

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

**MAPEAMENTO DA GEODIVERSIDADE DO MUNICÍPIO DE ARRAIAL DO CABO
(RJ)**

CAMILLE RIBEIRO CAMAROTTI

Trabalho de Conclusão de Curso

Geologia

Rio de Janeiro

Julho de 2026



CAMILLE RIBEIRO CAMAROTTI

**MAPEAMENTO DA GEODIVERSIDADE DO MUNICÍPIO DE ARRAIAL DO CABO
(RJ)**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado ao Departamento de Geologia do
Instituto de Geociências, Centro de Ciências
Matemáticas e da Natureza, da Universidade
Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), como parte
dos requisitos necessários à obtenção do grau de
Geóloga.

Orientadores:

Prof. DSc. Kátia Leite Mansur (UFRJ)

Prof. DSc. Daniel Souza dos Santos (USP)

Rio de Janeiro

Julho de 2026

Ribeiro Camarotti, CAMILLE

MAPEAMENTO DA GEODIVERSIDADE DO MUNICÍPIO DE
ARRAIAL DO CABO (RJ) / Camille Ribeiro Camarotti -
Rio de Janeiro: UFRJ / IGEO, 2026.

Trabalho de Conclusão de Curso (Geologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro,
Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2026. Orientadores: Prof. DSc. Kátia
Leite Mansur e Prof. DSc. Daniel Souza dos Santos. 1. Geologia. 2. Geodiversidade e
Geoprocessamento.

CAMILLE RIBEIRO CAMAROTTI

**MAPEAMENTO DA GEODIVERSIDADE DO MUNICÍPIO DE ARRAIAL DO CABO
(RJ)**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado ao Departamento de Geologia do
Instituto de Geociências, Centro de Ciências
Matemáticas e da Natureza, da Universidade
Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), como parte
dos requisitos necessários à obtenção do grau de
Geóloga.

Orientadores:

Prof. DSc. Kátia Leite Mansur (UFRJ)

Prof. DSc. Daniel Souza dos Santos (USP)

Aprovado em: 7 de julho de 2026

Por:

Presidente: Prof DSc. Kátia Leite Mansur (Orientadora)

Prof. DSc. José Carlos Sicoli Seoane
(Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ)

Prof. DSc. Eliane Guedes
(Museu Nacional - UFRJ)

Dedico este trabalho aos meus filhos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, acima de tudo.

Ao meu marido, Pedro Camarotti, que me deu todo o apoio com as disciplinas do ciclo básico, nos momentos mais difíceis e por nunca ter me deixado desistir deste trabalho.

Aos meus pais, Marcus Vinicius e Gersimara, e minha irmã, Maria Eduarda, que me encorajaram e deram todo o suporte emocional e financeiro durante os anos de graduação.

A minha orientadora Professora Doutora Kátia Leite Mansur, do Departamento de Geologia da UFRJ, pela orientação, apoio, conselhos e paciência durante o período de preparação deste trabalho.

Ao Professor Doutor Daniel Souza dos Santos, do Departamento de Mineralogia e Geotectônica da USP, pela orientação, apoio e discussões valiosas ao longo do trabalho.

A Jéssica Silva pelo auxílio com ferramentas GIS para confecção dos mapas.

A todos os professores do Departamento de Geologia da UFRJ, pelo compartilhamento de todo o conhecimento adquirido ao longo dos anos como professores e pesquisadores da instituição, sendo fundamentais na minha formação.

A todos os meus colegas da turma de 2018, com quem dividi dias de trabalho de campo, troquei conhecimento e me diverti, em especial a Giovanna Novelo Petrungaro, Juliana Arraes de Aragão Villar e Bruna Pires dos Santos.

“Aquele que não conhece a natureza, não
conhece a si mesmo.”

— Leonardo da Vinci

RESUMO

CAMAROTTI, Camille Ribeiro. **Mapeamento da geodiversidade do município de Arraial do Cabo (RJ)**. Rio de Janeiro, 2026. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2026.

O desenvolvimento e a modernização cada vez mais acelerados da sociedade, intensificou a dependência do ser humano por recursos naturais, o que proporcionou riscos ao meio ambiente, gerando uma busca maior por uma relação sociedade-natureza mais sustentável. Nesse contexto, o direcionamento das políticas públicas de conservação, divulgação e utilização do patrimônio natural para a biodiversidade ganharam destaque nas últimas décadas. Apesar de haver intrínseca relação entre eles, o termo biodiversidade já encontra-se consolidado, ao passo que o termo geodiversidade ainda está em processo de desenvolvimento teórico e metodológico, com sua aplicação voltada para a conservação da natureza e gestão do território. Com o objetivo de contribuir com a divulgação e aprimoramento do conceito, bem como com suas discussões metodológicas, este trabalho consistiu em uma abordagem conceitual e metodológica da geodiversidade, considerando o município de Arraial do Cabo, no Estado do Rio de Janeiro, Brasil. Para tanto, foram utilizadas duas abordagens distintas porém complementares de avaliação. Uma consistiu no mapeamento quantitativo através da técnica de contagem *Multiparts*, com a elaboração de mapas de subíndice (geológico; geomorfológico; pedológico; e hidrográfico) para gerar o Mapa de Índice de Geodiversidade de Arraial do Cabo. E a outra, qualitativa, consistiu na criação de um Mapa de Geodiversidade de Arraial do Cabo. A avaliação quantitativa mostrou áreas de maior e menor riqueza de geodiversidade no município de acordo com os parâmetros considerados. Complementando estes resultados, a avaliação qualitativa possibilitou a definição de Unidades de Geodiversidade e suas potencialidades, limitações e serviços ecossistêmicos relacionados. Dessa forma, a utilização de ambas as abordagens em conjunto mostrou-se interessante, uma vez que locais identificados com maior índice de geodiversidade na abordagem quantitativa foram também utilizados na caracterização e interpretação das unidades, mostrando a relação entre as duas abordagens, o que traz consistência para o mapeamento da geodiversidade.

Palavras-chave: Avaliação da geodiversidade; meio abiótico; Região da Costa do Sol.

ABSTRACT

CAMAROTTI, Camille Ribeiro. **Mapeamento da geodiversidade do município de Arraial do Cabo (RJ) [Geodiversity mapping of Arraial do Cabo Municipality (RJ)]**. Rio de Janeiro, 2026. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2026.

The increasingly rapid development and modernization of society have intensified humanity's dependence on natural resources, which has posed risks to the environment, generating a greater search for a more sustainable society-nature relationship. In this context, the focus of public policies for the conservation, dissemination, and use of natural resources on biodiversity has gained prominence in recent decades. Although there is an intrinsic link between them, the term biodiversity is well-established, while the term geodiversity is still undergoing theoretical and methodological development, with its application centered on nature conservation and land-use management. Aiming to contribute to the dissemination and refinement of the concept, as well as to methodological discussions surrounding it, this study adopted a conceptual and methodological approach to geodiversity, focusing on the municipality of Arraial do Cabo in the state of Rio de Janeiro, Brazil. To this end, two distinct yet complementary assessment methodologies were employed. One involved quantitative mapping using the Multiparts counting technique, with the creation of sub-index maps (geological, geomorphological, pedological, and hydrographic) to generate the Geodiversity Index Map of Arraial do Cabo. The other, a qualitative approach, involved the creation of a Geodiversity Map of Arraial do Cabo. The quantitative assessment revealed areas of greater and lesser geodiversity richness in the municipality, according to the parameters considered. Complementing these results, the qualitative assessment enabled the definition of Geodiversity Units, along with their potential, limitations, and associated ecosystem services. Thus, the combined use of both approaches proved valuable, as the locations identified with a higher geodiversity index in the quantitative method were also used to characterize and interpret the units; this demonstrates the relationship between the two methods, thereby lending consistency to the geodiversity mapping.

Keywords: Geodiversity assessment; abiotic environment; Região da Costa do Sol.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: A geodiversidade e os diversos setores na qual pode ser aplicada. Fonte: Silva (2008).....	18
Figura 2: Ecótopos e níveis hierárquicos. Fonte: Adaptado de Silva <i>et al.</i> (2008) e Zonneveld (1989).....	33
Figura 3: Abordagem geossistêmica de acordo com o modelo de Bertrand (1972).....	38
Figura 4: Mapa de localização do município de Arraial do Cabo (RJ), destacado em rosa....	40
Figura 5: Mapa de acesso ao município de Arraial do Cabo (RJ). Fonte: Imagem Landsat Google Earth.....	42
Figura 6: Localização das Unidades de Conservação (UC's) Federal e Estadual que abrangem o município de Arraial do Cabo (RJ), delimitado em preto.....	43
Figura 7: (A) Sistemas orogênicos brasileiros expostos em território brasileiro com ênfase para o Sistema Orogênico Mantiqueira. (B) O Sistema Mantiqueira compreende os cinturões Araçuaí, Ribeira, Dom Feliciano, Brasília Meridional e São Gabriel. Fonte: Modificado de Heilbron <i>et al.</i> , 2017b (tradução da autora).....	46
Figura 8: Mapa tectônico do Cinturão Ribeira central. Fonte: Modificado de Heilbron <i>et al.</i> , 2017a (tradução da autora).....	47
Figura 9: Mapa geológico detalhado do Domínio Tectônico Cabo Frio e parte do Terreno Oriental da Faixa Ribeira. A sigla PN no mapa faz menção a região de Ponta Negra. Fonte: Modificado de Schmitt <i>et al.</i> , 2016 (tradução da autora).....	49
Figura 10: Localização dos maciços alcalinos do Alinhamento Magmático Poços de Caldas-Cabo Frio na direção WNW-ESE, desde o Estado de Minas Gerais até o Estado do Rio de Janeiro, no sudeste do Brasil. Fonte: Oliveira 2016.....	52

Figura 11: <i>Beachrocks</i> e dunas escalonares da Praia do Farol, Ilha do Cabo Frio, no município de Arraial do Cabo. Fonte: Fotografia de Eliane Guedes; disponível no <i>site</i> oficial do Geoparque Costões e Lagunas.....	54
Figura 12: (A) Esteiras microbianas que revestem o fundo do Brejo do Espinho, em Arraial do Cabo. (B) Amostra do mineral carbonático dolomita no Brejo do Espinho. Fonte: Imagem disponível no <i>site</i> oficial do Geoparque Costões e Lagunas.....	55
Figura 13: Mapa geológico do município de Arraial do Cabo (RJ).....	57
Figura 14: (A) e (B) Afloramento de ortognaisse em corte de estrada no Pontal do Atalaia, em Arraial do Cabo. Fonte: Imagem disponível no <i>site</i> oficial do Geoparque Costões e Lagunas.....	58
Figura 15: Afloramento de ortognaisse no Pontal do Atalaia que exhibe uma intrusão máfica (1), cortada por um dique sub-horizontal de traquito concordante com a foliação (2), e um terceiro dique também de traquito cortando os outros dois diques (3). Fonte: Fotografia de Eliane Guedes em Oliveira (2016).....	59
Figura 16: Relação de corte entre diques de traquito (mais antigo) e fonolito (mais novo) e a rocha encaixante, na Ilha do Cabo Frio. Fonte: Fotografia de Eliane Guedes; disponível no <i>site</i> oficial do Geoparque Costões e Lagunas.....	62
Figura 17: Brecha vulcânica na Ilha do Cabo Frio, Arraial do Cabo. Fonte: Imagem disponível no <i>site</i> oficial do Geoparque Costões e Lagunas.....	64
Figura 18: Dunas e salinas no entorno da Lagoa de Araruama, em Arraial do Cabo. Fonte: Imagem disponível no <i>site</i> oficial do Geoparque Costões e Lagunas.....	66
Figura 19: (A) Vista parcial do Brejo do Espinho, em Arraial do Cabo. Fonte: Imagem disponível no <i>site</i> oficial do Geoparque Costões e Lagunas. (B) Vista parcial do Brejo do Pau Fincado, em Arraial do Cabo. Fonte: Silva e Silva <i>et al.</i> (2007a).....	67

Figura 20: Depósitos sedimentares evaporíticos nas salinas em Figueira, Arraial do Cabo. Fonte: Imagem de Vinícius Pereira; disponível na reportagem ‘Passeio pelas Salinas e Lagoa Azul em Arraial do Cabo’ no YouTube.....	69
Figura 21: Mapa geomorfológico do município de Arraial do Cabo (RJ).....	71
Figura 22: Mapa pedológico do município de Arraial do Cabo (RJ).....	75
Figura 23: Mapa hidrográfico do município de Arraial do Cabo (RJ).....	79
Figura 24: Mapa da área de atuação da Companhia Nacional Álcalis (CNA), exibindo suas intervenções em parte da área da Restinga da Massambaba que abrange o município de Arraial do Cabo. Fonte: Carvalho <i>et al.</i> , 2021.....	81
Figura 25: Matriz vetorial (<i>grid</i>) com células de resolução 1000x1000 m.....	85
Figura 26: Mapa de subíndice geológico do município de Arraial do Cabo (RJ). Fonte: Elaboração da autora.....	89
Figura 27: Mapa de subíndice geomorfológico do município de Arraial do Cabo (RJ). Fonte: Elaboração da autora.....	90
Figura 28: Mapa de subíndice pedológico do município de Arraial do Cabo (RJ). Fonte: Elaboração da autora.....	91
Figura 29: Mapa de subíndice hidrográfico do município de Arraial do Cabo (RJ). Fonte: Elaboração da autora.....	92
Figura 30: Mapa de Índice de Geodiversidade do município de Arraial do Cabo (RJ). Fonte: Elaboração da autora.....	93
Figura 31: Mapa de Geodiversidade do município de Arraial do Cabo (RJ). Fonte: Elaboração da autora.....	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Relação entre os sistemas de valoração da geodiversidade <i>sensu</i> Murray Gray (2004) x (2013). Fonte: Silva (2016), modificado de Gray (2004, 2013).....	28
Tabela 2: Tabela exemplificando as interfaces do conhecimento geológico (geodiversidade) com setores produtivos, do conhecimento e planejamento. Fonte: Modificado de Silva <i>et al.</i> , 2008.....	34
Tabela 3: Síntese das Unidades de Geodiversidade informando suas potencialidades, limitações e serviços ecossistêmicos.....	99

LISTA DE SIGLAS

ANA: Agência Nacional de Águas

APA: Área de Proteção Ambiental

CNA: Companhia Nacional Alcalis

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente

CPRM: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

CTB: *Central Tectonic Boundary*

DTCF: Domínio Tectônico Cabo Frio

EDSM: Enxame de Diques da Serra do Mar

EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INEA: Instituto Estadual do Ambiente

MMA: Ministério do Meio Ambiente

PECS: Parque Estadual da Costa do Sol

PNMA: Política Nacional do Meio Ambiente

RESEX: Reserva Extrativista Marinha de Arraial do Cabo

SGB: Serviço Geológico do Brasil

SiBCS: Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

SIG: Sistema de Informação Geográfica

SISNAMA: Sistema Nacional do Meio Ambiente

UCs: Unidades de Conservação

WTTC: *World Travel & Tourism Council*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
1.1. Objetivos.....	19
1.1.1. Objetivos específicos.....	20
1.2. Justificativa.....	20
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
2.1. Desenvolvimento do conceito de geodiversidade.....	21
2.2. Geodiversidade: valores e ameaças.....	23
2.3. A contribuição da geodiversidade para o planejamento, gestão e ordenamento territorial.....	30
2.4. Geodiversidade e sua relação com o (geo)turismo.....	34
2.5. Mapeamento da geodiversidade.....	37
3. ÁREA DE ESTUDO.....	40
3.1. Localização geográfica e acesso.....	40
3.2. Clima.....	44
3.3. Geodiversidade.....	45
3.3.1. Geologia.....	45
3.3.1.1. Geologia Regional.....	45
3.3.1.2. Geologia Local.....	55
3.3.2. Geomorfologia.....	69
3.3.3. Pedologia.....	74
3.3.4. Hidrografia.....	77
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	83
4.1. Materiais.....	83
4.2. Métodos.....	84
4.2.1. Avaliação quantitativa (Mapa de Índice de Geodiversidade).....	84
4.2.2. Avaliação qualitativa (Mapa de Geodiversidade).....	87
5. RESULTADOS.....	88

5.1. Avaliação Quantitativa da Geodiversidade (Índice de Geodiversidade).....	88
5.1.1. Subíndice Geológico.....	88
5.1.2. Subíndice Geomorfológico.....	89
5.1.3. Subíndice Pedológico.....	90
5.1.4. Subíndice Hidrográfico.....	91
5.1.5. Mapa de Índice de Geodiversidade.....	92
5.2. Avaliação Qualitativa da Geodiversidade.....	93
5.2.1. Mapa de Geodiversidade.....	93
5.2.1.1. Unidades de Geodiversidade.....	94
6. DISCUSSÃO.....	103
6.1. Avaliação Quantitativa (Mapa de Índice de Geodiversidade).....	103
6.2. Avaliação Qualitativa (Mapa de Geodiversidade).....	106
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	108
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	110

1. INTRODUÇÃO

O mundo em que vivemos apresenta uma notável diversidade nos aspectos cultural, biológico e físico, sendo este último essencial para o aproveitamento de recursos naturais ao longo da história da humanidade. A heterogeneidade do meio físico, além de servir como palco para a vida na Terra (Gordon *et al.*, 2022), possibilita a extração de matérias-primas fundamentais à sobrevivência do ser humano, ao desenvolvimento social e avanço tecnológico. Com a modernização crescente da sociedade, intensificou-se a dependência por estes recursos minerais e energéticos, criando uma demanda cada vez mais acelerada. A diversidade física da Terra, além de permitir o surgimento de diferentes tecnologias, também favorece uma maior capacidade de adaptação às transformações ao longo do tempo (Gordon *et al.*, 2022). No entanto, ela traz consigo valores intrínsecos que devem ser conservados, especialmente diante das ameaças causadas pela ação humana, seja de forma direta ou indireta (Gray, 2013).

O termo geodiversidade (*geo*, do grego que significa Terra, e *diversitate*, do latim que significa variedade), começou a ser utilizado por geólogos e geomorfólogos a partir da década de 90 para descrever as interações do meio físico (Gray, 2004; Silva, 2008). Seu conceito baseia-se no estudo da natureza abiótica, que constitui uma variedade de ambientes, composição, fenômenos e processos geológicos, originando as paisagens, rochas, minerais, fósseis, solos, águas, clima e demais depósitos superficiais que propiciam o desenvolvimento sócio econômico, e que têm como valores intrínsecos a cultura, o estético, o científico, o educativo, o econômico e o turístico (CPRM, 2006).

Além disso, a geodiversidade é um importante instrumento no planejamento e gestão territorial, na prevenção de desastres naturais, na relação entre o meio ambiente e mudanças climáticas, no levantamento geológico e pesquisa mineral, na disponibilidade e uso dos recursos hídricos, na agricultura, na construção civil, na geoconservação e geoturismo, dentre outros (Figura 1). Pode também ser apresentada como um vínculo que conecta indivíduos, paisagens e tradições culturais pela interação com a biodiversidade (Nascimento *et al.*, 2008).



Figura 1: A geodiversidade e os diversos setores na qual pode ser aplicada. Fonte: Silva (2008).

O direcionamento das políticas públicas de conservação, divulgação e utilização do patrimônio natural para a biodiversidade fez com que esse tema ganhasse maior destaque entre a sociedade em relação à geodiversidade (Nascimento *et al.*, 2008). Para Brilha (2005), a biodiversidade resulta da evolução geológica da Terra e constitui um elemento essencial desse processo, onde sua história pode ser acompanhada através dos registros fósseis. Foi o próprio planeta em que vivemos, com seus variados ambientes geológicos ao longo do tempo, que possibilitou a origem da vida e a evolução biológica das espécies. Portanto, a conclusão de Brilha (2005) foi que a biodiversidade é condicionada pela geodiversidade, já que os diferentes tipos de organismos somente sobrevivem quando há um conjunto de condições abióticas essenciais presentes no ambiente.

O local de estudo deste trabalho, o município de Arraial do Cabo, revela paisagens marcadas por praias de águas límpidas, lagunas hipersalinas, brejos, costões rochosos, dunas, ilhas, vegetação endêmica e significativa diversidade marinha, dada pela ressurgência das águas da Corrente das Malvinas que aflora em sua costa. Nos costões rochosos da região, afloram gnaisses do embasamento com idades de cerca de 2 bilhões de anos, além de corpos

ígneos intrusivos de 130 e 52 milhões de anos, especialmente no Pontal do Atalaia e na Ilha do Cabo Frio, respectivamente (Sichel *et al.*, 2005; Schmitt *et al.*, 2012). Além disso, o litoral sul do município é composto por um duplo sistema laguna-barreira associados às transgressões pleistocênicas e holocênicas, como consequência das variações do nível relativo do mar, com o avanço e retração da linha de praia (Muehe, 2006), e também brejos intercordões. Entre a primeira e a segunda barreira arenosa da Restinga da Massambaba encontram-se sítios de grande importância geológica, como o Brejo do Espinho, local que se destaca pela presença de minerais carbonáticos, em especial dolomita, calcita magnesiana e aragonita (Anjos *et al.*, 2005; Areias *et al.*, 2022) formadas por ação de cianobactérias em ambiente hipersalino, especial para estudar o surgimento de vida na Terra.

O turismo e a pesca são as principais atividades econômicas da região. A riqueza em pescado levou à criação da Reserva Extrativista Marinha de Arraial do Cabo (Resexmar-AC), Unidade de Conservação de interesse ecológico e social, com a finalidade de garantir a exploração auto-sustentável e a conservação dos recursos naturais renováveis, utilizados para pesca artesanal pela população extrativista local (BRASIL, 1997). Além desta, o município abrange parte de outras duas Unidades de Conservação, a Área de Proteção Ambiental de Massambaba e o Parque Estadual da Costa do Sol.

O conceito de geodiversidade é muito importante na geoconservação e pode ser aplicado de diversas maneiras e em diferentes escalas. Este trabalho consiste no mapeamento da geodiversidade do município de Arraial do Cabo, litoral sudeste do Estado do Rio de Janeiro, utilizando as abordagens quantitativa e qualitativa de avaliação. Elementos geológicos, geomorfológicos, pedológicos e hidrográficos foram analisados de forma integrada com base em uma abordagem de paisagem, resultando na criação de Unidades de Geodiversidade e identificação de áreas com maior e menor riqueza de geodiversidade.

1.1. Objetivos

O presente trabalho objetiva realizar um levantamento da geodiversidade do município de Arraial do Cabo (RJ) através das avaliações quantitativa e qualitativa da geodiversidade, apresentando um Mapa de Índice de Geodiversidade e um Mapa de Geodiversidade, respectivamente. A partir dessas análises pretende-se apresentar áreas de maior e menor riqueza de geodiversidade no município, além de definir Unidades de Geodiversidade, identificando suas potencialidades, limitações e os serviços ecossistêmicos a elas associados.

Sob essa perspectiva, o estudo pretende contribuir com a divulgação e aprimoramento do conceito de geodiversidade, bem como contribuir para trabalhos futuros avançarem em discussões metodológicas e também temáticas relacionadas à gestão territorial, análise de serviços ecossistêmicos, geoturismo, etc.

1.1.1. Objetivos específicos

- a) Reunir uma base de dados georreferenciada da geodiversidade do município de Arraial do Cabo;
- b) Criar um Mapa de Índice de Geodiversidade, em formato digital, com a representação numérica de elementos de geodiversidade para Arraial do Cabo;
- c) Gerar um Mapa de Geodiversidade do município, em formato digital, com a divisão da área em Unidades de Geodiversidade a partir da correlação entre os componentes da geodiversidade.

1.2. Justificativa

O presente trabalho justifica-se pela importância de análises quantitativas e qualitativas de um território como instrumentos na gestão territorial, especialmente no contexto das questões ambientais, pois conseguem mensurar a geodiversidade de um local e tornar a relação sociedade-natureza mais sustentável, gerando maior qualidade de vida à população. Ainda, o trabalho poderá contribuir para a pesquisa do desenvolvimento de metodologias de mapeamento da geodiversidade, visto que ainda há discussões em aberto sobre a melhor metodologia de avaliação.

Dessa forma, os benefícios para o município podem ser inúmeros, uma vez que será gerado um produto com potencial para ser utilizado pela prefeitura do município de Arraial do Cabo, onde, em conjunto com outros trabalhos, podem auxiliar na regulamentação do turismo, que é uma das atividades que movimenta a economia local, com a mitigação de impactos socioambientais atrelados a ele, e também no desenvolvimento do geoturismo. Além disso, auxiliar na gestão territorial principalmente quanto às ocupações urbanas em área de risco; em análises de serviços ecossistêmicos; e trazer um novo olhar para os passivos ambientais existentes no município gerados pela indústria de fabricação de barrilha pela Companhia Nacional de Álcalis (CNA).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Desenvolvimento do conceito de geodiversidade

O termo geodiversidade começou a ser empregado por geólogos e geógrafos a partir da década de 90 para descrever a variedade do meio abiótico (Gray, 2004). Foi utilizado na Tasmânia por Sharples (1993), Kiernan (1994, 1996, 1997) e Dixon (1995, 1996 a, b) em estudos relacionados à conservação geológica e geomorfológica (Nascimento *et al.*, 2008). É difícil precisar o momento em que o termo foi utilizado pela primeira vez, no entanto, de acordo com Gray (2004), é provável que tenha surgido em complemento ao termo biodiversidade.

Desde então, há diversos outros autores que abordam o conceito de forma semelhante, no entanto com suas particularidades. Dixon (1996a) definiu o termo como “a variedade ou diversidade de características, conjuntos, sistemas e processos geológicos (substrato), geomorfológicos (formas de relevo) e do solo”. Eberhard (1997), Sharples (2002) e *Australian Heritage Commission* (2002) seguem a mesma definição. Já a *Royal Society for Nature Conservation*, do Reino Unido, foi além e descreveu geodiversidade como a variedade de ambientes geológicos, de fenômenos e de processos que originam as paisagens, rochas, minerais, fósseis e solos, além de outros depósitos superficiais que sustentam a vida na Terra (Stanley, 2000).

Em paralelo, Stanley (2001) acrescentou em suas interpretações a relevância para a biodiversidade e atividades humanas, descrevendo geodiversidade como o número e variedade de estruturas (sedimentares, tectônicas), de ambientes, fenômenos e materiais geológicos (incluindo rochas, minerais, fósseis e solos) que compõem o terreno de uma região, fornecendo estrutura para a vida na Terra, representada pela atividade orgânica e antrópica (conexão entre as pessoas, paisagens e cultura). Nieto (2001) segue uma classificação similar.

Já Gray (2004) abordou o termo de uma forma mais ampla e integradora definindo geodiversidade como o equivalente abiótico da biodiversidade, apresentada como a diversidade natural entre aspectos geológicos, geomorfológicos e pedológicos. Brilha (2005) assume a mesma definição proposta pela *Royal Society for Nature Conservation*, ressaltando que é o suporte essencial para o desenvolvimento da biodiversidade.

Segundo Gray (2013), em uma segunda edição revisada de Gray (2004), geodiversidade representa a variedade natural de elementos geológicos (rochas, minerais e fósseis), geomorfológicos (formas de relevo, topografia e processos físicos), pedológicos

(solos) e hidrológicos, incluindo seus conjuntos, estruturas, sistemas e contribuições para a paisagem. Essa definição é a mais adotada atualmente.

Dentro das definições apresentadas, observa-se um predomínio na associação de geodiversidade aos fenômenos e processos geológicos, e em menor proporção aos demais componentes que a constituem (Mansur, 2018). Assim, é perceptível que, para alguns autores, o conceito é mais restrito aos minerais, rochas e fósseis enquanto que para outros o termo é mais amplo. Determinados autores, como Kozłowski (2004), consideram ainda que processos antrópicos, como depósitos tecnogênicos e paisagens culturais, estão associados de alguma forma aos elementos abióticos dentro do termo geodiversidade (Mansur, 2018; Serrano & Ruiz-Flaño, 2007).

No Brasil, os estudos acerca da geodiversidade evoluíram assim como nos demais países. A fim de desenvolver ainda mais o conceito, CPRM (2006) com base em Gray (2004) e em Brilha (2005) complementa-o como a natureza abiótica que constitui uma variedade de ambientes, composição, fenômenos e processos geológicos, originando às paisagens, rochas, minerais, fósseis, solos, águas, clima e demais depósitos superficiais que propiciam o desenvolvimento sócio econômico, e que têm como valores intrínsecos a cultura, o estético, o científico, o educativo, o econômico e o turístico.

Mesmo com tantos estudos para estabelecer uma definição mais acurada para a geodiversidade, a palavra biodiversidade ainda aparece em cena com maior frequência devido à importância dada a sua preservação e divulgação perante a sociedade e, consequentemente, por se tratar de um termo mais desenvolvido e reconhecido no meio científico. Diversos projetos no Brasil (Peixoto & Oliveira-Costa, 2023; Oliveira de Sá & Silva Carvalho, 2024) vêm propondo uma visão de integração entre os dois termos, mostrando a importância da geodiversidade para manter a biodiversidade na prática, como a implementação de geossítios e geoparques para apresentar a geodiversidade e mostrar a importância de sua conservação. Além disso, esses trabalhos promovem o geoturismo e conscientização da população que vive no entorno, como é o caso do projeto Geoparque Costões e Lagunas.

Independentemente das discussões em torno do tema, o termo encontra-se atualmente bastante consolidado, embora persistam divergências quanto à sua abrangência. Ainda assim, permanece em processo de desenvolvimento teórico e, sobretudo, metodológico, com o objetivo de conferir maior consistência à sua aplicação como instrumento de gestão territorial, especialmente no contexto das questões ambientais (Santos, 2016).

2.2. Geodiversidade: valores e ameaças

Uma das principais aplicações do conceito de geodiversidade é na conservação da natureza, em seus aspectos abióticos, a fim de promover um consumo sustentável dos recursos naturais (Silva, 2016). O ato de proteger e de conservar algo está diretamente relacionado à atribuição de um valor ao objeto. Sendo assim, pode-se considerar que a geodiversidade também possui valores (Brilha, 2005; Nascimento *et al.*, 2008; Gray, 2004, 2013).

A definição de valores (ou valoração) da geodiversidade de um determinado local começou a ser discutida no início do século XXI por trabalhos como o de Gray (2004). Este autor classificou a geodiversidade em 6 valores e 32 expressão dos valores, baseado em estudos anteriores que determinaram valores para a natureza, mas que desprezavam a relevância do meio físico.

Em uma revisão dessa classificação, Gray (2013) propôs um novo sistema de valoração para a geodiversidade com foco nos serviços do ecossistema abiótico (através dos serviços do ecossistema definidos pela Avaliação Ecossistêmica do Milênio), onde ainda considerou o valor intrínseco mas apontou 5 serviços e 25 bens e processos derivados da geodiversidade, relacionados a esses serviços.

A proposta de categorização desses valores apresentada por Gray (2004) foi adotada em diferentes contextos ao redor do mundo, incluindo aplicações no Brasil, como demonstram os estudos de Pereira (2010) e de Mochiutti *et al.* (2011, 2012). Contudo, ao longo da última década, a nova abordagem fundamentada nos serviços ecossistêmicos vem sendo empregada nas estratégias de conservação da natureza. Portanto, neste trabalho, serão discriminados (a seguir) os valores para a geodiversidade com base na proposta mais utilizada atualmente, apresentada por Gray (2013).

Valor Intrínseco

O valor intrínseco ou de existência, representa a caracterização ética e filosófica da geodiversidade. Refere-se ao valor atribuído ao objeto apenas por existir, independentemente da sua finalidade ao ser humano (Gray 2004, 2013). Em síntese, é o valor que toda a geodiversidade possui, na medida que sua mera existência possibilita a interação da sociedade com a natureza, independente do tipo de relação estabelecida. De acordo com Brilha (2005), este é provavelmente o valor mais subjetivo devido a dificuldade de quantificá-lo, já que depende de contextos culturais específicos.

De forma geral, há duas correntes de pensamento à respeito da relação entre o homem e a natureza (Santos, 2016; Silva, 2016). Uma corrente mais antropocêntrica, que defende que a natureza é um recurso a ser explorado, disponível a todo e qualquer momento para satisfazer a demanda do ser humano. E outra mais ecocêntrica, que possui um viés de não-exploração nas relações antrópicas com o meio ambiente, considerando o homem como parte da natureza, sendo assim o principal responsável por sua conservação e proteção (Silva, 2016; Silva & Mansur, 2023; Silva *et al.*, 2023). Ainda, no meio dessas duas linhas, existem ideias como a do desenvolvimento social, onde os recursos naturais disponíveis devem ser utilizados de maneira racional, de modo a se perpetuar para as próximas gerações (Santos, 2016; Silva, 2016; Nascimento *et al.*, 2008).

Alguns autores consideram o valor intrínseco superficial, e afirmam não auxiliar na hierarquização dos locais de geodiversidade. Outros levam em consideração que a ética e a crença variam entre as culturas, então este valor não existiria dependendo de qual corrente a comunidade local seguisse, uma vez que a natureza é vista como religiosidade para alguns e subjugada por outros (Silva, 2016). No entanto, Gray (2013) considerou este valor como um componente dos valores geocientíficos da diversidade abiótica, devido a sua disponibilidade a ser avaliada e valorada pelo homem.

Serviços de Regulação

Os serviços de regulação da geodiversidade englobam os processos responsáveis pelo controle natural das condições ambientais (do ar, da água e dos solos), regulando a disponibilidade desses recursos, bem como sua quantidade e qualidade. Esses processos são agrupados em 4: processos atmosféricos e oceânicos, processos terrestres, regulação de inundações e regulação da qualidade da água.

Os processos atmosféricos e oceânicos são todos os que influenciam as condições da atmosfera e dos oceanos, incluindo o ciclo hidrológico, a química atmosférica, e os movimentos de circulação da água nos oceanos.

Os processos terrestres englobam o ciclo das rochas, o ciclo do carbono e a modelagem da paisagem por processos geomorfológicos.

A regulação de inundações é o escoamento da água para os canais dos rios, superficial ou pelos poros no subsolo, quando intensos fluxos de água atingem a superfície, solos ou sedimentos em subsuperfície, reduzindo os riscos de inundação. A

presença de componentes geológicos/geomorfológicos como ilhas barreiras, salinas e cascalhos em praia também são responsáveis por atenuar a inundação em áreas costeiras.

A regulação da qualidade da água refere-se a rochas, sedimentos e solos responsáveis por filtrá-la através de suas estruturas e composição química, diminuindo a susceptibilidade do lençol freático à poluição, e consequentemente controlando a qualidade das águas superficiais.

Serviços de Suporte

O serviço de suporte trata-se da disponibilização de recursos da geodiversidade para o desenvolvimento de atividades do ser humano ou da natureza em si. Compreende os processos do solo, disponibilização de habitat, plataforma, e sepultamento e armazenamento.

Os processos do solo, como o intemperismo das rochas e o desenvolvimento dos variados perfis pedológicos, possibilitam seu uso, por exemplo, para a agricultura e vinicultura (Silva, 2016). Além disso, o solo também é imprescindível para o estabelecimento de vegetação que atenuem a erosão do solo em áreas de alta pluviosidade.

A disponibilização de habitat refere-se aos aspectos abióticos de um local, como rochas e solos, que funcionam como habitat para diversas espécies de animais e para o estabelecimento da vegetação. Além disso, há registros nos dias atuais de cavernas na Ásia que funcionam como abrigo para comunidades humanas (Silva, 2016). Nesse caso, a geodiversidade funciona diretamente como um serviço de suporte para o desenvolvimento da biodiversidade.

A geodiversidade também funciona como plataforma para a construção civil, onde é fundamental uma avaliação das características dos solos e rochas do local para a escolha do tipo de fundação.

O serviço de suporte de sepultamento e armazenamento da geodiversidade faz menção aos solos utilizados para sepultamento humano em covas, principalmente no interior do Brasil, e também aos aterros sanitários cavados para depósitos de lixo comum e radioativo. Além disso, inclui as rochas reservatório que possuem propriedades de armazenamento de fluidos como água (aquíferos), ou petróleo e gás natural.

Serviços de Provisão

O serviço de provisão da geodiversidade é o que provém bens materiais para a sociedade e que possuem um valor monetário associado, sendo tratado como um produto de comercialização. Estão inclusos alimentação e bebida, saúde, minerais industriais, combustíveis, materiais de construção, produtos ornamentais e fósseis (considerados no Brasil patrimônio cultural da União).

Serviços Culturais

Este serviço representa a relação do ser humano com algum aspecto da geodiversidade do local por seu significado social ou comunitário. Dentre os serviços culturais, Gray (2013) menciona a qualidade ambiental; o geoturismo e lazer; o significado cultural, espiritual e histórico; a inspiração artística; e o desenvolvimento social.

A qualidade ambiental diz respeito ao apelo estético das paisagens. Representa elementos e formas nas mais diferentes escalas, seja uma cadeia de montanhas ou uma lagoa pequena. Nesse serviço, a geodiversidade é capaz de promover benefícios psicológicos ou fisiológicos, melhorando o bem estar da população de forma não material.

