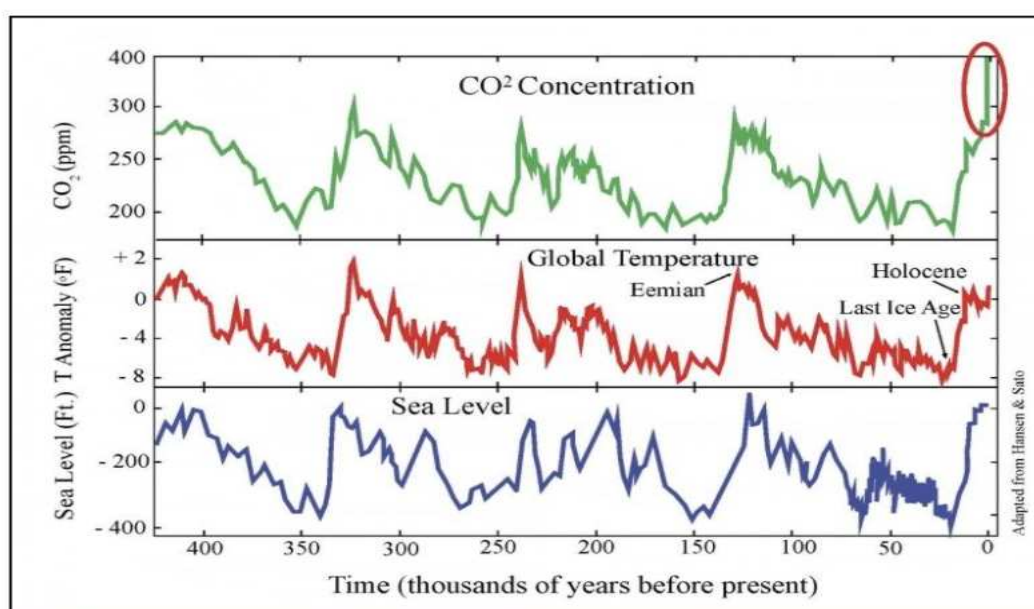


Figura 5: Relação entre concentração de CO₂, temperatura global e nível do mar nos últimos 400 mil anos. Adaptado de Hansen & Sato (2013)

Estima-se que 4 bilhões de pessoas vivem a uma distância de até 50 km da linha de costa e, nessas regiões, são registradas taxas de crescimento populacional maiores do que no interior (NEUMANN et al, 2015). No Brasil, cerca de 25 % da população vive em zonas costeiras, ou 50 milhões de pessoas (IBGE, 2011). A agricultura em zonas costeiras é um outro exemplo de atividade humana que pode sofrer com as mudanças climáticas, com a água salgada salinizando o solo. Além das populações humanas, os ecossistemas nessas áreas estão altamente suscetíveis a mudanças ambientais, que vão muito além do aumento do nível do mar, como aumento da precipitação e temperatura.

Segundo o IPCC (2023), para o futuro, traçam-se diferentes cenários de aumento do nível do mar que, assim como ocorre com o aumento das temperaturas, irão depender do quanto possível for diminuir as emissões atuais de gases poluentes para a atmosfera. Em relação ao nível do mar em 1900, as projeções variam entre 0,51 cm de aumento, num cenário otimista, até cerca de 1,7m num cenário mais pessimista, de baixa probabilidade (Figura 6)

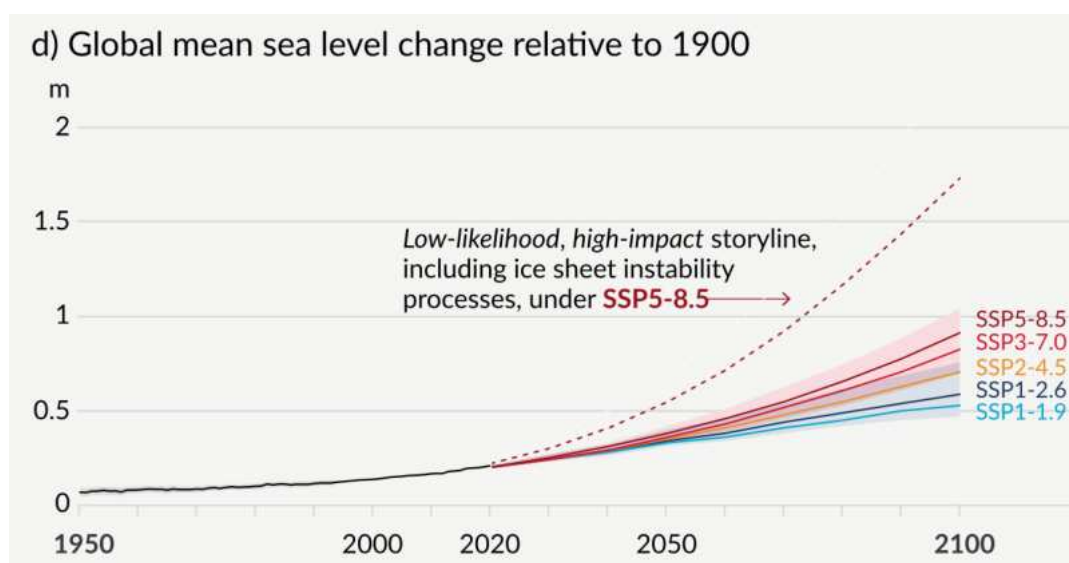


Figura 6: Diferentes cenários de aumento do nível do mar até 2100 projetados pelo IPCC. A terminologia SSP x - y se refere a Trajetória Socioeconômica Compartilhada descrevendo as tendências socioeconômicas subjacentes aos cenários, e 'y' se refere ao nível

de forçante radiativa (em watts por metro quadrado, ou $W m^2$) resultante do cenário no ano 2100.

3.3 Variação do Nível do mar

O nível relativo do mar pode ser definido como altitude do mar em determinada localidade, sendo resultado de uma complexa interação de mecanismos, que afetam-no em escala local, regional e global (MARTIN, 1996) (Figura 7). As flutuações do nível relativo do mar podem ocorrer em função da variação real do nível marinho (eustasia) ou ainda mudanças nos níveis dos continentes (tectonismo e isostasia) (SUGUIO, 1985). A glacio e tectono-eustasia têm o poder de influenciar o nível relativo do mar em escala global, enquanto a geóido-eustasia possui escala de influência local/regional.

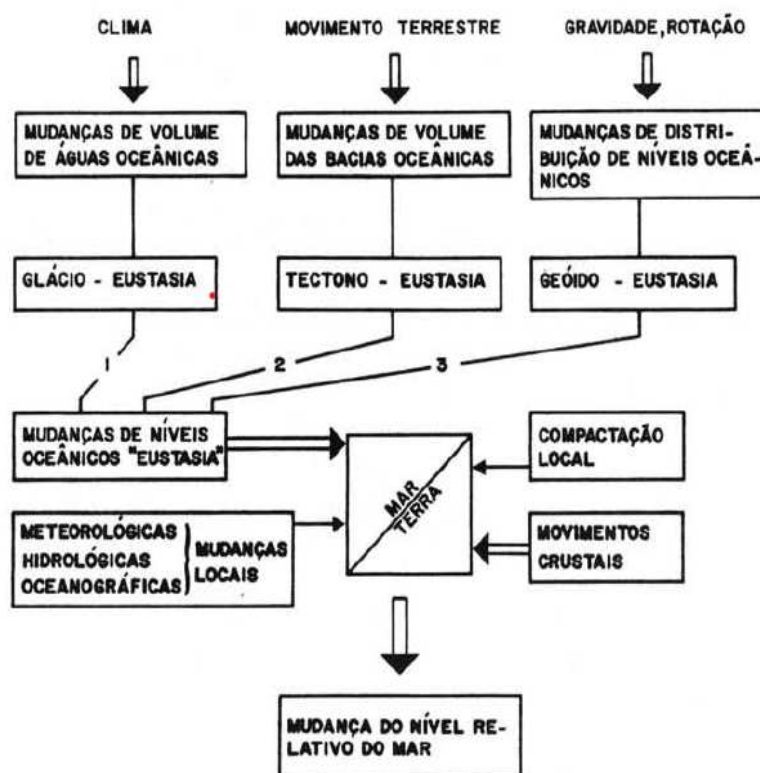


Figura 7: interação de diferentes mecanismos que afetam diretamente o nível do mar (MARTIN, 1986).

A mudança do nível do mar durante o Quaternário teve impacto direto na evolução das planícies costeiras brasileiras, moldando assim o litoral do país. O estudo das evoluções das posições relativas do mar no passado até o presente é de extrema importância para entender como essas variações, agora sob efeitos das mudanças climáticas, podem ser esperadas para o futuro. Após 1974, as flutuações no nível marinho têm sido estudadas por pesquisadores, principalmente no que tange ao período dos últimos 7.000 anos no estado do Rio de Janeiro (CASTRO et al 2014, JESUS et al 2017, Areias et al, 2020). Em razão das diferentes escalas de flutuação do nível do mar (local, regional ou global), vale lembrar que essas reconstruções são baseadas em níveis relativos, e não absolutos.

A construção de curvas de evolução do nível do mar em certa parte do litoral é, então, de grande importância para o entendimento dos processos que influenciaram no desenvolvimento dessas áreas por certo período de tempo. No caso do litoral sudeste do Brasil, *Castro et al* (2021) formularam uma curva de variação para o Holoceno. Entre o final do Pleistoceno e o início do Holoceno, os pesquisadores identificaram registros de recordes negativos do nível do mar em *beachrocks*, processo que foi seguido por uma subida relativamente rápida do mesmo. Há cerca de 7.500 A.P, o zero (nível do mar atual) foi ultrapassado pela primeira vez (MARTIN et al, 1985). Entre 5.500 A.P e 4.500 A.P, o nível relativo do mar atingiu seu primeiro máximo, com cota de +2,8m em relação aos níveis atuais, com a descida do nível do mar após esse pico transgressivo levando a construção de terraços marinhos, resultando a progradação da linha de costa até o presente (CASTO et al, 2014). A área de estudo, o município de Armação dos Búzios, foi fortemente impactada, conforme mostra o trabalho de (MANSUR e RAMOS 2010, 2018) (Figura 8). Para o Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2018) cerca de 20% de sua área possui média a alta probabilidade de inundações.



Figura 8: representação do nível máximo alcançado pelo mar no município no Holoceno

Os indicadores de variação do nível do mar podem ser de natureza geomorfológica, estratigráfica, biológicas associadas a costões rochosos e recifes e arqueológicas (ANGULO, 2014). Os indicadores geomorfológicos podem ser erosivos ou deposicionais, sendo os erosivos associados a abrasão por ondas. As feições mais frequentes são: entalhes, plataforma de abrasão de ondas, pontes e pilares marinhos e níveis de concentração de matacões. Em relação às feições deposicionais, terraços e planícies costeiras marinhas, estuarinos e lagunares são as mais comuns.

Os indicadores estratigráficos têm sido amplamente utilizados no estudo das variações do nível do mar. Os depósitos arenosos quaternários de origem marinha com presença de bioclastos carbonáticos são ótimos indicadores dessas variações, sendo de grande importância nas reconstituições

paleoambientais (Figura 9). Ao se estudar esses depósitos, perfis sedimentológicos detalhados, contendo informações como litologias, espessura das camadas, tamanho dos grãos, tipos de contato entre as camadas e presença de fósseis são características importantes a serem observadas.

Walker (2006) define fácies como menores blocos do registro sedimentar definidas por seus atributos, como forma, tamanho, contato, textura, composição interna e conteúdo fóssilífero, sendo passíveis de utilização nesses estudos. Fácies geneticamente relacionadas, ou seja, formadas por processos que ocorrem simultaneamente e lado a lado também podem ser usadas como indicadores estratigráficos. As fácies e associações de fácies mais utilizadas são litofácies e biofácies, em estuários, lagunas e praias de mar aberto (ANGULO, 2014).

A datação por radiocarbono é o método de datação mais utilizado no Brasil, tendo *Angulo* (2006) compilado mais de mil datações.

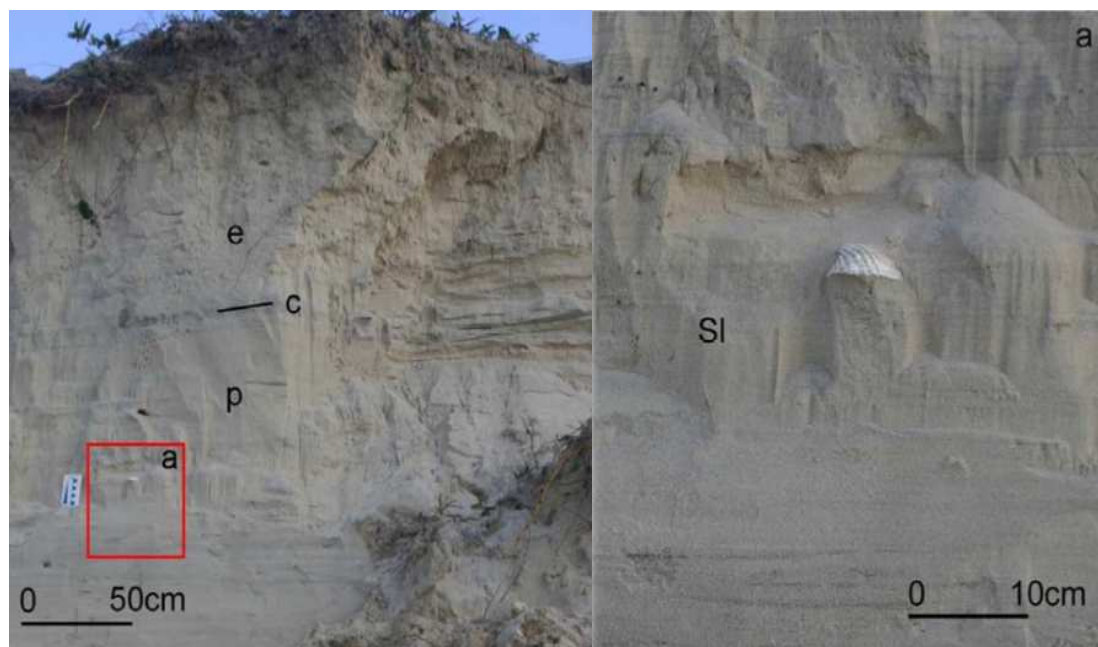


Figura 9: Exemplo de paleonível marinho inferido a partir do contato (c) entre areias praiais (p) e eólica (e), na Restinga do Ararapira, São Paulo (ANGULO et al. 2002)

Os indicadores biológicos também se mostram extremamente úteis nas reconstituições de níveis marinhos antigos, em razão de sua precisa possibilidade de datação. Os fósseis e icnofósseis associados a costões rochosos, como tocas de ouriço e remanescentes de conchas de gastrópodes e bivalves e de placas de balanídeos possuem registro de serem utilizados como indicadores do nível do mar desde a época de Darwin (ANGULO, 2014). Além disso, recifes de coral e algas e paleocracas também podem ser utilizados nesses estudos. Os vermetídeos, por exemplo, são excelentes indicadores de subida e descida do nível do mar, em função de ampla distribuição e abundância e estreita faixa vertical de ocorrência (ANGULO, 2006). Os buracos de ouriço mais altos do que o nível do mar atual também são bons indicadores passíveis de utilização nesses estudos, sendo descritas no litoral Brasileiro desde a região Nordeste até o Sul.