O geoturismo incluso nos serviços culturais refere-se às paisagens, fósseis, minerais e rochas como foco principal do turismo, bem como a divulgação dos processos de formação desses elementos. Possui relação com as características abióticas específicas de cada local e, conseqüentemente, com o ecoturismo.

O significado cultural, espiritual e histórico é a identificação de uma determinada comunidade com o meio abiótico através de lendas, contos folclóricos, religião (quando elementos do meio físico ganham valor sagrado), ou quando este meio apresenta registros arqueológicos, como pinturas rupestres e ferramentas do paleolítico.

A inspiração artística é exemplificada quando elementos da geodiversidade servem como inspiração para fotógrafos, pintores, escultores, músicos, poetas, etc.

O desenvolvimento social como um serviço cultural é o desenvolvimento de atividades geológicas em determinados locais pelos serviços geológicos nacionais, que realizam atividades de campo nas regiões em que atuam, bem como atividades voluntárias de proteção ao meio físico.

Serviços de Conhecimento

Os serviços de conhecimento são provavelmente os mais relevantes para as geociências, pois referem-se ao uso da natureza abiótica como instrumento de aprendizagem e pesquisa, cuja exploração é estritamente científica e educacional. Compreende 5 bens e processos: história da Terra, história da pesquisa, monitoramento ambiental, geoforense, e educação e emprego.

A história da Terra envolve todos os registros utilizados pelas geociências para descrever a história da Terra (tais como fósseis, afloramentos, sedimentos e amostras), bem como sua idade e transformações ao longo do tempo geológico.

Gray (2013) considerou a história da pesquisa como um bem e processo referindo-se aos locais no mundo que foram ou que são importantes para o desenvolvimento da geologia e dos principais conceitos das geociências.

Já o monitoramento ambiental inclui recursos que a geodiversidade dispõe para monitorar alterações ambientais em consequência da poluição e do aumento da temperatura média da Terra, a fim de mitigar o impacto negativo de determinadas ações antrópicas, promovendo a proteção e conservação do meio ambiente. São exemplos desses recursos os registros de mudanças climáticas em lagos, pântanos e núcleos de geleiras.

A geoforense (ou geologia forense) apresenta-se como um serviço de conhecimento pois é o estudo de solos, rochas, sedimentos e topografia para auxiliar nos processos de investigação criminal. Com o avanço da tecnologia, a ciência forense tem se tornado cada vez mais comum nesses processos.

Por fim, a educação e emprego é provavelmente o valor de mais fácil compreensão como um serviço de conhecimento. Engloba ações de educação, projetos de pesquisa e treinamento de estudantes, geólogos e demais profissionais das geociências através de trabalhos de campo e análises laboratoriais para o estudo da geodiversidade do planeta Terra.

A Tabela 1 exhibe uma comparação entre os sistemas de valores e expressão dos valores definidos por Gray (2004), e de serviços, bens e processos por Gray (2013), destacando suas equivalências e não-equivalências.

Gray (2004)		Gray (2013)	
Valor intrínseco		Valor intrínseco	
Valores	Expressão dos valores	Bens e processos	Serviços
Valor Funcional		Regulação de inundações	Serviço de Regulação
	Controle da Poluição		
	Química da Água	Regulação da Qualidade da Água	
	Funções do Geossistema	Processos Terrestres	
	Funções do Ecossistema		
		Processos Atmosféricos e Oceânicos	Serviço de Suporte
	Plataforma	Plataforma	
		Disponibilização de Habitat	
	Sepultamento	Sepultamento e Armazenamento	
	Armazenamento e Reciclagem		
	Funções do Solo	Processos do Solo	
	Saúde	Saúde	Serviço de Provisão
Valor Econômico	Minerais Metálicos		
	Minerais para Construção	Materiais de Construção	
	Minerais Industriais	Minerais Industriais	
	Energia	Combustível	
	Fósseis	Fósseis	
	Solos		
	Gemas	Produtos Ornamentais	
		Alimentação e Bebida	
Valor Estético	Atividades Voluntárias	Desenvolvimento Social	
	Apreciação Remota		
	Atividades de Lazer	Geoturismo e Lazer	
	Geoturismo		

	Inspiração Artística	Inspiração Artística	Serviço Cultural
	Paisagens Locais	Qualidade Ambiental	
Valor Cultural	Folclórico	Significado Cultural, Espiritual e Histórico	
	Arqueológico-Histórico		
	Espiritual		
	Senso de Lugar		
Valor Científico e Educativo	Descoberta Científica		Serviço de Conhecimento
	História da Terra	História da Terra	
	Educação e Treinamento	Educação e Emprego	
	História da Pesquisa	História da Pesquisa	
	Monitoramento Ambiental	Monitoramento Ambiental	
		Geoforeense	
	Células cinzas indicam que não há correspondência de um subvalor com um bem e processo, e vice-versa.		

Tabela 1: Relação entre os sistemas de valoração da geodiversidade *sensu* Murray Gray (2004) x (2013). Fonte: Silva (2016), modificado de Gray (2004, 2013).

Os sistemas de classificação de valores dos locais de geodiversidade têm como objetivo auxiliar projetos de manejo das áreas a fim de promover sua proteção, conservação e exploração sustentável. Se os locais que possuem um valor associado sofrerem de qualquer ameaça, seja ela antrópica, catastrófica ou natural, passa a existir a necessidade de conservar seus elementos e recursos (Gray, 2013; Silva, 2016).

Segundo Mansur (2018), a maioria das ameaças antrópicas resulta da falta de conhecimento sobre a importância geológica dos sítios por parte dos governantes e da população, e também da ausência de programas de planejamento territorial que considerem sua existência. Gray (2013) aponta como as principais ameaças à geodiversidade:

- atividades associadas à mineração (extração mineral e recuperação de áreas mineradas);
- aterros sanitários;

- expansão urbana;
- gestão de zonas costeiras e projetos de engenharia na rede hidrográfica;
- obras de engenharia;
- desmatamento e revegetação;
- agricultura e agropecuária;
- mudanças no uso das terras;
- atividades turísticas e de lazer sem mitigação dos impactos;
- coleta de amostras;
- mudanças climáticas e do nível do mar;
- incêndios;
- atividades militares;
- falta de informações/conhecimento.

Com as ameaças citadas, a geodiversidade pode sofrer impactos como perda total de um elemento da geodiversidade; perda parcial ou dano físico; perda de visibilidade ou intervisibilidade; perda de acesso; interrupção dos processos naturais; poluição; e impacto visual. Visto que tais consequências podem resultar em prejuízos imensuráveis tanto para as geociências quanto para a sociedade em geral, que se beneficia dos recursos da Terra, surgiu o conceito de geoconservação em paralelo a geodiversidade, que envolve atividades relacionadas a proteção do patrimônio geológico incluindo levantamento básico e práticas de gestão.

Assim, a valoração e classificação dos lugares possuem o intuito de proteger os locais com geodiversidade excepcional, ou seja, o patrimônio geológico do planeta. Essas medidas protetivas podem ser através da “criação de leis e programas específicos para o patrimônio geológico e/ou sensibilização do público sobre sua importância, utilizando para o turismo” de forma consciente (Nascimento *et al.*, 2008).

2.3. A contribuição da geodiversidade para o planejamento, gestão e ordenamento territorial

As primeiras informações históricas sobre o planejamento do território remontam às aldeias da Mesopotâmia, por volta de 4000 a.C. Nesse período, atividades como agricultura e pesca controlavam o planejamento do espaço, considerando aspectos da topografia e do

microclima (Garcez, 2020). Entretanto, a preocupação com o planejamento dos centros urbanos tornou-se mais evidente somente na Grécia Antiga (Benedet, 2011).

De acordo com Santos (2004), até o surgimento das grandes cidades, os planejadores do espaço buscavam atender preceitos religiosos, de estética e de conforto. No século XVIII, embora a conservação dos elementos da natureza na construção das cidades não fosse valorizada, a Escola Francesa, através de suas propostas de planejamento dos recursos hídricos e saneamento, destacou a importância da relação entre disponibilidade de água e preservação dos mananciais (Benedet, 2011). Contudo, o marco das preocupações com o meio ambiente foi em 1968 quando um grupo multidisciplinar conhecido como Clube de Roma se reuniu para discutir a relação entre homem (meio social) e a natureza, colocando em pauta as consequências do padrão de consumo em alguns países e incorporando questões sociais, políticas, ecológicas e econômicas com o uso racional dos recursos (Benedet, 2011).

Entre os anos 70 e 80, estudos de impactos ambientais aliado a uma forte tendência a planejamentos regionais integrados, reformularam o conceito de planejamento do espaço (Gonçalves, 2018). Com isso, a conservação e preservação dos recursos naturais, bem como a integração do homem com o meio, passaram a ganhar ainda mais relevância quando o assunto é qualidade de vida da população (Santos, 2004).

No Brasil, a migração de pessoas para as cidades, impulsionada pelo crescimento da indústria e pela modernização agrícola, deu início à concentração de pessoas nos centros urbanos e, com isso, os primeiros desafios socioespaciais. Com o crescimento populacional e o surgimento dos problemas urbanos, tornou-se necessária a criação de políticas territoriais por parte do Estado, diante das consequências geradas ao meio ambiente e, por conseguinte, à comunidade. Tais políticas têm como finalidade o desenvolvimento e influenciam, direta ou indiretamente, na organização espacial da sociedade e de suas atividades (ordenamento territorial) (Fonseca & Silva, 2012; Mafra & Silva, 2004).

Em 1981, como forma de orientação para o ordenamento territorial, surgiu a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA - Lei nº 6.938/1981), onde foram criados vários órgãos com a elaboração de diretrizes de avaliação de impactos ambientais, zoneamentos, planejamento e gerenciamento, utilizando-se como unidades de planejamento as bacias hidrográficas (BRASIL, 1981). Dentre eles, destacam-se o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) (Gonçalves, 2018). Logo, é recente a compreensão de que as relações entre o ser humano e a natureza, em seus âmbitos econômicos e culturais, são fundamentais em análises ambientais.

Com o crescimento de grandes áreas metropolitanas, caracterizadas por um expressivo adensamento populacional, também se intensificaram desequilíbrios urbanos como carência do solo por uso e ocupação inadequados, expansão desordenada, conurbações, deterioração das condições habitacionais, congestionamento do tráfego, poluição ambiental e segregação socioespacial (Mafra & Silva, 2004). Além disso, a ausência de um planejamento prévio favorece a urbanização desordenada de áreas destinadas a agricultura (cinturão verde) e nascentes de rios; a instalação de aterros sanitários/lixões e cemitérios às margens dos rios ou em solos suscetíveis à contaminação dos lençóis freáticos; bem como a ocupação humana em áreas de risco geológico, como áreas sujeitas ao deslizamento, afundamento e/ou inundação (Silva *et al.*, 2008).

É importante ressaltar que, no caso do município de Arraial do Cabo, por se tratar de uma área litorânea, a ocupação desse espaço é particularmente sensível tanto aos fenômenos geológicos naturais (influência do arcabouço tectônico e da neotectônica) quanto às intervenções antrópicas, como obras civis e alterações nos ecossistemas costeiros (ocupação urbana e remoção/manipulação de manguezais). Tais “intervenções” em áreas litorâneas resultam em modificações significativas nas taxas de sedimentação e erosão costeiras, colocando em risco, ou mesmo destruindo as áreas — o modelado atual —, com impactos ecológicos e grandes prejuízos financeiros (Silva *et al.*, 2008).

Dessa forma, intervenções inadequadas ao meio físico podem causar danos irreversíveis à qualidade de vida e ao meio ambiente, visto que o ser humano é totalmente dependente das características geológicas dos ambientes naturais para extração e uso dos recursos. Portanto, as intervenções territoriais, de acordo com Silva *et al.* (2008), devem ser acompanhadas de uma visão mais abrangente e sistêmica, integrando a geodiversidade (meio físico), biodiversidade (meio biológico), questões sociais, econômicas e culturais (sociodiversidade).

Ademais, as geociências por meio da criação do conceito de geodiversidade, elaboraram um instrumento inovador e eficaz para uma leitura integral da paisagem (ecótopo - Figura 2), utilizando o conhecimento do meio físico em benefício da conservação do meio ambiente, a fim de promover um planejamento e gestão territorial sustentáveis, possibilitando a avaliação dos impactos gerados pela implantação das diversas atividades econômicas sobre o espaço geográfico (Silva *et al.*, 2008).

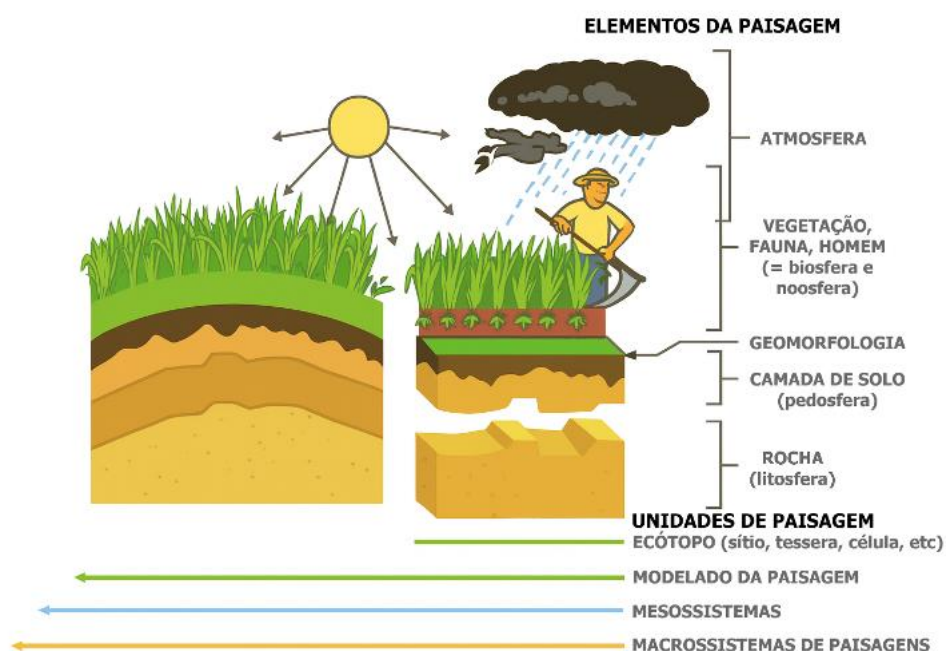


Figura 2: Ecótopos e níveis hierárquicos. Fonte: Modificado de Silva *et al.* (2008) e Zonneveld (1989).

Assim, os estudos da geodiversidade mostram-se excelentes instrumentos de planejamento e ordenamento territorial, fornecendo informações para setores como mineração, energia, agricultura, saúde pública, urbanismo, moradia, defesa civil, transporte, turismo e meio ambiente, bem como diversas instituições públicas e privadas, e também para programas de governo (zoneamento ecológico-econômico, ordenamento territorial, estudos da plataforma continental e ambientes costeiros) (Tabela 2). Além disso, é um aspecto essencial para uma ocupação segura em diversos terrenos e paisagens, onde a falta de sua aplicabilidade implica em inúmeros prejuízos ambientais, econômicos e sociais à sociedade brasileira.

Interfaces do conhecimento da Geodiversidade com setores produtivos, do conhecimento e planejamento

Fonte: Silva *et al.*, 2008.

Setor	Contribuição	Resultados
Mineral	Mapeamento geológico, geofísico, geoquímico, bancos de dados. Metalogênese. Mapeamento das variáveis ambientais.	Aumento das reservas minerais e da produtividade do setor. Adoção de modelos sustentáveis.
Agricultura	Hidrologia, hidrogeologia, hidrogeoquímica e geoquímica ambiental, insumos agrícolas, erosão, monitoramento de bacias.	Melhoria da produtividade, adoção de modelos sustentáveis.
Política agrária	Recursos minerais e hídricos para assentamentos; sustentabilidade ambiental, monitoramento.	Melhoria da produtividade, adoção de modelos sustentáveis. Solução de problemas sociais.
Urbanismo	Hidrologia urbana, hidrogeologia, abastecimento hídrico, geotecnia.	Melhoria da qualidade de vida, aumento da produtividade e adoção de modelos sustentáveis.
Desenvolvimento nacional	Hidrologia e hidrogeologia, recursos minerais, para apoiar os projetos de desenvolvimento, ao longo dos macroeixos de desenvolvimento. Modelamento e monitoramento de bacias.	Adoção de modelos sustentáveis. Redução dos custos de implantação e manutenção das condições ambientais.
Geopolítica e soberania nacional	Avaliação integrada dos recursos naturais, para o desenvolvimento sustentado. Modelamento de bacias, geoquímica ambiental, modelos sedimentométricos, balanço de massa.	Adoção de modelos sustentáveis. Melhoria da imagem nacional, perante as demais nações.
Geomedicina	Geoquímica ambiental, modelamento de bacias. Na análise sistêmica, aplicada à previsão de áreas de risco de epidemias.	Melhoria da qualidade de vida e aumento da eficiência dos recursos aplicados na área de saúde, sanitário e urbanismo.

Tabela 2: Tabela exemplificando as interfaces do conhecimento geológico (geodiversidade) com setores produtivos, do conhecimento e planejamento. Fonte: Modificado de Silva *et al.*, 2008.

2.4. Geodiversidade e sua relação com o (geo)turismo

Historiadores vêm documentando a mobilidade humana sobre a superfície terrestre ao longo do tempo. Em suas fases mais primitivas, o homem migrava em busca de abrigo, alimento e água. No mundo moderno, um dos principais motivos desses deslocamentos é o turismo, sobretudo com a globalização e a facilidade de percorrer longas distâncias em um curto intervalo de tempo. O turismo é uma das atividades socioeconômicas mais lucrativas e que apresenta um dos mais altos índices de crescimento no contexto econômico mundial (WTTC, 2025).

A superfície terrestre contempla uma grande diversidade de atrativos naturais que disponibilizam dos mais variados recursos para a prática do turismo, representados pelos elementos biótico (fauna e flora) e abiótico (variados tipos de rochas, com suas formas e paisagens, hidrografia e o clima — Nascimento *et al.*, 2008). A esses recursos, somam-se

ainda os patrimônios culturais registrados pelo homem primitivo nas rochas, como as inscrições rupestres e a cantaria nos monumentos pétreos.

A geodiversidade é expressa, no ambiente natural, por meio das paisagens e das características do meio físico de onde vivemos, e o turismo faz uso dessas paisagens sob a concepção geográfica de espaço, explorando-o com o propósito de lazer e recreação (Nascimento *et al.*, 2008). O Brasil apresenta paisagens das mais variadas, com diferentes tipos de rocha, minerais, fósseis, formas de relevo e coberturas de solos relacionados, que remontam desde os primórdios da história da Terra, percorrendo todo o tempo geológico até o presente. Assim, há tanto registros de rochas com mais de 3 bilhões de anos, quanto exemplos atuais de dunas e outros depósitos de sedimentos recentes, como é o caso do município de Arraial do Cabo. Grande parte desses registros geológicos, além de constituírem sítios relevantes e de interesse científico, também configuram monumentos naturais/paisagens cênicas excepcionais, podendo apresentar uma importância histórica e cultural associada. A atividade turística que se fundamenta na valorização e exploração desse patrimônio geológico é denominada geoturismo (Nascimento *et al.*, 2008).

Segundo estes últimos autores, o geoturismo pode ser definido como o “turismo ecológico que incorpora informações e atrativos geológicos, abrangendo a descrição de monumentos naturais, parques geológicos, afloramentos de rocha, cachoeiras, cavernas, sítios fossilíferos, paisagens, fontes termais, minas desativadas e outros pontos/sítios de interesse geológico”. É importante mencionar que também existe o conceito de geoturismo urbano, onde determinadas cidades possuem atrativos como afloramentos rochosos nos centros urbanos, edifícios com rochas ornamentais ou registros paleontológicos em quantidade e variedade que permitem a criação de um roteiro geoturístico. Esse tipo de turismo possibilita a inclusão de discussões sobre geoconservação nos centros urbanos, tornando-o cada vez mais necessário e estratégico (Mansur, 2018).

Embora já existisse esse tipo de atividade turística (ligada ao patrimônio geológico), o termo “Geoturismo” só passou a ser conhecido em 1995 após ser definido pelo pesquisador Thomas Hose em uma revista ambiental. Hose (1995) definiu geoturismo primeiramente como a provisão de serviços e facilidades interpretativos, que possibilita aos turistas a compreensão e aquisição de conhecimentos acerca da geologia e geomorfologia de um determinado sítio (incluindo sua contribuição para o desenvolvimento das geociências), indo além de uma mera apreciação estética (Mansur, 2018). O autor apresenta quem faz uso do geoturismo como quem viaja com propósitos:

- Educacionais: representados por alunos da pré-escola até os cursos de graduação e pós-graduação, que frequentam trilhas interpretativas e centros de visitação a fim de adquirir ou ampliar o conhecimento geológico.
- Recreacionais: representados por entusiastas que visitam os sítios por seus conteúdos fossilíferos, minerais, rochas ou paisagens cênicas (visitantes de geoparques).

Hose (2012), em sua revisão sobre o conceito, acrescentou que o geoturismo é a provisão de instalações e serviços interpretativos para geossítios, geomorfossítios e a topografia do entorno (artefatos *in situ* e *ex situ* associados), visando a conservação e a consequente apreciação destes, além da pesquisa e também aprendizagem para as gerações atuais e futuras. Este autor conclui ainda que esse tipo de turismo valoriza os aspectos geológicos/geomorfológicos dos sítios, para proveito dos visitantes.

Para outros autores, nem todas as definições de geoturismo estão diretamente relacionadas a temas geológicos. Stueve, Cooks e Drew (2002) abordam o conceito de geoturismo como uma combinação de atributos naturais e culturais que caracterizam determinado local, dando foco às principais características geográficas do destino (Mansur, 2018; Nascimento *et al.*, 2008). A Declaração de Arouca, definida no Congresso Internacional de Geoturismo em 2011, no *Arouca Geopark* em Portugal, estabeleceu que geoturismo deve ser definido como “o turismo que sustenta e incrementa a identidade de um território, considerando a sua geologia, ambiente, cultura, valores estéticos, património e o bem estar dos seus residentes”, tendo o turismo geológico como um dos diversos componentes do geoturismo (Arouca Geopark, 2011).

De modo geral, o geoturismo por ser considerado um importante indutor econômico desempenha um papel significativo nos projetos de uso da geodiversidade, pois contribui para o desenvolvimento local através da visitação, gerando receitas associadas à hospedagem, gastronomia, comercialização de artesanato e demais produtos, desde que relacionada à garantia de conservação dos bens naturais. Nesse contexto, vale ressaltar que práticas inadequadas de uso podem resultar na degradação do patrimônio geológico, comprometendo sua integridade e até mesmo provocando a perda de seu valor turístico e o consequente desinteresse de novas visitas (Mansur, 2018). Portanto, o objeto do geoturismo deve beneficiar a população local e os visitantes, e simultaneamente ser protegido para as futuras gerações.

2.5. Mapeamento da geodiversidade

A intervenção do ser humano no meio físico em busca de recursos naturais se tornou cada vez maior com a crescente modernização da sociedade. Nesse contexto, estudos relacionados à geologia ambiental tornaram-se relevantes, uma vez que podem contribuir efetivamente para o desenvolvimento sustentável do ambiente em que vivemos.

Nos últimos anos, diversos autores vêm buscando metodologias para cartografar a geodiversidade a fim de servir como um mecanismo de apoio em práticas de gestão territorial (Mansur, 2018). Vincent (2004) comentou sobre a dificuldade de uso do conceito de geodiversidade apresentado pela maioria dos autores da época devido a inviabilidade de cartografar o tema. Embora ainda haja desafios para consolidar os diversos aspectos que fazem parte da geodiversidade, hoje existem ferramentas teórico-metodológicas que permitem seu mapeamento, procurando retratar os elementos do meio abiótico da forma mais coerente possível com a realidade. As abordagens utilizadas atualmente representam a geodiversidade de modo quantitativo e/ou qualitativo, com este último baseando-se na análise da paisagem.

A relação da geologia com a paisagem encontra-se na importância do substrato geológico na constituição do relevo, na criação de condições para o desenvolvimento da biota e também na interação da sociedade com a natureza em seus diversos aspectos (Santos, 2016). A geologia ambiental, que tem como atributo a análise sistêmica da ciência geológica em estudos sobre gestão ambiental e planejamento territorial, acabou incorporando o conceito de paisagem à geologia, bem como seus métodos de análise e mapeamento (Santos, 2016).

A partir da década de 1950, o conceito de paisagem passa a ser abordado como um sistema natural (geossistema) com o surgimento da Teoria Geral dos Sistemas. Sob esta influência, Sotchava (1960) elaborou a Teoria dos Geossistemas, que consiste numa análise estrutural, hierarquizada e sistêmica da paisagem, através da superposição das diversas camadas que compõem o sistema geobiofísico (rochas, minerais, relevo, solos e biota). Em contraponto, Bertrand (1972) baseia-se em uma abordagem geossistêmica (Figura 3), onde a interação entre os elementos que compõem uma paisagem é considerada um aspecto fundamental para sua análise e classificação. Ainda segundo Bertrand (1972), a paisagem pode ser compreendida como uma fração do espaço caracterizada por uma combinação dinâmica e instável de elementos físicos, biológicos e antrópicos, os quais interagem entre si construindo um conjunto singular e indissociável.

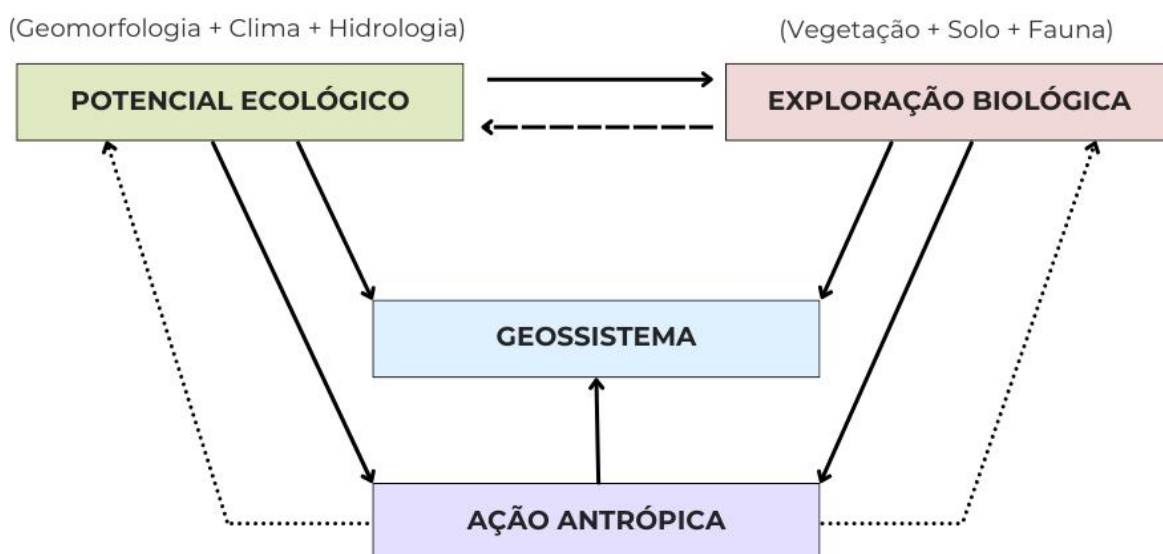


Figura 3: Abordagem geossistêmica de acordo com o modelo de Bertrand (1972).

Com isso, o conceito de geodiversidade colabora para uma melhor compreensão do meio físico e consolida-se como um instrumento eficaz para análise integrada da paisagem, aplicando o conhecimento em benefício à conservação da natureza e a gestão e planejamento territorial (Silva & Dantas, 2010; Dantas *et al.*, 2015).

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB) iniciou em 2006 o Programa de Levantamento da Geodiversidade que consiste na síntese dos grandes geossistemas formadores do território nacional que possuem conexão entre si (rocha, relevo, solo e água), tendo como produto o Mapa de Geodiversidade do Brasil em escala 1:2.500.000 (CPRM, 2006) e também mapas de geodiversidade estaduais. A metodologia adotada pela CPRM/SGB ao se proceder estudos de geodiversidade, considera a análise conjunta dos parâmetros geológicos, geotécnicos, geomorfológicos, pedológicos e hidrológicos que constituem a paisagem do meio físico.

Utilizando de uma linguagem acessível, esses mapas apresentam informações de diversos aspectos do meio abiótico (relevantes na interação com o meio biológico e com as atividades antrópicas), objetivando subsidiar o planejamento e gestão do território brasileiro de forma sustentável, trazendo informações sobre adequabilidades, limitações e potencialidades frente ao uso e ocupação dos territórios, considerando obras de infra-estrutura, exploração do potencial mineral, práticas agrícolas, uso dos recursos hídricos, riscos de contaminação dos solos e águas subterrâneas frente a fontes poluidoras, e o

aproveitamento do potencial geoturístico (geoparques, geossítios, minas desativadas, monumentos paleontológicos e espeleológicos) (CPRM, 2006; Silva *et al.*, 2008).

Os mapas de geodiversidade buscam auxiliar na tomada de decisão por gestores dos âmbitos federal, estadual e municipal, além da iniciativa privada, da comunidade acadêmica, de organizações não governamentais e da sociedade em geral (Santos, 2016; Silva & Dantas, 2010; SGB, [s.d.]). Além disso, outro objetivo desse mapeamento é ampliar o conhecimento sobre o termo geodiversidade e a compreensão de sua aplicabilidade em setores ambientais, econômicos e sociais com foco no planejamento e gestão do território, e, consequentemente, contribuindo para a valorização e difusão do conhecimento geológico (Santos, 2016).

Dessa forma, como mencionado, a avaliação da geodiversidade pode ser conduzida através de uma perspectiva qualitativa, fundamentada na identificação e caracterização do meio físico a partir de uma análise integrada de seus elementos (Santos, 2016), e também quantitativa, comparando a riqueza de cada tema em uma unidade de território (Mansur, 2018). O mapeamento qualitativo da geodiversidade, quando baseado na abordagem sistêmica (conforme apontado nos estudos sobre paisagem), desempenha um papel fundamental nas análises conjugadas do meio geobiofísico, configurando-se como um instrumento eficaz para os diagnósticos e soluções dos problemas socioambientais atuais (Santos *et al.*, 2019).

3. ÁREA DE ESTUDO

3.1. Localização geográfica e acesso

A área de estudo compreende o município de Arraial do Cabo, localizado na porção centro-litorânea do Estado do Rio de Janeiro, também conhecida como Região dos Lagos Fluminense, a aproximadamente 80 km da cidade do Rio de Janeiro. Segundo dados do IBGE (2022), apresenta uma área de 152,106 km², engloba cerca de 65% da Lagoa de Araruama e uma população estimada de 30.986 habitantes. Arraial do Cabo limita-se a norte com os municípios de Cabo Frio, São Pedro da Aldeia e Iguaba Grande, a oeste com o município de Araruama, e a leste e sul com o Oceano Atlântico (Figura 4).

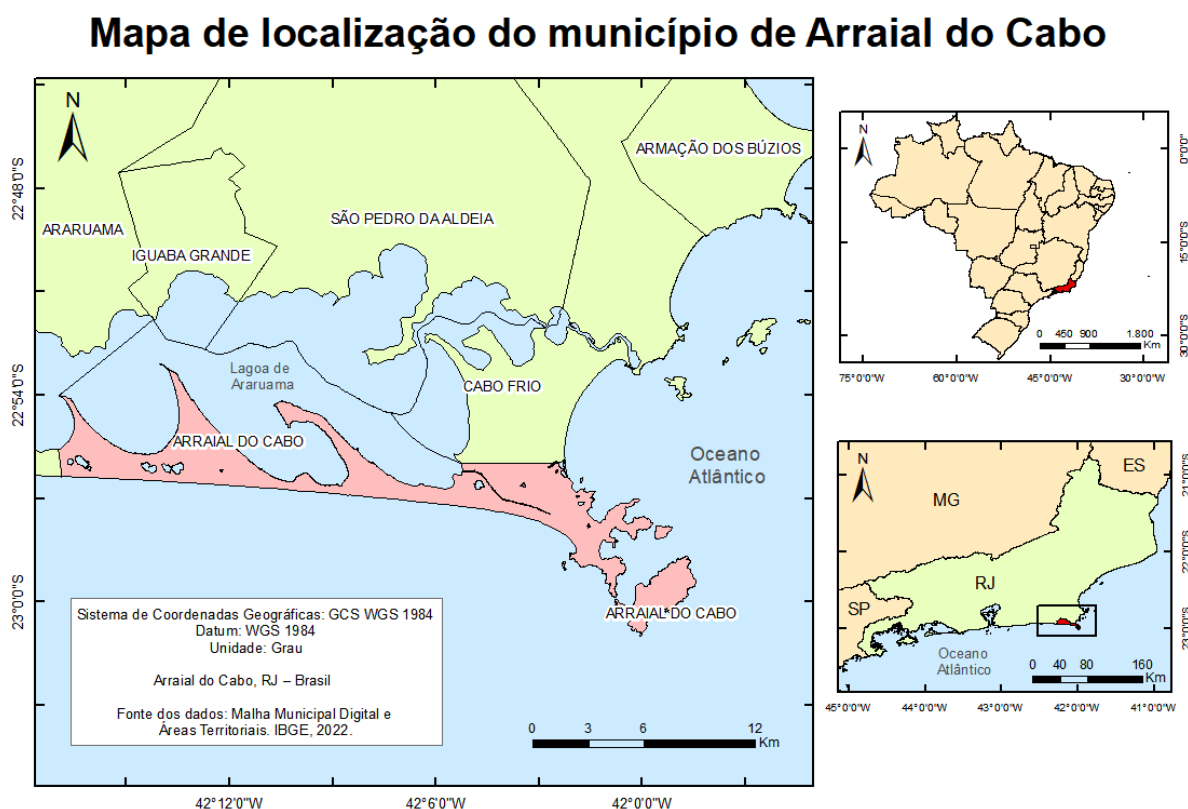


Figura 4: Mapa de localização do município de Arraial do Cabo (RJ), destacado em rosa.

Tendo como ponto de partida o Centro da cidade do Rio de Janeiro, o melhor acesso possui aproximadamente 164 km. Após a Ponte Rio-Niterói, é possível optar pela Rodovia Governador Mário Covas (BR-101), também conhecida como Rodovia Niterói-Manilha, por 72,7 km, passando pelos municípios de São Gonçalo, Itaboraí e Tanguá. Com acesso pelo

município de Rio Bonito, o trajeto continua pela Via Lagos (RJ-124) percorrendo 57 km até a Rodovia Amaral Peixoto (RJ-106). Posteriormente, na RJ-106 percorre-se mais 3,2 km até a Rodovia Márcio Corrêa (RJ-140), beirando a Lagoa de Araruama, na altura do município de São Pedro da Aldeia. Depois de mais 13,7 km, o percurso continua pela Rodovia General Bruno Martins (RJ-102) por 10,4 km até o centro de Arraial do Cabo, como mostra a Figura 5.

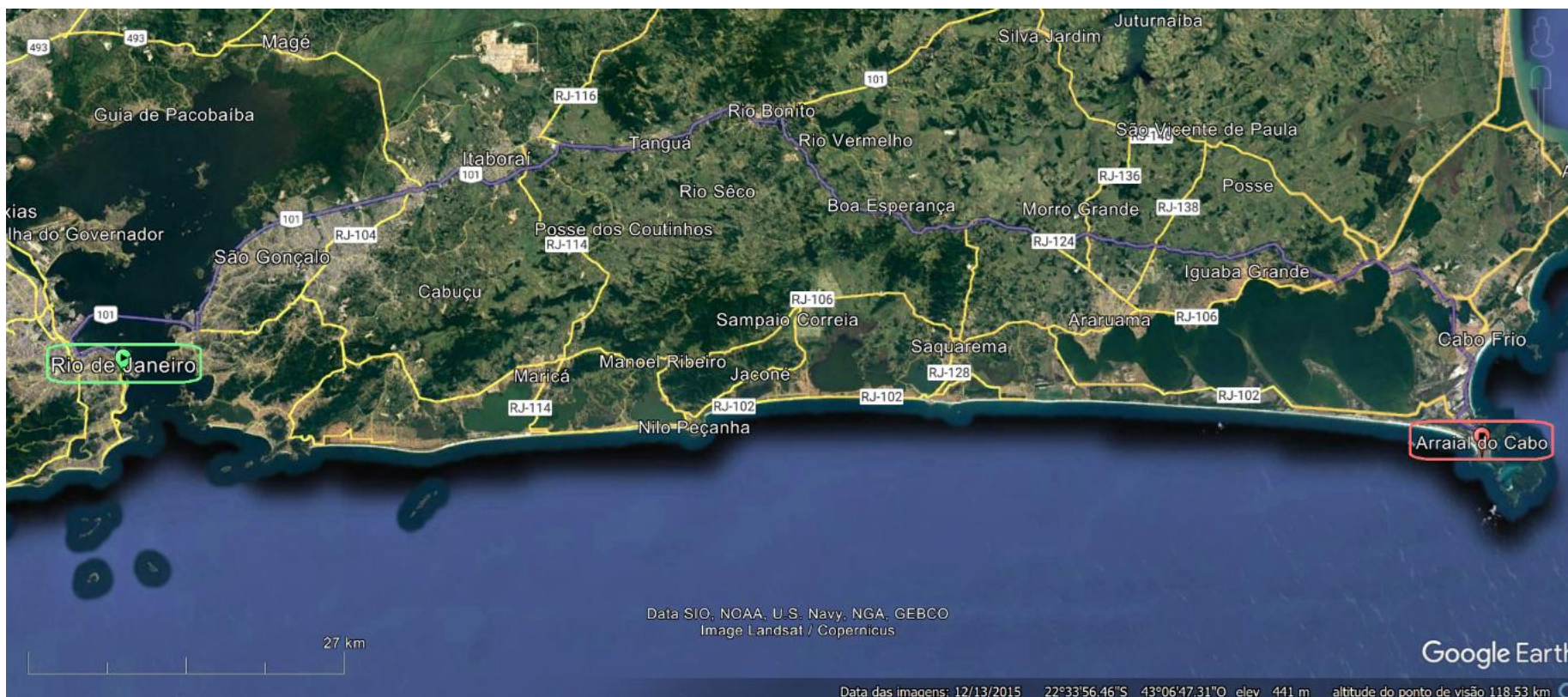


Figura 5: Mapa de acesso ao município de Arraial do Cabo (RJ). Fonte: Imagem Landsat Google Earth.