Por fim, existem os indicadores arqueológicos, sendo no Brasil os mais utilizados os sambaquis: depósitos constituídos de material orgânico e calcário feitos pelos povos litorâneos no passado, sendo encontrados nas planícies costeiras do sul e sudeste do Brasil. Apesar de não serem indicadores precisos, tiveram suas construções condicionadas pelo nível pretérito do mar e pela evolução sedimentar de sistemas costeiros (VILLAGRAN e GIANNINI, 2014). Sendo assim, por serem construídos em terreno seco acima do nível da preamar, servem de coadjuvantes nesses estudos.

3.4 Índice de vulnerabilidade costeira

Gornitz (1991) desenvolveu uma metodologia que permite quantificar a vulnerabilidade de áreas costeiras às mudanças físicas, tal qual o aumento do nível do mar em resposta às mudanças climáticas. Essa vulnerabilidade pode ser quantificada entre muito baixa a muito alta, sendo associados a diferentes valores, a depender das variáveis conhecidas da área de estudo (quadro 1). A determinação de tal índice pode ser de extrema importância para implementação, por exemplo, de medidas que visem mitigar os possíveis impactos decorrentes da elevação do nível do mar.

Variáveis	Muito Baixa 1	Baixa 2	Moderada 3	Alta 4	Muito Alta 5
Geomorfologia	Costas de falésia rochosa, fiord	Falésias médias, costas recortadas	Falésia baixa, costas de deriva glacial, planície aluvial	Praias cascalhosas, estuários, lagoas	Praias arenosas, pântanos salgados, planos lamosos, deltas, mangues, recifes de coral
Taxas de erosão / acreção (m/a)	>2,0	1,0 – 2,0	-1,0 – 1,0	-2,0 - -1,0	<2,0
Declividade da costa (%)	>1,20	1,20 – 0,90	0,90 – 0,60	0,60 – 0,30	<0,30
Varição relativa do nível médio do mar (mm/a)	<1,8	1,8 – 2,5	2,5 – 3,0	3,0 – 3,4	>3,4
Altura significativa da onda (m)	<0,55	0,55 – 0,85	0,85 – 1,05	1,05 - 1,25	>1,25
Amplitude da maré (m)	>6,0	4,0 – 6,0	2,0 – 4,0	1,0 – 2,0	<1,0

Quadro 1: método desenvolvido por Gornitz (1991) para se calcular o índice de vulnerabilidade costeira

Conhecendo-se seis parâmetros, físicos e geológicos, referentes à área de estudo, é possível, através da inserção do intervalo de vulnerabilidade de cada parâmetro em uma equação, determinar o índice de vulnerabilidade costeira (IVC). A partir dos resultados obtidos na equação, o IVC pode apresentar os seguintes resultados para determinada região: abaixo de 8,7: baixa vulnerabilidade; entre 8,7 e 15,6: média vulnerabilidade; 15,6 até 20: alta vulnerabilidade; acima de 20: muito alta vulnerabilidade.

$$IVC = \sqrt{\frac{(A * B * C * D * E * F)}{6}}$$

Onde: A: geomorfologia; B: taxas de erosão/acresção da linha de costa (m/ano); C: declividade da costa (%); D: mudanças relativas do nível do mar (mm/ano); E: altura significativa da onda (m); F: amplitude da maré (m).

Tomando o Mangue de Pedra, em Armação dos Búzios, como exemplo, tem-se na literatura os seguintes registros referentes a essas variáveis:

A: 4

B: -1

C: 0,40 %

D: 3,1 mm/ano

E: 1m

F: 1,04m

Utilizando-se os parâmetros obtidos na fórmula, obteve-se o IVC para a área do Mangue de Pedra = 92, o que demonstra a imensa vulnerabilidade na qual o Mangue de Pedra se encontra.

3.5 Dinâmica sedimentar em ambientes costeiros

Os sistemas deposicionais em ambientes costeiros apresentam complexa e extensa dinâmica, ao passo que, em um ambiente de praias arenosas, o equilíbrio sedimentar se dá em resposta à interação entre os eventos erosivos e deposicionais. Fatores como as marés, energias das ondas, correntes litorâneas e ventos influenciam diretamente nesses processos (Figura 10).



Figura 10: Diferentes fatores que agem na erosão e deposição de sedimentos num ambiente praial. Modificado de *Bird (1993)*

Apesar de serem fatores naturais, estes podem ser intensificados diretamente pela ação humana (FERNANDES e CASTRO, 2020). A deposição sedimentar ocorre no momento em que a energia deste sistema diminui, enquanto a erosão ocorre quando a energia é alta o suficiente para mobilizar os sedimentos, sendo a denudação continental a principal fonte de sedimentos para esses sistemas deposicionais costeiros (MILLIMAN e REN, 1995). As mudanças climáticas também podem exercer grande influência na relação entre as taxas de erosão e deposição de sedimentos dos rios, a nível mundial (WALLING, 2008). Além disso, potencializa a ocorrência de eventos extremos como tempestades, que são reconhecidos como de grande capacidade erosiva nesses sistemas, podendo alterar significativamente uma linha de costa, por exemplo.

Um sistema praiial pode ser dividido em diferentes zonas ou setores. Ao longo do tempo, diversos autores apresentaram suas propostas de subdivisões para essas zonas e setores, que variam relativamente entre elas, devido às diferentes interpretações destes referentes aos processos atuantes nessas áreas. Todavia, de modo geral, todos os modelos propostos confluem para os efeitos de ações das ondas e como elas se propagam num ambiente costeiro (Figura 11).

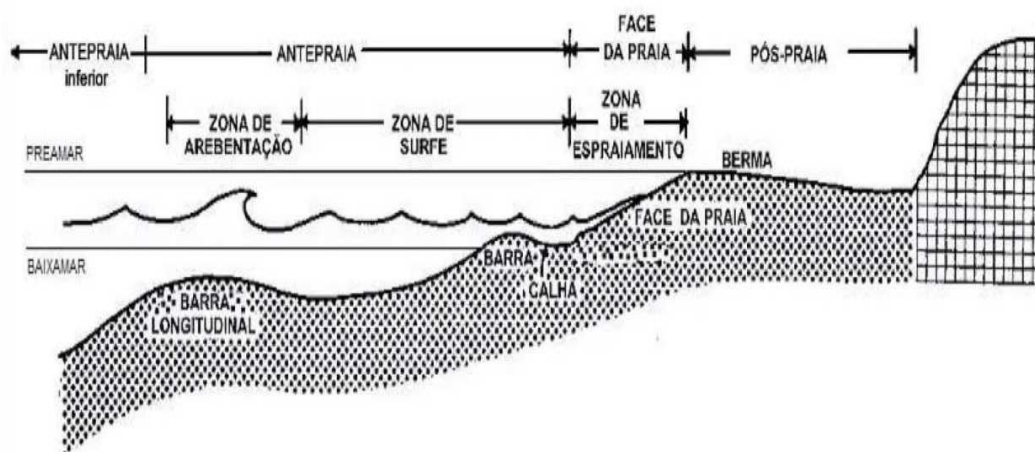


Figura 11: Compartimentação de um ambiente praial. Modificado de *David* (1985) e *Albino* (1999) por *Barros* (2009).

As ondas são reconhecidas como os agentes de maior responsabilidade em inserir energia em um ambiente de praia. Conforme se aproximam da costa, interagem com o substrato oceânico, num processo conhecido como refração, que representa a mudança da celeridade da onda, definida como razão pela qual a fase da onda se propaga no espaço (SUGUIO, 1983). Esse processo faz com que os sedimentos possam ter comportamentos diferentes no fundo oceânico, e a ação das ondas combinadas com a de correntes pode formar as estruturas sedimentares conhecidas como marcas de onda, que podem ser simétricas ou assimétricas (KOMAR, 1976). *Muehe* (1989) pontua que o equilíbrio, numa situação de praia, ocorre em resposta da adaptação do perfil longitudinal e transversal a direção e energia das ondas. A água, após ser trazida até a praia pelas ondas e se acumular na zona de surfe, precisa retornar ao mar aberto. Nesse processo, criam-se as chamadas correntes de retorno, e ao mesmo tempo se formam as correntes longitudinais, paralelas à praia. Sendo assim, refração da onda na zona de antepraia e sua posterior desconfiguração na zona de surfe faz com que sejam criados diferentes padrões de circulação horizontais e verticais de correntes costeiras, podendo assim transportar milhares de metros cúbicos de areia numa praia (USACE, 2002).

A regra de Bruun (BRUUN, 1954) é um conceito da geologia costeira que define a relação entre aumento do nível do mar e o recuo da linha de costa. Esse autor pontua que, numa situação de equilíbrio praial, a subida do nível do mar perturbaria este equilíbrio, causando a erosão dos sedimentos na parte emersa do perfil praial (antepraia superior) e sua subsequente deposição na parte submersa (antepraia inferior) fazendo com que esse sistema encontre o equilíbrio novamente. Sendo assim, a profundidade da lâmina de água seria a mesma, com subsequente evolução do perfil em direção ao continente (Figura 12). Dessa forma, haveria, portanto, compensação em relação ao transporte dos sedimentos.

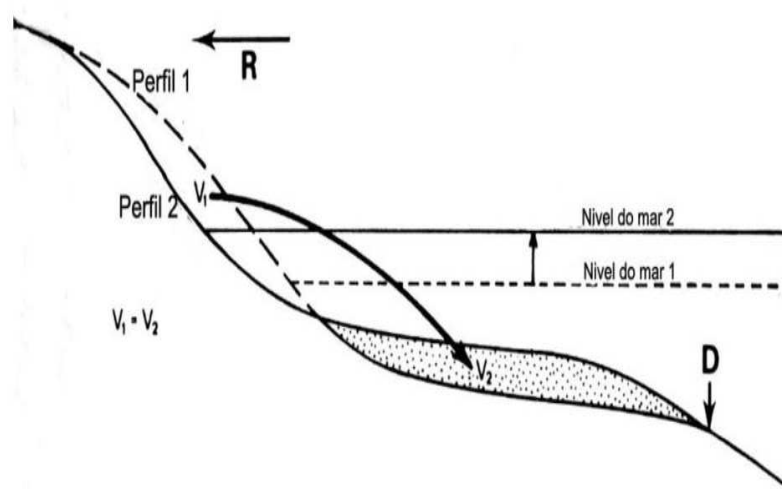


Figura 12: Representação esquemática das variáveis utilizadas para aplicação da Regra de Bruun (LINS-DE-BARROS, 2010)

Apesar de ter permitido o cálculo relativamente simples do recuo ou o avanço de uma linha de costa, essa regra não leva em conta alguns fatores mais complexos e específicos desses ambientes, como variação do transporte sedimentar, mudanças na dinâmica das correntes oceânicas e declividade do fundo marinho.

Sendo assim, após Bruun, alguns outros autores resolveram aplicar essa regra em seus estudos e também acrescentaram alguns parâmetros, na tentativa de melhor elucidar os conceitos desenvolvidos por ele. *Rosati et al* (2013) expandiram essa regra ao considerar o transporte de sedimentos em direção ao continente pelo processo de sobrelavagem, quando sedimentos são erodidos, transportados e depositados em um ambiente deposicional acima do necessário para se preencher o espaço disponível. Os autores pontuam que considerar esse transporte em direção ao continente é essencial nos estudos referentes à elevação do nível do mar.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Revisão Bibliográfica

A primeira etapa de realização deste trabalho se deu a partir de extensa pesquisa e revisão bibliográfica acerca dos geossítios e outros pontos de interesse geológico na região de Armação dos Búzios. A fonte primária de informações obtidas nesta etapa foi o acervo do Geoparque Costões e Lagunas (<https://www.geoparquecostoeselagunas.com/>), além de teses e dissertações complementares que auxiliaram a posterior definição de quais seriam os pontos de interesse para análise (FREITAS, 2012; CASTRO, 2014, 2021; MATTIODA, 2006; SCHMITT, 2004).

Os dados referentes às marés da região foram obtidos a partir do *website* (<https://tabuademaes.com/br/rio-de-janeiro/armacao-dos-buzios>), tendo sido utilizados como complemento nos cálculos relacionados às possíveis elevações do mar no futuro.

Foram considerados, para esse trabalho, quatro possíveis cenários de aumento do nível do mar (IPCC, 2023): 0,51m; 0,75m; 1,1m; 1,7m.

A geologia da área também foi levada em consideração, na medida em que o município apresenta ampla diversidade de afloramentos e tipos de costa, contando com rochas de diferentes idades e com características, estruturas e histórias geológicas complexas.

Em relação à geomorfologia, o município é formado principalmente por planícies e morros com pequenas elevações, na medida em que a altitude máxima não ultrapassa os 200 m (GEOPARQUE COSTÕES E LAGUNAS, 2024).

Segundo relatório da CPRM de 2018 o município possui 5% de sua área com média susceptibilidade a inundações e quase 20% com alta susceptibilidade.

4.2 Seleção dos pontos de análise

Após o levantamento bibliográfico detalhado da região, foram definidos, para este trabalho, 18 pontos de interesse geológico para análise. Vale ressaltar que, em razão da grande diversidade de ambientes geológicos e outros pontos de interesse na região, foi uma tarefa complexa definir quais pontos seriam abordados neste trabalho.

4.2.1 Localização costeira

Esse foi o principal fator avaliado na definição dos pontos que seriam incluídos no trabalho, na medida em que o município já tem registros de processo erosivos ocorrendo em alguns desses pontos. Para se fazer essa definição, buscou-se também analisar a extensão geográfica do município conjuntamente com a localização geográfica dos geossítios, para que fosse possível definir pontos que englobariam consideravelmente a extensão de toda a costa do município, de um extremo ao outro.

4.2.2 Relevância Geológica e científica

O segundo fator mais importante levado em consideração foi a relevância geológica dos pontos. Por possuir grande diversidade geológica, buscou-se selecionar pontos com importante acervo geológico e científico, como os que possuem registros dos processos de amalgamação e quebra do supercontinente Gondwana, além de pontos que já serviram de estudos para reconstituição paleoambiental e paleovegetal da área e construções de curvas da variação do mar no Holoceno, por exemplo.

4.2.3 Relevância turística/social/ambiental

O terceiro fator utilizado foi relevância turística/social/ambiental. Por ser uma localidade muito visitada todos os anos, muitos pontos que recebem muitos visitantes podem ser duramente afetados, na medida em que são muito próximos ao mar. Além disso, alguns sítios também possuem importância

social ou ambiental, servindo como meio de subsistência para certa parte da população, seja no presente, pelas atividades de pesca, por exemplo, ou no passado, com o uso de nascentes de água por quilombolas, merecendo, portanto, serem preservados.

4.2.4 Zonas povoadas

O quarto e último fator em consideração foi a presença de zonas povoadas no entorno destes. A presença de população em áreas vulneráveis ao aumento do mar é uma questão preocupante, na medida em que dada a extensão das áreas possivelmente atingidas, o contingente populacional a ser removido ou realocado dessas áreas também seria expressivo.

4.2.5 Organização dos pontos

Após a seleção, os pontos foram inseridos em uma tabela com suas respectivas coordenadas UTM (tabela 1), que foram obtidas a partir da conversão das coordenadas geográficas presentes no acervo do Geoparque Costões e Lagunas e no Google Maps com a ferramenta de conversão do site (<https://www.dpi.inpe.br/calcula>), para posterior plotagem no sistema GIS.

Ponto	Nome	UTM X	UTM Y
1	Mangue de Pedra	195514	7483003
2	Ponta da Lagoinha/Foca/Forno	204442	7478947
3	Ponta do Marisco	200485	7477415
4	Praia de José Gonçalves	197954	7474467
5	Praia do Forno	204728	7480050
6	Nascente do Quilombo da Baía Formosa	807795	7478986
7	Ponta do Pai Vitório.	196378	7483084
8	Colônia de Pesca da Rasa	194645	7483254
9	Praia da Ferradura	203478	7479127
10	Praia de Tucuns	199419	7476174

11	Ponta das Poças	202728	7477395
12	Pedra do Guardião	203156	7477846
13	Serra das Emerências	198924	7474585
14	Praia das Caravelas	196763	7474007
15	Ilha Feia	199778	7484089
16	APA dos Corais		Área de 208km ²
17	Lagoa da Ferradura	203432	7479354
18	Alagados da Rasa e Megaempreendimento Aretê	196152	7480753

Tabela 1: pontos considerados como relevantes para o trabalho

4.3 Geoprocessamento

O software utilizado neste trabalho foi o QGIS, versão 3.34.5. No GIS, o primeiro passo foi o *download* da imagem de satélite referente à área de estudo, a partir do plugin 'google satellite'. O sistema de coordenadas utilizado para o trabalho foi o SIRGAS 2000, com zona e fuso 24S. Depois de importada a tabela, foram plotados os pontos escolhidos como relevantes (Figura 13)



Figura 13: imagem de satélite com os pontos escolhidos como relevantes

O segundo passo realizado foi adicionar ao projeto o Modelo Digital de Elevação da área (MDE) (Figura 14) que foi construído a partir da base cartográfica elaborada pela Prefeitura de Armação dos Búzios, na escala 1:5.000, com curvas de nível com intervalo de 1 m, ajustado por (SOBRAL, 2013).

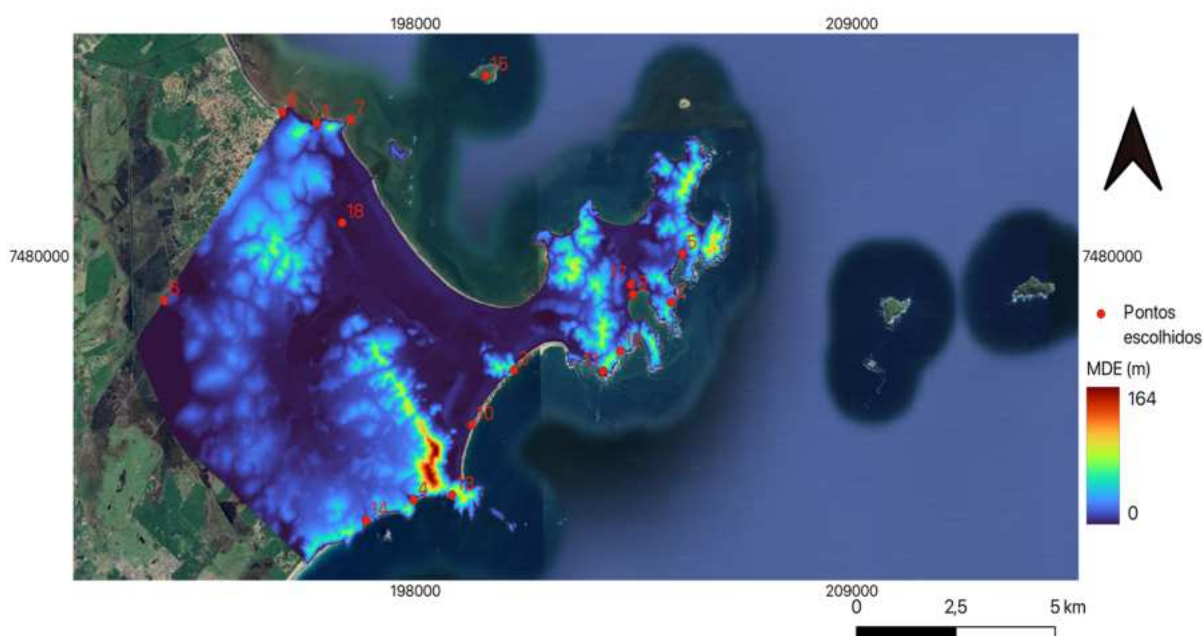


Figura 14: MDE da área de estudo

A partir do MDE, foram utilizadas ferramentas do QGIS para tratar o dado raster e assim chegar ao objetivo final, que é delimitar quais as possíveis áreas/geossítios afetados no município pelo aumento do nível do mar. A partir da soma do valor obtido da média da maré alta com os possíveis aumentos do nível do mar, segundo o IPCC, foi possível, então, espacializar os dados no GIS. Primeiramente, a ferramenta ‘calculadora raster’ (Figura 15) foi aplicada ao MDE, possibilitando, assim, destacar as regiões do MDE que possuem as elevações que serão alcançadas pelos possíveis aumentos respectivos do nível do mar, tornando possível delimitar as áreas futuramente afetadas.

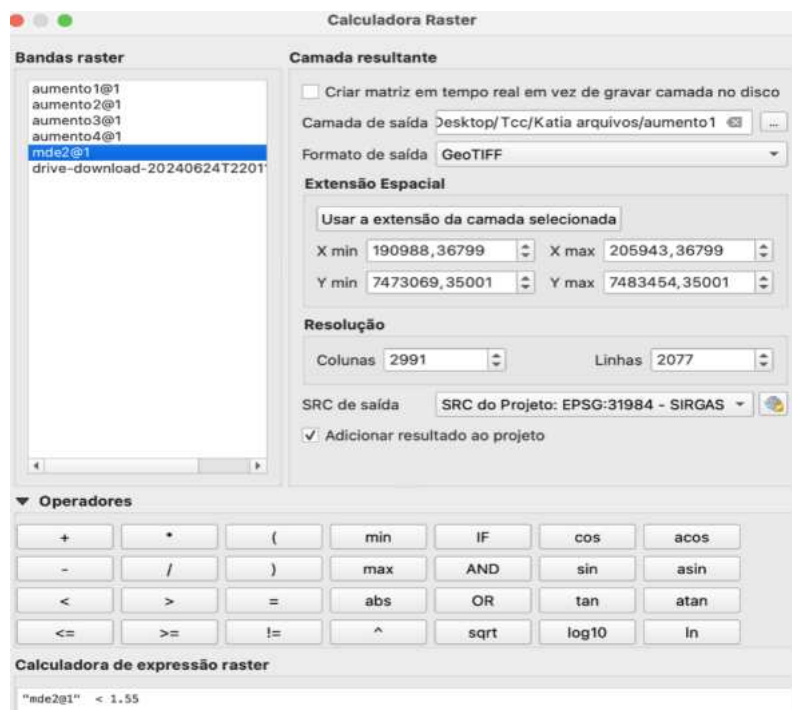


Figura 15: Ferramenta calculadora raster

Sendo assim, para cada valor de elevação, foi criado um arquivo raster diferente (Figura 16)

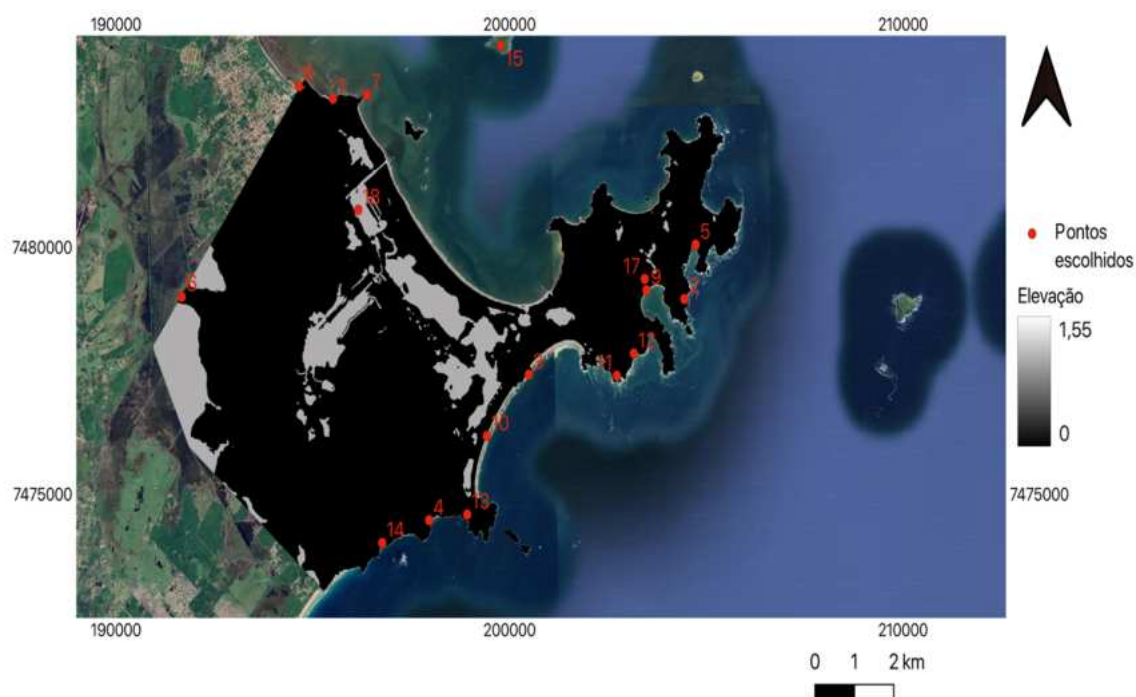


Figura 16: Raster recalculado para valores inferiores a 1,55m

Após feito esse primeiro tratamento dos dados, a ferramenta 'extrair contorno' foi utilizada em cada um dos quatro rasters de elevação, para que assim somente os contornos das áreas afetadas fossem mantidos, permitindo uma melhor visualização dos dados espacialmente (Figuras 17 e 18).



Figura 17: contorno das áreas afetadas extraído após o uso da ferramenta calculadora raster, em grande escala



Figura 18: exemplo de contorno de área afetada pelo aumento de 1,55m, numa escala menor

Posteriormente, a função ‘criar camada de rascunho temporário’ foi utilizada para que fosse possível realizar com maior detalhamento o destaque das regiões que serão futuramente inundadas, com polígonos delimitando essas regiões desenhados sobre os contornos previamente obtidos. Após desenhada a área afetada, optou-se por criar um *shapefile* para cada um dos pontos, contendo, assim, esses polígonos das áreas que poderão ser inundadas no futuro (Figura 19). A definição da amplitude de inundação das áreas afetadas foi definida com base na fotointerpretação de onde seria a maré baixa e alta, sendo esta definida pelos contornos obtidos previamente a partir de cada um dos rasters de elevação.



Figura 19: exemplo de área afetada pelo aumento do mar em 1,55m

Após feito o tratamento dos dados, cada ponto foi analisado sob ótica de cada um dos quatro *rasters* de elevação, para que assim fosse possível compreender como possivelmente se dará a dinâmica de elevação do nível do mar no município. Os resultados foram analisados, também, sob ótica da imagem de satélite aliada aos *rasters* de elevação, possibilitando usar a fotointerpretação como ferramenta para interpretação dos dados obtidos a partir do MDE.

5. RESULTADOS

Foram considerados, para esse trabalho, 4 possíveis aumentos (IPCC, 2023): 0,51m; 0,75m; 1,1m; 1,7m;.

A média da maré alta para a região foi calculada para o período de julho/2023 a junho/2024 a partir dos dados obtidos no website Tábua de Marés (<https://tabuademares.com/br/rio-de-janeiro/armacao-dos-buzios>), tendo o valor de **1,04m** sido encontrado (Tabela 2), sendo este valor somado aos aumentos estimados do IPCC para posterior inserção dos dados no sistema GIS.

Mês	Ano	Maré Alta (m)	Média = 1,04m
Julho	2023	1	
Agosto	2023	1,1	
Setembro	2023	1,3	
Outubro	2023	1,2	
Novembro	2023	1	
Dezembro	2023	1,1	
Janeiro	2024	1,1	
Fevereiro	2024	1	
Março	2024	1	
Abril	2024	0,8	
Maió	2024	0,9	
Junho	2024	1	

Tabela 2: média de maré alta para a região

Os valores utilizados para as projeções foram, então, 1,55m; 1,79m; 2,14m; 2,74m, resultado da soma da média de marés altas aos valores para os quatro cenários do IPCC.

As projeções com seus possíveis resultados demonstraram um panorama de grande preocupação para o futuro, até mesmo no cenário otimista que considera o menor aumento provável do nível do mar.

Os resultados foram subdivididos nos respectivos aumentos e para cada aumento foi feita a análise e subsequente classificação dos geossítios em relação ao risco de serem afetados em: não afetado, parcialmente afetado e totalmente afetado. Os fatores levados em consideração nessa análise individual dos pontos foram: acesso à área possivelmente afetada, uso dessa área, extensão da mesma, perda de patrimônio geológico ou de outra natureza (social, ambiental, didático, turístico) e riscos e consequências para população no seu entorno.

5.1 Aumento de 1,55m

Sendo o cenário mais otimista, o menor aumento provável do nível do mar já acarretará em grandes prejuízos para a região. Apenas três pontos não seriam afetados, doze seriam parcialmente afetados e três totalmente afetados: o Mangue de Pedra, Praia da Ferradura e também se classificou nesta última os Alagados da Rasa e o Megaempreendimento Aretê (tabela 3)

Aumento de 1,55m				
Ponto	Nome	Não afetado	Parcialmente afetado	Totalmente afetado
1	Mangue de Pedra			X
2	Ponta da Lagoinha/Foca/Forno			
3	Ponta do Marisco	X		
4	Praia de José Gonçalves		X	
5	Praia do Forno		X	
6	Nascente do Quilombo da Baía Formosa	X		
7	Ponta do Pai Vitório.		X	
8	Colônia de Pesca da Rasa		X	
9	Praia da Ferradura			X
10	Praia de Tucuns		X	
11	Ponta das Poças		X	
12	Pedra do Guardião		X	

13	Serra das Emerências		X	
14	Praia das Caravelas		X	
15	Ilha Feia		X	
16	APA dos Corais		X	
17	Lagoa da Ferradura	X		
18	Alagados da Rasa e Megaempreendimento Aretê			X

Tabela 3: classificação dos pontos em relação ao risco de serem afetados pelo aumento do nível do mar em 1,55m (inclui 1,04 m da média da maré alta)

5.1.1 Mangue de Pedra

O Mangue de Pedra é um ecossistema de caráter singular presente na região (Figuras 20 e 21) se diferenciando dos outros por não estar situado sobre substrato lamoso e também longe de foz de rios. Sua existência está associada à descarga de água doce de áreas mais elevadas que se infiltram para alimentar o aquífero associado às paleofalésias da Formação Barreiras (ALBUQUERQUE *et al*, 2019). Este geossítio apresenta, do ponto de vista científico, importância tectônica, geoambiental, sedimentar, paleoambiental, hidrogeológico, estratigráfico e geomorfológico (MANSUR, 2010), além de seu valor cultural ao servir a comunidade quilombola da Praia Rasa que utiliza a área para pesca, coleta de mariscos e como local da história do quilombo.