Grande parte do município está situada na Unidade de Conservação de Proteção Integral Parque Estadual da Costa do Sol (PECS), além de abranger também parte da Área de Proteção Ambiental (APA) Estadual de Massambaba, a oeste, e a Reserva Extrativista Marinha do Arraial do Cabo (Resexmar-AC) em toda a porção litorânea do município (Figura 6).

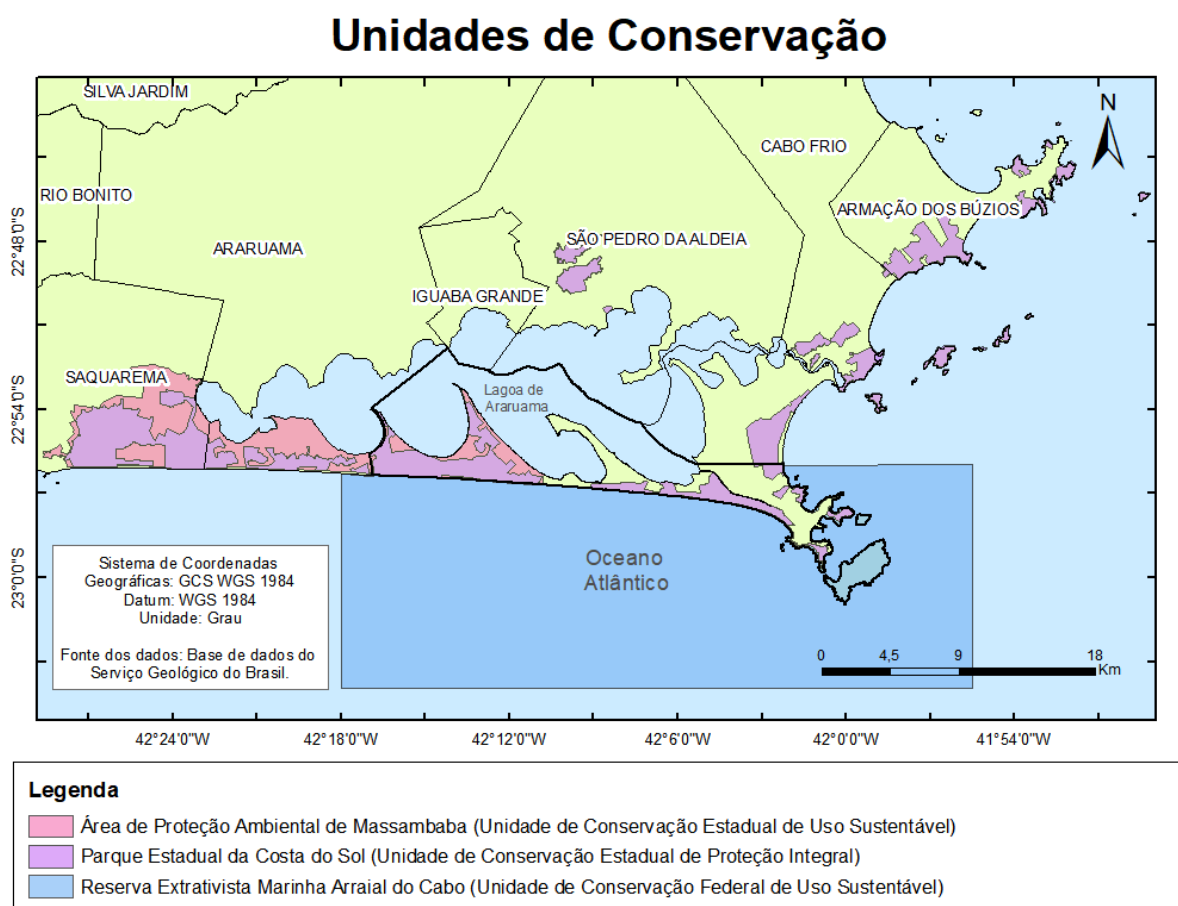


Figura 6: Localização das Unidades de Conservação (UCs) Federal e Estadual que abrangem o município de Arraial do Cabo (RJ), delimitado em preto.

Criado em 2011, o Parque Estadual da Costa do Sol (PECS) é gerido pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA), e conforme seu decreto de criação, essa unidade de conservação tem como finalidade a proteção e recuperação de ambientes naturais remanescentes, tais como barreiras arenosas costeiras, brejos, costões rochosos e formações geológicas notáveis, restingas e também a mata atlântica. O parque também deve promover o desenvolvimento sustentável e o turismo, bem como a conservação de espécies nativas da fauna e flora, oferecendo refúgio àquelas consideradas migratórias, raras, vulneráveis, endêmicas ou ameaçadas de extinção (RIO DE JANEIRO, 2011). Além disso, seu plano de

manejo inclui a meta de conter a expansão imobiliária nas áreas próximas ao parque, e também de auxiliar na organização do turismo na área (RIO DE JANEIRO, 2019).

A Área de Proteção Ambiental Estadual de Massambaba, criada em 1986, abrange os municípios de Arraial do Cabo, Araruama e Saquarema. Visa proteger uma das últimas áreas remanescentes de restingas, lagoas costeiras e brejos ainda em bom estado de conservação, responsável pelo abrigo de inúmeras espécies de aves migratórias, e habitat de espécies vegetais endêmicas. Além disso, busca preservar sítios arqueológicos, fundamentais para pesquisas científicas e manter a grande sequência de dunas revestidas de vegetação protetora presentes na região. (INEA, [s.d.]).

A Reserva Extrativista Marinha do Arraial do Cabo (Resexmar-AC), criada em 1997, é uma Unidade de Conservação Federal de Uso Sustentável. O objetivo de sua criação é proteger a cultura tradicional da pesca artesanal em Arraial do Cabo, visando à coexistência em equilíbrio entre a natureza e a sociedade, promovendo a conciliação entre as atividades humanas e a conservação da biodiversidade, para garantir melhor qualidade de vida à população. Dessa forma, busca-se com sua criação promover a exploração autossustentável e a conservação dos recursos naturais renováveis, tradicionalmente utilizados para a pesca artesanal pela população extrativista de Arraial do Cabo. (ICMBio, [s.d.]).

3.2. Clima

A região sudeste do Brasil apresenta a mais diferenciada distribuição espacial de precipitações pluviométricas de acordo com Davis & Naghettini (2001). A partir do mapa de isoietas das precipitações médias anuais, elaborado por esses últimos autores, pode-se constatar que a área de abrangência do município de Arraial do Cabo apresenta menor pluviosidade (inferior a 1.000 mm) em relação ao restante do Estado do Rio de Janeiro.

Conforme a classificação climática Köppen-Geiger, além dos estudos de Barbière & Kronemberger (1994), o microclima de Arraial do Cabo é considerado semiárido quente, com precipitação média anual de 800 mm. A área apresenta um déficit hídrico, conforme identificado por Freitas (2006), e é caracterizada por uma estação seca durante o inverno, marcada pelo predomínio de ventos provenientes do quadrante NE (Mansur *et al.*, 2012).

Dois fatores são apontados por Barbière (1975) como responsáveis pela baixa precipitação na região. O primeiro são os baixos efeitos das chuvas orográficas, provocado pela longa distância da linha de costa da área em relação à Serra do Mar. E o segundo é

associado ao fenômeno de ressurgência na Ilha do Cabo Frio, onde a emergência de águas frias proveniente da Corrente das Malvinas encontra uma costa dominada por correntes quentes. A ocorrência desse fenômeno oceanográfico nessa área é condicionada pela brusca mudança de direção na linha de costa em Arraial do Cabo, que passa de uma direção aproximadamente N-S a E-W, e também pelo deslocamento sazonal do eixo da corrente do Brasil, desviado ao longo do verão (Barbosa, 2003). Turcq *et al.* (1999) e Bohrer *et al.* (2009) também apontam a influência dos ventos de NE oriundos do Anticiclone Semipermanente do Atlântico Sul, que deslocam as massas oceânicas superficiais aquecidas e favorecem a ascensão das águas frias em profundidade, inibindo a formação de nuvens do tipo cúmulos, responsáveis pelas precipitações convectivas na região (Mansur, 2010).

3.3. Geodiversidade

3.3.1. Geologia

3.3.1.1. Geologia Regional

O município de Arraial do Cabo, localizado no Estado do Rio de Janeiro, região sudeste do Brasil, está inserido no contexto tectônico da Província Mantiqueira. Com cerca de 700 mil km² de área e mais de 3 mil km de comprimento, se estendendo desde o sul da Bahia até o Uruguai, esta província caracteriza um sistema orogênico neoproterozoico-cambriano com direção NE-SW (Figura 7). É constituída pelos orógenos Araçuaí, Brasília Meridional, Dom Feliciano, Ribeira e São Gabriel, que tiveram sua história marcada pela Orogênese Panafricana-Brasiliana, responsável pela amalgamação do Supercontinente Gondwana Ocidental no Neoproterozoico (Almeida *et al.*, 1977, 1981; Heilbron *et al.*, 2004).

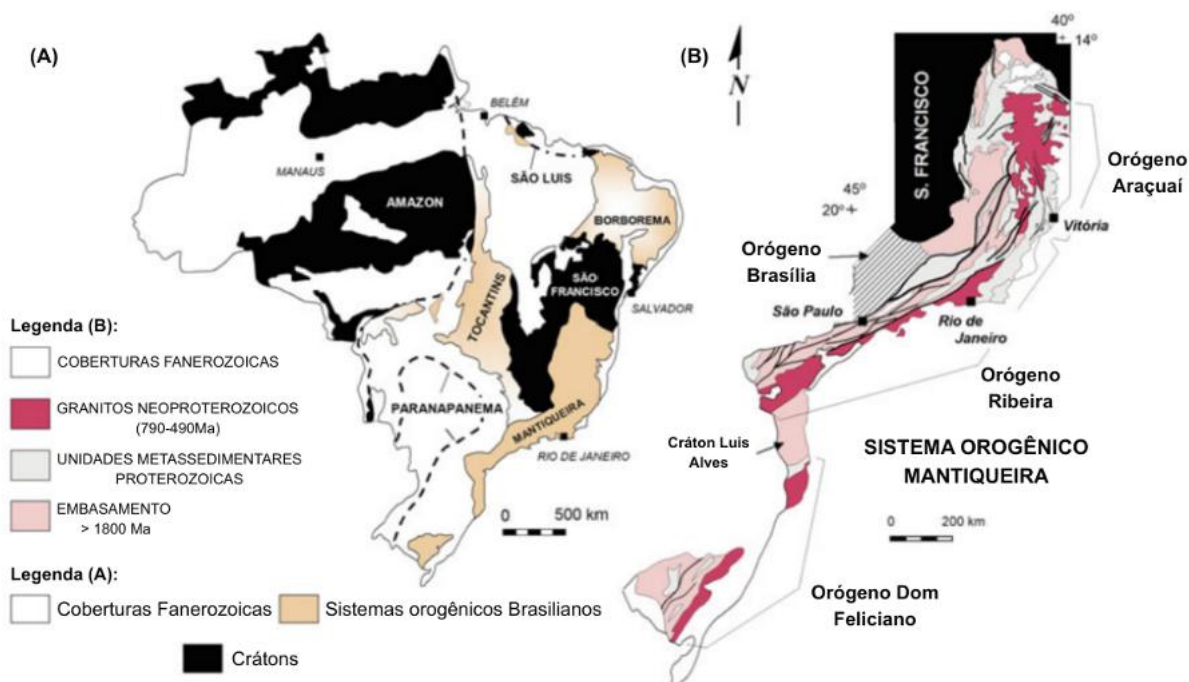


Figura 7: (A) Sistemas orogênicos brasileiros expostos em território brasileiro com ênfase para o Sistema Orogênico Mantiqueira. (B) O Sistema Mantiqueira compreende os cinturões Araçuai, Ribeira, Dom Feliciano, Brasília Meridional e São Gabriel. Fonte: Modificado de Heilbron *et al.*, 2017b (tradução da autora).

Na região sudeste do Brasil três episódios tectônicos importantes estão registrados. O primeiro episódio, que compreende rochas do embasamento cristalino, resultou na origem do Orógeno ou Faixa Ribeira, com diversos episódios de convergência da Orogenia Panafricana-Brasileira, durante o Neoproterozoico-Cambriano, com seus últimos estágios no Ordoviciano Inferior (Heilbron *et al.*, 2008). Conforme os últimos autores, este cinturão foi gerado a partir da colisão entre os paleocontinentes São Francisco-Congo e a porção sudoeste do cráton da Angola, podendo ter envolvido também uma ou mais microplacas existentes (Campos Neto 2000; Trouw *et al.*, 2000; Heilbron *et al.*, 2000). O segundo episódio está associado à ruptura do Supercontinente Gondwana Ocidental, no Cretáceo Inferior, que teve como consequência a abertura para o surgimento do Oceano Atlântico Sul e com isso a implantação das bacias marginais petrolíferas do sudeste. Já o terceiro episódio, gerou o denominado Sistema de Riftes do Sudeste, simultâneo ao extensivo magmatismo alcalino de idade Eocretácea a Eocênica, resultados da reativação tectônica da margem sudeste brasileira (Valladares *et al.*, 2012).

Faixa Ribeira

A Faixa Ribeira configura um cinturão orogênico de direção NE-SW que possui 1400 km de extensão ao longo do Oceano Atlântico Sul (Heilbron *et al.*, 2000). Apresenta limites com a Faixa Araçuai ao norte, a sudoeste com o Cráton Luís Alves, a oeste com Faixa Brasília Meridional e a noroeste com a porção meridional do Cráton São Francisco (Valladares *et al.*, 2012). De acordo com os autores, descontinuidades estruturais significativas compõem os limites entre os diversos terrenos tectono-estratigráficos encontrados neste cinturão, como falhas de empurrão e zonas de cisalhamento transpressivas subverticais, destrais em sua maioria.

Terrenos tectono-estratigráficos do segmento Centro-Norte da Faixa Ribeira

A região centro-norte da Faixa Ribeira é um composto de terrenos do embasamento e terrenos relacionados a arcos dispostos ao longo de uma seção NW-SE (Heilbron *et al.*, 2008). Pode ser dividida em quatro terrenos tectônicos: o Terreno Ocidental, Domínio Paraíba do Sul-Embú, Terreno Oriental e Domínio Tectônico Cabo Frio (Figura 8; Heilbron *et al.*, 2000).

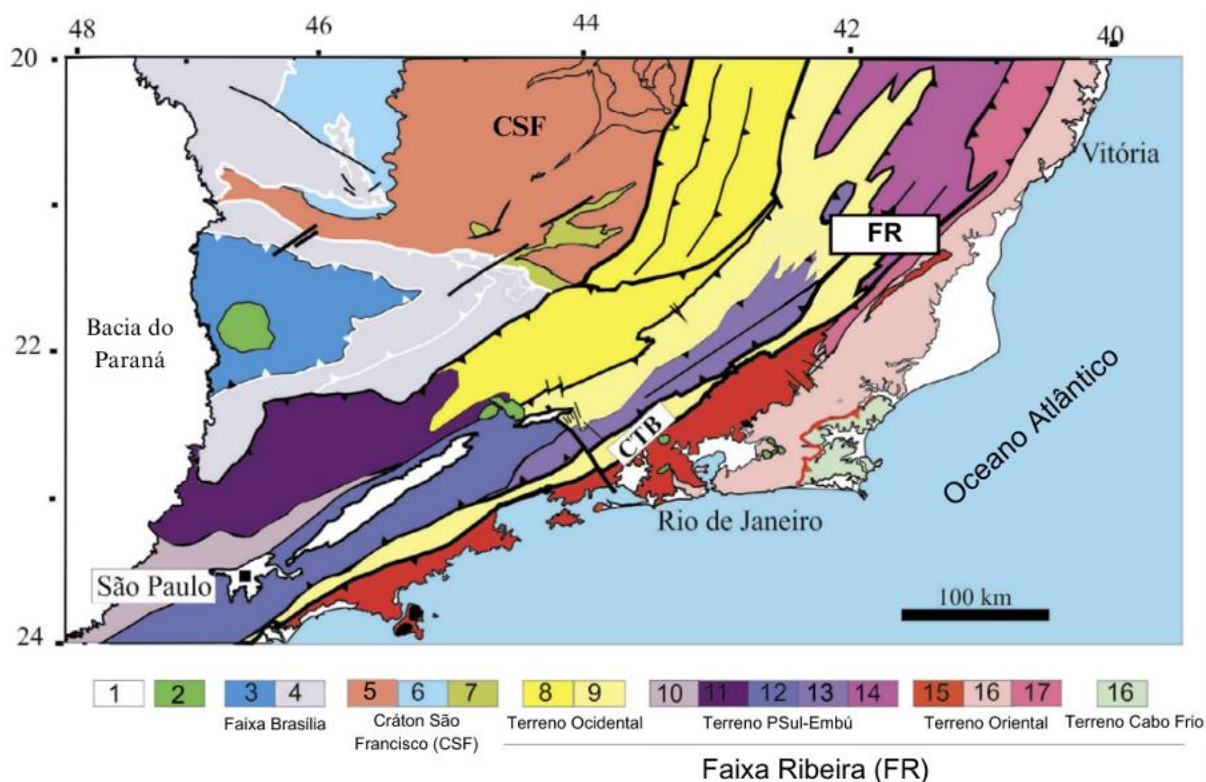


Figura 8: Mapa tectônico do Cinturão Ribeira central. Fonte: Modificado de Heilbron *et al.*, 2017a (tradução da autora).

O Terreno Ocidental é interpretado como a margem retrabalhada do Cráton São Francisco, compreendido pelo domínio autóctone e dois empurrões, vergindo a noroeste, os domínios tectônicos Andrelândia e Juiz de Fora, separados por grandes zonas de cisalhamento (Heilbron *et al.*, 1998, 2000).

O Domínio ou *Klippe* Paraíba do Sul é uma estrutura sinformal sobrejacente ao Terreno Ocidental (Domínio Juiz de Fora) composto de unidades orto e paraderivadas granulíticas, onde a oeste unem-se ao Terreno Embú (Heilbron & Machado, 2003; Schmitt *et al.*, 2016; Trouw *et al.*, 2013).

O Terreno Oriental é separado do Terreno Ocidental por uma importante zona de falha denominada *Central Tectonic Boundary* (CTB), como mostra a Figura 8, e pode ser dividido em três domínios tectônicos neoproterozoicos: domínios Cambuci e Costeiro, e a *Klippe* Italva. São gnaisses de fácies anfíbolito a granulito intercalados com mármore, quartzito, camadas calcissilicáticas, além de granitoides foliados e não foliados (Heilbron & Machado 2003).

O limite do Terreno Oriental com o Domínio Tectônico Cabo Frio (DTCF) é representado por uma zona de cisalhamento interpretada como um contato tectônico (Schmitt *et al.*, 2012). O DTCF é um terreno geológico acrescido à Faixa Ribeira durante a orogenia colisional Búzios, no Cambro-Ordoviciano, definida por Schmitt *et al.* (2001). Essa orogenia é considerada o quarto estágio na sequência de eventos orogênicos com deformação e metamorfismo regional relacionado, registrados nos cinturões móveis brasileiros (Brito Neves & Fuck, 2013).

O DTCF é composto por três principais unidades litoestratigráficas: ortognaisses do embasamento paleoproterozoico do Complexo Região dos Lagos (ca. 2,0 Ga - Schmitt *et al.*, 2004), de origem granítica e granodiorítica, com dioritos subordinados representando uma série magmática cálcio-alcálica (Viana *et al.*, 2008), cortados transversalmente por anfíbolitos, que configuram antigos corpos de diabásio (Schmitt *et al.*, 2009). Sucessões metassedimentares neoproterozoicas caracterizam a sequência supracrustal do Grupo Búzios-Palmital (ca. 0,6 Ga - Vieira *et al.*, 2022), que incluem paragnaisses aluminosos na base (Unidade Búzios), sobrepostos por gnaisses quartzo-feldspáticos (Unidade Palmital), com intercalações de ortoanfíbolitos bandados que possuem níveis calcissilicáticos da Unidade Forte de São Mateus (Schmitt *et al.*, 2004; Oliveira, 2016) (Figura 9).

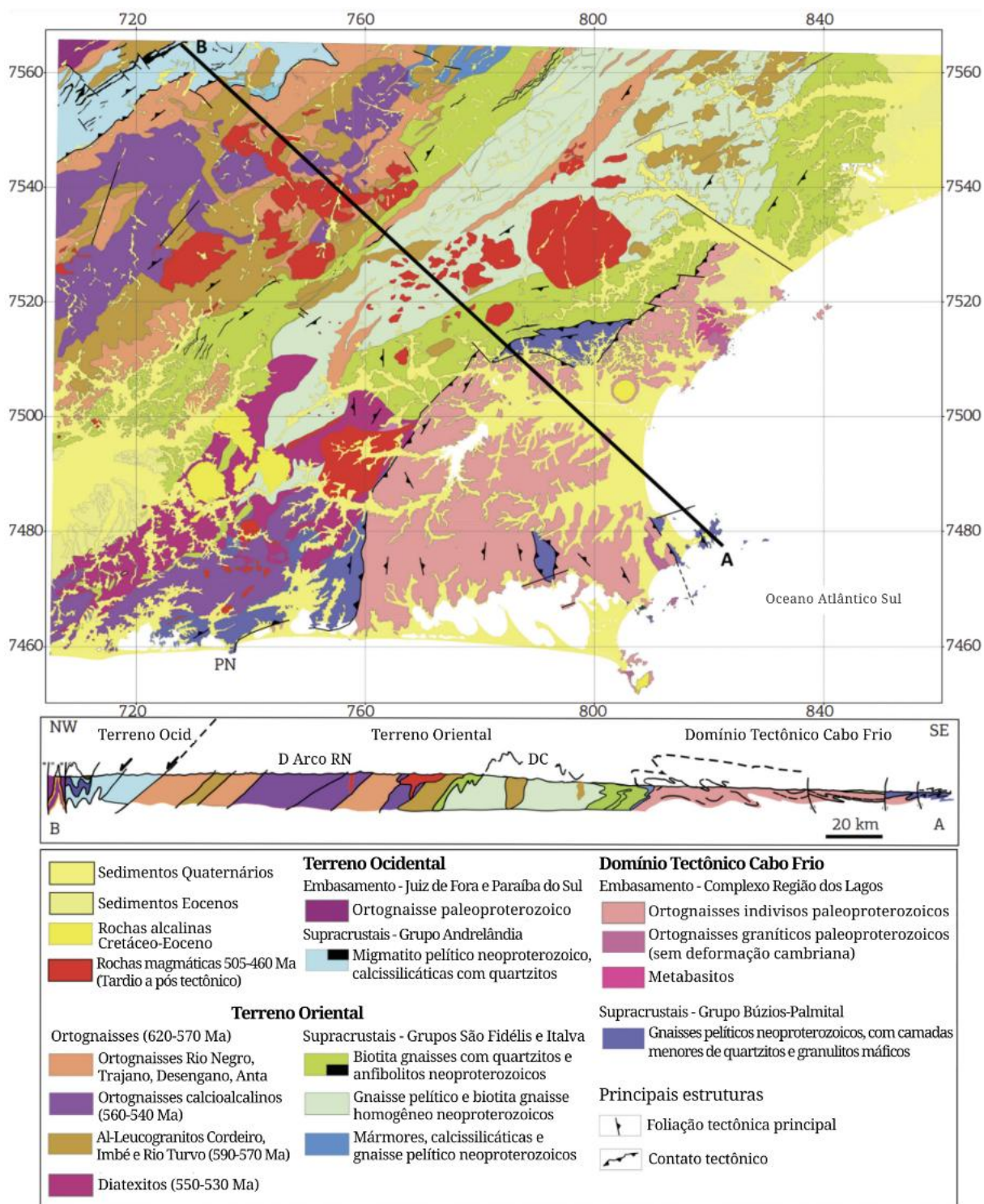


Figura 9: Mapa geológico do Domínio Tectônico Cabo Frio e parte do Terreno Oriental da Faixa Ribeira. A sigla PN no mapa faz menção a região de Ponta Negra. Fonte: Modificado de Schmitt *et al.*, 2016 (tradução da autora).

O contato entre o embasamento e a sequência supracrustal é marcado por zonas de cisalhamento de alta deformação. Portanto, os contatos podem ser interpretados como

discordância cisalhada ou, alternativamente, como puramente tectônicos (Schmitt *et al.*, 2016).

Desde o Cretáceo foi constituído um alto estrutural *offshore* de direção NW-SE, conhecido como Alto Estrutural de Cabo Frio, que separa as bacias sedimentares petrolíferas de Santos e de Campos. Diques toleíticos, *plugs* alcalinos e zonas de falha com direção ENE-WSW, são alguns dos registros dos eventos tectono-magmáticos relacionados ao rifteamento e abertura do Oceano Atlântico Sul (Schmitt *et al.*, 2012).

Magmatismo toleítico

Após um longo período de estabilidade tectônica, até o Cretáceo Inferior, surgiram os primeiros indícios associados a separação do Supercontinente Gondwana Ocidental com um magmatismo intraplaca (Almeida, 1983). Este, por sua vez, é definido por um enxame de diques de rochas básicas, como basaltos, diabásios e gabros, com afinidade toleítica, englobando os basaltos da província Paraná-Etendeka e os enxames de diques toleíticos de Ponta Grossa, Florianópolis e da Serra do Mar, concordante com as estruturas das rochas encaixantes da Faixa Ribeira (Almeida, 1983; Valladares *et al.*, 2012).

Na região sul e sudeste do Brasil o magmatismo toleítico se manifesta como derrames intercalados a sedimentos na Bacia paleozoica do Paraná, também como enxames de diques e soleiras que seguem, em sua maioria, a orientação do embasamento, e ainda como derrames em bacias de margem passiva (Peate, 1997; Mizusaki *et al.*, 1988; Mohriak & Barros, 1990; Mansur *et al.*, 2012).

Especificamente na Região dos Lagos Fluminense, os corpos toleíticos estão relacionados ao Enxame de Diques da Serra do Mar (EDSM), que ocorre no litoral dos estados do Espírito Santo, Rio de Janeiro e São Paulo, inclusive na região do vale do Rio Paraíba do Sul (Garda, 1995; Regelous, 1993; Valente, 1997; Guedes, 2001; Corval, 2005). Os diques e soleiras possuem direção preferencial NE e localmente N-S e NNW (Guedes *et al.*, 2005), variando entre básicos e intermediários, sendo os basaltos os litotipos mais frequentes (Mansur *et al.*, 2012). Os dados petrográficos e litogeoquímicos obtidos dos estudos de Valente (1997) e Guedes (2001) mostraram que esses diques possuem caráter transicional com afinidade toleítica sobretudo com baixo TiO_2 . A maioria dos corpos apresentam margens resfriadas, e nos mais espessos são observadas variações granulométricas entre a borda e o centro. Afloram em cortes de estrada ou em costões rochosos com espessura

média de 3 a 6 metros, com alguns corpos que chegam excepcionalmente a 20 metros (Mansur *et al.*, 2012).

Magmatismo alcalino (Província Alcalina do Sudeste Brasileiro)

Durante a reativação tectônica que desencadeou o surgimento da margem continental brasileira e conseqüentemente a formação dos continentes América do Sul e África, ocorreu a movimentação da placa litosférica Sul Americana sobre um *hotspot* ou uma pluma mantélica, na astenosfera, provocando pulsos de atividade magmática alcalina periódicas entre o Cretáceo Inferior e o Eoceno (Gibson *et al.*, 1995, 1997). As ocorrências desse magmatismo de caráter alcalino se enquadram em dois grupos de idades principais: a primeira manifestação com idade do Cretáceo Inferior (122-133 Ma) e a segunda com idades do Cretáceo Superior ao Terciário Inferior (51-82 Ma) (Lucena, 2023).

Essas rochas alcalinas formam *stocks*, *plugs*, chaminés, diques, e excepcionalmente derrames e piroclásticas, sendo predominantemente félsicos, representadas por nefelina sienitos, pulaskitos, foiaítos, fonolitos, tinguaítos e traquitos (Almeida, 1991). A esses diversos complexos alcalinos alinhados na direção WNW-ESE, oblíquos à direção preferencial das estruturas tectônicas dos orógenos da Faixa Ribeira, nomearam Província Alcalina do Sudeste Brasileiro (Thomaz Filho & Rodrigues, 1999). Sua manifestação nos estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais é conhecida como Alinhamento Magmático Poços de Caldas-Cabo Frio (Figura 10). Os diques mais antigos são contemporâneos ao vulcanismo basáltico da Bacia do Paraná; já as ocorrências mais jovens, principalmente o Alinhamento Magmático Poços de Caldas-Cabo Frio, ocorreram após o encerramento do magmatismo basáltico (Amaral *et al.*, 1967; Almeida, 1986; Almeida *et al.*, 2013).

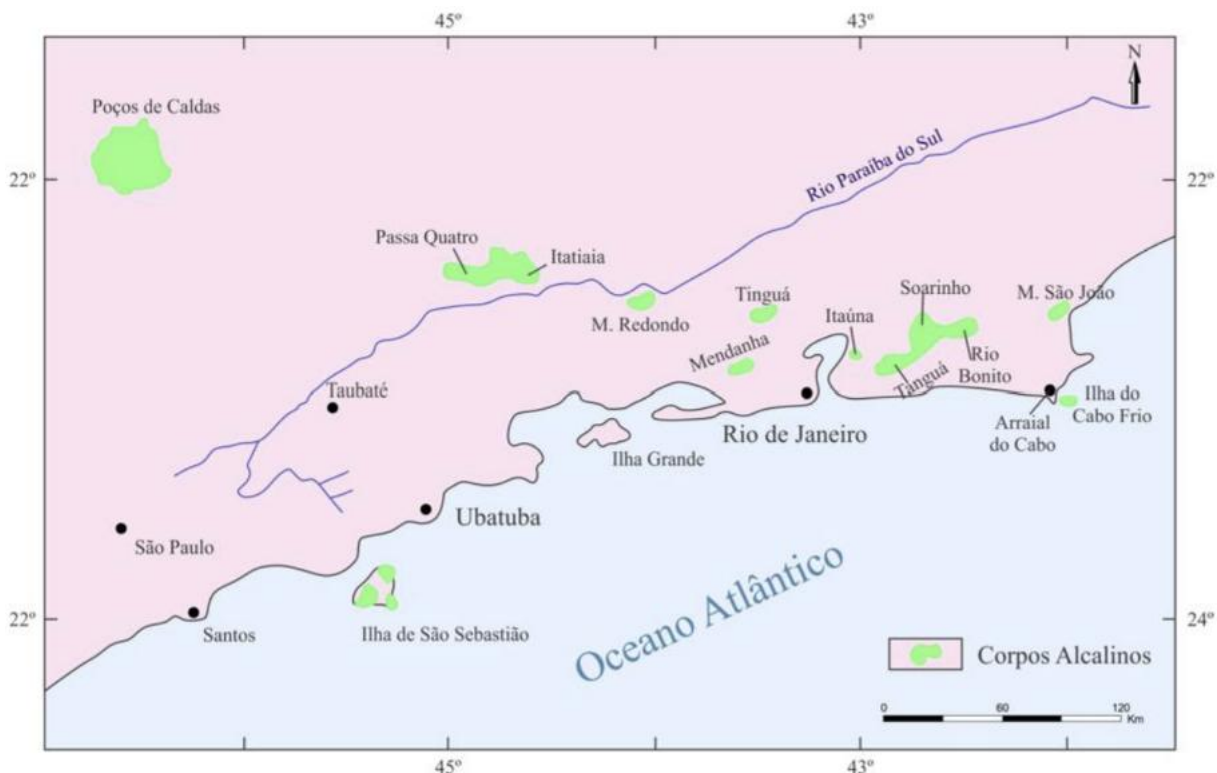


Figura 10: Localização dos maciços alcalinos do Alinhamento Magmático Poços de Caldas-Cabo Frio na direção WNW-ESE, desde o Estado de Minas Gerais até o Estado do Rio de Janeiro, no sudeste do Brasil. Fonte: Oliveira 2016.

Essa sequência de manifestações magmáticas se inicia no município de Poços de Caldas (Figura 10; Schorscher & Shea, 1992), e contempla, de oeste para leste, os maciços de Passa Quatro (Brotzu *et al.*, 1992), Itatiaia (Brotzu *et al.*, 1997), Morro Redondo (Brotzu *et al.*, 1989), Tinguá, Mendanha (Mota, 2012), Itaúna, Tanguá, Rio Bonito, (Motoki *et al.*, 2008a; Motoki *et al.* 2010), Soarinho, Morro dos Gatos (Motoki *et al.*, 2012; Geraldles, *et al.*, 2013), Morro de São João (Brotzu *et al.*, 2007; Mota *et al.*, 2009) e Ilha do Cabo Frio (Araújo, 1995; Motoki & Sichel, 2008b).

Conforme o trabalho de Oliveira (2016), o corpo principal da maioria dos complexos é formado por nefelina sienito, geralmente bordejado por sienitos alcalinos e/ou monzonitos. Manifestações de magmatismo ultrapotássico são registrados em Poços de Caldas, Mendanha, Tanguá, Rio Bonito, Morro de São João e em Arraial do Cabo. Além disso, intrusões subvulcânicas de traquito e fonolito são amplamente distribuídas ao longo do alinhamento cortando as diversas litologias e compondo os clastos dos tufos soldados de preenchimento de conduto vulcânico presente em 7 maciços do Estado do Rio de Janeiro.

Ainda existe um debate sobre a origem dos maciços. Segundo Thomaz Filho *et al.* (2005), datações radiométricas de métodos K/Ar e Rb/Sr sustentam a hipótese de um *hotspot* devido ao decréscimo na idade dessas intrusões. Por outro lado, Mota (2012) datou pelo método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ os maciços do Morro Redondo, Mendanha e Morro de São João, constatando que o modelo de *hotspot* fica prejudicado, tendo em vista o Morro Redondo e o Mendanha apresentarem idades semelhantes a grande distância. Este autor afirma ainda que essa hipótese se sustentaria apenas se o tamanho da fonte mantélica fosse suficientemente grande para abranger toda a área de ocorrência dessas rochas.

Sedimentos pleistocênicos e holocênicos marinhos e continentais

A porção central do litoral brasileiro experimentou significativas alterações no nível do mar durante o Quaternário (Muehe, 2006). Esse histórico foi responsável pela evolução das planícies sedimentares (Martin *et al.*, 1996), em especial na porção costeira do Estado do Rio de Janeiro, onde a formação de cordões arenosos (cristas de praia), que se estendem desde baía de Sepetiba até o litoral norte do estado, dominam a paisagem (Mansur *et al.*, 2012). Estas barreiras arenosas apresentam características morfológicas distintas em relação à influência fluvial, processos marinhos e desenvolvimento de formações eólicas (Fernandez e Rocha, 2015).

O Quaternário no litoral fluminense é representado por delta, restingas, paleopraias, praias atuais, pântanos e brejos, paleolagunas, lagoas, dunas, depósitos fluviais, dentre outros ambientes. Destacam-se na região os depósitos pleistocênicos e holocênicos na área da Lagoa de Araruama, das lagoas Feia e de Cima, e de demais lagunas associadas (Mansur *et al.*, 2012), bem como os cordões arenosos da Restinga de Jurubatiba e os depósitos de delta do rio Paraíba do Sul. Também vale mencionar os campos de dunas de Cabo Frio, Massambaba, Tucuns e Atafona, além das áreas de cascalho da Praia de José Gonçalves, em Armação dos Búzios (Ramos *et al.*, 2005; Mansur *et al.*, 2012). Ainda, as dunas escalonares e os alinhamentos de *beachrocks* presentes na Praia do Farol na Ilha do Cabo Frio (Figura 11), são importantes marcadores de linha de costa pretérita e constituição sedimentar de paleopraias (Castro *et al.*, 2012).