Figura 20: área do Mangue de Pedra



Figura 21: área do Mangue de Pedra

O menor aumento do nível do mar já acarretará em consequências graves e possivelmente irreversíveis para o manguezal, sendo sua área útil praticamente toda inundada (Figura 22). Os prejuízos seriam de ordem tanto ambiental como econômica, cultural, social e científica.



Figura 22: área afetada no Mangue de Pedra pelo aumento do mar em 1,55m

5.1.2 Praia da Ferradura

Com 1,5 km total de extensão e sendo rodeada de mansões e hotéis, a Praia da Ferradura é um dos destinos mais populares do município (Figura 23). Apresenta afloramentos de paragnaisses da Sucessão Búzios em seus costões, entretanto em menor proporção em relação aos outros geossítios. Sendo uma região altamente urbanizada, também sofrerá graves consequências do aumento do nível do mar. Em 2012, essa área foi atingida por uma forte ressaca que gerou danos significativos à orla (Figura 24).



Figura 23: Praia da Ferradura



Figura 24: ponto da orla após ressaca

Como pode-se observar, assim como no Mangue de Pedra, o menor aumento fará com que a praia praticamente toda desapareça (Figura 25).



Figura 25: área afetada na Praia da Ferradura pelo aumento do nível do mar em 1,55m

Apenas uma pequena faixa de areia ao S/SE resistiria. Além disso, é notório em seu entorno o grande número de construções muito próximas a faixa de areia, tendo essas propriedades seus quintais e possivelmente seus interiores também invadidos pela água do mar.

5.1.3 Alagados da Rasa e megaempreendimento Aretê

Esse local chamou a atenção por ser outra área da região que será fortemente impactada pelo aumento do nível do mar: Esse empreendimento imobiliário possui grande quantidade de casas em área plana e um canal ligando-o diretamente ao mar. Além disso, apresenta planícies alagadas no seu entorno (Figura 26) tornando essa área ainda mais vulnerável às consequências das inundações. Nestas áreas, *Castro* et al. (2014, 2021) coletaram conchas que serviram de base para construção da curva de variação do nível do mar no Holoceno.



Figura 26: área alagada dentro da área do empreendimento Aretê

As simulações demonstraram que, mesmo no menor aumento, uma considerável quantidade de casas poderá ser afetada, além de construções que

não fazem parte do condomínio, mas se situam ao longo da extensão do canal (Figura 27). O canal, que foi modificado durante a construção do empreendimento, serve de conduto para entrada da água do mar na área continental, ampliando os danos que ocorreriam mesmo sem sua construção.



Figura 27: área afetada no empreendimento Arete pelo aumento do nível do mar em 1,55m. Vale ressaltar que um aterro elevou a área do empreendimento neste setor.

5.2 Aumento de 1,79m

O segundo aumento possível trabalhado pelo IPCC, faria com que a Ponta do Marisco (P3) passasse de não afetado a parcialmente afetado e que os pontos Praia do Forno (P5), Ilha Feia (P15) e Colônia de Pesca da Rasa (P8) passassem de parcialmente afetados para totalmente afetados, enquanto o restante permaneceria como parcialmente afetados (tabela 4).

Aumento de 1,79m				
Ponto	Nome	Não afetado	Parcialmente afetado	Totalmente afetado
1	Mangue de Pedra			X
2	Ponta da Lagoinha/Foca/Forno		X	
3	Ponta do Marisco		X	
4	Praia de José Gonçalves		X	
5	Praia do Forno			X
6	Nascente do Quilombo da Baía Formosa	X		
7	Ponta do Pai Vitório		X	
8	Colônia de Pesca da Rasa			X
9	Praia da Ferradura			X
10	Praia de Tucuns		X	
11	Ponta das Poças		X	
12	Pedra do Guardião		X	
13	Serra das Emerências		X	
14	Praia das Caravelas		X	
15	Ilha Feia			X
16	APA dos Corais			X
17	Lagoa da Ferradura	X		
18	Alagados da Rasa e Megaempreendimento Aretê			X

Tabela 4: classificação dos pontos em relação ao risco de serem afetados pelo aumento do nível do mar em 1,79m

5.2.1 Ponta do Marisco

Esse geossítio possui grande potencial didático e geoturístico, na medida em suas rochas refletem a colisão e posterior separação das massas continentais que formaram o supercontinente Gondwana, há cerca de 520 e 130 milhões de anos atrás, respectivamente. A colisão é evidenciada pela presença de dobras e da foliação das rochas, com destaques aos ortoanfibolitos e ortognaisses, (Figura 28) enquanto a quebra é representada por diques de diabásio e falhas (DE ALMEIDA, 2013) (Figura 22). Observa-se ainda, nesse dique de diabásio, fragmentos do ortogneisse, tornando essa área bastante interessante do ponto de vista didático, além de estrias indicando o movimento da falha (Figura 23).



Figura 28: ortoanbilolitos e ortognaisses da Ponta do Marisco



Figura 29: dique de Diabásio na Praia de Geribá



Figura 30: estrias de falha

Esses costões rochosos, além de sua importância científica já citada, desempenham, ainda, funções de barreiras naturais contra o aumento do nível do mar, o que se evidencia por serem muito pouco afetados pelo aumento deste (Figura 24). Além disso, a natureza metamórfica e ígnea das rochas contribui para que elas sejam mais resistentes ao intemperismo e erosão pela ação das ondas e ventos, por exemplo, do que seriam as rochas sedimentares.



Figura 31: área afetada na Ponta do Marisco pelo aumento do nível do mar em 1,79m

5.2.2 Praia do Forno

A região da Praia do Forno foi tombada como patrimônio cultural do Estado e também faz parte do Parque Estadual da Costa do Sol. Suas areias de cor rosa refletem a concentração do mineral granada (Figura 32) a partir do intemperismo químico das rochas que afloram em sua superfície, com as ondas retirando os cristais de quartzo presentes na areia, que são mais leves e deixando os de granada, mineral mais denso (Geoparque Costões e Lagunas, 2024). A paisagem também é caracterizada por costões rochosos que se estendem por ambos os lados da praia.



Figura 32: areia rosa da Praia do Forno, em razão da concentração do mineral granada

O aumento de 1,79 m do nível do mar implicaria no quase total desaparecimento da faixa de areia, além de cobrir parte dos afloramentos (Figura 33).



Figura 33: área afetada na Praia do Forno pelo aumento do mar em 1,79m

5.2.3 Ilha Feia

Essa ilha se encontra alinhada à ponta do Pai Vitório, numa distância de cerca de 3km, correspondendo à continuidade do plano de falha do Pai Vitório no continente. A ilha possui uma escarpa de cerca de 50m de altura, possuindo face para o Norte, com dois terços da mesma constituídos pela face da escarpa (Figura 34) e o outro terço não possuindo relação hipotética com a falha, sendo formado de vegetação. Possui, ainda, a Praia das Moças como ponto turístico.



Figura 34: escarpa da falha do Pai Vitório, na Ilha Feia. Obtido em <https://caminhoslivres.wordpress.com/2014/04/07/buzios/>.

A elevação do mar em 1,79m também faria a ilha perder seu potencial turístico, na medida em que tanto afloramentos rochosos quanto sua praia seriam cobertos pelo mar (Figura 35).

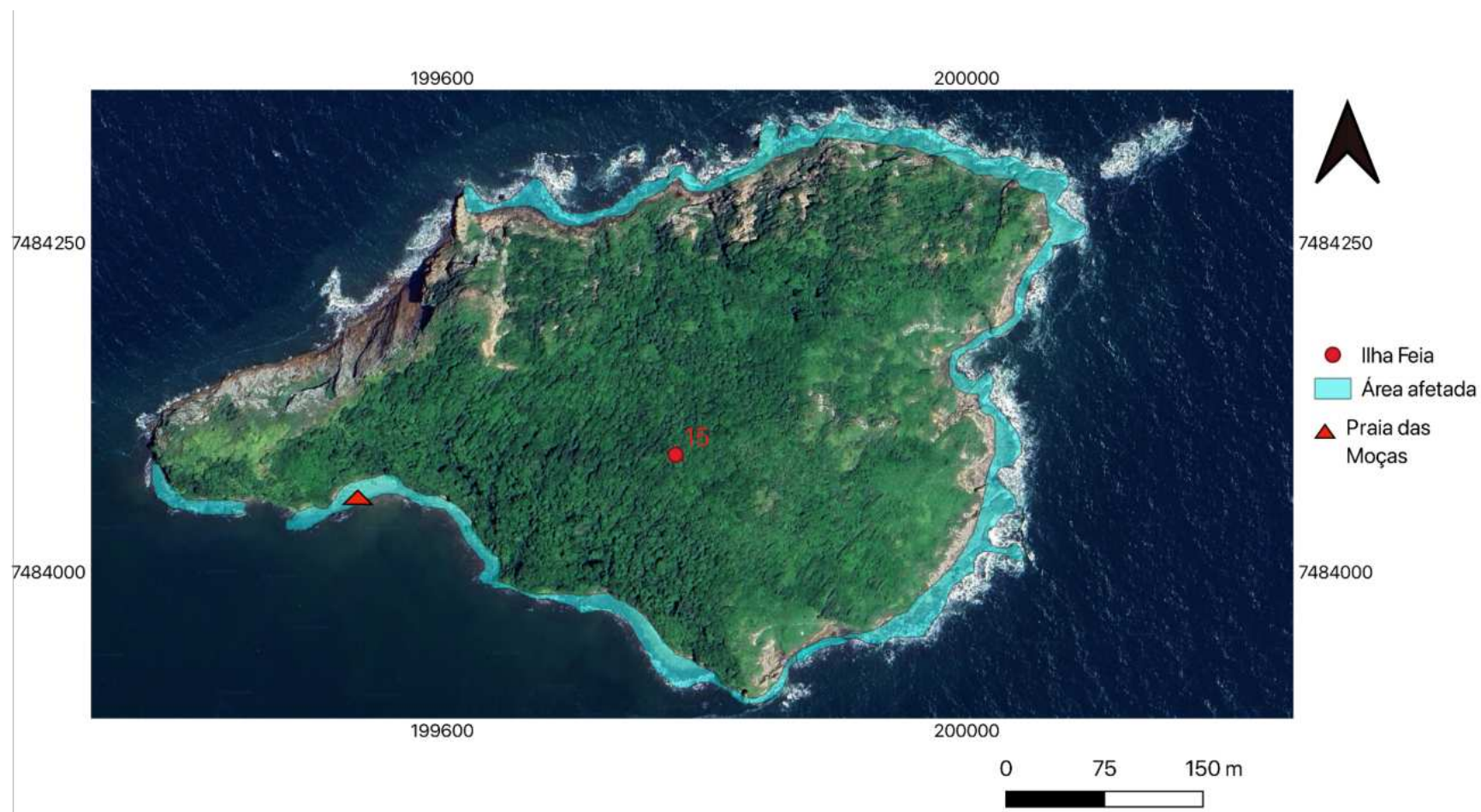


Figura 35: área afetada na Ilha Feia pelo aumento do nível do mar em 1,79m

5.2.4 Colônia de Pesca da Rasa

Esse ponto representa outra importante localidade, na medida em que a pescaria serve como atividade de sustento de muitas famílias no município (Figura 36).



Figura 36: barcos de pesca na Praia Rasa

Há também a presença da comunidade de pescadores e outras residências no entorno da praia, possuindo localização geográfica contígua ao Mangue de Pedra, sendo esse ponto bastante vulnerável ao aumento do nível do mar, em razão de sua baixíssima declividade. Ocorre, como agravante ainda, a erosão das falésias adjacentes a praia (Figura 37).



Figura 37: Erosão na falésia adjacente à Colônia de Pesca da Rasa, evidenciando a instalação de um processo que pode afetar o local de guarda dos barcos dos pescadores artesanais.

O aumento de 1,79m implicaria no desaparecimento da faixa de areia e se tornaria uma ameaça também a comunidade que habita essa região, ocasionando assim prejuízos de ordem econômica, social, ambiental e cultural para essa população (Figura 38)

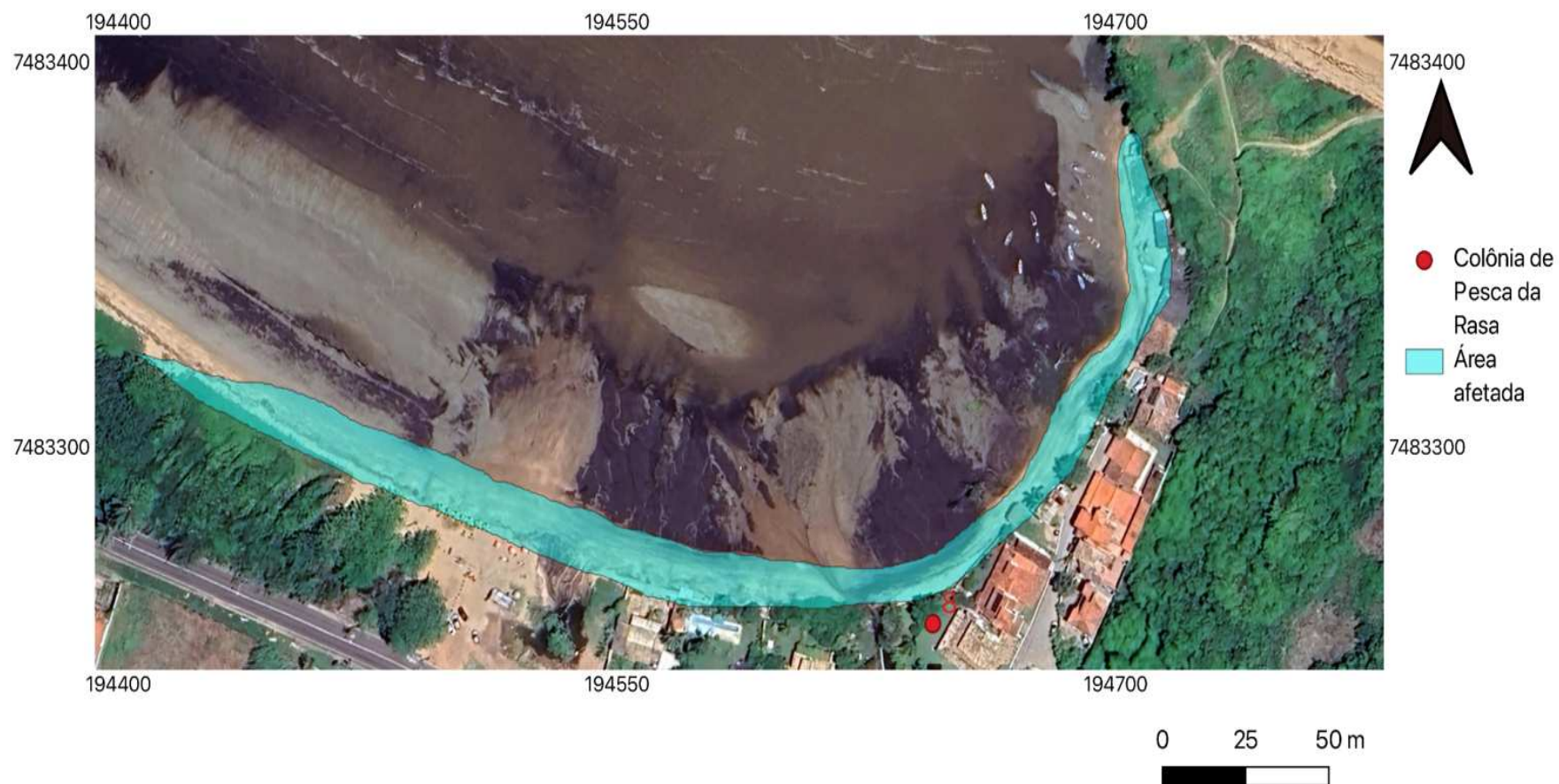


Figura 38: área afetada na Colônia de Pesca da Praia Rasa pelo aumento do nível do mar em 1,79m

5.2.5 APA dos corais

A Área de Proteção Ambiental Marinha de Búzios abrange todo o litoral do município, contando com área estimada em cerca de 20.830 ha, ou 208 km² (Figura39).