Figura 11: *Beachrocks* e dunas escalonares da Praia do Farol, Ilha do Cabo Frio, no município de Arraial do Cabo. Fonte: Fotografia de Eliane Guedes; disponível no *site* oficial do Geoparque Costões e Lagunas.

Conforme apontado por Mansur *et al.* (2012), os costões rochosos que permeiam os cordões arenosos litorâneos possibilitam a ancoragem de sedimentos marinhos e continentais trazidos por correntes e ondas. O acúmulo desses sedimentos dá origem aos cordões e também isolam lagunas com o fechamento de baías e enseadas. Todo esse processo é favorecido pelas variações do nível do mar em relação ao continente (Dias *et al.*, 2009a, 2009b).

Muehe & Corrêa (1989) e Turcq *et al.* (1999) estudaram a evolução da sedimentação costeira do litoral fluminense e identificaram a ocorrência de dois cordões arenosos de idades distintas divididos por duas séries de lagunas isoladas na área da restinga da Massambaba. O cordão litorâneo mais próximo à Lagoa de Araruama é mais elevado, largo e mais intemperizado, estando associado ao último episódio de transgressão marinha pleistocênica, datada de 123 mil anos AP. E outro, mais baixo e estreito, representa o ótimo climático holocênico, ocorrido entre 5 e 7 mil anos AP. Segundo estes autores, os cordões teriam migrado em direção ao continente até sua posição atual devido às variações do nível do mar e ao transporte de sedimentos através das correntes marinhas.

A presença de lagoas hipersalinas na região, além de outros fatores, possibilitou a formação de estromatólitos e esteiras microbianas, que despertam o interesse de pesquisadores desde a década de 1990 (Mansur *et al.*, 2018). Essa hipersalinidade é favorecida pelo microclima da região, que induz à baixa precipitação e elevadas taxas de evaporação. A lagoa Vermelha, Pitanguinha, Pernambuco, Araruama, o Brejo do Espinho e a Salina Julieta são alguns dos exemplos desses ambientes hipersalinos do sistema lagunar de Araruama, onde o metabolismo de dolomita por cianobactérias geraram estromatólitos de vários tipos (Mansur *et al.*, 2012 - Figura 12).

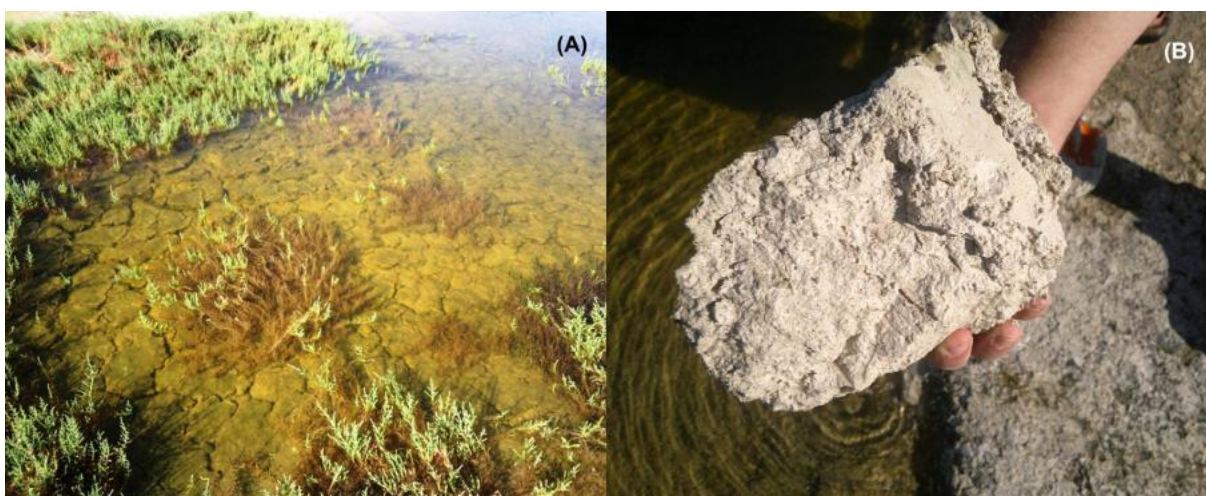


Figura 12: (A) Esteiras microbianas que revestem o fundo do Brejo do Espinho, em Arraial do Cabo. (B) Amostra do mineral carbonático dolomita no Brejo do Espinho. Fonte: Imagem disponível no *site* oficial do Geoparque Costões e Lagunas.

A raridade de locais com essas características na Terra fizeram desta área um importante laboratório natural com relevância internacional para o estudo da evolução do planeta e do surgimento da vida (Vasconcelos, 1988; Vasconcelos, 1994; Burns *et al.*, 2000). O modelo de formação microbiana de dolomita, proposto por Vasconcelos e McKenzie (1997), foi desenvolvido com base em estudos realizados na Lagoa Vermelha, onde a formação desse mineral é atribuída à atuação de uma bactéria redutora de sulfato capaz de metabolizar dolomita em condições anóxicas e hipersalinas (Mansur *et al.*, 2012).

3.3.1.2. Geologia Local

De acordo com o mapa geológico apresentado na Figura 13, o município de Arraial do Cabo é constituído por unidades litológicas de diferentes idades. Afloram na região unidades

metamórficas com cerca de 2,0 Ga e diferentes graus de deformação do Complexo Região dos Lagos, que constituem o embasamento do Domínio Tectônico Cabo Frio (Schmitt et al., 2004; Schmitt et al., 2012). Essas unidades distribuem-se do Atalaia aos costões da Prainha, além de ocorrências na Ilha do Cabo Frio.

Observam-se também corpos tabulares de anfibolitos da Suíte José Gonçalves, de idade compreendida entre 1,9 e 0,6 Ga (Schmitt *et al.*, 2012), que cortam localmente os metagranitos e ortognaisses do embasamento. Além disso, ocorrem diques de diabásio de 130 Ma associados à quebra do Supercontinente Gondwana Ocidental.

Associados ao Complexo Alcalino Ilha do Cabo Frio, ocorrem intrusões alcalinas e brechas piroclásticas, bem como corpos ígneos tabulares de traquito e fonolito datados em 52 Ma, presentes no Pontal do Atalaia, na Prainha, na Praia Grande e na Ilha do Cabo Frio.

Ainda, sedimentos Quaternários recobrem a área como depósitos eólicos litorâneos, depósitos praias marinhos e lagunares, destacando-se os carbonatos formados por ação microbiana no Brejo do Espinho e as esteiras microbianas do Brejo do Pau Fincado (Alves, 2016; Martins, 2014; Silva *et al.*, 2007c), além dos sedimentos finos e bioclásticos que revestem o leito da Lagoa de Araruama, e dos sedimentos evaporíticos nas áreas de salinas.

Mapa Geológico do município de Arraial do Cabo, RJ, Brasil

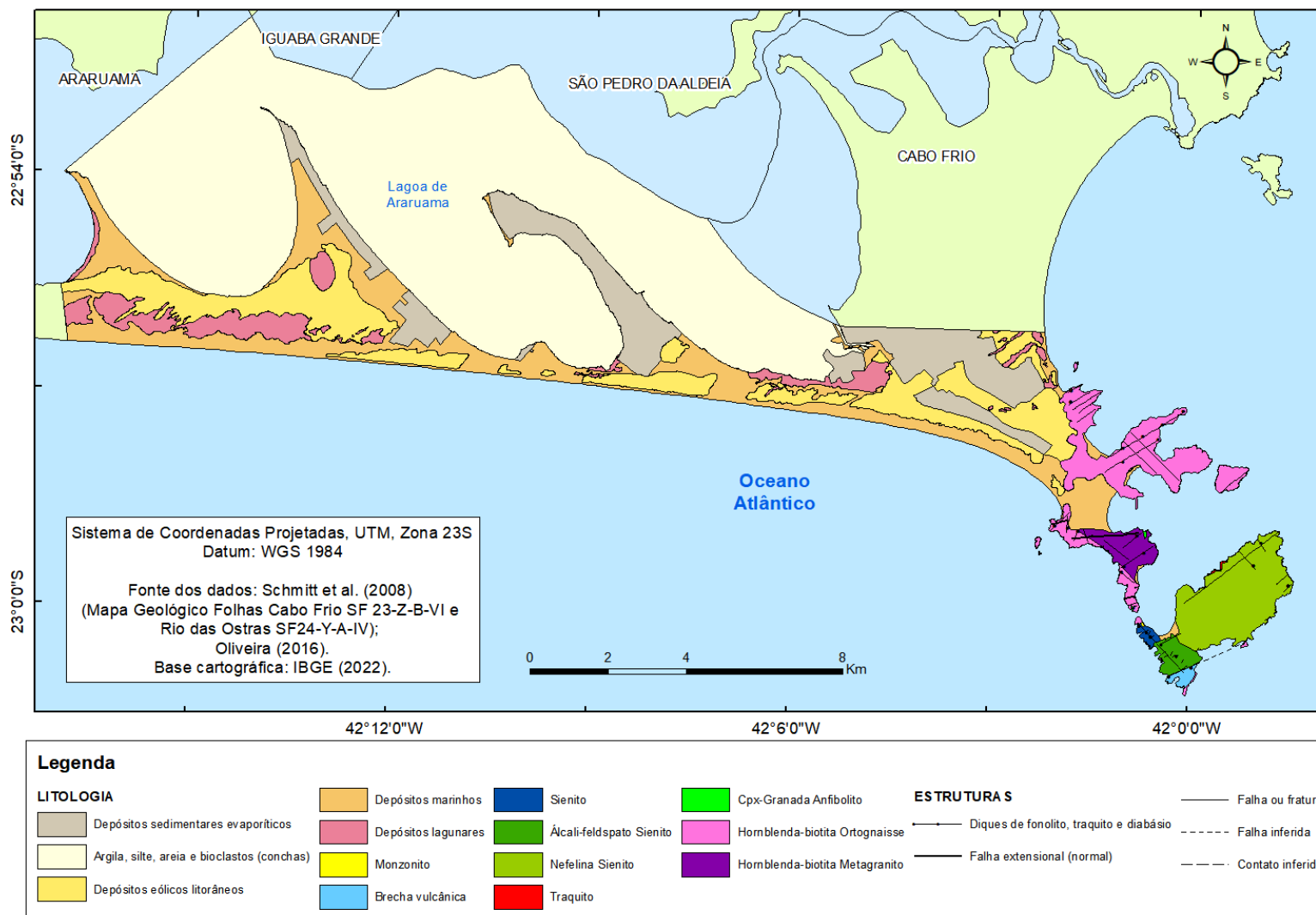


Figura 13: Mapa geológico do município de Arraial do Cabo (RJ).

A seguir são apresentadas as descrições de cada uma das rochas aflorantes no município de estudo, respeitando a hierarquia estratigráfica.

Complexo Região dos Lagos

De acordo com a geologia das folhas Cabo Frio (SF.23-Z-B-VI) e Rio das Ostras (SF.24-Y-A-IV), publicado pela CPRM e redigido por Schmitt *et al.* (2008), na região de Arraial do Cabo o Complexo Região dos Lagos é representado por hornblenda-biotita metagranitos e hornblenda-biotita ortognaisses, que afloram principalmente nas áreas do Atalaia (Figura 14), Ilha dos Franceses, Morro do Forno, Ilha dos Porcos, Ilha do Pontal, nos costões da Praia Brava, da Praia Grande, da Praia dos Anjos, da Praia do Forno e da Prainha, e pontualmente na Ilha do Cabo Frio (vide mapa geológico - Figura 13).



Figura 14: (A) e (B) Afloramento de ortogneiss em corte de estrada no Pontal do Atalaia, em Arraial do Cabo. Fonte: Imagem disponível no *site* oficial do Geoparque Costões e Lagunas.

Conforme Schmitt *et al.* (2008), a variedade hornblenda-biotita metagranito apresenta fenocristais de K-feldspato, composição sienogranítica a granodiorítica com enclaves de metadioritos. Exibe uma foliação tectônica marcada pela presença de biotita, além de lineação de estiramento de quartzo e microclina.

Já a outra variedade, hornblenda-biotita ortogneiss, constitui gnaisses de granulação média a grossa, de composição granodiorítica a tonalítica, com estruturas migmatíticas, exibindo enclaves dioríticos e tonalíticos, bem como xenólitos de anfibolitos. Além disso, apresentam veios leucossomáticos quartzo-feldspáticos dobrados, boudinados e subparalelos

à foliação tectônica, interpretados como resultado da migmatização por fusão parcial “*in situ*” dos metagranitoides (Schmitt *et al.*, 2008). Ainda de acordo com estes autores, também possuem bandamento composicional com atitude subhorizontal e subvertical em zonas de cisalhamento tardias.

Além disso, ocorrem diques de diabásio de 130 Ma cortando os metagranitos e ortognaisses do embasamento (Deckart *et al.*, 1998; Turner *et al.*, 1994). Luiz & Valente (2015) e Oliveira (2016) também mencionam diversas intrusões subverticais ou sub-horizontais de traquito, fonolito e lamprófito nos ortognaisses do Pontal do Atalaia, da Praia Grande e da Prainha. Relações de corte, como na Figura 15, auxiliam na interpretação da cronologia relativa desses corpos. Dentre as feições observadas estão as três famílias de fraturas com orientações NE-SW, NW-SE e E-W, que acredita-se ter estreita relação com as intrusões.



Figura 15: Afloramento de ortognaisse no Pontal do Atalaia exibe uma intrusão máfica (1), cortada por um dique sub-horizontal de traquito concordante com a foliação (2), e um terceiro dique também de traquito cortando os outros dois diques (3). Fonte: Fotografia de Eliane Guedes em Oliveira (2016).

Suíte José Gonçalves

Dentro das rochas do embasamento ocorrem corpos máficos de idade entre 1,6 e 0,9 Ga, que formam a Suíte José Gonçalves (Schmitt *et al.*, 2012; Lopes, 2021). Segundo a geologia das folhas Cabo Frio (SF.23-Z-B-VI) e Rio das Ostras (SF.24-Y-A-IV), em Arraial do Cabo essa unidade aflora pontualmente nas porções norte e sul do Atalaia, próximo ao mirante Estrada Praia do Pontal e Pontal do Atalaia, respectivamente.

Essa suíte apresenta-se como corpos tabulares de clinopiroxênio-granada anfíbolitos, de composição homogênea e granulação média a fina, que variam de 5 centímetros a 5 metros de comprimento, por vezes dobrados e boudinados, e que estão associados geneticamente ao Complexo Região dos Lagos (Schmitt *et al.*, 2008; Schmitt *et al.*, 2012). De acordo com os autores, cortam os metagranitos e ortognaisses do Complexo Região dos Lagos por contatos bruscos intrusivos. É essencialmente composta por anfíbólio e plagioclásio, podendo conter piroxênio, granada, biotita e quartzo como minerais acessórios. Sua foliação é normalmente concordante com as rochas do embasamento, e muito raramente exibem textura de fusão parcial “*in situ*” (Lopes, 2021; Schmitt *et al.*, 2012).

Conforme Schmitt *et al.* (2012), nos domínios em que estão menos deformados, as estruturas originais dos ortoanfíbolitos são bem preservadas, exibindo estruturas corta-corta com relação às rochas do embasamento. Já em domínios de intensa deformação, essa relação fica obliterada. Assim, a homogeneidade e a forma de ocorrência dessa unidade, permitiu que esses autores interpretassem seu provável protólito como diques máficos.

Diques de diabásio do Cretáceo Inferior e diques alcalinos

Figueiredo (2019) em uma caracterização petrográfica e geoquímica do magmatismo do Pontal do Atalaia, sugere que o magmatismo toleítico local é composto por diabásios enquanto que os diques alcalinos são constituídos por traquitos, fonolitos e também lamprófiros. Os corpos de diabásio, de idade aproximada 130 Ma (Deckart *et al.*, 1998; Turner *et al.*, 1994), possuem direção NE-SW e texturas equigranulares, porfiríticas e glomeroporfiríticas de baixo TiO₂ (Figueiredo, 2019). Já as intrusões de carácter alcalino com idade variando entre o Cretáceo e o Paleógeno (Motoki & Sichel, 2008b), configuram lamprófiros de direções NE-SW e NW-SE; fonolitos com direção ENE-WSW, com textura porfirítica em lâmina delgada; e traquitos com texturas afaníticas e porfiríticas (Figueiredo,

2019). Possuem ocorrência no Pontal do Atalaia, Praia Grande, Prainha e Ilha do Cabo Frio (Oliveira, 2016).

Complexo Alcalino Ilha do Cabo Frio

A Ilha do Cabo Frio, em Arraial do Cabo, é uma das manifestações do magmatismo alcalino do Alinhamento Poços de Caldas-Cabo Frio (Figura 10). Possui cerca de 6,5 km², forma alongada NE-SW (Luiz & Valente, 2015) e rochas alcalinas com idades variando entre 59 a 52 Ma (Almeida *et al.*, 1996; Sichel *et al.*, 2005), além de ortognaisses do embasamento.

Oliveira (2016) mapeou a geologia da ilha e observou que o Complexo Alcalino Ilha do Cabo Frio é caracterizado por rochas como nefelina sienito, álcali-feldspato sienito, sienito, monzonito, além de diques de traquito, fonolito e lamprófiros, bem como brechas piroclásticas. A brecha ocorre no contato das alcalinas com o ortognaisse do embasamento sendo resultantes da ascensão do magma à superfície, formando fragmentos quebradiços da rocha encaixante (Schmitt *et al.*, 2012).

As intrusões de traquito, fonolito e lamprófiro ocorrem como corpos tabulares subverticais a sub-horizontais ou como blocos alinhados na direção NE-SW e raramente excedem 1 metro, prolongando-se, em geral, por menos de 100 metros de extensão (Luiz & Valente, 2015). De acordo com Oliveira (2016), os corpos de fonolito e traquito foram encontrados cortando tanto o embasamento paleoproterozoico quanto às demais intrusões plutônicas. Ainda de acordo com este autor, essas intrusões associadas ao complexo também afloram na área continental adjacente, no Pontal do Atalaia, e relações de corte entre as intrusões são facilmente identificadas em campo (Figura 16). Tanto as encaixantes quanto as intrusões são cortadas por falhas e fraturas (Luiz & Valente, 2015; Schmitt *et al.*, 2012).

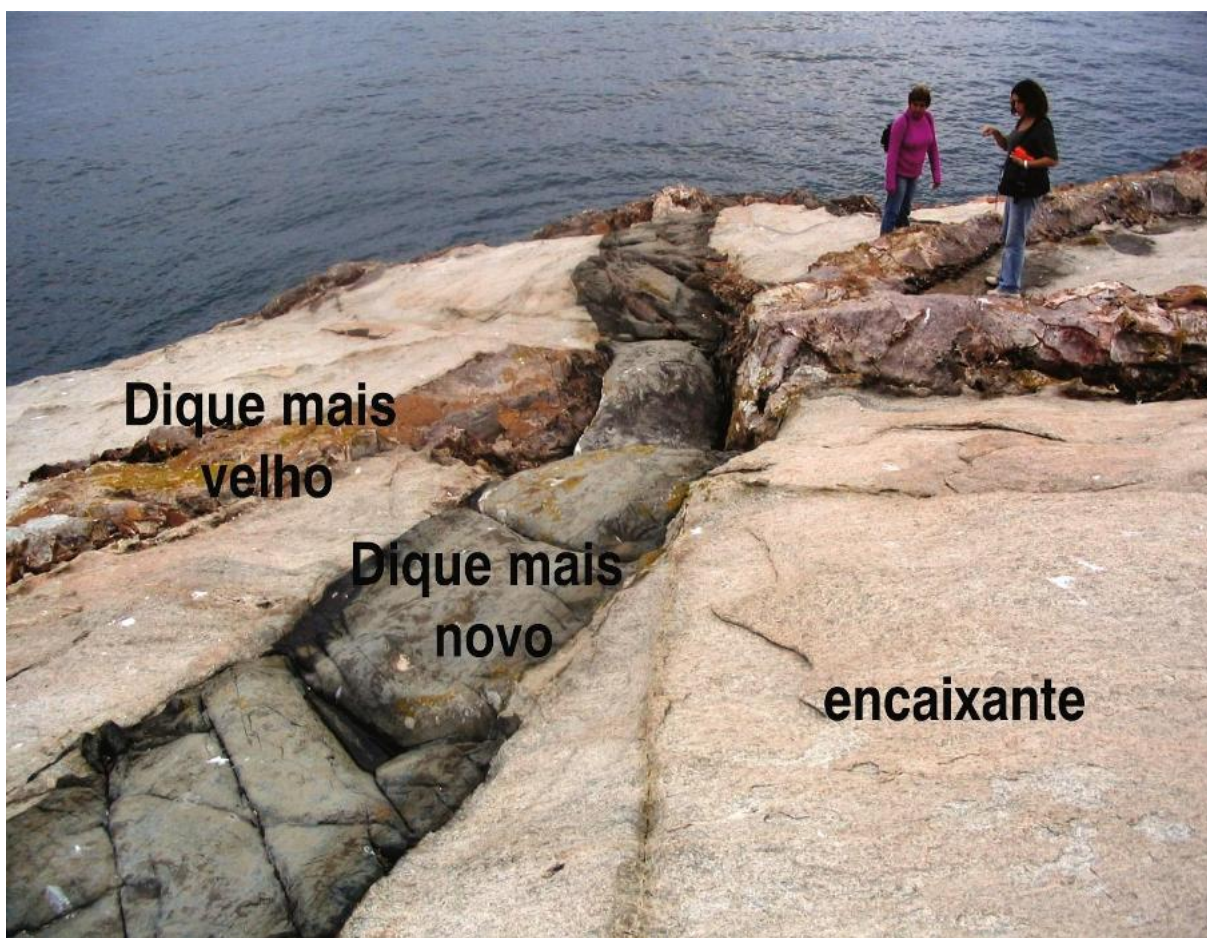


Figura 16: Relação de corte entre diques de traquito (mais antigo) e fonolito (mais novo) e a rocha encaixante, na Ilha do Cabo Frio. Fonte: Fotografia de Eliane Guedes; disponível no *site* oficial do Geoparque Costões e Lagunas.

Os fonolitos são marcados por fenocristais de álcali-feldspato e nefelina de granulação média, que lhe conferem uma textura porfirítica. Alguns afloramentos evidenciaram a estrutura de fluxo magmático imersos na matriz fina esverdeada. Já os traquitos foram descritos por Oliveira (2016) como de coloração esbranquiçada e granulação fina. Em um dos afloramentos, onde faz contato com a brecha vulcânica, esse corpo contínuo e tabular se alojou em um plano de falha com orientação NE-SW, que possui continuidade até um espelho de falha na Ponta do Oratório. Este autor também identificou um corpo de traquito semelhante aos diques a oeste da ilha.

Conforme Oliveira (2016), o **nefelina sienito** abrange grande parte da ilha, com afloramentos na forma de lajedos e blocos de coloração branco-acinzentada. Sua mineralogia é essencialmente composta por nefelina, álcali-feldspato, e ainda piroxênio como mineral máfico. De modo geral, este litotipo é texturalmente heterogêneo, ou seja, não possui um

padrão textural de ocorrência ao longo da ilha, não havendo variação na proporção modal de sua mineralogia essencial.

A ponta norte da Praia do Farol e na trilha em direção ao Farol Antigo, localizado no centro da ilha, a rocha apresenta textura inequigranular porfirítica, pontualmente seriada, com fenocristais tabulares de álcali-feldspato. A partir do norte da Praia do Farol, exibe variações texturais com aspectos transicionais, entre porfirítica média a equigranular fina. Oliveira (2016) interpretou as variações texturais como diferentes etapas de cristalização, em alguns momentos mais rápida e em outros mais lenta, como consequência das mudanças na temperatura da câmara magmática.

Foram ainda observados pelo autor xenólitos máficos no nefelina sienito em dois pontos a norte da Praia do Farol. Um deles possui anfibólio e piroxênio orientados, além de plagioclásios intersticiais a estes na borda do afloramento. O outro ocorre de forma tabular, encaixado no nefelina sienito, com textura maciça e sem estrutura de orientação de fluxo.

O **álcali-feldspato sienito** é encontrado na porção centro-sul da Ilha do Cabo Frio. Nos afloramentos da costa, ocorre sob forma de lajedos, apresentando coloração acinzentada, textura equigranular média e cristais de feldspato orientados (Oliveira, 2016). Sua mineralogia é essencialmente composta por álcali-feldspato, piroxênio e biotita.

Os litotipos **sienito** e **monzonito** ocorrem na porção sudoeste da ilha, entre a Fenda de Nossa Senhora e o sul da Praia do Farol. Oliveira (2016) diferenciou essas rochas em campo de acordo com sua textura. Essas rochas apresentam em sua composição álcali-feldspato, plagioclásio, além de piroxênio e biotita como minerais máficos. O sienito exibe textura equigranular média, enquanto o monzonito possui fenocristais aciculares de piroxênio. Assim como o nefelina sienito, o sienito também apresenta xenólitos máficos, com forma alongada ou com borda irregular.

Os dois últimos litotipos citados fazem contato com o ortognaisse do embasamento na Fenda de Nossa Senhora, estrutura que corresponde a uma falha com strike NE-SW, marcada por estrias de falha oblíquas de mesma direção. O contato com o nefelina sienito foi inferido por Oliveira (2016) a partir da última ocorrência de cada afloramento na área.

Conforme Oliveira (2016), a **brecha vulcânica** (Figura 17) aflora na área sudeste da ilha, onde encontra-se o Farol Novo. Seus afloramentos apresentam-se como paredões próximos à construção, escarpas e lajedos, e possuem litoclastos de ortognaisse, fonolito e traquito, além de cristaloclastos de feldspato e quartzo, que compõem o arcabouço clastosuportado da brecha. Os clastos são angulosos e imersos em uma matriz fina, com

argilominerais e óxidos de ferro. Ainda segundo Oliveira (2016), não foram encontrados litoclastos das rochas plutônicas da ilha, nem estruturas de fluxo.



Figura 17: Brecha vulcânica na Ilha do Cabo Frio, Arraial do Cabo. Fonte: Imagem disponível no *site* oficial do Geoparque Costões e Lagunas.

Sedimentos Quaternários

Os sedimentos Quaternários no município de Arraial do Cabo englobam os depósitos marinhos, depósitos eólicos litorâneos, depósitos lagunares, os sedimentos da Lagoa de Araruama e os depósitos sedimentares evaporíticos (vide mapa geológico - Figura 13).

Os **depósitos marinhos** incluem depósitos de areia de praia quartzosas, em geral, moderadamente a bem selecionadas e, eventualmente, argilas acinzentadas silticas a arenosas podendo conter fragmentos de conchas e organismos, bem como concentrações locais de minerais pesados (Schmitt *et al.*, 2012). Parte desses sedimentos marinhos está relacionada a planícies costeiras de cristas de praia (restingas), e também formam parte dos esporões localizados na borda da Lagoa de Araruama. Segundo Alves *et al.* (2006), esses esporões da

Lagoa são protuberâncias ao longo da linha de costa formada por sedimentos inconsolidados. Sua formação decorre do fluxo de sedimentos gerado pelo ângulo de incidência das correntes de circulação de água. Quando ondas com ângulos elevados encontram uma irregularidade na linha de costa, alterações no ângulo provocam, inicialmente, um aumento do fluxo de sedimentos em sentido oposto, resultando em erosão. Posteriormente, à medida que esse ângulo diminui, ocorre uma redução do fluxo e a consequente acumulação de material na extremidade (crista) da feição. O crescimento da ponta cria uma zona que permanece “protegida” (ou em zona de sombra) a sotavento, permitindo que ondas mais fracas atuem em sentido contrário na área situada entre a ponta e a linha de costa. A ponta seguinte começa a se formar após essa zona protegida, reiniciando-se o processo. Essas feições situam-se aproximadamente ao nível do mar e são classificadas como pontas intralagunares, uma vez que avançam em direção ao interior da Lagoa. A ação das ondas é fundamental para compreender o processo de formação dessas pontas, visto que elas atuam como agentes modeladores neste contexto. A dinâmica ocorre de tal forma que a obliquidade das ondas influencia diretamente a sedimentação na área, onde ventos mais fortes geram ondas com maior capacidade de transportar sedimentos para os locais de deposição.

Abrangem grande parte da área do município, ocorrendo em cerca de 50% da área da Restinga da Massambaba em Arraial do Cabo (Monte Alto, Figueira e Pernambuco), na Praia Brava, Praia do Pontal do Atalaia, Praia dos Anjos, Praia do Forno, Prainha, Praia do Pontal e na Praia do Farol (Ilha do Cabo Frio). Nesta última, Castro *et al.* (2012) e Malta *et al.* (2017) descreveram a ocorrência dos mais antigos *beachrocks* do Estado do Rio de Janeiro. São 4 *beachrocks* de composição predominantemente carbonática, paralelos à praia, sendo dois afloramentos emersos e outros dois submersos. De acordo com estes autores, essas rochas são formadas pela litificação por carbonato de cálcio, e registram posições de antigas linhas de costa e influenciam na dinâmica deposicional da praia, sendo usadas como instrumentos para reconstituição paleoambiental. Além disso, Savi *et al.* (2005) descrevem a ocorrência de sambaquis na mesma praia, importantes sítios arqueológicos que preservam vestígios de atividade humana pré-histórica em áreas próximas ao nível do mar. Outra informação relevante sobre a Praia do Farol é que apesar da natureza alcalina das rochas da Ilha do Cabo Frio, sua composição é predominantemente quartzosa, sugerindo contribuição sedimentar continental, e os minerais alcalinos são encontrados apenas próximo ao afloramento do nefelina sienito, no extremo leste da praia (Oliveira, 2016).

Os **depósitos eólicos litorâneos** compreendem areias finas quartzosas e bem selecionadas de campos de dunas em migração (Schmitt *et al.*, 2012). Segundo os últimos

autores, esses campos de dunas da região (Figura 18) configuram uma das únicas ocorrências ainda com mobilidade interna no sudeste do Brasil. Esses depósitos ocorrem em grande parte da Restinga da Massambaba em Arraial do Cabo, e também como dunas escalonares (“*climbing dunes*”) na Praia do Farol, na Ilha do Cabo Frio (Rodrigues, 2018).



Figura 18: Dunas e salinas no entorno da Lagoa de Araruama, em Arraial do Cabo. Fonte: Imagem disponível no *site* oficial do Geoparque Costões e Lagunas.

Os **depósitos lagunares** hipersalinos contém argila, silte e material orgânico, sobretudo sedimentação carbonática induzida por microrganismos (estromatólitos e esteiras microbianas). Na área de Arraial do Cabo dois brejos ganham destaque: o Brejo do Espinho e o Brejo do Pau Fincado (Figura 19). Localizados entre duas barreiras costeiras na Restinga da Massambaba, uma pleistocênica e outra holocênica, são corpos aquáticos costeiros naturais hipersalinos, com idade de aproximadamente 5 mil anos AP, que vez ou outra apresentam períodos de seca completa. A hipersalinidade ocorre devido a baixa precipitação (influência do fenômeno de ressurgência) e elevadas taxas de evaporação na região (Silva e Silva *et al.*, 2007), que favoreceram o crescimento de cianobactérias e, consequentemente, de esteiras microbianas, que compreendem o primeiro estágio de desenvolvimento das estruturas

estromatolíticas (Silva e Silva *et al.*, 2003). O Brejo do Espinho é considerado um geossítio de importância internacional devido a presença de microrganismos capazes de precipitar o mineral dolomita, um fenômeno extremamente raro em ambientes modernos (Mansur *et al.*, 2012). O entendimento das características ambientais que controlam sua formação torna locais como o Brejo do Espinho importantes para estudo. A formação desses ambientes está associada às variações do nível relativo do mar com momentos de avanço e retração, deslocando a linha de praia (Turcq *et al.*, 1999; Silva e Silva *et al.*, 2007).

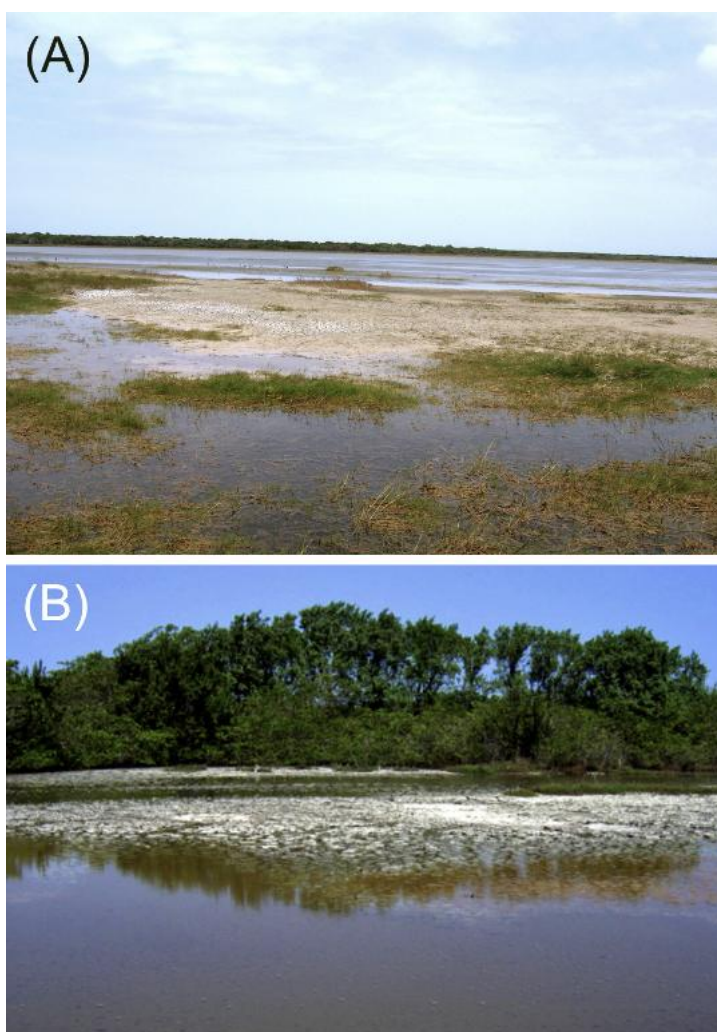


Figura 19: (A) Vista parcial do Brejo do Espinho, em Arraial do Cabo. Fonte: Imagem disponível no *site* oficial do Geoparque Costões e Lagunas. (B) Vista parcial do Brejo do Pau Fincado, em Arraial do Cabo. Fonte: Silva e Silva *et al.* (2007a).

Os **sedimentos da Lagoa de Araruama** foram separados dos depósitos lagunares por se tratar do maior sistema lagunar hipersalino em estado permanente da Terra, com cerca de 220 km² e salinidade na ordem de 55‰; pela diferença de idade em relação a estes depósitos

(a Lagoa de Araruama é pleistocênica enquanto que os depósitos lagunares da barreira costeira externa são holocênicos); pelos sedimentos de fundo serem constituídos principalmente por sedimentos bioclásticos (conchas) enquanto que os demais depósitos lagunares hipersalinos apresentam sedimentação carbonática induzida por microrganismos (estromatólitos e esteiras microbianas); e pela raridade do ecossistema em que ocorre (Muehe, 2006). Dentre os sedimentos presentes na Lagoa podem ser mencionados argila, silte, areia e bioclastos (conchas) (Branco & Ramalho, 1984). A Lagoa corresponde aos registros do avanço e recuo do nível relativo do mar nos últimos 120 mil anos, relacionado a períodos de glaciação e interglaciais. Essas mudanças climáticas cíclicas foram fundamentais para a deposição dos sedimentos da Restinga da Massambaba e para o surgimento deste sistema lagunar.

A Lagoa de Araruama é separada do Oceano Atlântico por um sistema de barreira dupla, com duas barreiras costeiras de idades distintas, onde estão instaladas lagunas menores, como o Brejo do Espinho e o Brejo do Pau Fincado (Arraial do Cabo), as Lagoas Vermelha, Pitanguinha e Pernambuco (nos municípios de Araruama e Saquarema) (Martin *et al.*, 1996; Turcq *et al.*, 1999). A barreira costeira mais antiga não ocorre em toda a extensão da Restinga da Massambaba e mostra-se mais próxima a área da lagoa (conhecida como barreira interna). Essa barreira foi associada à elevação do nível relativo do mar que ocorreu há cerca de 120 mil anos, formando uma enseada, onde hoje é a Lagoa de Araruama, e no período glacial, ao final do Pleistoceno, com o congelamento da água nos pólos e continentes, o nível do mar recuou. Dessa forma, houve espaço para deposição de sedimentos, que por sua vez formaram a barreira costeira interna (pleistocênica).

Posteriormente, entre 7 e 5 mil anos A.P., houve uma nova elevação do nível relativo do mar que acabou invadindo a Lagoa de Araruama e destruindo parte dessa barreira pleistocênica. Em um novo recuo do mar, houve novamente a deposição de sedimentos que formaram a barreira costeira externa (holocênica), deixando seus registros nas pequenas lagunas no interior da barreira.

Dentre os fatores relacionados à hipersalinidade da Lagoa de Araruama (e das demais lagunas) estão a insolação e os ventos fortes na região, que favorecem a evaporação da água tornando-a hipersaturada em sais, propiciando a formação de **depósitos sedimentares evaporíticos** (salinas - Figura 20) e condições para a formação de estromatólitos. A extração de sal das salinas, cujo funcionamento se mantém quase inalterado desde o século XIX, destaca-se como Patrimônio Geomineiro.



Figura 20: Depósitos sedimentares evaporíticos nas salinas em Figueira, Arraial do Cabo. Fonte: Imagem de Vinícius Pereira; disponível na reportagem ‘Passeio pelas Salinas e Lagoa Azul em Arraial do Cabo’ no YouTube.

3.3.2. Geomorfologia

Conforme Pereira *et al.* (2008), a brusca inflexão da costa e a variabilidade geomorfológica são alguns dos aspectos que conferem ao litoral sul-oriental do Estado do Rio de Janeiro uma paisagem costeira com significativa diversidade. A morfologia atual é resultado das interações entre os aspectos tectônicos e climáticos, que foram fundamentais na diversificação do cenário geomorfológico (Dantas, 2000). As últimas transgressões e regressões marinhas do Pleistoceno e Holoceno moldaram o relevo litorâneo e deixaram evidências de sucessivas alterações paleoambientais ao longo desses períodos, bem como registros quanto ao comportamento das feições dinâmicas atuais (Pereira *et al.* 2008).

Dantas (2000) compartimentou a geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro em três níveis hierárquicos: duas Unidades Morfoestruturais, que são subdivididas em dez Unidades Morfoesculturais no total, e que, por sua vez, cada uma dessas dez são destrinchadas em Unidades Geomorfológicas. Essas unidades resultam da influência dos eventos tectônicos relacionados à abertura do Oceano Atlântico, onde posteriormente foram modeladas por processos de erosão e sedimentação ao longo do Cenozóico Superior (Dantas, 2000).

O município de Arraial do Cabo contempla duas unidades morfoestruturais:

- 1) Cinturão Orogênico do Atlântico, que abrange os Morros e Morrotes de ortognaisse e metagranito, e o Maciço Alcalino Intrusivo Ilha do Cabo Frio;
- 2) Coberturas sedimentares quaternárias, que abrangem as Planícies Costeiras e Fluviomarinhas.

Para a geomorfologia foi considerado o parâmetro que representa maior detalhe no mapa, ou seja, os padrões de relevo. Com base em Santana & Dantas (2023), foram definidos 9 padrões de relevo existentes no município (Figura 21): Campos de Dunas, Praia, Planícies Marinhas, Planícies Lagunares, Morros e Morrotes, Maciço Alcalino, Ilhas Costeiras, Formações Tecnogênicas e Depósitos Tecnogênicos. A seguir serão descritas as características predominantes nos padrões de relevo encontrados no município de Arraial do Cabo.

Mapa Geomorfológico do município de Arraial do Cabo, RJ, Brasil

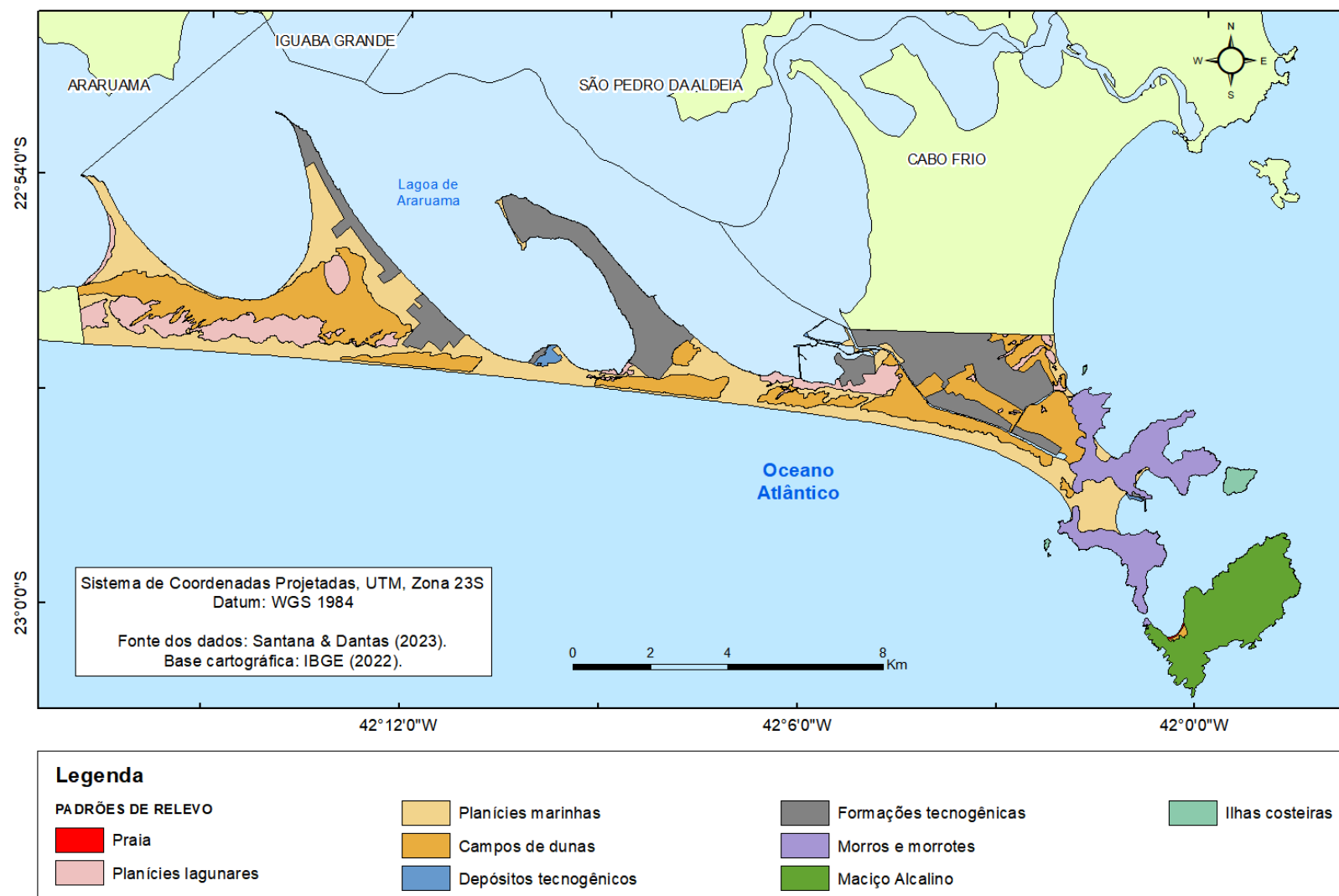


Figura 21: Mapa geomorfológico do município de Arraial do Cabo (RJ).

Campos de Dunas

Santana & Dantas (2023) descreveram esse padrão de relevo na região como superfícies de relevo ondulado, de depósitos arenoquartzosos bem selecionados, depositados por ação eólica longitudinalmente à linha de costa. A estabilização das dunas fixas se dá em função da vegetação pioneira, que, por suas raízes, diminui a ação do vento sobre estes depósitos.

Planícies Marinhas (restingas)

Segundo Santana & Dantas (2023), este padrão de relevo contempla superfícies sub-horizontais de depósitos arenosos, que apresentam microrrelevo ondulado, geradas por processos de sedimentação marinha. Constitui terrenos bem drenados e não inundáveis, elaborados sobre terraços marinhos e cordões arenosos.

Planícies Lagunares (brejos)

No município, essas áreas correspondem a superfícies planas constituídas por depósitos argilosos a argiloarenosos, muito ricos em matéria orgânica (turfas), que resultam do processo de colmatação de paleolagunas. Possui contribuição fluvial inexpressiva, e consistem de terrenos muito mal drenados, com lençol freático subaflorante e aflorante. Ocupam depressões embrejadas, longitudinais à linha de costa, a retaguarda de cordões arenosos de origem marinha (Santana & Dantas, 2023).

Morros e Morrotes

Relevo de morros altos ou baixos isolados, de geometria convexo-côncava, com altitude inferiores a 200m e moderada densidade de drenagem. Em porções mais altas apresenta-se como francamente dissecados, com vertentes de gradientes que variam de médios a elevados, com topos arredondados a aguçados. Já em porções mais baixas, é constituído de colinas dissecadas com vertentes de gradientes suave a moderado e topos arredondados (Santana & Dantas, 2023).

Maciço Alcalino

Dantas (2000) classifica a Ilha do Cabo Frio como uma Unidade Geomorfológica dentro da Unidade Morfoescultural Maciços Alcalinos Intrusivos. Descreve como um pequeno maciço montanhoso insular alongado, de direção SW-NE, com altitudes superiores a 400m (Morro do Farol), inserido no alto estrutural de Cabo Frio, junto à costa de Arraial do

Cabo. Apresenta boa preservação dos processos de entalhamento do relevo e um topo suavizado por processos de aplainamento. Uma densa cobertura vegetal reveste as vertentes, visto que se trata de uma área protegida pela Marinha do Brasil (Dantas, 2000).

A Ilha como um todo apresenta ainda outros padrões de relevo, como morros e morrotes onde aflora o ortognaisse, próximo ao Canal do Boqueirão; planícies marinhas e campos de dunas na Praia do Farol (Oliveira, 2016; Rodrigues, 2018; Santana & Dantas, 2023).

Ilhas costeiras

Correspondem às: Ilha dos Porcos, Ilha dos Franceses e Ilha do Pontal. São ilhas que despontam ao longo da costa no município como elevações isoladas constituídas pelo substrato ígneo-metamórfico, comuns no litoral sudeste brasileiro (Santana & Dantas, 2023).

Formações Tecnogênicas (terrenos alterados pela atividade de mineração)

De acordo com Santana & Dantas (2023), compreendem terrenos que foram submetidos a intensas intervenções antrópicas, que alteraram a morfologia original da paisagem física, caracterizados pela remoção completa da cobertura vegetal. São áreas terraplenadas; escavações na região do porto da Praia dos Anjos; frentes de lavra e lagoas de decantação. Correspondem às áreas de salinas no município.

Depósitos Tecnogênicos

Esse padrão de relevo é representado na região por superfícies planas que correspondem a aterramentos de antigas planícies fluviomarinhas (mangues ou brejos), ou mesmo parte do espelho d'água em áreas urbanas valorizadas pela intervenção do Estado e pelo capital imobiliário (Santana & Dantas, 2023).

Praia

Esse padrão de relevo constitui especificamente a região da Praia do Farol, na Ilha do Cabo Frio, que contempla os *beachrocks*.

3.3.3. Pedologia

O mapeamento da diversidade de solos realizado para o município de Arraial do Cabo apresenta três subordens de solo: Cambissolo Háplico, Espodossolo Cárbico e Organossolo Tiomórfico, além de classificações como grupo, horizonte, textura etc. Os tipos que ocorrem em maior proporção na área de estudo são os Cambissolos Háplicos e os Espodossolos Cárbicos. A Figura 22 apresenta o mapa pedológico para Arraial do Cabo.

Mapa Pedológico do município de Arraial do Cabo, RJ, Brasil

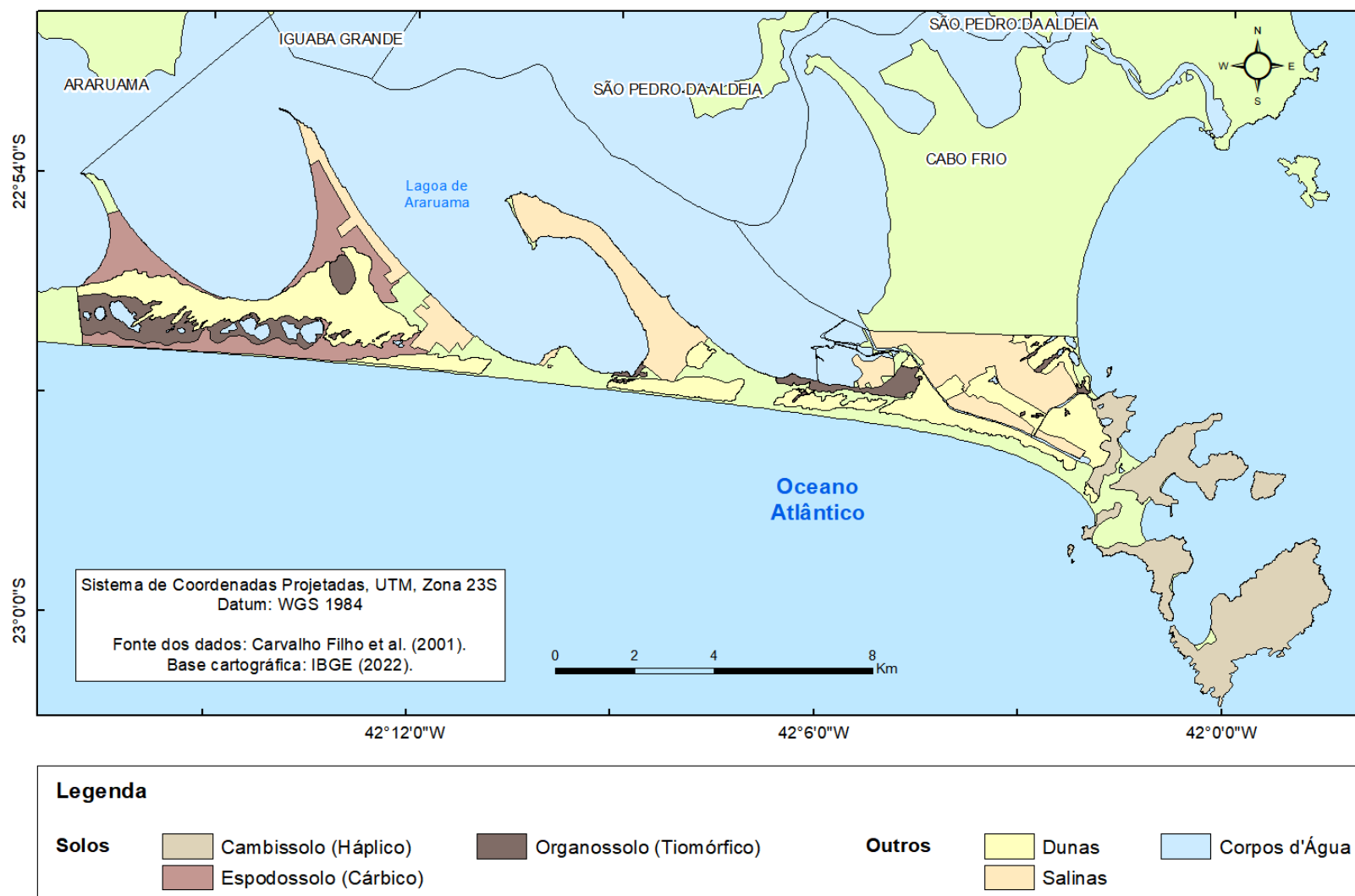


Figura 22: Mapa pedológico do município de Arraial do Cabo (RJ).

A seguir são apresentadas as principais características diagnósticas para cada uma das três subordens exibidas em mapa, de acordo com Carvalho Filho *et al.* (2001), Lepsch (2010), Embrapa Solos (2021) e o Manual Técnico de Pedologia (2015) do IBGE.

Cambissolo Háplico

De acordo com Carvalho Filho *et al.* (2000), os Cambissolos (do latim *cambiare*, que significa mudança) são solos em início de formação, ou em transformação, e com características bastante variáveis. Os perfis dessa ordem são identificados normalmente em área de relevo acidentado, de difícil acesso e manejo, sob vegetação natural. Apresentam argilas de atividade média a alta, discreta variação textural, e elevada quantidade de minerais primários intemperizáveis, podendo conter fragmentos de rocha, devido a seu desenvolvimento ainda incipiente (Carvalho Filho *et al.*, 2000). São solos pouco profundos que raramente ultrapassam 1 metro de espessura (Lepsch, 2010).

De acordo com o SiBCS, os Cambissolos podem ser divididos em três subordens: Húmicos, Flúvicos e Háplicos. Na porção sudeste de Arraial do Cabo, incluindo a Ilha do Cabo Frio, ocorre o Cambissolo Háplico (Figura 22), que compreende grandes grupos com características e ocorrências muito diversas (Carvalho Filho *et al.*, 2000). Segundo a Embrapa Solos (2021), a pouca espessura desse tipo de solo, a presença de fragmentos rochosos e a baixa saturação por bases restringem seu uso para fins agrícolas.

Espodossolo Cárbico

De acordo com Lepsch (2010), os espodossolos possuem um horizonte claro arenoso sobre outro escuro, com acúmulo eluvial de compostos de alumínio e/ou ferro. Essa classe de solo apresenta horizonte diagnóstico B espódico em sequência a horizonte E ou horizonte A, segundo os critérios do SiBCS. É identificada pela nítida diferenciação de horizontes e pela coloração que varia desde cinzenta, de tonalidade escura ou preta, até avermelhada/amarela (Embrapa Solos, 2021). De acordo com Lumbreras *et al.* (2001), constitui um solo com horizonte de acumulação de matéria orgânica.

São solos moderado a fortemente ácidos, pouco ou muito profundos. Sua drenagem varia de acordo com a profundidade, grau de desenvolvimento, endurecimento ou cimentação do horizonte diagnóstico (B espódico). No horizonte espódico B, a textura é predominantemente arenosa e mais raramente siltosa (Embrapa Solos, 2021).

Os Espodossolos Cárbicos estão relacionados aos sedimentos arenosos de origem marinha, que constituem cordões litorâneos (Figura 22). Ocorrem sob tipo de vegetação de restinga, que crescem em condições de umidade e sobre material muito arenoso. Normalmente não possuem aproveitamento para uso agrícola, mas podem ser utilizados como pastagem natural de baixa qualidade e plantio de coco.

Organossolo Tiomórfico

Conforme Lepsch (2010), os organossolos constituem solos escuros, compostos essencialmente por matéria orgânica em graus diferentes de decomposição. É formado por acúmulos de restos vegetais em locais de lenta decomposição. São definidos pelo horizonte hístico com mais de 40 centímetros de espessura, segundo os critérios do SiBCS. Em Arraial do Cabo, ocorrem sobretudo em áreas brejosas (Figura 22).

Os Organossolos Tiomórficos apresentam elevadas concentrações de enxofre ou compostos de enxofre que acidificam intensamente o solo (Lepsch, 2010). Por isso são considerados totalmente impróprios para o cultivo. Ocorrem em zonas úmidas da orla marítima, em áreas próximas a pântanos, mangues e brejos, e são muito mal drenados (Embrapa Solos, 2021).

3.3.4. Hidrografia

O município de Arraial do Cabo está inserido na Região Hidrográfica (RH) da Lagoa de Araruama e do Cabo Frio. Essa RH possui área de aproximadamente 656,2 km² e abrange integralmente o município de Arraial do Cabo e também parte dos municípios de Cabo Frio, São Pedro d'Aldeia, Iguaba Grande, Araruama, Saquarema e Rio Bonito (ANA).

Arraial do Cabo apresenta um déficit hídrico, conforme identificado por Freitas (2006), e isso se deve principalmente ao fenômeno de ressurgência. Esse fenômeno na região é causado pela Corrente das Malvinas, que é uma corrente de águas frias que migram pelo fundo do Oceano Atlântico até atingirem a Ilha do Cabo Frio. Os ventos de direção NE dispersam as águas superficiais mais quentes para longe da costa, permitindo a ascensão dessas águas frias mais profundas à superfície. Esse mecanismo desfavorece a evaporação e, conseqüentemente, a formação de nuvens de chuva. Além disso, a ação dos ventos também facilita a dispersão das nuvens, que não encontram barreiras orográficas para induzir precipitações na região. Dessa forma, esse conjunto de fatores gera um microclima semiárido

em Arraial do Cabo, onde são raros os rios de córregos para abastecer a Lagoa de Araruama e todo o sistema com água doce (Barbière 1975; Turcq *et al.*, 1999; Bohrer *et al.*, 2009; Mansur, 2010).

De acordo com os dados do IBGE (2021), os corpos hídricos presentes na região são representados pelas lagunas de regime permanente, pelos brejos e áreas alagadas, pelo canal fluvial construído pela Companhia Nacional Álcalis para transporte de conchas e por dois lagos de rejeito da antiga indústria (Figura 23).

Mapa Hidrográfico do município de Arraial do Cabo, RJ, Brasil

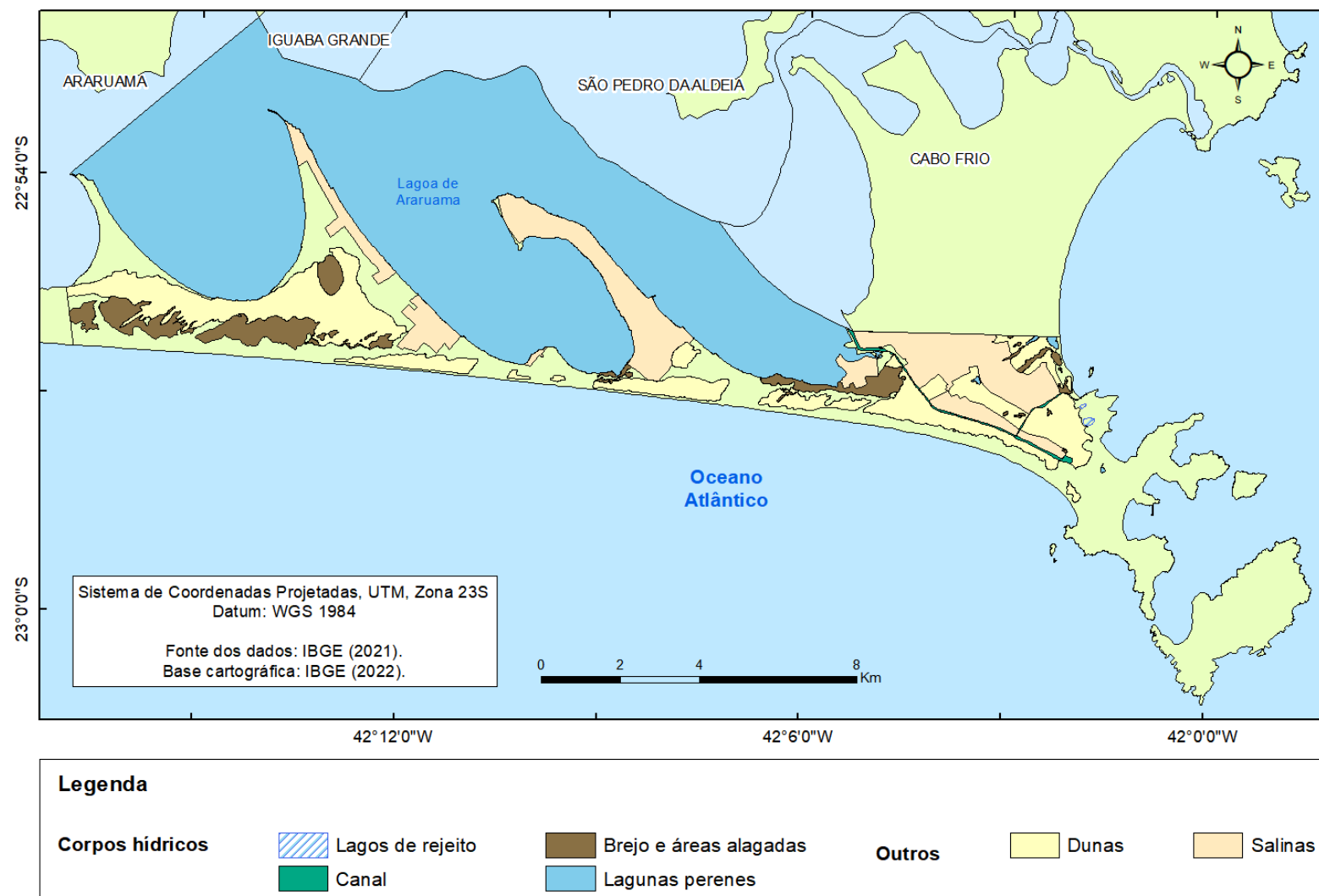


Figura 23: Mapa hidrográfico do município de Arraial do Cabo (RJ).

Lagunas perenes

As lagunas perenes são aquelas de regime permanente e que possuem conexão com o oceano. No município de Arraial do Cabo são: a Lagoa de Araruama, considerada o maior corpo hídrico costeiro hipersalino em estado permanente do mundo; a Lagoa Vermelha, a NE do município; a Prainha, uma lagoa situada na área urbana do município no Parque Público Prefeito Hermes Barcellos; e outra laguna próximo à Rua Adolfo Beranger Júnior e às antigas salinas da Companhia Nacional Álcalis (CNA) (Figura 23).

Com uma área de 220 km², a Lagoa de Araruama é a maior laguna hipersalina que integra o Complexo Lagunar de Araruama (Oliveira, 2024). Ela banha os municípios de Saquarema, Araruama, Iguaba Grande, São Pedro d’Aldeia, Cabo Frio e Arraial do Cabo, que engloba 65% de sua área (IBGE, 2022). Segundo Oliveira (2024), a lagoa é muito utilizada para diversas atividades, dentre elas a pesca artesanal e atividade salineira.

A Lagoa de Araruama possui conexão com o oceano através do canal de Itajurú, localizado em Cabo Frio, e recebe água doce de pequenos rios no município de Araruama (Oliveira, 2024). A mistura da água salgada do oceano com a água doce desses rios implica na formação de ambientes estuarinos, e nesse caso, um estuário negativo “onde o somatório das vazões afluentes (fluviais e pluviais) é inferior à vazão de evaporação” (Gomes, 2009). Isso é resultado de um microclima semi árido, com baixa precipitação e alta evaporação, e de poucos rios na bacia de drenagem, que conferem a característica hipersalina à laguna.

Brejos e áreas alagadas

No mapa hidrográfico, foram considerados brejos e áreas alagadas as áreas onde o espelho d’água varia de acordo com a pluviosidade. Essa variação do espelho d’água nos brejos se deve principalmente aos períodos de estiagem, associados ao microclima da região, e por não possuírem conexão permanente ou intermitente com o oceano. O município abriga dois brejos importantes, o Brejo do Espinho e o Brejo do Pau Fincado, como já mencionado.

Canal

Os ecossistemas de Arraial do Cabo sofreram alterações complexas provocadas pela intervenção humana durante as atividades da Companhia Nacional Álcalis no município, que trouxeram diversas modificações na paisagem desde que foi instalada até o seu atual estado de completo abandono (Carvalho *et al.*, 2021). A presença da indústria do sal na região e de um porto local, foram fundamentais para a escolha do referido município para sua instalação.

De acordo com Carvalho *et al.* (2021), embora já existisse uma indústria salineira na região, a produção de sal não era suficiente para suprir a demanda da CNA. Dessa forma, novas áreas destinadas à produção de sal foram implantadas pela Álcalis sobre a restinga, o que resultou na abertura de canais de drenagem para permitir a chegada de água salgada nessas áreas.

Além disso, para tornar possível a produção de barrilha (carbonato de sódio, Na_2CO_3), principal produto da Companhia, o processo químico escolhido demandou intervenções como a retirada de conchas do fundo da Lagoa de Araruama por dragas, que eram colocadas em balsas e transportadas via canal fluvial artificial aberto ao longo da restinga da Massambaba, até o porto da CNA, localizado no seu parque industrial (Figura 24) (Carvalho *et al.*, 2021). Segundo esses últimos autores, os canais artificiais usados tanto para o transporte de conchas quanto para a passagem de água salgada para as salinas, alteraram a dinâmica hídrica do entorno. O canal artificial para transporte de conchas é um elemento hídrico resultante e que compõe a paisagem atual, vide mapa hidrográfico da Figura 23.



Figura 24: Mapa da área de atuação da Companhia Nacional Álcalis (CNA), exibindo suas intervenções em parte da área da Restinga da Massambaba que abrange o município de Arraial do Cabo. Fonte: Carvalho *et al.*, 2021.

Lagos de rejeito

O funcionamento dessa empresa trouxe várias demandas, dentre elas a necessidade da criação de locais para depósito dos rejeitos. Alguns desses rejeitos são o cloreto de cálcio (CaCl_2) e o carbonato de cálcio (CaCO_3), que foram depositados em dois pontos do costão ao norte da Prainha (Carvalho *et al.*, 2021) (Figuras 23). Um desses lagos é conhecido como Lagoa de Sal, localizado próximo à pedreira e ao Mirante da Barrilha, no costão, que acabou se tornando um ponto de visitação.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A fim de representar a geodiversidade do município de Arraial do Cabo, o presente trabalho utilizou as abordagens quantitativa e qualitativa de avaliação, abordada por autores como Kozłowski (2004), Serrano & Ruiz-Flaño (2007), Pereira *et al.* (2013), Santos (2016), Gonçalves (2018) e Santos *et al.* (2019) em seus estudos, abordando o conceito de geodiversidade de duas formas distintas porém complementares.

Para isso, considerou-se os componentes geológico, geomorfológico, pedológico e hidrográfico, que constituem a geodiversidade, elaborando mapas para cada um desses componentes, os quais posteriormente foram utilizados na aplicação das abordagens propostas.

A avaliação pela abordagem quantitativa foi baseada no trabalho de Pereira *et al.* (2013), que consiste na contagem de ocorrências de geodiversidade ao sobrepor uma malha regular sobre cada um dos mapas, somando as ocorrências no interior de cada célula através de ferramentas de geoprocessamento. Já a abordagem qualitativa busca a definição de Unidades de Geodiversidade mediante a integração dos componentes da geodiversidade do município.

4.1. Materiais

O trabalho foi realizado, em sua maior parte, utilizando técnicas de geoprocessamento em *software* ArcGIS versão 10.8; além de um levantamento bibliográfico sobre a área de estudo e sobre as diferentes metodologias de avaliação da geodiversidade. Para a geração dos mapas quantitativo e qualitativo da geodiversidade de Arraial do Cabo, foram utilizados os seguintes dados:

- Mapa Geológico: esse mapa foi desenvolvido a partir do compilado de dados de dois autores distintos. A geologia de grande parte da área do município foi elaborada a partir da integração das folhas 1:100.000 Cabo Frio (SF. 23-Z-B-VI) e Rio das Ostras (SF.24-Y-A-IV), usando as informações de litologias e estruturas em dados vetoriais (SIG), disponíveis gratuitamente pelo banco de dados do Serviço Geológico do Brasil/CPRM. As folhas são contíguas e localizam-se entre as latitudes de 22° 30'S e 23°S, e os meridianos de 42° 30'W e 41° 30'W, onde mais de 15% da Folha Cabo Frio é preenchida

pelo grande corpo d'água E-W da Lagoa de Araruama, e mais de 75% da Folha Rio das Ostras configura área marinha submersa (Schmitt *et al.*, 2012). Os dados fazem parte do Programa Geologia do Brasil produzido pelo SGB/CPRM em parceria com a Universidade Estadual do Rio de Janeiro no ano de 2012.

Com o objetivo de complementar a diversidade geológica da área, a geologia da Ilha do Cabo Frio foi elaborada utilizando as informações de litologia e estruturas do mapa geológico em escala 1:20.000 de Oliveira (2016).

- Mapa Geomorfológico: desenvolvido a partir dos dados vetoriais (SIG) da Carta Geomorfológica do município de Arraial do Cabo elaborada por Santana & Dantas (2023), disponível gratuitamente pelo banco de dados do Serviço Geológico do Brasil/CPRM, em escala 1:25.000 e generalizado para 1:100.000.
- Mapa Pedológico: elaborado a partir das informações do trabalho de Carvalho Filho *et al.* (2001), em escala 1:250.000.
- Mapa Hidrográfico: as informações hidrográficas foram obtidas a partir dos dados vetoriais do mapa da rede de drenagem e do mapa de corpos d'água, em escala 1:25.000, desenvolvidos pelo IBGE (2021).

Para o contorno do município de Arraial do Cabo, foi utilizada a base de dados vetoriais de 2022 dos municípios que compõem o Estado do Rio de Janeiro, disponível na rede de dados oficiais do IBGE.

4.2. Métodos

4.2.1. Avaliação quantitativa (Mapa de Índice de Geodiversidade)

A avaliação quantitativa foi realizada através de uma adaptação sobre a abordagem apresentada por Pereira *et al.* (2013). Essa abordagem consiste em verificar a riqueza e distribuição espacial de componentes da geodiversidade através da quantificação dos subíndices de geodiversidade (geológico, geomorfológico, pedológico e hidrográfico).

Primeiramente, através da ferramenta *Sampling* do *software* ArcGIS, foi sobreposta uma matriz vetorial (*grid*), formada por uma malha regular (com áreas quadradas iguais), à área que compreende o município (Figura 25). Esse *grid* gerado foi sobreposto a cada um dos

mapas geológico, geomorfológico, pedológico e hidrográfico, gerando novos *grids* que quantificam as ocorrências de elementos distintos em cada célula da matriz (o número de unidades presentes em cada retículo foi calculado automaticamente com a ferramenta de geoprocessamento *Spatial Join*), dando origem a um mapa de subíndice para cada um dos 4 aspectos aqui considerados. Posteriormente, com a função *Field Calculator*, foram somados todos os valores obtidos em cada um dos mapas de subíndice para gerar o mapa de índice (ou de riqueza) de geodiversidade.

A definição do tamanho da célula para elaboração da grade foi determinada de acordo com a escala de mapeamento (Martin *et al.* 2014; Santos *et al.*, 2019). Portanto, para o Mapa de Índice de Geodiversidade foi considerada a escala final de 1:100.000, concordante com a escala dos dados disponíveis. Sendo assim, foram consideradas neste trabalho células do tamanho 1000x1000 m (Figura 25).

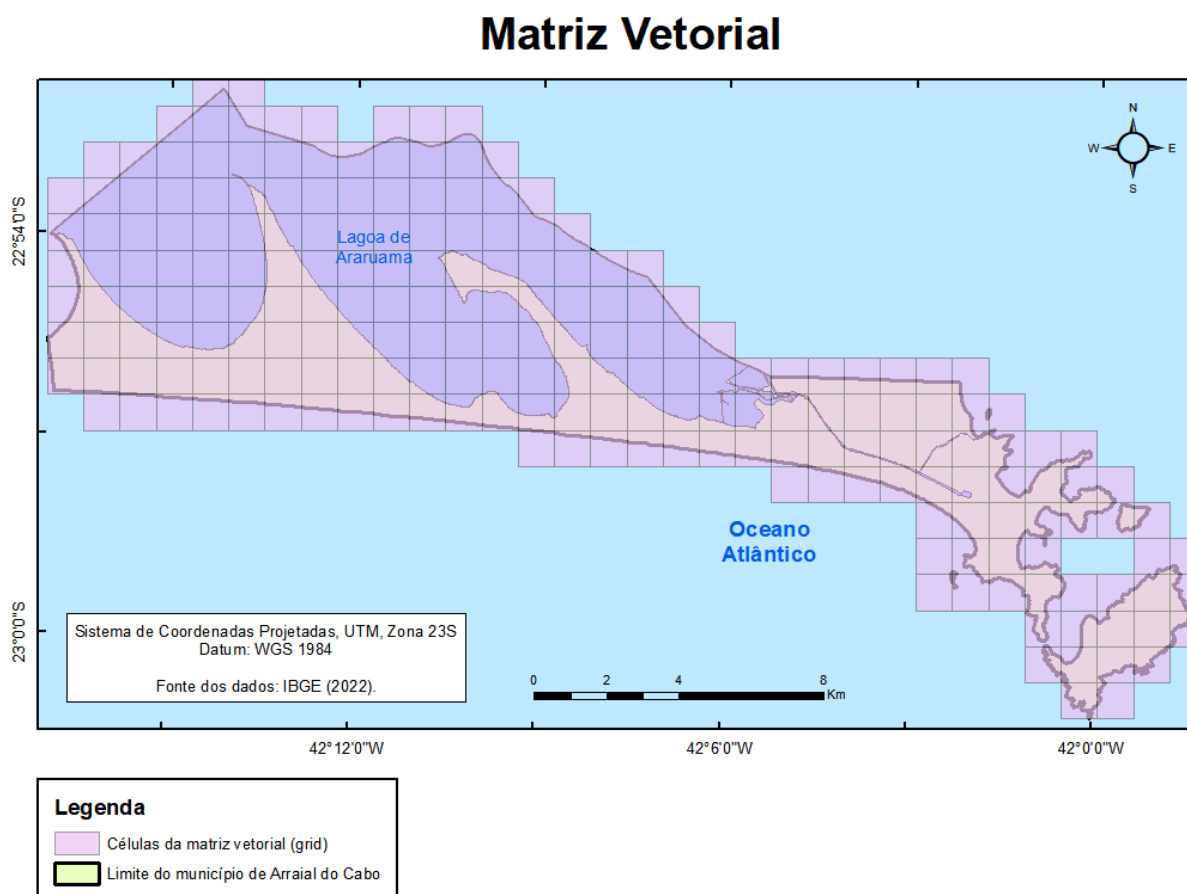


Figura 25: Matriz vetorial (*grid*) com células de resolução 1000x1000 m.