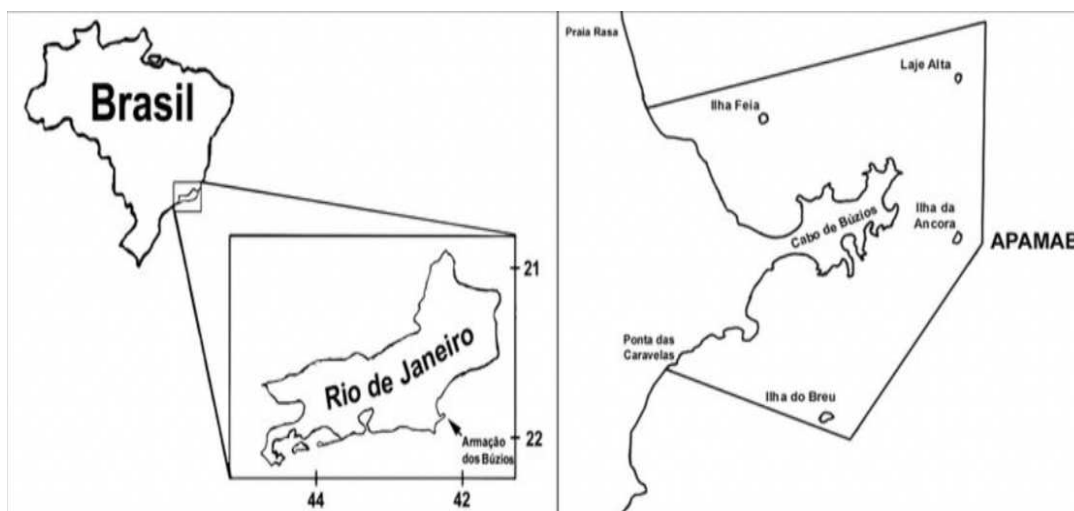


Figura 39: área de abrangência da APAMB (PEDRINI, 2013)

O maior objetivo deste parque é o de preservar os ecossistemas naturais do oceano, por sua relevância tanto científica como turística, além de promover educação ambiental, turismo ecológico e fomentar pesquisas científicas. As mudanças climáticas, ao alterarem o padrão de circulação das correntes oceânicas e aumentarem a temperatura tanto da superfície terrestre quanto dos oceanos, podem impactar de forma extremamente negativa os organismos que vivem nos mares.

Um aumento de temperatura de 3 graus até 2100, por exemplo, associado a este aumento de 1,79m, faria com que os recifes de corais desaparecessem completamente, na medida em que esses organismos são extremamente sensíveis a mudanças de temperaturas. Além disso, outros grupos de organismos como fitoplâncton e zooplâncton também seriam prejudicados, desequilibrando toda a cadeia alimentar marinha, que tem o fitoplâncton como organismo produtor e o zooplâncton como micro consumidor, estando na base, portanto, da cadeia alimentar (ALMEIDA, 2011).

5.3 Aumento de 2,14m

O aumento do nível do mar em 2,14m faria com que mais um geossítio passasse de parcialmente afetado para totalmente afetado: a Ponta do Pai Vitório (P7), enquanto os outros permaneceriam como parcialmente afetados (tabela 5).

Aumento de 2,14m				
Ponto	Nome	Não afetado	Parcialmente afetado	Totalmente afetado
1	Mangue de Pedra			X
2	Ponta da Lagoinha/Foca/Forno		X	
3	Ponta do Marisco		X	
4	Praia de José Gonçalves		X	
5	Praia do Forno			X
6	Nascente do Quilombo da Baía Formosa	X		
7	Ponta do Pai Vitório.			X
8	Colônia de Pesca da Rasa			X
9	Praia da Ferradura			X
10	Praia de Tucuns		X	
11	Ponta das Poças		X	
12	Pedra do Guardiao		X	
13	Serra das Emerências		X	
14	Praia das caravelas		X	
15	Ilha Feia			X
16	APA dos corais			
17	Lagoa da Ferradura	X		
18	Alagados da Rasa e Megaempreendimento Aretê			X

Tabela 5: classificação dos pontos em relação ao risco de serem afetados pelo aumento do nível do mar em 2,14m

5.3.1 Ponta do Pai Vitório

Essa localidade é uma importante falha geológica, que possui grande rejeito e coloca lado a lado rochas de idade e origens muito distintas: rochas metamórficas de 2 bilhões de anos ocorrem em contato direto com rochas sedimentares com idade possível entre 5 - 2,5 milhões de anos, formadas de intercalações de areias e cascalhos de origem de leques aluvionares condicionados pela escarpa da falha. Essa falha marca o limite sul do Graben da Barra de São João (MOHRIAK, 1990).

Também são encontrados nessa área brechas e cataclasitos, rochas que se formam em resposta ao movimento da falha, a partir da fragmentação da rocha original, sendo os fragmentos unidos por fluidos ricos em sílica durante o processo. O estudo dessas rochas mostram que já ocorreram ao menos quatro episódios de reativação dessa falha (MATTIODA, 2006), o que torna essa localidade de grande valor científico e didático, para além do turístico (Figura 40).



Figura 40: Ponta do Pai Vitório

O aumento do nível do mar em 2,14m tornaria impossível o acesso a faixa de areia dessa área, deixando apenas parte dos afloramentos de rochas visíveis, tornando assim essa região importante basicamente inacessível (Figura 41).



Figura 41: área afetada na Ponta do Pai Vitório pelo aumento do nível do mar em 2,14m

5.4 Aumento de 2,74m

O último aumento estudado neste trabalho foi o de 2,74 m. Esse aumento retrata o pior cenário possível para área: a Praia de Tucuns (P10) passaria de parcialmente afetada para totalmente afetada, enquanto os pontos Ponta da Lagoinha/Foca/Forno (P2), Praia de José Gonçalves (P4), Ponta das Poças (P11), Pedra do Guardião (P12), Serra das Emerências (P13) e Praia das Caravelas (P14) permaneceriam como parcialmente afetados. Os pontos Nascente do Quilombo da Baía Formosa (P6) e Lagoa da Ferradura (P17) foram os únicos não afetados desde o primeiro até o último nível estudado (tabela 6).

Aumento de 2,74m				
Ponto	Nome	Não afetado	Parcialmente afetado	Totalmente afetado
1	Mangue de Pedra			X
2	Ponta da Lagoinha/Foca/Forno		X	
3	Ponta do Marisco		X	
4	Praia de José Gonçalves		X	
5	Praia do Forno			X
6	Nascente do Quilombo da Baía Formosa	X		
7	Ponta do Pai Vitório.			X
8	Colônia de Pesca da Rasa			X
9	Praia da Ferradura			X
10	Praia de Tucuns			X
11	Ponta das Poças		X	
12	Pedra do Guardião		X	
13	Serra das Emerências		X	
14	Praia das Caravelas		X	
15	Ilha Feia			X
16	APA dos Corais			X
17	Lagoa da Ferradura	X		
18	Alagados da Rasa e megaempreendimento Aretê			X

Tabela 6: classificação dos pontos em relação ao risco de serem afetados pelo aumento do nível do mar em 2,74m

5.4.1 Praia de Tucuns

A praia de Tucuns possui cerca de 2,7 km de extensão (Figura 42) sendo cercada em suas duas pontas por costões rochosos. Esse ponto chama a atenção por possuir dunas ocupadas, tanto por um resort quanto por outras construções, tornando assim a área bastante vulnerável ao aumento do nível do mar. Em 2021, essa praia foi atingida por uma forte ressaca, erodindo parte de sua orla (Figura 43).



Figura 42: Praia de Tucuns



Figura 43: erosão na praia após ressaca em 2021

O aumento de 2,74m faria que a praia desaparecesse, ameaçando essas diversas construções e outras ocupações ao seu redor (Figura 44).

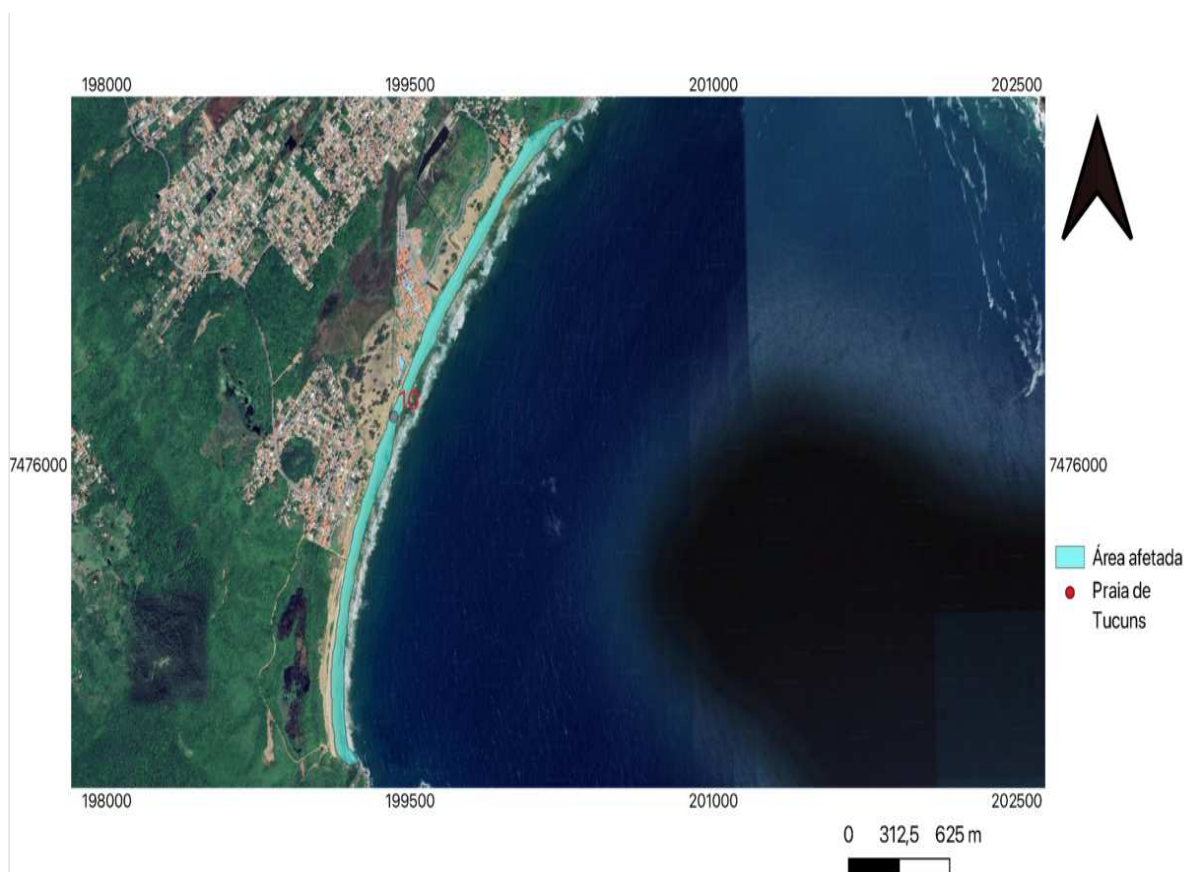


Figura 44: área afetada na Praia de Tucuns pelo aumento do nível do mar em 2,74m

A ocupação ou destruição da vegetação que recobre as dunas frontais também fragilizam o ambiente.

5.4.2 Ponta da Lagoinha/Foca/Forno

. Essas rochas foram sedimentos de um mar fechado entre 520 e 500 milhões de anos atrás, possuindo caráter científico de grande relevância (Figura 45). Esse trecho do litoral possui uma rara estrutura mineral definida pelo pseudomorfo de silimanita crescendo sobre cristais de cianita, evidenciando metamorfismo retrógrado. Na praia da Foca, pode-se ainda observar uma brecha tectônica silicificada representando uma falha, além de diques e um pequeno manguezal sobre rochas (Figura 46).



Figura 45: afloramentos de rochas metassedimentares na ponta da Lagoinha



Figura 46: Praia da Foca

Mesmo com o maior aumento possível do mar, essa região ainda seria pouco afetada, principalmente em função da atuação dos costões rochosos como barreiras mecânicas de proteção contra as ondas e sua resistência à erosão (Figura 47).

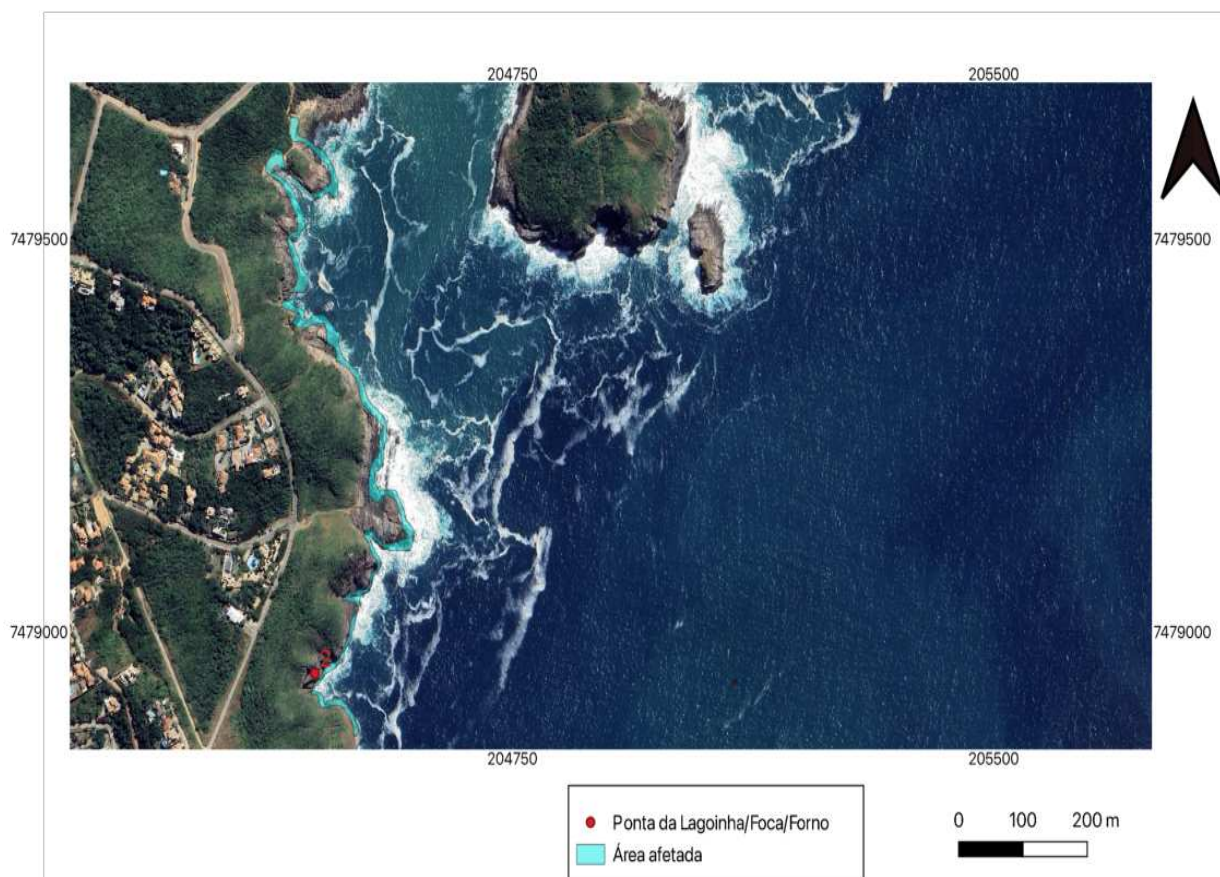


Figura 47: área afetada na Ponta da Lagoinha-Foca-Forno pelo aumento do nível do mar em 2,74m

5.4.3 Praia de Jose Goncalves

Essa praia integra o Parque Estadual da Costa do Sol, que foi criado em 2011 e é gerido pelo INEA (Instituto Estadual do Ambiente). Seu nome se dá em referência a um suposto traficante de escravizados que utilizava a praia para desembarque dos mesmos vindo da África. Os costões que circundam a praia possuem importante registro geológico de três tipos de rochas: as mais antigas são gnaisses de 2 bilhões de anos que foram deformados durante a colisão que gerou o supercontinente Gondwana. Ocorrem também anfibolitos da mesma idade. Uma interessante estrutura de se observar nessa área são os *boudin*: estruturas formadas em resposta a deformação diferencial que as rochas sofrem sob pressões elevadas. Os diques de diabásio, cortando os gnaisses, ocorrem como registro do evento de abertura do Oceano Atlântico (Figura 48). Os blocos de rochas presentes na praia atuam como boas barreiras naturais contra erosão (Figura 49).



Figura 48: diques de diabásio cortando gnaisses, na Praia de José Gonçalves



Figura 49: blocos de rocha na praia de José Gonçalves

Nessa praia, ocorre, ainda, um importante registro pretérito do nível do mar: um terraço, constituído por seixos e matacões arredondados, formado pela ação das ondas sobre os sedimentos da praia, sendo importantes marcadores de nível do mar no passado. Esse terraço se formou há cerca de 2.600 anos AP, quando o nível do mar estava acima do atual, idade obtida a partir da datação de conchas (Castro, 2014). Outra característica importante nessa localidade é a presença de fragmentos rochosos constituídos principalmente por diabásio e também anfibolito, gnaisse e quartzo, proveniente da erosão dos costões rochosos adjacentes à praia. O arredondamento dessas rochas demonstra o intenso retrabalhamento realizado pelas ondas ao longo do tempo.

Mesmo que ocorra o maior aumento possível, essa região seria parcialmente afetada, entretanto perdendo boa faixa de areia e também tendo seus costões rochosos parcialmente afetados (Figura 50)

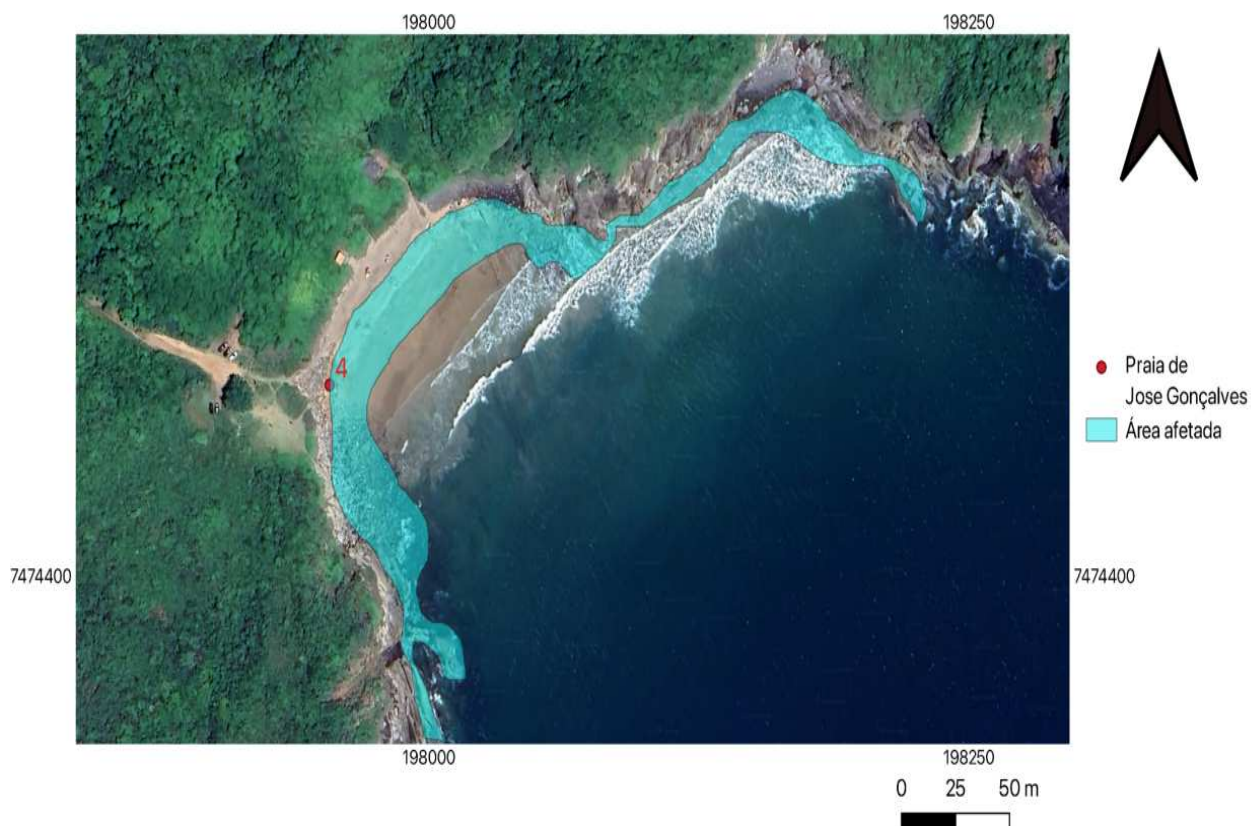


Figura 50: área afetada na Praia de José Gonçalves pelo aumento do nível do mar em 2,74m

5.4.4 Ponta das Poças e Pedra do Guardião

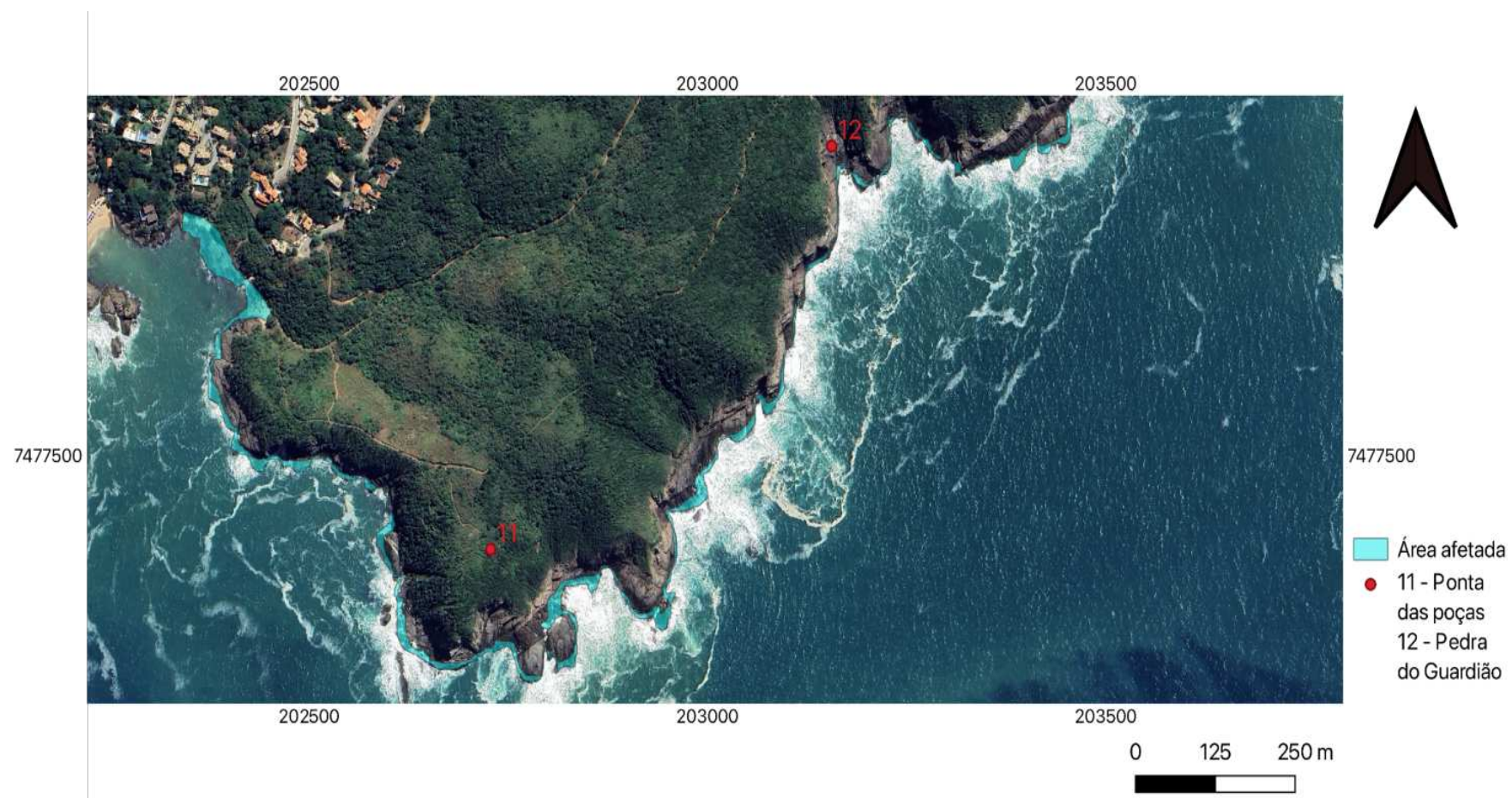
A Ponta das Poças (P11) é uma localidade bastante conhecida na região, formada por um largo dique de diabásio (cerca de 20 metros de espessura) intrudindo em rochas da Sucessão Búzios. Possui esse nome por possuir piscinas naturais formadas pela água do mar (Figura 51). A Pedra do Guardião (P12) se localiza próxima geograficamente, recebendo esse nome por possuir uma fisionomia bastante parecida a de um rosto humano, gerada pela erosão diferencial nas rochas (Figura 52). Ambos os pontos registram grandes números de visitantes todos os anos, possuindo também valor turístico para além do didático.



Figura 51: Ponta das Poças. Foto: Carlos Alberto Muniz



Figura 52: Pedra do Guardião



Ambos os pontos permaneceram como parcialmente afetados em todos os níveis estudados (Figura 53).

Figura 53: área afetada na Ponta das Poças e Pedra do Guardião pelo aumento do nível do mar em 2,74m

5.4.5 Serra das Emerências

A Serra das Emerências é o ponto mais alto de Búzios, com aproximadamente 164 m de altitude, situada entre as praias de Tucuns e José Gonçalves. Essa localidade está inserida no contexto do Parque Estadual Costa da Sol e da APA Pau-Brasil, sendo importante área de conservação ambiental e com grande potencial turístico (Figuras 54 e 55), contando com trilhas e outros visuais que atraem um grande número de turistas todos os anos.

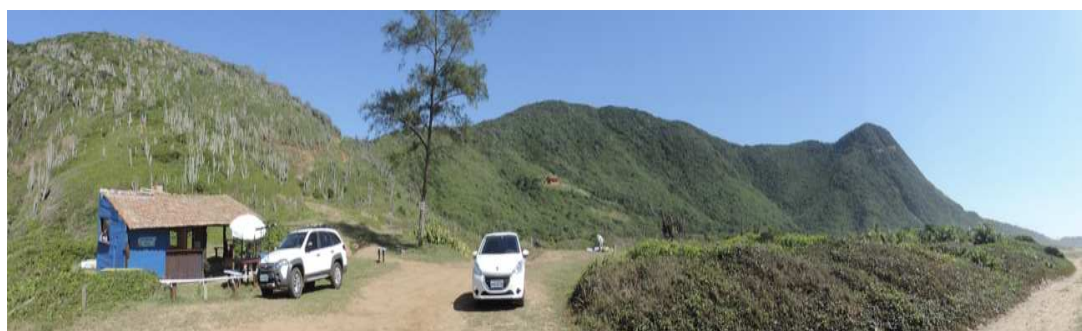


Figura 54: foto panorâmica da Serra das Emerências



Figura 55: Serra das Emerências vista de outro ângulo

Assim como nos outros pontos de costões rochosos, as rochas nessa localidade se mostraram como boas barreiras naturais contra o aumento do nível do mar (Figura 56). Geologicamente se constitui como uma área de contato entre as rochas paleoproterozoicas do Complexo Região dos Lagos e os paragnaisses da Sucessão Búzios, em contato tectônico.