Os parâmetros considerados na quantificação de cada subíndice foram definidos com base no nível de detalhamento mais elevado possível, de modo a possibilitar uma avaliação

mais minuciosa e, conseqüentemente, mais precisa de cada mapa. Dessa forma, para o subíndice geológico foram definidos os parâmetros Litologias e Estruturas de forma integrada, usando a função soma da ferramenta *Field Calculator*; para a quantificação do subíndice geomorfológico considerou-se o parâmetro que representa maior detalhe no mapa, o parâmetro Padrões de Relevo; a quantificação do subíndice pedológico também baseou-se no parâmetro de maior detalhe no mapa, representado pelas Subordens; e as ocorrências de Brejos e áreas alagadas, Canal, Lagunas, e Lagos de rejeito como parâmetros do subíndice hidrográfico.

É importante mencionar que, na quantificação dos subíndices geomorfológico e pedológico, optou-se por não considerar a porção correspondente à Lagoa de Araruama, a fim de evitar que esse elemento fosse contabilizado mais de uma vez como um corpo hídrico, podendo superestimar os resultados. Dessa forma, a área da Lagoa de Araruama foi considerada apenas no subíndice geológico, representando os sedimentos bioclásticos de fundo da laguna; e no subíndice hidrográfico, como um corpo hídrico (laguna perene).

Além disso, vale ressaltar que, no mapa geológico, optou-se por não considerar a Lagoa de Araruama como um depósito lagunar da mesma forma que as demais lagunas e áreas brejosas, pois apontam diferentes idades e composições de sedimentos de fundo. A Lagoa de Araruama é uma laguna hipersalina pleistocênica, composta principalmente de sedimentos bioclásticos (conchas), enquanto que os depósitos lagunares hipersalinos da barreira costeira externa datam do Holoceno e apresentam sedimentação carbonática induzida por microrganismos (estromatólitos e esteiras microbianas).

Existem duas técnicas distintas de contagem das ocorrências/elementos em cada célula da matriz nos mapas de subíndice, os procedimentos *Multiparts* e *Singleparts*. Na técnica *Multiparts*, as geometrias com o mesmo atributo são contadas apenas uma vez, independente se aparecerem mais de um polígono de determinado atributo dentro da célula. Assim, as geometrias de cada célula são contabilizadas sem considerar repetições. Já na técnica *Singleparts* as geometrias são separadas em partes únicas e cada atributo é contabilizado individualmente em cada célula, considerando assim as repetições.

Gonçalves (2018) e Gonçalves *et al.* (2020), compararam as duas abordagens de forma prática e observaram que a técnica do *Singleparts* se mostrou menos eficaz por levar em conta as repetições dos elementos dentro de cada célula, o que elevou a contagem e acabou evidenciando mais a quantidade de unidades do que a diversidade em si. Portanto, neste trabalho, foi considerada apenas a técnica de contagem *Multiparts*.

Dessa forma, os mapas de subíndice foram obtidos considerando a técnica *Multiparts* e, posteriormente, sobrepostos a fim de se obter a quantificação final de Índice de Geodiversidade.

4.2.2. Avaliação qualitativa (Mapa de Geodiversidade)

O mapeamento da geodiversidade de Arraial do Cabo foi desenvolvido com base em Santos *et al.* (2019), que se respalda na metodologia desenvolvida pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB). O objetivo da avaliação qualitativa neste trabalho é identificar Unidades de Geodiversidade de acordo com a integração de seus elementos (geologia, geomorfologia, pedologia e hidrografia), ressaltando as potencialidades e limitações ao uso das unidades, bem como uma avaliação de seus serviços ecossistêmicos (em escala de paisagem) com base em Gray (2013).

Para a elaboração deste mapa, inicialmente foram considerados os mapas representativos de cada elemento analisado. Após a aquisição dos mapas, os dados foram integrados por meio de técnicas de geoprocessamento, com o objetivo de identificar padrões de correlação entre eles. Essa integração foi realizada mediante a sobreposição dos mapas utilizando a ferramenta *Overlay* do *software* ArcMap.

Assim, foi possível identificar as principais associações entre as informações geológicas, geomorfológicas, pedológicas e hidrográficas, e a partir dessas interações definir as Unidades de Geodiversidade, descritas e classificadas de acordo com suas características. Esta associação consistiu em relacionar, por exemplo, Depósitos lagunares ↔ Planícies lagunares ↔ Organossolo Tiomórfico ↔ Brejos e áreas alagadas; ou Maciço Alcalino ↔ Metagranitos e Ortognaisses ↔ Cambissolos Háplicos. É importante mencionar que não foi possível reconhecer padrões claros de correlação entre alguns dos dados hidrográficos e os demais componentes.

Além disso, com a integração dos dados dos mapas e com o auxílio do *Open Topography* foi possível interpretar e delimitar a área da barreira pleistocênica e da barreira holocênica para o Mapa de Geodiversidade.

Tendo como base Santos *et al.* (2019), foi possível elaborar o *layout* final do Mapa de Geodiversidade a partir da generalização do mapa geomorfológico, devido a sua maior escala de detalhe. Apesar disso, não foi dada maior importância à geomorfologia em detrimento dos demais elementos. A escala de maior detalhe permite uma melhor definição das Unidades ao associar os padrões de relevo com a litologia, solos e hidrografia, sem ressaltar um aspecto em particular.

5. RESULTADOS

5.1. Avaliação Quantitativa da Geodiversidade (Índice de Geodiversidade)

O mapa de Índice de Geodiversidade, elaborado a partir da metodologia descrita, integra os 4 mapas de subíndices de Geodiversidade, que serão apresentados a seguir. Esse mapa possibilitou a observação da distribuição espacial da riqueza do meio físico no município de estudo.

5.1.1. Subíndice Geológico

O município de Arraial do Cabo apresenta uma diversidade litológica caracterizada pelas rochas metamórficas do Complexo Região dos Lagos, que ocorrem como embasamento do Domínio Tectônico Cabo Frio, de idade paleoproterozoica, e também corpos máficos da Suíte José Gonçalves de idade entre 1,6 e 0,9 Ga, que cortam essas rochas; além das rochas alcalinas da Ilha do Cabo Frio eocretáceas a eocênicas e brechas associadas; e dos depósitos Quaternários, que incluem lagunares, marinhos, eólicos litorâneos, os depósitos de fundo da Lagoa de Araruama e também os depósitos sedimentares evaporíticos das salinas. O município também apresenta um conjunto de falhas e fraturas e uma série de diques de diabásio, traquito e fonolito, resultados da reativação tectônica da margem sudeste brasileira.

Na quantificação do subíndice geológico (litologias e estruturas), observa-se índices que variam de 1 a 7 elementos, onde os valores mais próximos de 7 concentram-se na porção nordeste e sudeste do município, com ênfase para o sul da Praia do Pontal (próximo aos costões), para a Praia dos Anjos, para a região do Atalaia, incluindo o Pontal do Atalaia e parte da Ilha do Cabo Frio (Figura 26). Nessas áreas há ocorrências de falhas normais, fraturas, diques de diabásio, fonolito e traquito, além de unidades paleoproterozoicas e depósitos quaternários na mesma célula, o que explica o elevado índice. Os índices 1, 2 e 3 têm mais ocorrência no município e representam as áreas com pouca ou nenhuma estrutura, e também mais homogêneas litologicamente.

Mapa de Subíndice Geológico

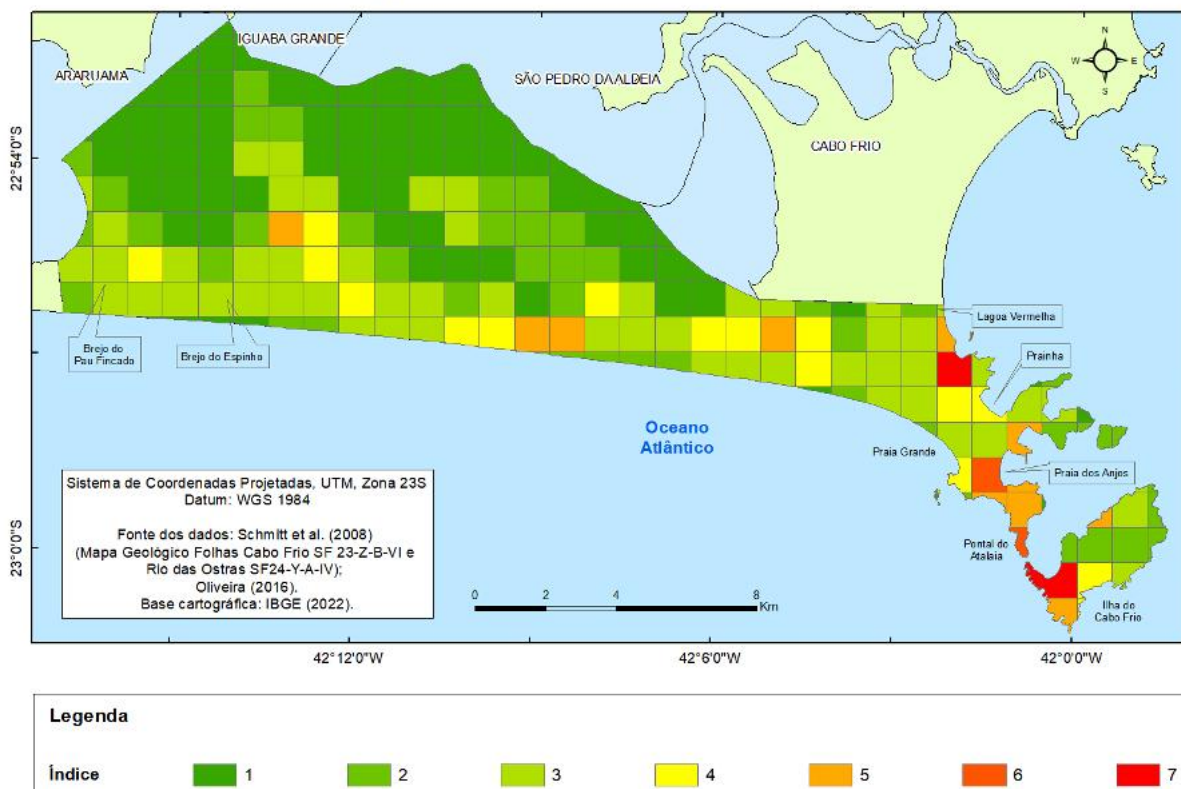


Figura 26: Mapa de subíndice geológico do município de Arraial do Cabo (RJ). Fonte: Elaboração da autora.

5.1.2. Subíndice Geomorfológico

A diversificação do cenário geomorfológico de Arraial do Cabo está relacionada à evolução do Quaternário nas áreas costeiras, que por consequência são submetidas a esforços neotectônicos, a mudanças climáticas e oscilações do nível do mar.

Para a quantificação do subíndice geomorfológico não foi considerada a porção do município que corresponde à Lagoa de Araruama. Dessa forma, o resultado dessa quantificação mostrou índices que variam de 1 a 5 (Figura 27). Os valores 4 e 5 correspondem às áreas que contém como padrão de relevo as planícies marinhas e lagunares, os campos de dunas, formações tecnogênicas e depósitos tecnogênicos. O índice 3 tem mais ocorrência no município (Figura 27) e representa áreas de planícies lagunares e marinhas e também os campos de dunas, onde ocorrem os brejos, as praias e as dunas. Os valores 1 e 2 aparecem em áreas onde o relevo é mais homogêneo, como nos morros e morrotes e a porção central e nordeste do Maciço Alcalino Ilha do Cabo Frio.

Mapa de Subíndice Geomorfológico

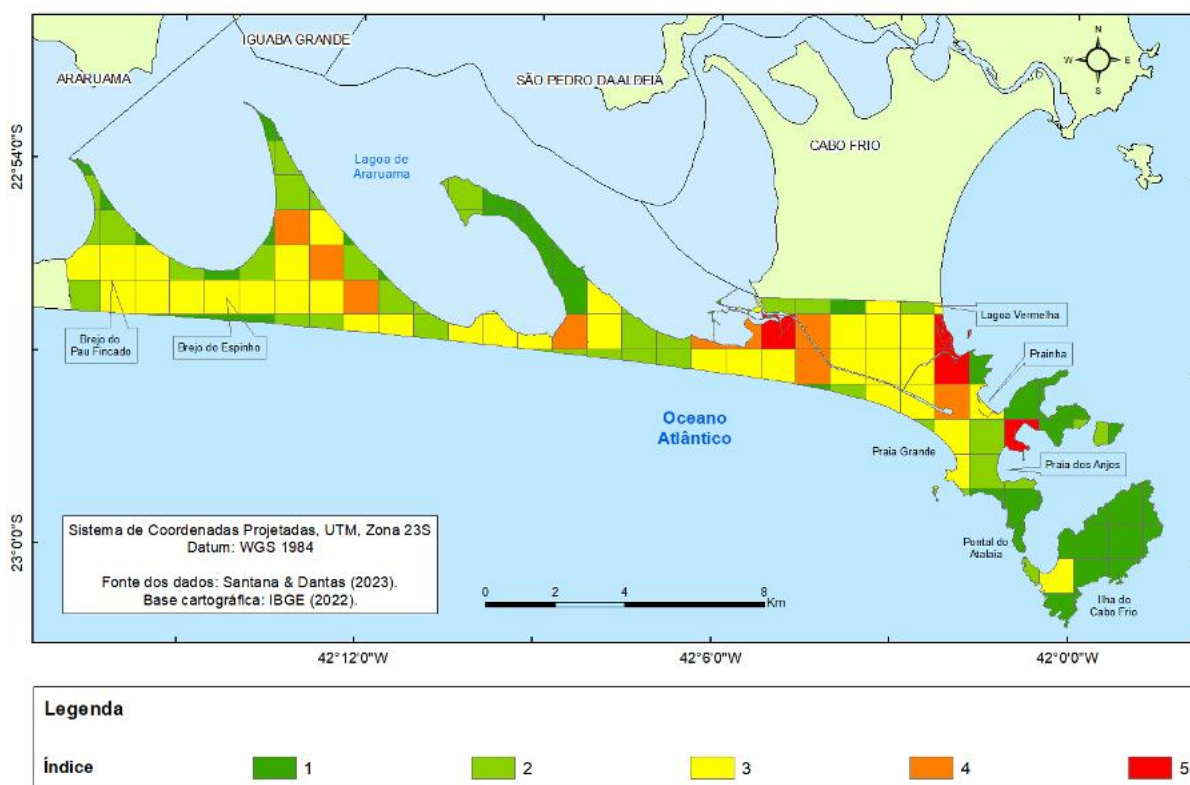


Figura 27: Mapa de subíndice geomorfológico do município de Arraial do Cabo (RJ). Fonte: Elaboração da autora.

5.1.3. Subíndice Pedológico

A diversidade pedológica de Arraial do Cabo é representada por Cambissolos Háplicos, Espodossolos Cárbicos e Organossolos Tiomórficos.

Assim como para o subíndice geomorfológico, também não foi considerada a porção do município que corresponde a Lagoa de Araruama na quantificação do subíndice pedológico. Portanto, a quantificação das subordens de solos apresentou índices que variam de 0 a 2 nas células da matriz (Figura 28). O índice 2 pode ser observado em locais onde há o contato de uma maior variedade de solos, relacionados aos depósitos quaternários e ao relevo acidentado da Ilha do Cabo Frio e dos costões das praias. Em geral, o índice 1 apresenta maior predominância no município (Figura 28). As áreas com valor 0 (zero), representam locais onde não há formação de solos, e concentram, sobretudo, as dunas, as salinas e as ocupações urbanas.

Como observado, apesar da presença de três tipos de solos, o município apresenta valores mais baixos para a quantificação pedológica, o que pode ser explicado por grande

parte do município abranger os cordões arenosos da área da Restinga da Massambaba, e também pela escala inicial do mapa pedológico de 1:250.000, que também corrobora para índices menores.

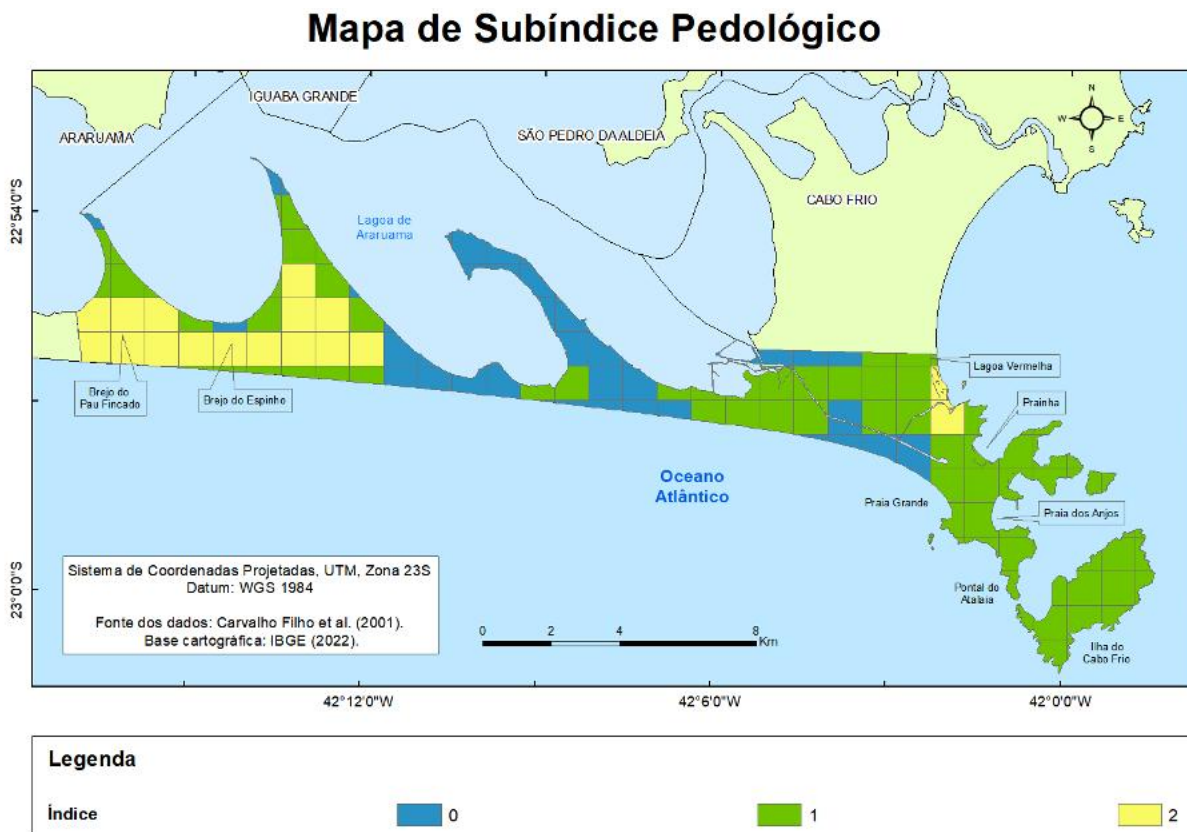


Figura 28: Mapa de subíndice pedológico do município de Arraial do Cabo (RJ). Fonte: Elaboração da autora.

5.1.4. Subíndice Hidrográfico

A hidrografia do município de Arraial do Cabo é formada pelo sistema hidrográfico da Lagoa de Araruama, que refere-se a Lagoa de Araruama e as demais lagunas perenes, como a Lagoa Vermelha; e o sistema hidrográfico litorâneo, que compõe os brejos e áreas alagadas. Os rios naturais no município são inexistentes, no entanto há canais fluviais artificiais instalados para atividades da extinta Companhia Nacional Álcalis. Além disso, a mineradora deixou dois passivos ambientais que compõem a paisagem da área, que são os lagos de rejeito presentes no costão ao norte da Prainha. Vale ressaltar que, por se tratar de um município litorâneo, sua linha de costa é bem expressiva e portanto o mar também é um elemento hidrográfico da região, porém não considerado na quantificação.

A quantificação do subíndice hidrográfico obteve índices variando de 0 (zero) a 3 elementos hídricos (Figura 29). Grande parte do território do município apresenta 1 elemento,

que representa principalmente a área da Lagoa de Araruama. As áreas com índice 0 (zero) podem ser caracterizadas por uma inexpressiva rede de drenagem no município.

Mapa de Subíndice Hidrográfico

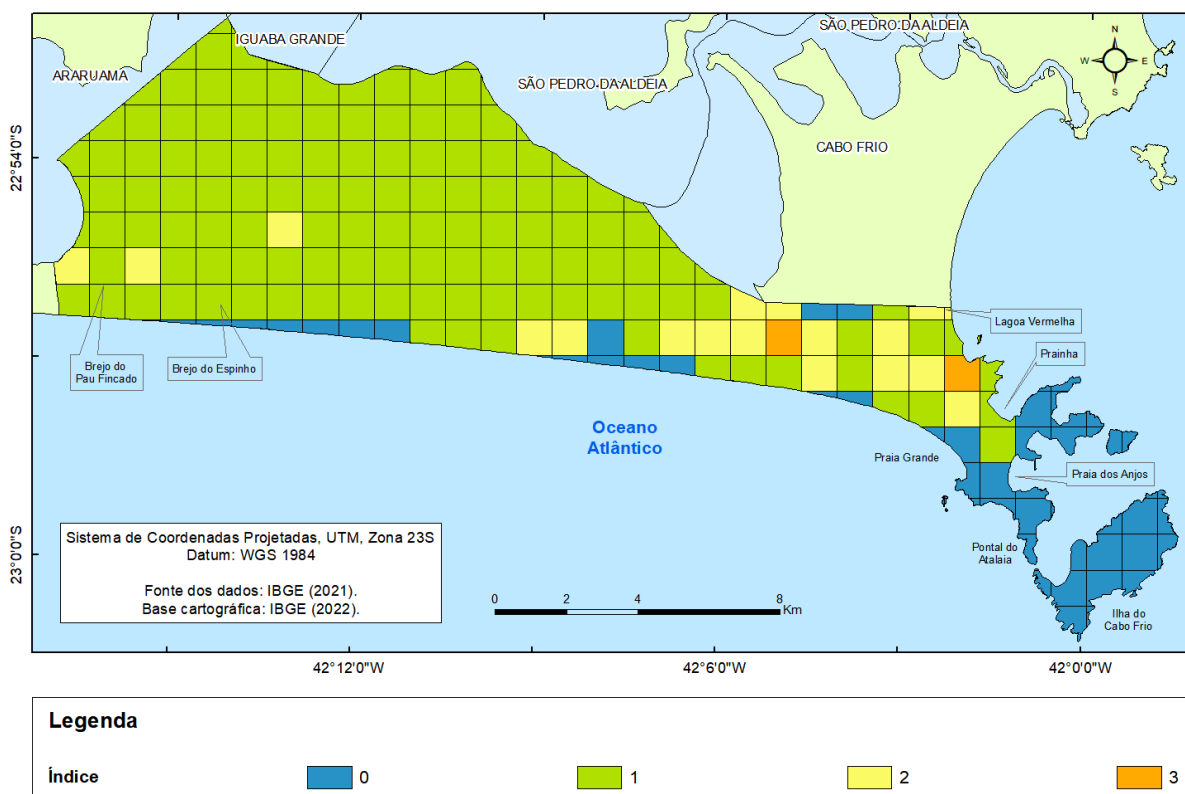


Figura 29: Mapa de subíndice hidrográfico do município de Arraial do Cabo (RJ). Fonte: Elaboração da autora.

5.1.5. Mapa de Índice de Geodiversidade

O mapa de Índice de Geodiversidade foi obtido através do somatório de todos os 4 subíndices apresentados (geológico, geomorfológico, pedológico e hidrográfico) com a técnica de contagem *Multiparts*. Dessa forma, foi possível analisar a distribuição espacial total da geodiversidade do município, onde obteve-se índices que variam de 2 a 17 elementos de geodiversidade (Figura 30).

Mapa de Índice de Geodiversidade de Arraial do Cabo, RJ, Brasil

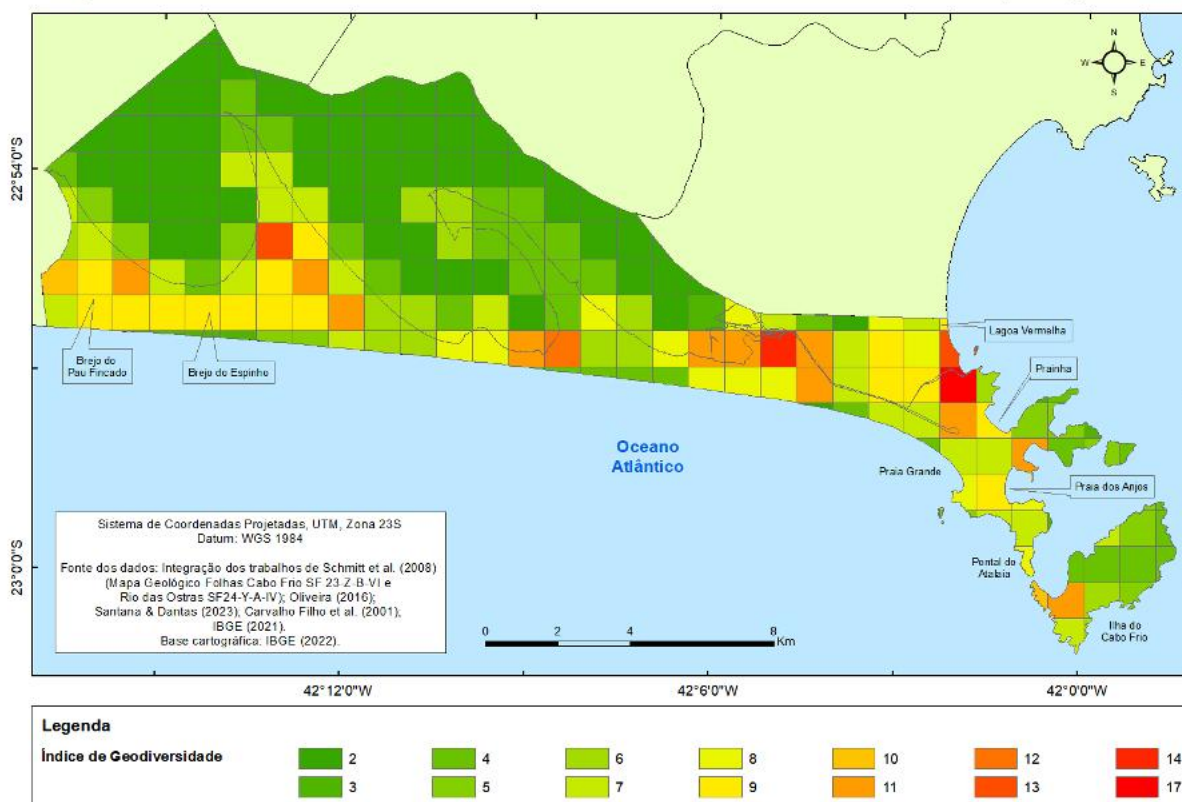


Figura 30: Mapa de Índice de Geodiversidade do município de Arraial do Cabo (RJ). Fonte: Elaboração da autora.

Como observado, as áreas de maior diversidade concentram-se nas regiões onde ocorrem os depósitos do Quaternário, sobretudo os depósitos eólicos litorâneos, os depósitos lagunares e marinhos, inclusive na porção oeste e sudoeste da Ilha do Cabo Frio; apresentando padrões de relevo de Campos de dunas, Planícies lagunares, Planícies marinhas, Formações Tecnogênicas e Depósitos Tecnogênicos; solos do tipo Espodossolo Cárbico e Organossolo Tiomórfico; e hidrografia de lagunas perenes (Lagoa Vermelha, a NE), lagos de rejeito e brejos e áreas alagadas. Já as áreas de menor diversidade estão, principalmente, nas regiões próximas e onde ocorre a Lagoa de Araruama.

5.2. Avaliação Qualitativa da Geodiversidade

5.2.1. Mapa de Geodiversidade

O mapa de Geodiversidade do município de Arraial do Cabo (Figura 31) foi elaborado em Unidades de Geodiversidade, representando a análise integrada dos componentes da

geodiversidade. A compartimentação em unidades de Geodiversidade é útil em planejamento e gestão territorial, de modo que é possível observar as potencialidades e limitações ao uso de cada unidade, além de seus serviços ecossistêmicos.

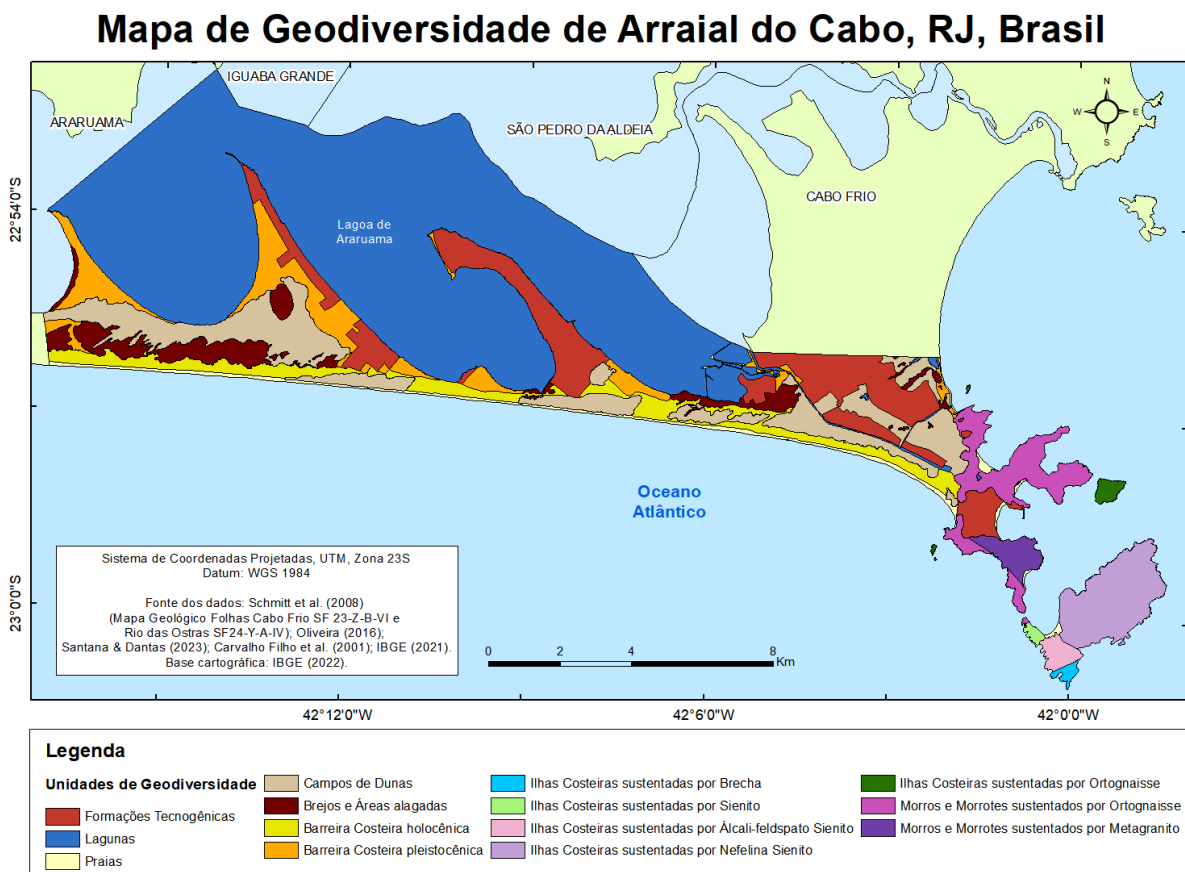


Figura 31: Mapa de Geodiversidade do município de Arraial do Cabo (RJ). Fonte: Elaboração da autora.

A seguir é apresentada a classificação e a descrição de cada uma dessas Unidades de Geodiversidade.

5.2.1.1. Unidades de Geodiversidade

A. Morros e Morrotes sustentados por Metagranito

A Unidade de Morros e Morrotes sustentados por Metagranito constitui o Complexo Região dos Lagos, embasamento do Domínio Tectônico Cabo Frio, caracterizada por hornblenda-biotita metagranitos, formando relevo de morros e morrotes. Além disso, formam Cambissolos Háplicos.

Essa Unidade aflora em grande parte do Atalaia, abrangendo os costões da Praia do Pontal do Atalaia (Figura 31), local de atração turística para prática de esportes e também pela presença de animais marinhos como golfinhos e baleias em determinado período do ano.

B. Morros e Morrotes sustentados por Ortognaisse

Assim como a Unidade anterior, a Unidade de Morros e Morrotes sustentados por Ortognaisse é constituída pelo Complexo Região dos Lagos, caracterizada por hornblenda-biotita ortognaisses. Sua pedologia também é composta por Cambissolos Háplicos, que ocorrem sobretudo em relevos de morros e morrotes.

A região dessa Unidade pega o costão sul da Praia Grande, toda a porção do Pontal do Atalaia (conhecida como Pedra do Macaco), porção oeste da Ilha do Cabo Frio (Pedra da Tartaruga), todo o costão da Praia do Forno a Prainha, e também o costão norte da Prainha (Figura 31). Como a Unidade anterior, é um local que atrai turistas não só pela prática de esportes, como pela fauna marinha e pelo conjunto de elementos que compõem a paisagem. No seu contato com o Sienito na Ilha do Cabo Frio ocorre um dos pontos turísticos mais conhecidos do município, a Fenda de Nossa Senhora.

C. Ilhas Costeiras sustentadas por Ortognaisse

Esta unidade também constitui o Complexo Região dos Lagos, caracterizado pelo mesmo ortognaisse da unidade anterior, formando Cambissolos Háplicos, porém com padrão de relevo de ilhas costeiras. Integra a Ilha dos Franceses, a Ilha dos Porcos e a Ilha do Pontal. O mirante da Ilha dos Franceses é um dos pontos mais estratégicos da cidade para a observação na temporada de baleias durante o inverno.

D. Ilhas Costeiras sustentadas por Nefelina Sienito, por Álcali-feldspato Sienito, por Sienito e por Brecha

São 4 unidades de geodiversidade distintas que ocorrem na Ilha do Cabo Frio e que constituem as intrusões alcalinas no mapa qualitativo: Ilhas Costeiras sustentadas por Nefelina Sienito; Ilhas Costeiras sustentadas por Álcali-feldspato Sienito; Ilhas Costeiras sustentadas por Sienito; e Ilhas Costeiras sustentadas por Brecha. Apesar de no mapa

geomorfológico o padrão de relevo adotado ser exclusivamente Maciço Alcalino, para o mapa qualitativo optou-se por adotar o mesmo padrão de relevo das demais Ilhas Costeiras. Essas unidades também formam Cambissolos Háplicos.

A maior área com composição alcalina da Ilha é de Nefelina Sienito, localizada em sua porção NE e central. Essa região da Ilha abriga o Farol Velho, erguido entre 1833 e 1836 para guiar grandes embarcações em uma área com ventos fortes e correntes intensas, que hoje mesmo desativado se tornou um marco histórico marítimo, monitorado pela Marinha do Brasil.

A segunda maior área é de Álcali-feldspato Sienito, localizada na porção SW da Ilha. Integra um ponto turístico chamado de “Buraco do meteorito” que, apesar do nome, foi ocasionado pela erosão marinha.

Localizada na porção NW da Ilha se encontra a área de ocorrência de Sienito, onde em seu contato com a Unidade Morros e Morrotes sustentados por Ortognaisse existe um dos pontos turísticos mais visitados do município, a Fenda de Nossa Senhora. Sua origem resulta da erosão marinha sobre um dique de fonolito intensamente fraturado.

A brecha aflora no sul e sudeste da Ilha, onde encontra-se o Farol Novo. Possuem litoclastos de ortognaisse, fonolito e traquito, além de cristaloclastos de feldspato e quartzo, que compõem o arcabouço clastosuportado da brecha.

E. Barreira Costeira pleistocênica e Barreira Costeira holocênica

Com auxílio do *Open Topography* os depósitos marinhos e o padrão de relevo planícies marinhas foram divididos em três Unidades de Geodiversidade: Barreira Costeira pleistocênica, Barreira Costeira holocênica e Praias.

Muehe & Corrêa (1989) e Turcq *et al.* (1999) identificaram a ocorrência de duas barreiras arenosas de idades distintas divididas por duas séries de lagunas isoladas na área da Restinga da Massambaba. A barreira mais próxima à Lagoa de Araruama é mais elevada, larga e mais intemperizada, associada ao último episódio de transgressão marinha pleistocênica. E a outra, mais baixa e estreita, representa o ótimo climático holocênico.

F. Brejos e Áreas alagadas

A Unidade de Geodiversidade Brejos e Áreas alagadas compõe os depósitos lagunares e as planícies lagunares, formando Organossolos Tiomórficos em áreas de brejos cujo espelho d'água varia de acordo com a pluviosidade na região. De acordo com Silva e Silva *et al.* (2003) são áreas que apresentam crescimento de esteiras microbianas (primeiro estágio de desenvolvimento de estruturas estromatolíticas) influenciadas pela hipersalinidade com a baixa precipitação e elevadas taxas de evaporação. O Brejo do Espinho é considerado um geossítio de grande importância internacional devido a presença de microrganismos capazes de precipitar dolomita, um fenômeno extremamente raro em ambientes modernos (Mansur *et al.*, 2012).

G. Campos de Dunas

A Unidade Campos de Dunas representa as areias finas quartzosas e bem selecionadas dos depósitos eólicos litorâneos, que foram depositados por ação eólica longitudinalmente à linha de costa. No município de Arraial do Cabo ocorrem em grande parte da Restinga da Massambaba e também como dunas escalonares na Praia do Farol, na Ilha do Cabo Frio (Rodrigues, 2018).

H. Praias

A Unidade Praias configura as areias quartzosas moderadamente a bem selecionadas, com fragmentos de conchas e organismos, dos depósitos marinhos (que incluem os depósitos de areia de praia) e planícies marinhas. Aparecem em grande parte do litoral do município, inclusive em parte da Ilha do Cabo Frio, onde há ocorrência de 4 *beachrocks* paralelos à praia de composição predominantemente carbonática (Castro *et al.*, 2012; Malta *et al.*, 2017).

I. Lagunas

A Unidade Lagunas é representada pela Lagoa de Araruama, pela Lagoa Vermelha, pela Prainha (uma lagoa situada na área urbana do município, no Parque Público Prefeito Hermes Barcellos), e outra laguna próximo à Rua Adolfo Beranger Júnior e às antigas salinas

da Companhia Nacional Álcalis. Para essa Unidade, foram consideradas apenas as lagoas classificadas como regime permanente e que possuem conexão com o oceano.

J. Formações Tecnogênicas

Por fim, a Unidade Formações Tecnogênicas está representando terrenos que foram submetidos a intervenções antrópicas, e portanto de natureza variável. No município são as áreas de escavações na região do porto da Praia dos Anjos; lagoas de decantação nas salinas; a área urbana; lagos de rejeito e o canal artificial da CNA.

No geral, essas formações tecnogênicas podem ter influência na intensidade dos processos erosivos e deposicionais, provocar contaminações e também compactação do terreno (Silva, 2022).

A Tabela 3 apresenta uma síntese das correlações entre os elementos abióticos (geologia, geomorfologia, pedologia e hidrografia) para cada unidade, suas potencialidades e limitações ao uso, bem como seus serviços ecossistêmicos.

<u>Unidade de Geodiversidade</u>	<u>Litologia</u>	<u>Geomorfologia</u>	<u>Pedologia</u>	<u>Hidrografia</u>	<u>Potencialidades</u>	<u>Limitações</u>	<u>Serviços ecossistêmicos</u>
<i>Morros e morrotes sustentados por Metagrânito</i>	Hornblenda-biotita Metagrânitos	Morros e morrotes	Cambissolos Háplicos	—	Atividades turísticas e educacionais; Ecoturismo. Na área da UC PECS: Conservação ambiental e pesquisa científica	Áreas de média a alta declividade para ocupação urbana; Solos pouco espessos que restringem seu uso para agricultura. Atividades como extrativismo, etc	Cultural, Regulação e Conhecimento
<i>Morros e morrotes sustentados por Ortognaisse</i>	Hornblenda-biotita Ortognaisses	Morros e morrotes	Cambissolos Háplicos	—	Atividades turísticas e educacionais; Ecoturismo. Na área da UC PECS: Conservação ambiental e pesquisa científica	Áreas de média a alta declividade para ocupação urbana; Solos pouco espessos que restringem seu uso para agricultura. Atividades como extrativismo, etc	Cultural, Regulação e Conhecimento
<i>Ilhas Costeiras sustentadas por Ortognaisse</i>	Hornblenda-biotita Ortognaisses	Ilhas costeiras	Cambissolos Háplicos	—	Conservação ambiental e pesquisa científica; Apenas turismo náutico	Áreas de média a alta declividade para ocupação urbana; Solos pouco espessos que restringem seu uso para agricultura. Atividades como turismo e ecoturismo	Regulação, Conhecimento e Cultural
<i>Ilhas Costeiras sustentadas por</i>	Nefelina Sienito	Mação Alcalino	Cambissolos Háplicos	—	Conservação ambiental e pesquisa	Atividades como turismo,	Regulação, Conhecimento e

<i>Nefelina Sienito</i>					científica; Apenas turismo náutico	ecoturismo, extrativismo etc. Áreas de alta declividade para ocupação urbana (relevo muito acidentado); Solos pouco espessos que restringem seu uso para agricultura.	Cultural
<i>Ilhas Costeiras sustentadas por Álcali-feldspato Sienito</i>	Álcali-feldspato Sienito	Maciço Alcalino	Cambissolos Háplicos	—	Conservação ambiental e pesquisa científica; Apenas turismo náutico	Atividades como turismo, ecoturismo, extrativismo etc. Áreas de alta declividade para ocupação urbana (relevo muito acidentado); Solos pouco espessos que restringem seu uso para agricultura.	Regulação, Conhecimento e Cultural
<i>Ilhas Costeiras sustentadas por Sienito</i>	Sienito	Maciço Alcalino	Cambissolos Háplicos	—	Conservação ambiental e pesquisa científica; Apenas turismo náutico	Atividades como turismo, ecoturismo, extrativismo etc. Áreas de alta declividade para ocupação urbana (relevo muito acidentado); Solos pouco espessos que restringem seu uso para agricultura.	Regulação, Conhecimento e Cultural
<i>Ilhas Costeiras</i>	Brecha vulcânica	Maciço Alcalino	Cambissolos	—	Conservação	Atividades como	Regulação,

<i>sustentadas por Brecha</i>	clastosuportada por cristoclastos de feldspato e quartzo, com litoclastos de ortognaisse, fonolito, traquito		Háplicos		ambiental e pesquisa científica; Apenas turismo náutico	turismo, ecoturismo, extrativismo etc. Áreas de alta declividade para ocupação urbana (relevo muito acidentado); Solos pouco espessos que restringem seu uso para agricultura.	Conhecimento e Cultural
<i>Barreira Costeira pleistocênica</i>	Depósitos marinhos	Planícies marinhas	Espodossolo Cárbito	—	Na área da UC APA de Massambaba: Conservação ambiental e pesquisa científica	Ocupação urbana (área das UCs PECS e APA de Massambaba). Não possuem aproveitamento para uso agrícola	Regulação e Conhecimento
<i>Barreira Costeira holocênica</i>	Depósitos marinhos	Planícies marinhas	Espodossolo Cárbito	—	Na área da UC APA de Massambaba: Conservação ambiental e pesquisa científica	Ocupação urbana (área da UC PECS). Não possuem aproveitamento para uso agrícola	Regulação e Conhecimento
<i>Brejos e Áreas alagadas</i>	Depósitos lagunares	Planícies lagunares	Organossolos Tiomórficos	Brejos e áreas alagadas	Na área da UC PECS: Conservação ambiental e pesquisa científica	Ocupação urbana, atividades turísticas	Regulação e Conhecimento
<i>Campos de Dunas</i>	Depósitos eólicos litorâneos	Campos de dunas	—	—	Nas áreas das UCs PECS e APA de Massambaba: Conservação ambiental e pesquisa científica	Ocupação urbana, turismo e ecoturismo. Não possuem aproveitamento para uso agrícola	Regulação e Conhecimento

<i>Praias</i>	Depósitos marinhos	Planícies marinhas e praia	—	—	Atividades turísticas; Ecoturismo; Pesca artesanal. Na área da UC Resexmar-AC: Conservação ambiental e pesquisa científica	Ocupação urbana	Cultural, Provisão, Regulação e Conhecimento
<i>Lagunas</i>	Depósitos de argila, silte, areia e bioclastos (conchas) e depósitos lagunares	Planícies lagunares	Organossolos Tiomórficos	Lagunas perenes	Pesca artesanal; Ecoturismo; Aproveitamento dos recursos hídricos como atividade de baixo impacto; Pesquisa científica; Conservação ambiental	Espelho d'água	Provisão, Cultural, Suporte, Conhecimento e Regulação
<i>Formações Tecnogênicas</i>	Depósitos sedimentares evaporíticos	Formações tecnogênicas	—	Canal e lagos de rejeito	Atividade extrativista mineral; Ocupação urbana. Na área da UC APA de Massambaba: Conservação ambiental e pesquisa científica	Ocupação urbana em salinas desativadas	Provisão, Suporte, Regulação e Conhecimento

Tabela 3: Síntese das Unidades de Geodiversidade informando suas potencialidades, limitações e serviços ecossistêmicos.

6. DISCUSSÃO

6.1. Avaliação Quantitativa (Mapa de Índice de Geodiversidade)

O mapeamento quantitativo da geodiversidade é uma abordagem recente no meio das Geociências, que nas últimas décadas mostrou um aumento significativo na produção de artigos científicos relacionados ao tema (Santos *et al.*, 2025). Por se tratar de um conceito ainda em evolução, e devido a falta de um consenso geral sobre os elementos abióticos que compõem a geodiversidade de fato, a abordagem de avaliação quantitativa acaba possuindo lacunas, criando a necessidade de aprimorar as discussões metodológicas em relação a este tipo de avaliação, para que se possa representar a geodiversidade da forma mais fiel possível à realidade.

Neste trabalho, a avaliação quantitativa da geodiversidade concentrou-se em métodos baseados em matriz vetorial (*grid*), em *software* de geoprocessamento, para quantificação dos componentes da geodiversidade, especialmente através do uso de subíndices conforme Pereira *et al.* (2013). Vale ressaltar que, assim como em Santos *et al.* (2017), neste trabalho foi realizada uma adaptação da abordagem utilizada por Pereira *et al.* (2013) onde não foram consideradas ocorrências minerais e ocorrências fossilíferas pois não se aplicam ao município de Arraial do Cabo (vide Schmitt *et al.*, 2008, nas Folhas Cabo Frio e Rio das Ostras/CPRM).

O trabalho foi desenvolvido em escala de paisagem (uma das quatro escalas para análise da geodiversidade propostas por Serrano & Ruiz Flaño, 2007), utilizando os subíndices geológico, geomorfológico, pedológico e hidrográfico como representantes do meio físico no município de Arraial do Cabo, para gerar o índice final de geodiversidade.

A quantificação do subíndice geológico se deu através das litologias e estruturas presentes na região. Além disso, o trabalho de Oliveira (2016) mostra uma diversidade geológica na Ilha do Cabo Frio que as Folhas Cabo Frio e Rio das Ostras não abordam, possivelmente devido a menor escala de detalhe. Assim, com o objetivo de representar de forma mais fiel a geologia da Ilha, foram consideradas as informações do mapa geológico em escala 1:20.000 de Oliveira (2016). Vale ressaltar que neste mapa a Lagoa de Araruama não foi considerada como um depósito lagunar igual as demais lagunas e brejos da região, primeiramente pela diferença de idade (a Lagoa de Araruama data do Pleistoceno enquanto que os depósitos lagunares da barreira costeira externa datam do Holoceno) e sobretudo pela diferença nos sedimentos que constituem seu fundo, onde a Lagoa de Araruama é composta principalmente por sedimentos bioclásticos (conchas), e os depósitos lagunares hipersalinos

holocênicos por sedimentação carbonática induzida por microrganismos (estromatólitos e esteiras microbianas).

O subíndice geomorfológico foi quantificado considerando os padrões de relevo, como em Santos *et al.* (2017), já que é a representação mais detalhada da geomorfologia do município. No subíndice pedológico foram consideradas as subordens de solos (como em Pereira *et al.*, 2013 e Santos *et al.*, 2017), onde também é a informação mais detalhada no mapa. Já a metodologia de quantificação para o subíndice hidrográfico diferiu desses autores devido à inexistência de uma rede de drenagem na área, onde foram considerados apenas os brejos e áreas alagadas, canais, lagos e lagunas.

Como mencionado, este trabalho optou por utilizar a técnica de contagem *Multiparts*, por ser um procedimento que apresentou maior eficácia em detrimento da técnica *Singleparts*, que não representou tão bem a distribuição da riqueza da geodiversidade nos estudos de Gonçalves (2018) e Gonçalves *et al.* (2020).

Um dos fatores determinantes no processo de execução dos mapas foi a definição de uma escala para o mapa final, a fim de estabelecer um tamanho para as células da matriz vetorial. Como os mapas representativos dos elementos abióticos não se encontravam na mesma escala, definiu-se então a escala de trabalho de 1:100.000, e consequentemente um tamanho de célula de 1000x1000m, buscando sempre exibir da melhor forma todos os elementos, sem dar importância para um único. As diferentes escalas dos mapas trabalhados podem ter contribuído para uma quantificação maior ou menor de determinados subíndices.

Por fim, o resultado da quantificação da geodiversidade foi apresentado como um Mapa de Índice de Geodiversidade que permitiu identificar áreas com maior ou menor riqueza de determinados elementos do município de Arraial do Cabo. Na Figura 26, os resultados obtidos mostram áreas de maior geodiversidade em células onde concentram mais elementos de geodiversidade juntos, mas que não necessariamente significa que esses locais sejam os de maior relevância científica no município como um todo, necessitando de estudos e trabalhos de campo mais aprofundados principalmente nessas áreas.

Os resultados mostram também uma limitação potencial em áreas que correspondem ao Brejo do Espinho, ao Brejo do Pau Fincado, Pontal do Atalaia e a Ilha do Cabo Frio, que são alguns dos principais geossítios do município, onde sabe-se que são locais com alta riqueza, mas que apresentaram índices de geodiversidade intermediários. Isso pode ocorrer devido a escala dos dados.

Os autores da Carta Geomorfológica de Arraial do Cabo consideraram a geomorfologia da Ilha do Cabo Frio de forma generalizada, que acabou não refletindo a

diversidade geomorfológica que a Ilha possui. Dessa forma, para representar essa diversidade, foram adicionados outros três padrões de relevo à Ilha do Cabo Frio: Morros e morrotes (região onde afloram os ortognaisses do embasamento na Ilha), Campos de dunas (porção da Praia do Farol onde ocorrem as dunas escalonares) e a Praia (porção correspondente à Praia do Farol), a partir de informações complementares da bibliografia estudada. No entanto, de forma geral, o Mapa de Índice de Geodiversidade não exibiu resultados que condizem com a realidade da Ilha do Cabo Frio. Além disso, a escala de mapeamento não permitiu representar os *beachrocks* da Praia do Farol.

Para Carcavilla *et al.* (2008), embora existam diversas definições de geodiversidade, praticamente nenhuma delas é acompanhada por um método de estudo e análise que aplique o conceito teórico à realidade de um território. No entanto, de acordo com (Santos, 2016) independentemente das discussões em torno do tema, atualmente o termo encontra-se bastante consolidado, embora persistam divergências quanto à sua abrangência. Ainda assim, permanece em processo de desenvolvimento teórico e metodológico, com o objetivo de conferir maior consistência à sua aplicação à realidade de um território. Nesse contexto, as definições de alguns autores, por exemplo, não consideram os processos antrópicos como componentes que integram a geodiversidade de uma determinada área, como as Formações Tecnogênicas e os Depósitos Tecnogênicos, que aparecem neste trabalho como padrão de relevo, no mapa geomorfológico.

Outro ponto é que os subíndices pedológico e hidrográfico obtiveram índices menores em relação aos demais pelo fato de existirem grandes áreas onde não ocorrem solos ou formação de solos (ou simplesmente pela escala de menor detalhe desse mapa), e também pelo déficit hídrico. O método pode ser adaptado, no geral, para casos onde há áreas com pouca ou nenhuma existência de solos ou um déficit hídrico.

Além disso, vale ressaltar que a porção do Oceano Atlântico que corresponde a Arraial do Cabo possui valores econômico, turístico e científico associado, sendo assim de grande importância. Dessa forma, estudos futuros com uma adaptação à metodologia de quantificação poderiam considerá-la aos subíndices, afinal é uma área que abriga diversidade e que possui impactos gerados pelas atividades relacionadas, principalmente do setor petrolífero (Maia & Castro, 2015) e turístico. Existe a necessidade de incorporar discussões sobre a geodiversidade marinha (geologia e geomorfologia de fundo oceânico, e a hidrologia).

Apesar de haver um avanço conceitual significativo referente ao termo geodiversidade, ainda há a necessidade de realizar mais testes e aprimoramentos em relação

aos métodos de avaliação quantitativa, não havendo uma metodologia totalmente aceita para sua avaliação principalmente para fins de gestão territorial (Forte, 2014; Santos, 2016).

No geral, o método de quantificação baseado na contagem de ocorrências mostrou ser de aplicação simples, e os mapas obtidos são de fácil interpretação, o que torna o método uma forma direta de avaliação da riqueza da geodiversidade. A utilização de um *grid* na quantificação da geodiversidade e, portanto, o Mapa de Índice de Geodiversidade, mostrou ser importante e de elevada contribuição para a gestão territorial, e também para uma análise futura do geoturismo do município de Arraial do Cabo, já que mostra as áreas com maior concentração dos elementos que podem vir a ser de interesse geoturístico, além de mostrar como a concentração desses elementos podem também representar riscos ao próprio ecossistema com uma possível exploração inadequada do local.

6.2. Avaliação Qualitativa (Mapa de Geodiversidade)

O Mapa de Geodiversidade do município de Arraial do Cabo também é outro produto importante deste trabalho, que mostra agora as Unidades de Geodiversidade, e não mais em forma de contagem em matriz. Santos *et al.* (2019), demonstram que a distribuição dos elementos abióticos (geologia, geomorfologia, pedologia e hidrografia) em um território permite a definição de Unidades de Geodiversidade pela integração entre esses elementos para cada Unidade, verificando como um influencia o outro.

Através da correlação entre os mapas geológico, geomorfológico, pedológico e hidrográfico, e de informações complementares da bibliografia estudada, foi possível definir classes e delimitar as Unidades de Geodiversidade. A pedologia, porém, não demonstrou ser um fator essencial para a definição de cada unidade, sendo importante somente para a caracterização das unidades.

A abordagem qualitativa deste trabalho baseia-se no conceito de geodiversidade segundo Gray (2013), que corresponde a variedade natural de elementos geológicos, geomorfológicos (formas de relevo e processos físicos), pedológicos (solos) e hidrográficos, incluindo suas contribuições para a paisagem.

Pela sobreposição dos mapas geológico, geomorfológico, pedológico e hidrográfico através de ferramentas do *software* ArcGIS, foi possível realizar uma associação entre os elementos e os dividir em Unidades de Geodiversidade que foram descritas e classificadas de acordo com suas características. Além disso, foram analisadas as potencialidades, limitações e serviços ecossistêmicos de cada unidade, já que, dentro dos estudos de geodiversidade, um

tema cada vez mais fomentado é justamente o destaque que os elementos do meio físico possuem nos serviços ecossistêmicos (Gray, 2013; Gray *et al.*, 2013).

Os resultados demonstram que o município de Arraial do Cabo apresenta áreas propícias para pesquisa científica e conservação ambiental. Existem diversas limitações ao desenvolvimento de ocupações urbanas na região devido a presença de áreas de UCs, de áreas sujeitas a inundação, áreas de salinas desativadas e de alta ou média declividade. Além disso, foi possível definir quais áreas apresentavam potenciais ou limitações para atividades como extrativismo, ecoturismo, geoturismo, etc. A ocupação antrópica e o turismo excessivo, com alta circulação de veículos nos esporões da Lagoa de Araruama, podem afetar essas feições arenosas na parte emersa ou mesmo interromper o fluxo de sedimentos relacionado ao desenvolvimento dos esporões. Atualmente, o Parque Estadual da Costa do Sol (PECS) protege parcialmente o esporão da Ponta da Acaíra e o esporão mais a oeste, porém não o suficiente para garantir a continuidade dos processos envolvidos na formação dessas áreas.

Dessa forma, observa-se que a avaliação qualitativa da geodiversidade mostrou resultados interessantes, complementando os resultados obtidos na avaliação quantitativa. A definição das potencialidades e limitações ao uso de cada Unidade de Geodiversidade e seus serviços ecossistêmicos (em escala de paisagem), constitui um importante produto para o planejamento, gestão e ordenamento do território.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nas últimas décadas, o tema geodiversidade vem crescendo significativamente e ganhando cada vez mais espaço e notoriedade no meio acadêmico, com diversos estudos ambientais com foco para a conservação da natureza, gestão e ordenamento territorial, e também discussões sobre diferentes abordagens de avaliação. Isso possibilitou o desenvolvimento de diversas metodologias para a avaliação da geodiversidade, gerando não só discussões metodológicas como também conceituais. No entanto, estes ainda estão em processo de desenvolvimento, uma vez que existe uma dificuldade em replicar o método para áreas diferentes sem adaptações significativas, mas cada município ou região apresenta suas particularidades. Assim, é importante a realização de mais estudos e pesquisas sobre o tema a fim de validar os métodos existentes para determinados municípios ou testar novos para implementar suas aplicações.

Com isso, o objetivo deste trabalho foi realizar um levantamento da geodiversidade do município de Arraial do Cabo (RJ), através das avaliações quantitativa e qualitativa da geodiversidade, com adaptações nas abordagens propostas em estudos anteriores. A partir dessas análises, buscou-se apresentar áreas de maior e menor riqueza de geodiversidade no município, além de definir Unidades de Geodiversidade identificando suas potencialidades, limitações e os serviços ecossistêmicos a elas associados. Sob essa perspectiva, o estudo pretende contribuir com a ampliação do conceito de geodiversidade, bem como contribuir para trabalhos futuros avançarem em discussões metodológicas e tratar de temáticas relacionadas à gestão territorial, análise de serviços ecossistêmicos, geoturismo, etc.

O Mapa de Índice de Geodiversidade é uma importante ferramenta para verificar a riqueza e distribuição espacial dos elementos do meio físico em uma determinada área. A metodologia que envolveu a realização da quantificação, gerando o Mapa de Índice de Geodiversidade, foi a mais adequada e já testada em trabalhos similares anteriores, utilizando uma base georreferenciada dos mapas geológico, geomorfológico, pedológico e hidrográfico. Verificou-se neste trabalho que a escala dos dados pode ter influenciado a um menor índice de geodiversidade em áreas onde se sabe que possuem alta riqueza (a partir da bibliografia estudada), como é o caso do Pontal do Atalaia, do Brejo do Espinho e da Ilha do Cabo Frio. Do mesmo modo, uma das questões do Mapa de Índice de Geodiversidade é a escala de cada mapa que vai compor o todo. Caso um dos mapas não possua detalhamento suficiente, concordante com os demais, também pode falsear uma área mais rica.

Outro ponto a se considerar para a avaliação quantitativa é a necessidade de incorporar discussões sobre a geodiversidade marinha (geologia e geomorfologia de fundo oceânico; e a hidrologia), afinal a porção do Oceano Atlântico que corresponde ao município é uma região que agrega valor econômico, turístico e científico e que possui impactos gerados pelas atividades relacionadas, principalmente do setor petrolífero e turístico dado o grande número de barcos que trafegam na área.

Como ainda há uma dificuldade em replicar o método para áreas diferentes sem adaptações significativas, por hora entende-se que áreas como Arraial do Cabo necessitam de uma análise individual antes de definir uma metodologia de avaliação quantitativa com base em trabalhos anteriores.

Já o Mapa de Geodiversidade, obtido a partir de uma abordagem qualitativa da geodiversidade em escala de paisagem com a criação de Unidades de Geodiversidade por meio da integração dos componentes da geodiversidade, apresenta uma resposta clara a essa integração, exibindo as diferentes potencialidades e limitações de cada unidade, indicando locais adequados para ocupações urbanas, atividades turísticas e também extrativistas. Ademais, a incorporação dos serviços ecossistêmicos à análise trouxe a possibilidade de enriquecer ainda mais o produto, já que cada unidade apresenta um contexto diferente nesse sentido. Por fim, o Mapa de Geodiversidade mostra a importância do conceito de geodiversidade realizando a análise integrada com base holística e de sustentabilidade, com importante contribuição para o planejamento e gestão territorial.

Dessa forma, a análise do meio físico de Arraial do Cabo e a relação entre os seus elementos através de avaliação qualitativa e quantitativa, permitiu obter resultados importantes acerca de sua geodiversidade, podendo ser utilizados em trabalhos futuros no município. Do ponto de vista de interpretação dos resultados, o mapa qualitativo (Mapa de Geodiversidade) representa melhor a geodiversidade do município em relação ao quantitativo (Mapa de Índice de Geodiversidade). Mesmo com as limitações potenciais do Mapa de Índice de Geodiversidade, ambos os produtos mostram-se importantes para estudos de gestão territorial, auxiliam na compreensão da sua geodiversidade e distribuição no espaço, permitindo que a interação entre sociedade e natureza seja de forma mais sustentável. No entanto, ainda são necessários estudos adicionais que promovam a aplicação do conceito de geodiversidade em políticas de gestão territorial, de conservação da natureza e de geoturismo. O avanço dessas pesquisas contribuirá para ampliar a divulgação e a compreensão do conceito, bem como favorecer a consolidação de metodologias passíveis de aplicação em diferentes contextos e diferentes áreas de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. F. M. 1977, 'O cráton do São Francisco'. *Revista Brasileira de Geociências*, vol. 7, no. 4, pp. 349–364.
- ALMEIDA, F. F. M. 1983, 'Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas da região meridional da plataforma sul-americana'. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, vol. 13, no. 3, pp. 139–158.
- ALMEIDA, F. M. 1986, 'Distribuição regional e relações tectônicas do magmatismo pós-paleozóico no Brasil'. *Revista Brasileira de Geociências*, no. 16, pp. 334–335.
- ALMEIDA, F. F. M. 1991, 'O alinhamento magmático de Cabo Frio'. In: *SBG/Núcleos São Paulo e Rio de Janeiro*, 2°. Simpósio de Geologia do Sudeste, Atlas, pp. 423–428.
- ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B. de; FUCK, R. A. 1981, 'Brazilian Structural Provinces: An Introduction'. *Earth-Science Reviews*, Amsterdam, vol. 17, no. 1–2, pp. 1–29.
- ALMEIDA, F. F. M.; CARNEIRO, C. D. R.; MIZUSAKI, A. M. P. 1996, 'Correlação do Magmatismo das Bacias da Margem Continental Brasileira com o das Áreas Emersas Adjacentes'. *Revista Brasileira de Geociências*, vol. 26, no. 3, pp. 125–138.
- ALMEIDA, J. C. H.; HEILBRON, M. D. C. P. L.; da SILVA, R.; JÚNIOR, D. D. L. M.; TETZNER, W. 2013, 'Guia de campo na Área Continental do Alto de Cabo Frio'.
- ALVES, C. B. 2016, 'Evolução Geomorfológica do Brejo do Espinho (Região dos Lagos - RJ)'. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- ALVES, A. R.; WASSERMAM, J. C. F. A.; FERNANDEZ, G. B. 2006, 'Potencial de formação de Esporões em Lagunas'. In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia, Anais. Goiânia, SINAGEO, vol. 1, pp. 1–8.
- AMARAL, G.; BUSHEE, J. C. U. G.; CORDANI, U. G.; KAWASHITA, K.; REYNOLDS, J. H. 1967, 'Potassium-argon ages of alkaline rocks from southern Brazil'. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, no. 31, pp. 117–142.
- ANJOS, A.P.A.; SIFEDDINE, A.; PATCHINEELAM, S. R.; TURCQ, B. J. & ABRÃO, J. J. 2005, 'Dolomita e calcita magnesiana: Análise paleoambiental na lagoa Brejo do Espinho (RJ/Brasil)'. In: *Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário*, 10. Resumos expandidos, Guarapari.
- ARAÚJO, A.L. 1995, 'Geologia, geoquímica e petrologia das rochas alcalinas da Ilha do Cabo Frio e das áreas continentais adjacentes, Arraial do Cabo - RJ'. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Geologia. Universidade Federal Fluminense. Niterói. pp. 114.

AREIAS, C. *et al.*, 2022, ‘Organic matter diagenesis and precipitation of Mg-rich carbonate and dolomite in modern hypersaline lagoons linked to climate changes’. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 337, pp. 14–32.

AROUCA GEOPARK. 2011, ‘Declaração de Arouca’. *Congresso Internacional de Geoturismo – Geotourism in Action*. Arouca Geopark, Portugal.

AUSTRALIAN HERITAGE COMMISSION. 2002, Australian Natural Heritage Charter, 2nd ed., Australian Heritage Commission, Canberra. Disponível em: <<http://www.ahc.gov.au/publications/anhc/>>. Acesso em: 12 de março de 2024.

BARBIÈRE, E. B. 1975, ‘Ritmo climático e extração do sal em Cabo Frio’. *Revista Brasileira de Geografia*, vol. 37, no. 4, pp. 23–109.

BARBIÈRE, E. B.; KRONEMBERGER, D. M. P. 1994, ‘Climatologia do litoral Sul-Sudeste do Estado do Rio de Janeiro’. *Cadernos de Geociências*, Rio de Janeiro: FIBGE, vol. 12, pp. 57–73.

BARBOSA, D. S. 2003, ‘Sedimentação Orgânica na Lagoa Brejo do Espinho (Cabo Frio, RJ): Composição e Implicações Paleoclimáticas’. Niterói, pp. 90. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Fluminense.

BOHRER, C. B. A. *et al.* 2009, ‘Mapeamento da vegetação e do uso do solo no Centro de Diversidade Vegetal de Cabo Frio, Rio de Janeiro, Brasil’. *Rodriguésia*, Rio de Janeiro, vol. 60, no. 1, pp.1–23.

BENEDET, M. S. 2011, ‘Planejamento ambiental regional: livro didático’. Palhoça: Universidade do Sul de Santa Catarina virtual. 1ª ed. revista, pp. 189.

BERTRAND, G. 1972, ‘Paisagem e Geografia Física Global: ensaio metodológico’. *Cadernos de Ciência da Terra*, São Paulo, vol. 13, pp. 1–27.

BRANCO, P.C.M.P. de A.; RAMALHO, R. 1984, ‘Projeto Lagoa de Araruama: Relatório Final’. Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM). Relatório no. 1640. Rio de Janeiro, vol. 1, pp. 84.

BRASIL. 1997, Lei Federal nº 9.985, no Decreto s/nº de 3 de janeiro de 1997. Dispõe sobre a criação da Reserva Extrativista Marinha do Arraial do Cabo, no município de Arraial do Cabo, Estado do Rio de Janeiro, e dá outras providências. *Diário Oficial: República Federativa do Brasil*.

BRASIL. 1981, Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. *Diário Oficial: República Federativa do Brasil: seção 1, Brasília, DF*, pp. 16509.

BRILHA, J. B. R. 2005, ‘Património Geológico e Geoconservação: A Conservação da Natureza na sua vertente Geológica’. Coimbra: Editora Palimage, pp. 190.

BRITO NEVES, B. B.; FUCK, R. A. 2013, ‘The Neoproterozoic evolution of the basement of the South American platform’. *Journal of South American Earth Science*, vol. 47, pp. 72–89.

BROTZU, P.; BARBIERI, M.; BECCALUVA, L.; GARBARINO, C.; GOMES, C. B.; MACCIOTTA, G.; MELLUSO, L.; MORBIDELLI, L.; RUBERTI, E.; SIGOLO, J. B.; TRAVERSA, G. 1992, 'Petrology and geochemistry of the Passa Quatro alkaline complex, southeastern Brazil'. *Journal of South American Earth Sciences*, vol. 6, pp. 237–252.

BROTZU, P.; BECCALUVA, L.; CONTE, A.; FONSECA, M.; GARBARINO, C.; GOMES, C. B.; LEONG, R.; MACCIOTTA, G.; MANSUR, R. L.; MELLUSO, L.; MORBIDELLI, L.; RUBERTI, E.; SIGOLO, J. B.; TRAVERSA, G.; VALENÇA, J.G. 1989, 'Petrological and geochemical studies of alkaline rocks from continental Brazil: The syenitic intrusion of Morro Redondo, RJ'. *Geochimica Brasiliensis*, São Paulo, vol. 3, pp. 63–80.

BROTZU, P.; GOMES, C. B.; MELLUSO, L.; MORBIDELLI, L.; MORRA, V.; RUBERTI, E. 1997, 'Petrogenesis of coexisting SiO₂–undersaturated to SiO₂–oversaturated felsic igneous rocks: The alkaline complex of Itatiaia, southern eastern Brazil'. *Lithos*, vol. 40, pp. 133–156.

BROTZU, P.; MELLUSO, L.; BENNIO, L.; GOMES, C. B.; LUSTRINO, M.; MORBIDELLI, L.; MORRA, V.; RUBERTI, E.; TASSINARI, C.; D'ANTONIO, M. 2007, 'Petrogenesis of the Early Cenozoic potassic alkaline complex of Morro de São João, southeastern Brazil'. *Journal of South American Earth Sciences*, vol. 24, pp. 93–115.

BURNS, S. J.; MCKENZIE, J. A.; VASCONCELOS, C. O. 2000, 'Dolomite formation and biochemical cycles in the Phanerozoic'. *Sedimentology*, Oxford, vol. 47, no. 1, pp. 49–61.

CAMPOS NETO, M. C. 2000, 'Orogenic systems from Southwestern Gondwana, an approach to Brasileiro Pan African cycle and orogenic collage in Southeastern Brazil'. In: CORDANI, U. G., MILANI, E. J., THOMAZ FILHO, A. & CAMPOS, D. A. (eds) Tectonic Evolution of South America, 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro, pp. 335–365.

CARCAVILLA, L.; DURÁN, J. J.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. 2008, 'Geodiversidad: concepto y relación con el patrimonio geológico'. *Geo-Temas*, 10, pp. 1299–1303. VII Congreso Geológico de España. Las Palmas de Gran Canaria.

CARVALHO, J. G. da S.; MINELLO, M.; da SILVA, A. P.; BASTOS, R. S.; Brizzi, R. R. 2021, 'Rejeitos e rejeitados da Companhia Nacional de Álcalis, Arraial do Cabo-RJ: apontamentos para um estudo interdisciplinar'. *GEOgraphia*, Niterói, vol. 23, no. 50. Acesso em: 10 de junho de 2026. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/382908076_Exploring_ecoacoustic_indices_in_response_to_soundscapes_in_a_marine_protected_area_exposed_to_coastal_upwelling>.

CARVALHO FILHO, A.; CENTURION, J.F.; SILVA, R.P.; TEIXEIRA, D. S.; REQUI, E.; HOLLMANN, G. 2001, 'Rugosidade do solo sob diferentes sistemas de preparo'. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 28. Londrina. Anais. *Londrina: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, pp. 248.

CARVALHO FILHO, A. de; LUMBRERAS, J. F.; SANTOS, R. D. dos. 2000, 'Os Solos do Estado do Rio de Janeiro'. Estudo Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Executado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

(Embrapa Solos), Ministério da Agricultura e do Abastecimento. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Brasília.

CASTRO, J. W. A.; SUGUIO, K.; CUNHA, A. M. da; GUEDES, E.; TÂMEGA, F. T. de S.; RIOSMENA-RODRIGUEZ, R. 2012, 'Rochas de praia (beachrocks) da Ilha do Cabo Frio, Arraial do Cabo: registro geológico ímpar da transição Pleistoceno – Holoceno no Estado do Rio de Janeiro'. *Anuário do Instituto de Geociências*, vol. 35, no. 1, pp. 236-241, Tradução. Acesso em: 14 maio 2025.

CORVAL, A. 2005, 'Petrogênese das suítes basálticas toleíticas do Enxame de Diques da Serra do Mar nos setores central e norte do estado do Rio de Janeiro'. pp. 92. Dissertação (Mestrado), Departamento de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

CPRM. 2006, 'Mapa Geodiversidade do Brasil, Escala 1:2.500.000'. Relatório Técnico e Legenda Expandida. Programa de Levantamento da Geodiversidade. Brasília: CPRM, Serviço Geológico do Brasil. pp. 68. CD-ROM. Disponível em: <<https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/10169>>. Acesso em: 29 de maio de 2025.

DANTAS, M. E. 2000, 'Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro'. Estudo Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Brasília. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/bitstream/doc/17229/5/rel_proj_rj_geomorfologia.pdf>. Acesso em: 18 de novembro de 2025.

DANTAS, M. E.; ARMESTO, R.C.G.; SILVA, C.R.; SHINZATO, E. 2015, 'Geodiversidade e análise da paisagem: uma abordagem teórico-metodológica'. *Terra e Didática*, vol. 11, no.1, pp. 4–13.

DAVIS, E. G. & NAGHETTINI, M. C. 2001, 'Estudo de chuvas intensas no Estado do Rio de Janeiro'. 2ª Ed. Revista e ampliada. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Brasília. In: CARVALHO FILHO, Amaury de et al. *Projeto Rio de Janeiro: Estudo Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro*. Brasília: CPRM, 2001. Escala 1:500.000. Programa de Informações para Gestão Territorial – GATE.

DECKART, K.; FÉRAUD, G.; MARQUES, L.S.; BERTRAND, H. 1998, 'New time constraints on dykeswarms related to the Paraná-Etendeka magmatic province, and subsequent South Atlantic opening, southeastern Brazil'. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 80, pp. 67–83.

DIAS, Fabio F. et al. 2009, 'Indicadores de Mudanças Climáticas e de Variações do Nível do Mar na Costa do Rio de Janeiro: Aquecimento ou Resfriamento?'. *Observatorium, Revista Eletrônica de Geografia*, Uberlândia, MG, vol. 1, no. 1, pp. 21–32.