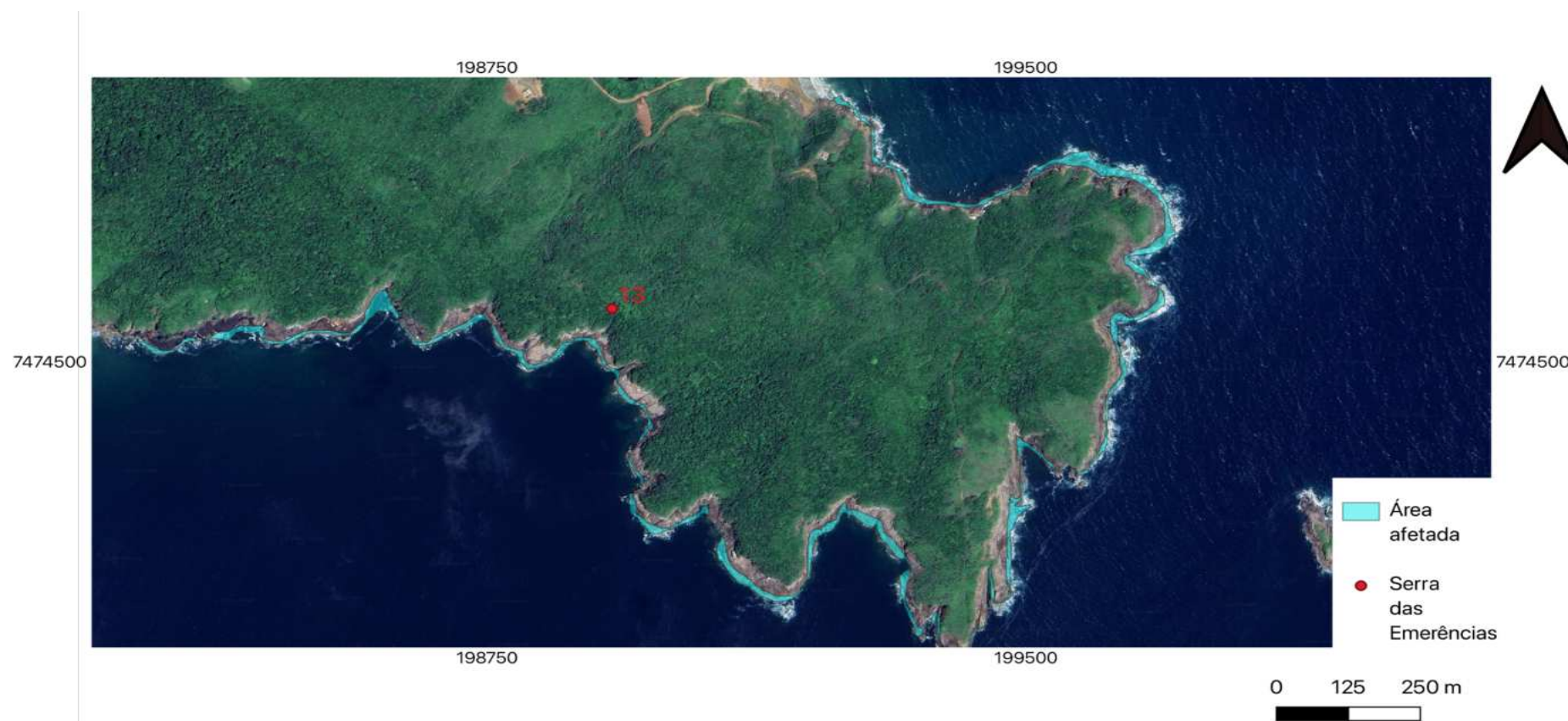


Figura 56: área afetada na Serra das Emerências pelo aumento do nível do mar em 2,74m

5.4.6 Praia das Caravelas

Essa praia possui esse nome por já ter sido porto de caravelas, sendo pequena, com apenas 141m de extensão (Figura 57).



Figura 57: Praia das Caravelas

Está localizada dentro da Área de Proteção Ambiental (APA) do Pau Brasil. Em razão de sua maior declividade em relação às outras praias, esse ponto permaneceu como parcialmente afetado até o maior aumento considerado (Figura 58).



Figura 58: área afetada na Praia das Caravelas pelo aumento do mar em 2,74m

5.4.7 Nascente do Quilombo de Baía Formosa

Este geossítio, segundo informações, serviu como fonte de abastecimento de água para os descendentes de escravizados africanos (MANSUR, 2019). Além de sua importância cultural, esse ponto também apresenta relevância geológica, há um afloramento de gnaiss do embasamento (Figura 59), com idade estimada em 2 bilhões de anos, sendo um exemplo do terreno Africano que ficou retido no continente Sul Americano após a quebra do Supercontinente Gondwana.



Figura 59: Nascente do Quilombo da Baía Formosa

Esse ponto, juntamente com a Lagoa de Ferradura, foram os únicos não afetados em todos os níveis estudados (Figura 60)



Figura 60: Nascente do Quilombo da Baía Formosa, não afetado em nenhum nível estudado

5.4.8 Lagoa da Ferradura

A Lagoa da Ferradura (Figura 54) se configura como ponto de interesse geológico e científico, na medida em que sedimentos desta região possuem grãos de pólen e esporos que foram utilizados nos estudos em trabalho de reconstituição paleoambiental de paleovegetação da área (Figura 55) além dos sedimentos serem registro de sedimentação holocênica, desde 8.060-7.770 14C anos cal. AP até o presente. (FREITAS, 2012).



Figura 61: Lagoa da Ferradura

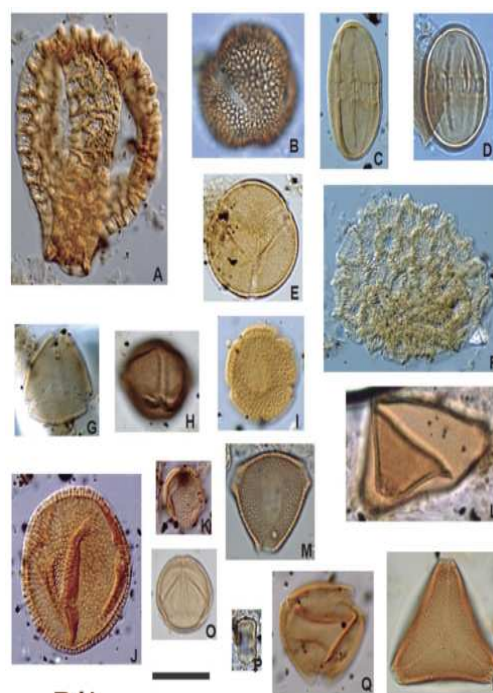


Figura 62: Fotomicrografias de grãos de pólen em sedimentos holocênicos da lagoa da Ferradura do testemunho RJ 92-5 (FREITAS, 2012)

Apesar de estar geograficamente próxima a praia da Ferradura, que vai ser afetada fortemente pelo aumento do nível do mar, essa área permaneceu como não afetado em todos os níveis estudados (Figura 63).



Figura 63: Lagoa da Ferradura, não afetada em nenhum nível simulado

6. DISCUSSÃO

Os resultados obtidos a partir das simulações realizadas demonstram a grande vulnerabilidade em que o município de Armação dos Búzios se encontra, na qual mesmo o menor aumento do nível do mar já acarretará em grandes prejuízos para a região. Os únicos pontos isentos de consequências em todos os níveis estudados foram a Nascente do Quilombo da Baía Formosa e a Lagoa da Ferradura, na medida em que se encontram um pouco mais distantes do mar. Vale ressaltar que variações no nível do mar podem afetar o nível freático da região e, portanto, estas áreas poderão ser também afetadas. Porém, este não é o foco deste trabalho. Fora isso, todos os outros pontos seriam parcialmente ou totalmente afetados, a depender da magnitude do aumento, reforçando a vulnerabilidade na qual as zonas costeiras não só do município, mas do litoral do país como um todo se encontram.

As praias, mesmo nas escalas de menor aumento, foram os locais que se mostraram como mais vulneráveis, sendo todos afetados, parcialmente ou totalmente. A Praia da Ferradura (P9) configura-se como ponto de maior destaque quando considerado o menor aumento provável, na medida em que o mar avançará praticamente para dentro de todos os quintais das construções no seu entorno, impactando um número considerável de casas, hotéis e pousadas.

A Praia do Forno também chama a atenção em razão de sua estreita faixa de areia, sendo ela totalmente afetada quando considerado o segundo nível de aumento.

A Praia de Tucuns (P10), de grande extensão, se mostrou resistente até o terceiro nível de aumento, sendo parcialmente afetada, e totalmente afetada no último nível estudado. Vale ressaltar que, sendo uma praia refletiva, com alta declividade na zona intermarés, as ressacas provocam intensa erosão nas dunas frontais que protegem a retaguarda dessa praia. Construções nessa região não devem ser permitidas.

As praias de José Gonçalves (P4) e das Caravelas (P14) foram as únicas que resistiram até mesmo no maior nível simulado, principalmente em função

de sua maior declividade em relação às outras praias, permanecendo como parcialmente afetadas. Entretanto, a praia de José Gonçalves poderá ser consideravelmente mais afetada do que a das Caravelas, em razão de sua faixa de areia mais estreita, apesar da presença de matacões de rochas que ajudam a amenizar a força das ondas. Cabe ainda ressaltar que, nos estudos referentes ao aumento do nível do mar, é importante que variáveis como o balanço sedimentar das praias e a regra de *Brunn* sejam levados em consideração. Entretanto, como esse trabalho é preliminar e inédito para a área, não foi possível estabelecer ainda esse tipo de correlação, sugerindo-se que trabalhos futuros a partir desse passem a levar em consideração esses fatores, na medida em que estudos mais específicos podem possibilitar um entendimento melhor de como esses processos podem acontecer num contexto de aumento do nível do mar.

Os pontos de costões rochosos, com exceção da Ponta do Pai Vitório, foram os que se mostraram mais resistentes contra o aumento provável do nível do mar. Mesmo na escala do maior aumento possível, a de 2,74m, eles se mostraram como boas barreiras naturais, sendo todos parcialmente afetados, mas não totalmente. Isso reitera o caráter protetor das rochas como boas barreiras naturais, favorecido pelo grande volume de afloramentos na região e também a sua natureza metamórfica, que as tornam mais resistentes aos processos de intemperismo e erosão tanto eólica quanto marinha, se comparadas com rochas sedimentares.

O Mangue de Pedra (P1) foi outro local que chamou a atenção no primeiro nível de aumento, na medida em que representa um lugar de caráter singular na região e que poderá desaparecer, resultando em perdas de caráter científico, ambiental, cultural, didático e turístico.

A Colônia de Pesca da Rasa (P8), com localização próxima ao Mangue, também se encontra altamente ameaçada, e como as atividades ali desenvolvidas servem de subsídio econômico às populações locais, se configura como ponto de necessidade de atenção, em razão do grande número de pessoas que dependem dessa atividade para sobrevivência na região.

Os Alagados da Rasa e o Megaempreendimento Aretê são outro ponto que requer uma discussão mais aprofundada. Os alagados são áreas de relevância geológica e ambiental. A construção do empreendimento Aretê, ampliou a tendência de vulnerabilidade para a área, fazendo-a altamente vulnerável, com diversas casas e construções situadas ao redor do canal que liga o condomínio à praia como merecedores de atenção especial. O canal serve como meio alimentador para que a água do mar avance sobre as áreas interiores ao empreendimento e à planície.

A mitigação e adaptação às mudanças climáticas é um assunto extremamente complexo que envolve e demanda esforços em escala global, regional e local. Não identificamos hoje, no município, diretriz pública para lidar com as mudanças climáticas ou estudo acerca dessas consequências no futuro, sendo urgente que isso se instaure. As ações de enfrentamento precisam começar a nível local, tanto pela sociedade civil quanto pelos governos e empresas.

Sendo assim, para o município, sugere-se efetuar um planejamento que envolva tanto medidas de adaptação como mitigação, tais como: implementação de um planejamento urbano mais detalhado, proibindo ou restringindo construções em áreas que se considerem como altamente vulneráveis; construção de barreiras físicas, como diques ou outras estruturas de contenção; reforçar as barreiras de proteção consideradas naturais, como a vegetação rasteira, manguezais, dunas, costões rochosos e matacões nos sedimentos das praias e, promovendo a diversificação de meios naturais de resistência ao aumento do nível do mar; campanhas de conscientização à sociedade sobre os riscos e consequências das mudanças climáticas; investimento em tecnologias de previsão de desastres e em programas de educação climática; estudos mais detalhados sobre as áreas mais vulneráveis e consideradas em perigo potencial no município.

7. CONCLUSÃO

Todos os cenários simulados demonstraram prejuízos e danos significativos ao município de Armação dos Búzios e seus geossítios, desde o aumento do nível do mar num cenário otimista até o pessimista. As perdas são de natureza econômica, social, ambiental, cultural, turística e científica. Vale lembrar que o município tem 23 praias e apenas 5 foram abordadas neste trabalho, e mesmo assim, numa pequena escala de observação, foi possível constatar o grande perigo potencial ao qual as zonas costeiras estão sujeitas.

Extrapolando-se essa escala para nível regional, continental e até global, as consequências do aumento do nível do mar no futuro são dramáticas, com prejuízos para as populações que vivem nessas regiões ao redor do mundo, especialmente os mais pobres. Além disso, ecossistemas com sua fauna e flora nessas áreas também estarão sujeitos a essas consequências catastróficas. Os geossítios, que contam parte da história da Terra, também podem ser perdidos, na medida em que a maioria destes se encontra muito próxima ao mar, sendo, portanto, merecedores de atenção especial para o futuro.

Para trabalhos futuros, recomenda-se enfoque especial nas praias e outros pontos de interesse geológico que não tenham sido abordados neste trabalho, assim como estudos da influência do nível do mar no lençol freático na região. Uma compreensão com maior acurácia de todas as consequências e impactos que poderão ser sentidos na região, tanto pelos seres humanos quanto pela fauna e flora é de fundamental importância para que ações sejam tomadas desde já.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, V.L.S., (2011). **Comunidades Planctônicas e Qualidade de Água em Reservatórios Tropicais Urbanos com Diferentes Graus de Trofia**. Tese Doutorado. Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, Brasil

ANDRADE, E.S.M.; Lacerda, G.B.M. (2009) - **Mudanças Climáticas e Análise de Risco da Indústria de Petróleo no Litoral Brasileiro**. 122p., Fundación Mapfre, Madrid, Espanha. ISBN: 9788498441642.

ANGULO R.J., Pessenda L.C.R., Souza M.C. (2002). **O significado das datações ao 14C na reconstrução de paleoníveis marinhos e na evolução das barreiras quaternárias do litoral paraense**. Revista Brasileira de Geociências, 32:95-106.

ALBINO, J. (1999) **Processos de sedimentação atual e morfodinâmica das Praias de Bicanga a Povoação**, ES. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Geologia Sedimentar. Instituto de Geociências USP

ALBUQUERQUE, G.; MANSUR, K. L.; SILVA JR, G.C.; GAMA, M. F. P.; BRAGA, M. A. (2019) **Parâmetros hidroquímicos, estruturas tectônicas e relações ambientais na caracterização do Geossítio Mangue de Pedra** In: XVII Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, Bento Gonçalves. Anais do XVII SNET. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia - Núcleo Sul v.Único. p. 60

ANGULO R.J., Lessa, G.C., Souza M.C. (2006). **A critical review of mid- to late-Holocene sea-level fluctuations on the eastern Brazilian coastline**. Quaternary Science Reviews, 25:486-506.