DIAS, Fabio F.; SEOANE, José Carlos S.; CASTRO, João Wagner A. 2009, 'Evolução da Linha de Praia do Peró, Cabo Frio/RJ nos últimos 7.000 anos'. *Anuário do Instituto de Geociências da UFRJ*, Rio de Janeiro, vol. 32, no. 1, pp. 9–20.

DIXON, G. 1995, 'Aspects of Geoconservation in Tasmania: a Preview of Significant Earth Features'. Report to the *Australian Heritage Commission*, Occasional Paper 32. *Parks & Wildlife Service, Tasmania*.

DIXON, G. 1996a, 'Geoconservation: an International Review and Strategy Significance on Tasmania'. Occasional Paper 35. *Parks & Wildlife Service, Tasmania*.

DIXON, G. 1996b, 'A Reconnaissance Inventory of Sites of Geoconservation Significance on Tasmania Island'. Report to *Parks & Wildlife Service, Tasmania and Australian Heritage Commission*.

EBERHARD, R. (Ed.). 1997, 'Pattern and process: towards a regional approach to national estate assessment of geodiversity'. Technical Series, no. 2. *Australian Heritage Commission; Environment Forest Taskforce, Environment Australia, Canberra*, 1997.

EMBRAPA SOLOS. 2021, 'Solos Tropicais: Cambissolos Háplicos'. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/cambissolos/cambissolos-haplicos>>. Acesso em 28 de setembro de 2024.

FIGUEIREDO, G. R. 2019, 'Caracterização petrográfica e geoquímica do magmatismo no Pontal do Atalaia, município de Arraial do Cabo-RJ'. Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

FERNANDEZ, G. B. e ROCHA, T. B. 2015, 'Barreiras costeiras holocênicas: geomorfologia e arquitetura deposicional no litoral do Rio de Janeiro'. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, vol. 16, no. 2, pp. 301–319.

FONSECA, A. W. B.; SILVA, M. C. P. 2012, 'Planejamento, gestão do território, políticas públicas e seus rebatimentos no espaço rural brasileiro'. In: XXI Encontro Nacional de Geografia Agrária, Uberlândia (MG). UFU, pp. 1–20.

FORTE, J. P. 2014, 'Avaliação quantitativa da geodiversidade: desenvolvimento de instrumentos metodológicos com aplicação ao ordenamento do território'. 347f. Tese (Doutoramento em Ciências) - Especialidade de Geologia, Universidade do Minho, Braga, Portugal.

FREITAS, I. M. 2006, 'Efeitos ambientais de Barragens Subterrâneas na Microbacia do Córrego Fundo, Região dos Lagos/RJ'. pp. 110. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro.

GARCEZ, J. G. 2020, 'Educação Ambiental no Estado de Santa Catarina: um caminho para a efetivação do estado de direito do ambiente'. Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento Rural, Universidade de Cruz Alta (UNICRUZ), Cruz Alta, Rio Grande do Sul.

GARDA, G. M. 1995, 'Os diques básicos e ultrabásicos da região costeira entre as cidades de São Sebastião e Ubatuba, Estado de São Paulo', pp. 156. Tese (Doutorado), Departamento de Geologia, Universidade de São Paulo, São Paulo.

GEOPARQUE COSTÕES E LAGUNAS DO RIO DE JANEIRO. Sítios: Arraial do Cabo. Disponível em: <<https://www.geoparquecostoeselagunas.com/arraial-do-cabo/>>. Acesso em: 28 de novembro de 2025.

GERALDES, M. C.; MOTOKI, A.; VARGAS, T.; IWANUCH, W.; BALMANT, A.; MOTOKI, K. F. 2013, 'Geology, petrography, and emplacement mode of the Morro dos Gatos alkaline intrusive rock body, State of Rio de Janeiro, Brazil'. *Geociências*, Rio Claro, vol. 32, no. 4, pp. 625–639.

GIBSON, S. A.; THOMPSON, R. N.; LEONARDOS, O. H.; DICKIN, A. P.; MITCHELL, J. G. 1995, '*The Late Cretaceous impact of the Trindade mantle plume: evidence from large-volume, mafic potassic magmatism in SE Brazil*'. *Journal Petrol*, vol. 36, pp. 189–229.

GIBSON, S. A.; THOMPSON, R. N.; WESKA, R. K.; DICKIN, A. P.; LEONARDOS, O. H. 1997, 'Late Cretaceous rift-related upwelling and melting of the Trindade starting mantle plume head beneath western Brazil'. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, vol. 126, pp. 303–314.

GOMES, N. F. 2009, 'Análises de Circulação Hidrodinâmica e de Transporte de Sal em um Estuário Hipersalino: Lagoa de Araruama – RJ'. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE Programa de Engenharia Oceânica. Disponível em: <https://www.livrosgratis.com.br/ler-livro-online-84186/analises-de-circulacao-hidrodinamica-e-de-transporte-de-sal-em-um-estuario-hipersalino--lagoa-de-araruama---rj>. Acesso em: 10 de junho de 2026.

GONÇALVES, J. B. 2018, 'Mapeamento da geodiversidade do município de Miguel Pereira-RJ: abordagens metodológicas e sua contribuição para a gestão territorial'. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação. *Pantheon: Repositório Institucional da UFRJ*. Rio de Janeiro.

GONÇALVES, J.; MANSUR, K.; SANTOS, D.; HENRIQUES, R.; PEREIRA, P. 2020, 'A discussion on the quantification and classification of geodiversity indices based on GIS methodological tests'. *Geoheritage*, vol. 12, pp. 38.

GORDON, J. E.; BAILEY, J. J.; LARWOOD, J. G. 2022, 'Conserving nature's stage provides a foundation for safeguarding both geodiversity and biodiversity in protected and conserved areas'. *Parks Stewardship Forum*, vol. 38, pp. 46–55.

GRAY, M. 2004, 'Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature'. *New York: John Wiley & Sons Ltd*, 434 pp.

GRAY, M. 2013, 'Geodiversity: Valuing and Conserving Abiotic Nature'. Londres: *Wiley Blackwell*, pp. 495.

GRAY, M.; GORDON, J. E.; BROWN, E. J. 2013, 'Geodiversity and the ecosystem approach: the contribution of geoscience in delivering integrated environmental management'. *Proceedings of the Geologists' Association*, vol. 124, no. 4, pp. 659–673.

GUEDES, Eliane. 2001, 'Magmatismo Mesozóico-Cenozóico no embasamento das bacias de Resende e Volta Redonda: Petrologia, geocronologia e caracterização tectônica'. pp. 116. Dissertação (Mestrado), Departamento de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

GUEDES, E. *et al.* 2005, 'K-Ar and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages of dikes emplaced in the onshore basement of Santos Basin, Resende area, SE Brazil: implications for the south Atlantic opening and Tertiary reactivation'. *Journal of South American Earth Sciences*, Oxford, vol. 18, no. 3–4, pp. 371–382.

HEILBRON, M.; CORDANI, U. G.; ALKMIM, F. F. 2017a, 'The Ribeira Belt'. *Regional Geology Reviews: São Francisco Craton, Eastern Brazil*, c. 15, pp. 277–302.

HEILBRON, M.; CORDANI, U. G.; ALKMIM, F. F. 2017b, 'The São Francisco Craton and Its Margins'. *Regional Geology Reviews: São Francisco Craton, Eastern Brazil*, c. 1, pp. 3–13.

HEILBRON, M.; DUARTE, B. P.; NOGUEIRA, J. R. 1998, 'The Juiz de Fora Granulite Complex of the Central Ribeira Belt, SE Brazil: a Paleoproterozoic Crustal Segment Thrust During the Pan-African Orogeny'. *Gondwana Research*, vol. 1, no. 3–4, pp. 373–381.

HEILBRON, M.; MACHADO, N. 2003, 'Timing of terrane accretion in the Neoproterozoic–Eopaleozoic Ribeira orogen (SE Brazil)'. *Precambrian Research*, vol. 125, no. 1–2, pp. 87–112.

HEILBRON, M., MOHRIAK, W., VALERIANO, C. M., MILANI, E., ALMEIDA, J. C. H. & TUPINAMBÁ, M. 2000, 'From collision to extension: the roots of the south-eastern continental margin of Brazil'. In: TALWANI, M. & MOHRIAK, W. (eds) *Atlantic Rifts and Continental Margins. American Geophysical Union, Geophysical Monographs*, vol. 115, pp. 1–34.

HEILBRON, M.; PEDROSA-SOARES, A. C.; CAMPOS NETO, M. C.; SILVA, L. C.; TROUW, R. A. J.; JANASI, V. A. 2004, 'Província Mantiqueira'. In: *Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo.

HEILBRON, M.; VALERIANO, C. D. M.; TASSINARI, C. C. G.; ALMEIDA, J.; TUPINAMBA, M.; SIGA JR, O.; TROUW, R. A. J. 2008, 'Correlation of Neoproterozoic terranes between the Ribeira Belt, SE Brazil and its African counterpart: comparative tectonic evolution and open questions'. *Geological Society, London, Special Publications*, vol. 294, no. 1, pp. 211–237.

HOSE, T. A. 1995, 'Selling the Story of Britain's Stone'. *Environmental Interpretation*, vol. 2, pp. 16–17.

HOSE, T. A. 2012, '3G's for modern geotourism'. *Geoheritage*, vol. 4, no. 1–2, pp. 7–24.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2022b, 'Malha Municipal Digital e Áreas Territoriais'. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>>. Acesso em 2 de setembro de 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2022a, 'Panorama Arraial do Cabo – Território: Mapa Área da Unidade Territorial'. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/arraial-do-cabo/panorama>>. Acesso em 12 de março de 2024.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBio). [s.d.], ‘Reserva Extrativista Marinha do Arraial do Cabo’. Lista de Unidades de Conservação (UCs). Disponível em: <<https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/marinho/lista-de-ucs/resex-marinha-do-arraial-do-cabo>>. Acesso em: 1 de julho de 2026.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (INEA). [s.d.], ‘Área de Proteção Ambiental Estadual da Massambaba’. Conheça as Unidades de Conservação. Disponível em: <<https://www.inea.rj.gov.br/biodiversidade-territorio/conheca-as-unidades-de-conservacao/ap-a-de-massambaba/>>. Acesso em: 1 de julho de 2026.

KIERNAN, K. 1994, ‘The geoconservation significance of Lake Pedder and its contribution to geodiversity’. *Unpublished Report to the Lake Pedder Study Group*.

KIERNAN, K. 1996, ‘The conservation of glacial landforms’. *Forest Practices Unit*, Hobart.

KIERNAN, K. 1997, ‘The conservation of landforms of coastal origin’. *Forest Practices Board*, Hobart.

KOZŁOWSKI, S. 2004, ‘Geodiversity: The concept and scope of geodiversity’. *Przegląd Geologiczny*, vol. 52, no. 8/2, pp. 833–837.

LEPSCH, I. F. 2010, ‘Formação e Conservação dos Solos’. 2ª ed. São Paulo: *Oficina de Textos*.

LOPES, R. A. S. 2021, ‘Evolução metamórfica dos corpos máficos da Suíte José Gonçalves na Seção Forte São Mateus - Praia das Conchas, Cabo Frio (RJ)’. Trabalho Final de Curso: Graduação em Geologia – Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, xi, pp. 85.

LUCENA, L. L. de. 2023, ‘Estudos Magnéticos do Enxame de Diques Serra do Mar no Município de Arraial do Cabo’. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

LUIZ, M. C. V; VALENTE, S. C. 2015, ‘Avaliação da Cogeneticidade por Cristalização Fracionada entre Basanitos e Traquitos insaturados em sílica do Pontal do Atalaia, Arraial do Cabo, RJ’. *III Reunião Anual de Iniciação Científica da UFRuralRJ. XXV Jornada de Iniciação Científica & III Semana de Pesquisa, Tecnologia e Inovação*. Disponível em: <<https://eventos.ufrj.br/raic/iii-raic/page/3/>>. Acesso em: 25 de agosto de 2025.

LUMBRERAS J. F.; CARVALHO FILHO, A.; CALDERANO FILHO, B.; SANTOS, R. D. 2001, ‘Levantamento pedológico, vulnerabilidade e potencialidade ao uso das terras – Quadricula de Silva Jardim e Rio das Ostras, Estado do Rio de Janeiro’. *Embrapa Solos*, Rio de Janeiro.

MAFRA, F.; SILVA, J. A. 2004, ‘Planejamento e gestão do território’. *Sociedade Portuguesa de Inovação*, Porto (Portugal).

- MAIA, M. A. M. & CASTRO, J. W. A. 2015, 'Methodological proposal for characterization of marine geodiversity in the South Atlantic: Vitória-Trindade Ridge and adjacent areas, Southeast of Brazil'. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, vol. 15, no. 3, pp. 293–309.
- MALTA, J.V.; CASTRO, J.W.A.; OLIVEIRA, C.A.; COUTO, C. 2017, 'Rochas de praia "beachrocks" da Ilha do Cabo Frio - Litoral do estado do Rio de Janeiro - Sudeste brasileiro: Gênese e geocronologia'. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, vol. 18, no. 2, pp. 397–409.
- MANSUR, K. L. 2010, 'Ordenamento Territorial e Geoconservação: Análise das Normas Legais Aplicáveis no Brasil e um Caso de Estudo no Estado do Rio de Janeiro'. *Revista Geociências UNESP*, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro (SP), vol. 29, no. 2, pp. 237–249.
- MANSUR, K. L.; GUEDES, E.; ALVES, M. G.; NASCIMENTO, V.; PRESSI, L. F.; COSTA JR, N.; PESSANHA, A.; NASCIMENTO, L. H.; VASCONCELOS, G. 2012, 'Geoparque Costões e Lagunas do Estado do Rio de Janeiro (RJ): proposta'. *Livro Geoparques do Brasil: Propostas*. vol. 1, c. 19, pp. 689–738.
- MANSUR, K. L.; SILVA, D. R.; SILVA JÚNIOR, G. C.; BORGHI, L.; LAMEGO, V. E.; VERBICARIO, M. E. T.; GONÇALVES, R. R. T.; RIENTE, U. L. 2018, 'Estromatólitos da Lagoa Salgada: vida produzindo rocha'. Livreto Série 2 *Geossítios*, Geoparque Costões e Lagunas do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- MANSUR, K. L. 2018, 'Patrimônio geológico, geoturismo e geoconservação: uma abordagem da geodiversidade pela vertente geológica'. In: *Geoturismo, Geodiversidade e Geoconservação: abordagens geográficas e geológicas*. São Paulo: Oficina de Textos, pp. 1–49.
- MARTIN, L.; SUGUIO, K.; FLEXOR, J.; DOMINGUEZ, J.; BITTENCOURT, A.C.S.P. 1996, 'Quaternary Sea-level History and Variation in Dynamics along the Central Brazilian Coast: Consequences on Coastal Plain Construction'. *Anais Academia Brasileira de Ciências*. vol. 68, no. 3, pp. 303–54.
- MARTIN, S.; REYNARD, E.; PELLITERO, R.O. *et al.* 2014, 'Multi-scale Web Mapping for Geoheritage Visualisation and Promotion'. *Geoheritage*, vol. 6, pp. 141–148.
- MARTINS, E. G. 2014, 'Caracterização Organofaciológica de Três Testemunhos (BE-02, BE-07 e BE-09) do Brejo do Espinho'. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- MIZUSAKI, A. M. P.; THOMÁS FILHO, A.; VALENÇA, J. G. 1988, 'Volcano sedimentary sequence of Neocomian age in Campos Basin (Brazil)'. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, vol.3, no. 18, pp. 247–251.
- MOCHIUTTI, N. F.; GUIMARÃES, G. B.; MELO, M. S. 2011, 'Os Valores da Geodiversidade na Região de Pirai da Serra, Paraná'. *Geociências UNESP*, vol. 30, no. 4, pp. 651–668.

MOCHIUTTI, N. F.; GUIMARÃES, G. B.; MOREIRA, J. C.; LIMA, F. F.; FREIRAS, F. I. 2012, 'Os Valores da Geodiversidade: Geossítio do Geopark do Araripe/CE'. *Anuário do Instituto de Geociências da UFRJ*, vol. 35, no. 1, pp. 173–189.

MOHRIAK, W. U.; BARROS, A. Z. 1990, 'Novas evidências de tectonismo cenozóico na região sudeste do Brasil: o gráben de Barra de São João na plataforma continental de Cabo Frio, Rio de Janeiro'. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, vol. 20, no. 1–4, pp. 187–196.

MOTA, C. E. M. 2012, 'Petrogênese e geocronologia das intrusões alcalinas de Morro Redondo, Mendanha e Morro de São João: Caracterização do magmatismo alcalino no Estado do Rio de Janeiro e implicações geodinâmicas'. pp. 204. Tese de doutorado. *Programa de Pós-Graduação em Análise de Bacias e Faixas Móveis*. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MOTA, C. E. M.; GERALDES, M. C.; ALMEIDA, J. C. H.; VARGAS, T.; SOUZA, D. M. S.; LOUREIRO, R. O.; SILVA, A. P. 2009, 'Características isotópicas (Nd e Sr), geoquímicas e petrográficas da intrusão alcalina do Morro de São João: Implicações geodinâmicas sobre a composição do manto litosférico'. *Geociências*, vol. 9, no. 1, pp. 85–100.

MOTOKI, A.; SICHEL, S. E. 2008b, 'Hydraulic fracturing as possible mechanism of dyke-sill transition and horizontal discordant intrusion: an example of Arraial do Cabo area, State of Rio de Janeiro, Brazil'. *Geofísica Internacional*, Ciudad del México, vol. 47, no. 1, pp. 13–25.

MOTOKI, A.; GERALDES, M. C.; IWANUCH, W.; VARGAS, T.; MOTOKI, K. F.; BALMANT, A.; RAMOS, M. N. 2012, 'Pyroclastic dyke and welded crystal tuff of the Morro dos Gatos alkaline intrusive complex, State of Rio de Janeiro, Brazil'. *Revista Escola de Minas (REM)*, vol. 65, no. 1, pp. 35–45.

MOTOKI, A.; SICHEL, S. E.; SOARES, R. S.; NEVES, J. L. P.; AIRES, J. R. 2008a, 'Geological, lithological, and petrographical characteristics of the Itaúna Alkaline Intrusive Complex, São Gonçalo, State of Rio de Janeiro, Brazil, with special attention of its emplacement mode'. *Geociências*, vol. 27, no. 1, pp. 33–44.

MOTOKI, A.; SICHEL, S. E.; VARGAS, T.; AIRES, J. R.; IWANUCH, W.; MELLO, S. L. M.; MOTOKI, K. F.; SILVA, S.; BALMANT, A.; GONÇALVES, J. 2010, 'Geochemical evolution of the felsic alkaline rocks of Tanguá, Rio Bonito, and Itaúna intrusive bodies, State of Rio de Janeiro, Brazil'. *Geociências*, vol. 29, no. 3, pp. 291–310.

MUEHE, D. 2006, 'Gênese da morfologia do fundo da Lagoa de Araruama e cordões litorâneos associados'. Processos do VI Simpósio Nacional de Geomorfologia, Goiânia, Brazil.

MUEHE, D. C. E. H. 2006, 'Erosão e progradação do litoral brasileiro'. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, vol. 1, 476 p.

MUEHE, D.; CORRÊA, C. H. T. 1989, 'Dinâmica de praia e transporte de sedimentos na restinga de Massambaba, RJ'. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, vol. 19, no. 3, pp. 387–392.

NASCIMENTO, M. A. L.; RUCHKYS, U. A.; MANTESSO-NETO, V. 2008, 'Geodiversidade, Geoconservação e Geoturismo: trinômio importante para a proteção do patrimônio geológico', 84 p.

NIETO, L.M. 2001, 'Geodiversidad: propuesta de una definición integradora'. In: *Boletín Geológico y Minero*, vol. 112, no. 2, pp. 3–12.

OLIVEIRA, F. M. 2016, 'Mapeamento Geológico e Geoquímica da Ilha do Cabo Frio, Arraial do Cabo, RJ'. 82 p. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Graduação em Geologia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

OLIVEIRA, S. M. C. 2024, 'A relação do Homem com a natureza: um olhar para a Lagoa de Araruama RJ'. Congresso Brasileiro de Geógrafos e Geógrafas, São Paulo. Disponível em: <https://www.cbg2024.agb.org.br/resources/anais/9/cbg2024/1726105574_ARQUIVO_4f847efc30ffb90ef76a47ebe732ee7e.pdf>. Acesso em: 10 de junho de 2026.

OLIVEIRA DE SÁ, A. C.; SILVA CARVALHO, M. E. 2024, 'Reflexões sobre a geodiversidade e a biodiversidade nas unidades de conservação em Sergipe'. *Geographia Meridionalis*, Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pelotas, vol. 7, p. e0240006.

PEATE, David W. 1997, 'The Paraná-Etendeka province'. In: MAHONEY, J. J.; COFFIN, M. F. (Eds.). *Large igneous provinces: continental, oceanic and planetary flood volcanism. American Geophysical Union. Monograph Series*, Washington DC., vol. 100, pp. 438.

PEIXOTO, C. A. B.; OLIVEIRA-COSTA, J. L. P. 2023, 'Geodiversidade e Biodiversidade no Bioma Pampa'. *Ciência Geográfica - Bauru* - XXVII, vol. XXVII - (2).

PEREIRA, R. G. F. A. 2010, 'Geoconservação e Desenvolvimento Sustentável na Chapada Diamantina (Bahia – Brasil)'. Tese de Doutorado, Escola de Ciências, Universidade do Minho, Braga, 318p.

PEREIRA, D.I; PEREIRA, P.; BRILHA, J. SANTOS, L. 2013, 'Geodiversity Assessment of Parana State (Brazil): An Innovative Approach'. *Environmental Management*, vol. 52, no. 3, pp. 541–552.

PEREIRA, T. G.; ROCHA, T. B.; FERNANDEZ, G. B. 2008, 'Geomorfologia e Morfodinâmica Costeira da Planície entre Cabo Frio e Arraial do Cabo - RJ'. *Anais do VII Simpósio Nacional de Geomorfologia/II Encontro Latino Americano de Geomorfologia*, Belo Horizonte.

RAMOS, R. R. C. *et al.* 2005, 'Terraço marinho da praia de José Gonçalves, município de Armação dos Búzios/RJ: evidência de variação do nível do mar holocênica no litoral do Rio de Janeiro'. In: *Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário*, 10., 6 p. Guarapari (ES).

REGELOUS, M. 1993, 'Geochemistry of dolerites from the Paraná flood basalt province, southern Brazil'. 200p. Tese (Doutorado), Open University.

RIO DE JANEIRO. 2011, 'Decreto Estadual nº 42.929 de criação do Parque Estadual da Costa do Sol'. Disponível em: <<https://www.saquarema.rj.gov.br/wp-content/uploads/2020/07/DECRETO-N%C2%B0-42.929-11-PCSOL.pdf>>. Acesso em: 24 de abril de 2024.

RIO DE JANEIRO. 2019, 'Plano de Manejo do Parque Estadual da Costa do Sol - Anita Mureb (PECS)'. Disponível em: <<https://www.saquarema.rj.gov.br/wp-content/uploads/2020/07/PLANO-DE-MANEJO-PCSOL-2019.pdf>>. Acesso em: 24 de abril de 2024.

RODRIGUES, T. F. 2018, 'Movimentação de dunas escalonares "*climbing dunes*" na Ilha do Cabo Frio, Arraial do Cabo, Rio de Janeiro no período de 2006 a 2017'. Monografia – UFRJ/MN/Programa de Pós-graduação em Geologia do Quaternário. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Museu Nacional. Rio de Janeiro: UFRJ/MN.

SANTANA, Michele Silva; DANTAS, Marcelo Eduardo. 2023, 'Carta geomorfológica: município de Arraial do Cabo - RJ'. [S. l.]: Serviço Geológico do Brasil - CPRM. 1 mapa, color. Escala 1:25.000.

SANTOS, Rozely Ferreira. 2004, 'Planejamento ambiental: teoria e prática'. São Paulo: Oficina de Textos.

SANTOS, D. S. dos. 2016, 'Mapeamento da Geodiversidade e relação com a Biodiversidade no município de Armação dos Búzios, RJ'. 145f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SANTOS, D. S. dos; MANSUR, K. L.; de ARRUDA JR., E. R.; DANTAS, M. E.; SHINZATO, E. 2019, 'Geodiversity Mapping and Relationship with Vegetation: A Regional-Scale Application in SE Brazil'. *Geoheritage* 11, artigo online, pp. 399–415.

SANTOS, D. S. dos; MANSUR, K. L.; ARAÚJO, J. C. de; SANTOS, E. E. S. S.; FERREIRA, N. N. 2025, 'The importance of the subindices on quantitative assessment of geodiversity: a methodological discussion and application to the Geopark Costões e Lagunas, SE Brazil'. *Environmental Earth Sciences*, vol. 84, p. 288.

SAVI, D. C.; TENÓRIO, M. C.; CALIPPO, F. R.; TOLEDO, F. A. L.; GONZALEZ, M. M. B.; AFONSO, M. C. 2005, 'Beachrock e o sambaqui da Ilha do Cabo Frio'. In: ABEQUA, Cong. da ABEQUA, 10, resumos, 4p.

SCHMITT, R. S. 2001, 'A Orogenia Búzios: um evento tectônico-metamórfico Cambro-Ordoviciano caracterizado no Domínio Tectônico Cabo Frio, Faixa Ribeira-sudeste do Brasil'. 273f. Tese (Doutorado em Geologia), Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SCHMITT, R. S.; TROUW, R. A. J.; VAN SCHMUS, W. R.; PIMENTEL, M. M. 2004, 'Late amalgamation in the central part of West Gondwana: new geochronological data and the characterization of a Cambrian orogeny in the Ribeira Belt – SE Brazil'. *Precambrian Research*, vol. 133, pp. 29–61.

SCHMITT, R. S. *et al.* 2008, 'Geologia e recursos minerais das folhas Rio das Ostras e Cabo Frio SF.24-Y-A-IV e SF.23-Z-B-VI: Estado do Rio de Janeiro'. Arquivos vetoriais (*shp*) das Cartas Geológicas das Folhas Cabo Frio SF.23-Z-B-VI e Rio das Ostras SF.24-Y-A-IV, CONTRATO CPRM 017/PR/2007-UERJ, *Programa Geologia do Brasil*. CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Disponível em: <rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/17682>. Acesso em 25 de abril de 2024.

SCHMITT, R. S. *et al.* 2009, 'Mapa Geológico da Folha Rio das Ostras SF.24-Y-A-IV'. Belo Horizonte: CPRM, CD-ROM.

SCHMITT, R. D. S.; TROUW, R. A. J.; VAN SCHMUS, W. R.; ARMSTRONG, R.; STANTON, N. S. G. 2016, 'The tectonic significance of the Cabo Frio Tectonic Domain in the SE Brazilian margin: a Paleoproterozoic through Cretaceous saga of a reworked continental margin'. *Brazilian Journal of Geology*, vol. 46, pp. 37–66.

SCHORSCHER, H. D.; SHEA, M. E. 1992, 'The regional geology of the Poços de Caldas alkaline complex: Mineralogy and geochemistry of selected nepheline syenites and phonolites'. In: N. A. CHAPMAN; I. G. MCKINLEY; M. E. SHEA; J. A. T. SMELLIE. Eds. The Poços de Caldas Project: Natural Analogues of Processes in a Radioactive Waste Repository. *Journal of Geochemical Exploration*, vol. 45, pp. 25–51.

SERRANO, E.; RUIZ-FLAÑO, P. 2007, 'Geodiversity: a theoretical and applied concept'. *Geographica Helvetica*, vol. 62, no. 3, pp. 140–147.

SGB – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. [s.d.], 'Gestão Territorial: Levantamento da Geodiversidade'. Disponível em <www.sgb.gov.br/web/guest/saiba-mais-levantamento-de-geodiversidade>. Acesso em 29 de julho de 2025.

SHARPLES, C. 1993, 'A methodology for the identification of significant landforms and geological sites for geoconservation purposes'. Forestry Commission, Tasmânia.

SHARPLES, C. 2002, 'Concepts and Principles of Geoconservation'. Documento em PDF disponibilizado na *Tasmanian Parks & Wildlife Service*. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/266021113_Concepts_and_principles_of_geoconservation>. Acesso em: 12 de março de 2024.

SICHEL, S. E.; SCHMITT, R. S.; ARAÚJO, A. L. N.; SKEREPNEK, C.; CANABARRO, D.; ALVES, E. L.; GUERRA, J. V.; STANTON, N. 2005, 'Guia de Excursão de Campo à Ilha do Cabo Frio'. In: III Simpósio de Vulcanismo e Ambientes Associados, Cabo Frio, Resumos expandidos, Cabo Frio, p. 22.

SILVA, C. R. 2008, 'Geodiversidade do Brasil: Conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro'. Rio de Janeiro: CPRM.

SILVA, E. 2022, 'O que são os terrenos tecnogênicos e como eles se relacionam com a perspectiva Antropoceno?' Unicamp. Disponível em: <<https://www.ige.unicamp.br/pedologia/2022/09/05/o-que-sao-os-terrenos-tecnogenicos-e-como-eles-se-relacionam-com-a-perspectiva-do-antropoceno/>>. Acesso em 18 de junho de 2026.

SILVA, L. H. da S. e; Senra, M. C. E.; Faruolo, T. C. L. M.; Carvalhal, S. B. V.; Alves, S. A. P. M. N.; Damazio, C. M.; Shimizu, V. T. A. & Iespa, A. A. C. 2003, 'Distinção entre as esteiras microbianas da lagoa Pitanguinha, Quaternário do Rio de Janeiro, Brasil'. In: Congresso Brasileiro de Paleontologia, 18, Brasília. Anais, Brasília, SBP, p. 271.

SILVA, L. H. da S. e; LOPES, F. A. S.; DELFINO, D. O.; FEDER, F. 2007a, 'Chroococcales em Esteiras Microbianas em Bolha do Brejo do Pau Fincado, Rio de Janeiro, Brasil'. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*. v. 30–1, pp. 188–193.

SILVA, M. L. N. 2016, 'Geodiversidade da Cidade do Natal: Valores, Classificações e Ameaças'. 170f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

SILVA, M. L. N.; MANSUR, K. L. 2023, 'Valor ecocêntrico da geodiversidade em geossítios do Projeto Geoparque Costões e Lagunas, RJ'. *Revista do Instituto de Geociências - USP*. Geologia USP, Série científica, São Paulo, vol. 23, no. 2, pp. 164–178.

SILVA, M. L. N.; NASCIMENTO, M. A. L.; MANSUR, K. L. 2023, 'Valor ecocêntrico da geodiversidade em geossítios do Seridó Geoparque Mundial da UNESCO'. c. 8, p. 147–165. In: SILVA, M. L. N.; NASCIMENTO, M. A. L. *Abordagens Científicas no Seridó Geoparque Mundial da UNESCO: contribuições do comitê científico*. Mossoró, RN: Edições UERN, 167 p.

SILVA, L. H. da S. e; ALVES, S. A. P. M. N.; MAGINA, F. C.; GOMES, S. B. V. C. 2013, 'Composição cianobacteriana e química dos estromatólitos da Lagoa Salgada, Neógeno do Estado do Rio de Janeiro, Brasil'. *Revista do Instituto de Geociências - USP*. Geologia USP, Série Científica, São Paulo, vol. 13, no. 1, pp. 95–106.

SILVA, C.R.; DANTAS, M.E. 2010, 'Mapas Geoambientais'. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 7. Maringá/PR. ABGE, p. 1–17.

SOTCHAVA, V. 1960, 'O estudo dos Geossistemas'. In: (16) *Métodos em Questão*. São Paulo: USP, pp. 1–51.

STANLEY, M. 2000, 'Geodiversity'. *Earth Heritage*, vol. 14, pp. 15–18.

STANLEY, M. 2001, 'Geodiversity Strategy'. In: *ProGeo News*, vol. 1, pp. 6–9.

STUEVE, A. M.; COOKS, S. D.; DREW, D. 2002, 'The Geotourism Study: Phase I – Executive Summary'. *Washington: Travel Industry Association of America*, 22p.

THOMAZ FILHO, A.; RODRIGUES, A. L. 1999, 'O alinhamento de rochas alcalinas Poços de Caldas-Cabo Frio (RJ) e sua continuidade na Cadeia Vitória-Trindade'. *Revista Brasileira de Geociências*, vol. 29, no. 2, pp. 189–194.

THOMAZ FILHO, A.; CESERO, P.; MIZUSAKI, A. M.; LEÃO, J. G. 2005, 'Hot spot volcanic tracks and their implications for south American plate motion, Campos basin (Rio de Janeiro state), Brazil'. *Journal of South American Earth Sciences*, vol.18, pp. 383–389.

TROUW, R. A. J.; HEILBRON, M.; *et al.* 2000, 'The central segment of the Ribeira Belt'. In: CORDANI, U. G., MILANI, E. J., THOMAZ FILHO, A. & CAMPOS, D. A. (eds) *Tectonic Evolution of South America*, 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro, pp. 287–310.

TROUW, R. A. J.; PETERNEL, R.; RIBEIRO, A.; HEILBRON, M.; VINAGRE, R.; DUFFLES, P.; ... & KUSSAMA, H. H. 2013, 'A new interpretation for the interference zone between the southern Brasília belt and the central Ribeira belt, SE Brazil'. *Journal of South American Earth Sciences*, vol. 48, pp. 43–57.

TURCQ, Bruno *et al.* 1999, 'Origin and evolution of the Quaternary coastal plain between Guaratiba and Cabo Frio, State of Rio de Janeiro, Brazil'. In: KNOOPERS, B.; BIDONE, E. D.; ABRAÃO, J.J. (Eds.). *Environmental geochemistry of coastal lagoon systems of Rio de Janeiro, Brazil*. Rio de Janeiro, UFF/ Geoquímica Ambiental, pp. 25–46.

TURNER, S.; REGELOUS, M.; KELLY, S., HAWKESWORTH, C.; MANTOVANI, M.S.M. 1994, 'Magmatism and Continental break-up in the South Atlantic: high precision $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology'. *Earth Planetary Science Letters*, vol. 121, pp. 333–348.

VALENTE, S. C. 1997, 'Geochemical and isotopic constraints on the petrogenesis of the Cretaceous dykes of Rio de Janeiro, Brazil'. 366p. Tese (Doutorado), The Queen's University of Belfast.

VALLADARES, C. *et al.* 2012, 'Geologia e recursos minerais da folha Três Rios SF. 23-Z-B-I, Estado do Rio de Janeiro escala 1:100.000'. Nota Explicativa. *Programa Geologia do Brasil - PGB*. Belo Horizonte: CPRM.

VASCONCELOS, C. O. 1988, 'Sedimentologia e geoquímica da Lagoa Vermelha: um exemplo de formação e diagênese de carbonatos'. 63p. Dissertação (Mestrado) – Pós-graduação em Geoquímica, Universidade Federal Fluminense, Niterói (RJ).

VASCONCELOS, C. O. 1994 'Modern Dolomite Precipitation and Diagenesis in a Coastal Mixed Water System (Lagoa Vermelha, Brazil): A Microbial Model for Dolomite Formation under Anoxic Conditions'. Tese (Doutorado Ciências Naturais) - *Eidgenössische Technische Hochschule*, Zurich.

VASCONCELOS, C. O.; MCKENZIE, J. A. 1997, 'Microbial Mediation of Modern Dolomite Precipitation and Diagenesis under Anoxic Conditions (Lagoa Vermelha, Rio de Janeiro, Brazil)'. *Journal of Sedimentary Research*, Tulsa, vol. 67, no. 3, pp. 378–290.

VIANA, S. M.; VALLADARES, C. S.; DUARTE, B. P. 2008, 'Geoquímica dos ortognaisses do Complexo Região dos Lagos, Araruama-Cabo Frio, Rio de Janeiro, Brasil'. *Revista Brasileira de Geociências*, vol. 27, no. 1, pp. 111–120.

VIEIRA, T. A. T.; SCHMITT, R. S.; MENDES, J. C.; MORAES, R.; LUVIZOTTO, G. L.; SILVA, R. L. A.; VINAGRE, R.; MEDEIROS, S. R. 2022, 'Contrasting P-T-t paths of basement and cover within the Búzios Orogen, SE Brazil: Tracking Ediacaran-Cambrian subduction zones'. *Precambrian Research*, vol. 368, pp. 106479-.

VINCENT, P. 2004, 'What's in a name?'. *Earth Heritage*, vol. 22, no. 7. Disponível em: <<http://www.earthheritage.org.uk/ehpdf/eh22f.pdf>>. Acesso em: 26 de agosto de 2025.

WTTC – World Travel Tourism Council. 2025, 'Travel & Tourism Economic Impact Research (EIR)'. Economic Impact Research (EIR). Disponível em: <<https://wttc.org/research/economic-impact>>. Acesso em: 30 de junho de 2026.

ZONNEVELD, I. S. 1989, 'The land unit — A fundamental concept in landscape ecology and its applications'. *Landscape Ecology*, vol. 3, pp. 67–86.