ANGULO, Rodolfo José; DE SOUZA, Maria Cristina. (2014). **Revisão conceitual de indicadores costeiros de paleoníveis marinhos quaternários no Brasil**. Quaternary and Environmental Geosciences, v. 5, n. 2

ALMEIDA, F.F. M.; CARNEIRO, C.D.R. (1987). **Magmatic occurrences of post-permian age of South America platform**. Boletim IG-USP, Série Científica, 20: 71-85

AREIAS, C, Spotorno-Oliveira, P, Bassi, D, Iryu, Y, Nash, M, Castro, JWA, Tâmega, FTS. (2020). **Holocene sea-surface temperatures and related coastal upwelling regime**

recorded by vermetid assemblages, southeastern Brazil (Arraial do Cabo, RJ). *Marine Geology* 425 (2020): 106183

BARROS, L.C. (2009). **Estudos sedimentológicos, batimétricos e geoquímicos na região interna do Porto de Suape - PE**. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. Tese de Doutorado, 186p

BEZERRA, F. H. R. et al. (2001). **Pliocene-quaternary fault control of sedimentation and coastal plain morphology in NE Brazil**. *Journal of South American Earth Sciences*. Amsterdam, v. 14, p. 61-75..

BINDOFF, N.L.; WILLEBRAND, J.; ARTALE, V.; CAZENAVE, A.; GREGORY, J.; GULEV, S.; HANAWA, K.; LE QUÉRÉ, C.; LEVITUS, S.; NOJIRI, Y.; SHUM, C.K.; TALLEY, L.D.; UNNIKRISHNAN, A. (2007) - **Observations: Oceanic Climate Change and Sea Level**. In: Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K.B.; Tignor, M.; Miller, H.L. (org.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp.385-432, Cambridge University Press, Cambridge, U.K. / New York, NY, U.S.A. ISBN: 9780521705967.

BIRD, E.C.F. (1993). **Submerging Coasts. The effects of a rising sea level on coastal environments**. England: Ed. John Wiley & Sons. UNEP. 184p.

BRILHA J. (2005). **Património geológico e geoconservação: a conservação da natureza na sua vertente geológica**. Viseu: Palimage Editores. 190p.

BRILHA J. (2016). **Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity Sites: a Review**. *Geoheritage*, 8(2), 119-134. doi: 10.1007/s12371-014-0139-3

BROECKER, W. Andree, M. & Wolfli, W. & Oeschger, H. & Bonani, G. & Kennett, James & Peteet, Dorothy. (1988). **The chronology of the last Deglaciation: Implications to the cause of the Younger Dryas Event**. *Paleoceanography*. 3. 1-19. 10.1029/PA003i001p00001.

BULHÕES, E. M. R.; FERNANDEZ, G. B. (2016) **Aspectos Morfodinâmicos Em Praias De Enseada: Estudo De Caso Em Armação Dos Búzios, Brasil**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 17, n. 2, p. 253- 271.

BRUUN, P. (1954) **Coast erosion and the development of beach profiles**. Beach Erosion Board Technical Memorandum 44.US Army Corps of Engineers, Washington DC., 79 pp.

CASTRO, J.W.A; SUGUIO, K; SEOANE, J.C.S; CUNHA, A.M; DIAS, F.F. **Sea-level fluctuations and coastal evolution in the state of Rio de Janeiro, southeastern Brazil.** (2014) Annals of the Brazilian Academy of Sciences. v. 86 (2). p. 671 - 683.

CASTRO, J. W.Alencar, Sicoli Seoane, J. C., Fernandes, D., Cabral, C. L., Meneguci da Cunha, A., Malta, J. V. Miguel, L. L. J. A., Areia de Oliveira, C., Spotorno de Oliveira, P., & Tapajós de Souza Tamega, F. (2021). **Relative sea-level curve during the Holocene in Rio de Janeiro, Southeastern Brazil: A review of the indicators - RSL, altimetric and geochronological data.** Journal of South American Earth Sciences, 112(Part 2), 1-12. Article 103619.

CUNHA, A. M. **Reconstituição paleoambiental das variações do nível relativo do mar durante a transgressão holocênica na bacia hidrográfica do rio Una, região de Cabo Frio - estado do Rio de Janeiro.** (2016) Tese (Doutorado em Geologia). Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2016. 163p.

DE ALMEIDA, Julio Cesar Horta et al. (2013). **Guia de campo na Área Continental do Alto de Cabo Frio.**

FERNANDES, D.; CASTRO, J. W. A. (2020) **Transporte de Sedimentos Induzido por Ondas no Segmento Norte da Enseada da Baía Formosa, Rio das Ostras, Estado do Rio de Janeiro.** Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 21, n. 4, p. 783- 795, DOI: [dx.doi.org/10.20502/rbg.v21i4.1900](https://doi.org/10.20502/rbg.v21i4.1900)

FREITAS, Aline & CARVALHO, Marcelo. (2012). Freitas & Carvalho 2012 RBP. **Análise morfológica e inferências ecológicas de grãos de pólen e esporos (últimos ~8.000 anos) da lagoa da Ferradura,** Armação dos Búzios, RJ, Brasil. Revista Brasileira de Paleontologia. 15. 300-318. 10.4072/rbp.2012.3.06.

FONSECA M.J.C. (1989). **O Cinturão Ribeira e o Bloco Cabo Frio.** Em: SBG, Simp. Geol. Sudeste, 1, Atas, p.132-133.

GONÇALVES, JÉSSICA BRITO (2021) **Investigação sobre o uso de indicadores baseados em sensoriamento remoto e sig para o mapeamento da geodiversidade: Aplicação no município de Armação dos Búzios - RJ.** Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação de Geologia da UFRJ. 173p

GRAY, Murray. (2004) **Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature.** London: John Wiley and Sons,

GRAY, M., 2013. **Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature**:2. ed.: 1-495. John Wiley & Sons,

HANSEN, James et al. (2013) **Climate sensitivity, sea level and atmospheric carbon dioxide. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 371, n. 2001, p. 20120294.

J. IMBRIE & K. P. IMBRIE (1979). **Ice Ages: Solving the Mystery**. 224 pp., 49 figs. London: Macmillan. Price £6.95. ISBN 0 333 26767 2. *Geological Magazine*, 117(2), 203-204. doi:10.1017/S0016756800033331

JESUS, PBJ, Dias, FF, Muniz, RA., Macário, KDC., Seoane, JCS, Quattrociochi, DSG, Cassab, RTC, Aguilera, O, Souza, RCCL, Alvez, EQ, Chanca, IS, Carvalho, CRA, Araujo, JC. (2017). **Holocene Paleo-sea level in southeastern Brazil: an approach based on vermetids shells**. *Sedimentary Environments* 2(1):5–48

KOMAR, P. (1976) **Beach Processes and Sedimentation**. New Jersey: Pretence Hall, INC. 429p.

LINS-DE-BARROS, Flavia M. . (2010). **Contribuição metodológica para análise local da vulnerabilidade costeira e riscos associados – Rio de Janeiro: UFRJ-PPGG, 2010. xviii, 297p. : il. 30cm Tese (doutorado). – UFRJ, Programa de Pós- Graduação em Geografia, 2010**

MANSUR, KL; RAMOS, RRC (2010) **Caracterização Geológica da área da Praia Rasa, Armação dos Búzios, RJ**. Relatório inédito ao Ministério Público Estadual. 13p.

MANSUR, K.L. (2010). **Diretrizes para a Geoconservação do Patrimônio Geológico do Estado do Rio de Janeiro: o caso do Domínio Tectônico de Cabo Frio**. Tese de Doutorado. UFRJ

MANSUR, KL; RAMOS, RRC (2018) **Resposta à solicitação da Procuradoria da República no município de São Pedro da Aldeia sobre a área do Bairro da Rasa, em Armação dos Búzios, objeto do empreendimento Marina Porto Búzios**. Relatório inédito. 23p.

MANSUR, K. L.. (2019). Ensino, pesquisa e extensão a serviço da Geoconservação: aplicação no currículo do curso de Geologia da UFRJ. *Terræ Didática*, 15, 1-11, e19023 doi:10.20396/td.v15i0.8654462

MARTIN, L & SUGUIO, K (1975) **The State of São Paulo coastal marine quaternary geology. The ancient strandlines.** Anais da Academia Brasileira de Ciências, (Suplemento) 47:249-263.

MARTIN L., BITTENCOURT A.C.S.P., VILAS BOAS G.S. (1982b). **Primeira ocorrência de corais pleistocênicos da costa brasileira – datação do máximo da penúltima transgressão.** Ciências da Terra, 3:1617

MARTIN, L.; FLEXOR, J.-M.; BLITZKOW, D.; SUGUIO, K. (1985) **Geoid change indication along the Brazilian coast during the last 7,000 years.** In: CORAL REEF CONGRESS, 5.. Tahiti, Proceedings, IGCP, Project 200, 3, p. 85-90.

MARTIN, Louis; SUGUIO, Kenitiro; FLEXOR, J.-M. (1986) **Shell middens as a source for additional information in Holocene shoreline and sea-level reconstruction: examples from the coast of Brazil.** In: Sea-level research: a manual for the collection and evaluation of data. Dordrecht: Springer Netherlands, p. 503-521.

MARTIN, L; DOMINGUEZ, J.M.L; SUGUIO, K (1986a) **Consequence of relative sea level changes during the Quaternary on sandy coastal sedimentation: examples of Brazil.** In: RABASSA, J. (ed.) Quaternary of South America and Antarctic Peninsula. Rotterdam, A.A.Balkema Publishers, v.4, p.119-135

MATTIODA, Jorge Luiz Freitas (2006) **Considerações Morfo-estruturais Ao Largo Da Ponta Do Pai Vitório, Búzios, RJ.**

MEIRA, S.A; MORAIS, J.O. **Os conceitos de geodiversidade, patrimônio geológico e geoconservação: abordagens sobre o papel da geografia no estudo da temática.** Boletim de Geografia, v. 34, N°3, p 129-147. Maringá-PR. 2016.

MILLIMAN, J. D.; REN, M. E. (1995) **River flux to the sea: impact of human intervention on river systems and adjacent coastal areas.** In Climate Change: Impact on Coastal Habitation (Eisma, D, ed.). Lewis Publishers, pp. 57–83.

MOHRIAK, W.U.; BARROS, A.Z. (1990). **Novas evidências de tectonismo cenozóico na região sudeste do Brasil: o graben de Barra de São João na plataforma continental de Cabo Frio, Rio de Janeiro.** Revista Brasileira de Geociências, 20(1-4):187-196 |

MUEHE, D. & CORRÊA, C.H.T. (1989) **Dinâmica de praia e transporte de sedimentos ao longo da restinga da Maçambaba.** Revista Brasileira de Geociências, v.19, n.3, p.387-392.

NEUMANN, B.; VAFEIDIS, A. T.; ZIMMERMANN, J.; NICHOLLS, R. J. (2015) **Future coastal population growth and exposure to sea-level rise and coastal flooding - a global assessment**. PLoS ONE. v. 10, n. 3.

PEDRINI, Alexandre & Brotto, Daniel & Lopes, Marcela & Luiza, Pegrucci & Ghilardi-Lopes, Natalia. (2013). **Percepções sobre meio ambiente e o mar por interessados em ecoturismo marinho na Área de Proteção Ambiental Marinha de Armação de Búzios, estado do Rio de Janeiro, RJ, Brasil**. Pesquisa em Educação Ambiental. 8. 59-75. 10.18675/ 2177-580X.vol8.n2.p59-75.

PONTE, F.C.; ASMUS, H.E. (1978) **Geological framework of the Brazilian continental margin**. Geologische Rundschau , 67: 235.

REIS, A.P.DOS & LICHT,O.A.B (1982). **Projeto Carta Geológica Estado do Rio de Janeiro .Folhas Barra de São João, Morro de São João, Farol do Cabo, Araruama e Cabo Frio**. Niterói,DRM-RJ, escala 1:50.000.

REIS, A.P. & MANSUR, K.L. **Sinopse geológica do Estado do Rio de Janeiro – Mapa Geológico 1:400.000**. (1995). 90 f. Relatório, texto e mapa – Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro (DRM-RJ), Niterói (RJ).

ROSATI, J.D.; DEAN, R.G.; WALTON, T.L. (2013) **The modified Bruun Rule extended for landward transport**. Marine Geology, 340, 71 -81,

RUBIM, I. N.; ALMEIDA, J. C. H. **Análise cinemática e petrográfica de brechas tectônicas: as falhas de Quatis e do Pai Vitório, RJ**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 42., 2004, Araxá. Anais.Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia, 2004. S15-638, CD-ROM.

SILVA JÚNIOR, M. da (2008). **A Gestão dos Recursos Hídricos e a Mineração Industrial na Amazônia: os casos da Pará Pigmentos S/A e da mineração Bauxita Paragominas-Pará**. Dissertação (Mestrado) - Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Universidade Federal do Pará.

SOBRAL, Querino Felipe. (2013) **Mapeamento de brejos e lagoas em armação dos búzios-rj, com uso de geotecnologias**. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Orientador: José Carlos Sícoli Seoane.

SCHMITT, R.S., (2001). **The Búzios Orogeny—a Cambrian-ordovician tectonometamorphic event in the Ribeira Belt—southeastern Brazil**. Ph.D. Thesis. Federal University of Rio de Janeiro, University of Kansas, 273 pp.

SCHMITT, R.S., TROUW, R.A.J., VAN SCHMUS, W.R. e PIMENTEL, M.M. (2004). **Late amalgamation in the central part of West Gondwana: the characterization of a Cambrian collisional orogeny in the Ribeira Belt (SE Brazil) – new geochronological data**. Precambrian Research, v.133, 3/4.

STANLEY, M. (2000). **Geodiversity**. *Earth Heritage*, v.14, p. 15-18,. Disponível em: <http://www.earthheritage.org.uk/ehpdf/EH14-2000.pdf>

SUGUIO, K , BITIENCOURT, AC.S.P.; DOMINGUEZ, J.M.L; FLEXOR, J.M.; AZEVEDO, AE.G. (1985) **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):273-286

SUGUIO, K. (1993). **Holocene relative sea-level changes along the Central Brazilian and Japanese Coasts: Possible significance of their similarities and differences**. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 65: 271-278.

TETZNER, W.; CAMILLO, E. J. R. e ALMEIDA, J. C. H. (2001) **Tectônica Mesozóica e emplacement dos diques básicos do Cabo de Búzios, RJ**. In: *Anais do 7o Simpósio de Geologia do Sudeste*, p. 91-92

USACE (US ARMY CORPS OF ENGINEERS). (2002a) **Water Wave Mechanics**. In: USACE. *Coastal Engineering Manual Chapter 1, Part II*. Vicksburg, Mississippi: EM 1110-2-1100, 121p.

VILLAGRAN X.S., Giannini P.C.F. 2014. **Shell mounds as environmental proxies on the southern coast of Brazil. The Holocene**, 24(8):1009-1016. DOI10.1177/0959683614534743.

WALLING, D.E. (2008) **The changing sediment loads of the world's rivers**. *Sediment Dynamics in Changing Environments (Proceedings of a symposium held in Christchurch, New Zealand, December 2008)*. IAHS Publ. 325.

WALKER R.G. (2006). **Facies models revisited: Introduction**. In Posamentier H.W.; Walker R.G. (Eds.) *Facies models revisited*, Society for Sedimentary G.