



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

Lucas Santos De Carvalho

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO À VULNERABILIDADE À EROSÃO
NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JOANES (BA)**

Salvador

2025

LUCAS SANTOS DE CARVALHO

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO À VULNERABILIDADE À EROSÃO
NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JOANES (BA)**

Trabalho de conclusão de curso de graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Geografia.

Orientador: Prof. Danilo Heitor Caires Tinoco Bisneto Melo

Salvador

2025

AGRADECIMENTOS

“Eu sou o senhor do meu destino, eu sou o capitão da minha alma”, essa é uma frase que diz muito sobre quem sou eu e onde quero chegar. Tenho eterna gratidão a pessoa que me tornei, guerreira, forte, decidida, comprometida e acima de tudo esforçada.

Agradeço à Universidade Federal da Bahia e ao Instituto de Geociências pela formação, pelas oportunidades, pelos aprendizados e pelo acolhimento dos professores e do corpo técnico, em especial Nilton da Silva.

Ao meu orientador, Prof. Danilo Heitor Caires Tinoco Bisneto Melo, agradeço por ter disponibilizado seu tempo para me apoiar durante todo este processo, pela paciência, pela escuta atenta e por sempre me mostrar meu verdadeiro potencial e os caminhos que posso trilhar.

Aos meus amigos, que considero minha família, sou profundamente grato por estarem comigo em todos os momentos da graduação, oferecendo apoio emocional e uma companhia que tornou esta jornada mais leve. Marcus, que desde a primeira semana esteve presente em minha vida, sendo confidente, melhor amigo e irmão, aconselhando-me nas dúvidas e confortando-me nas tristezas. É alguém que pretendo levar comigo por toda a vida, com muito carinho e amor. À Ludmilla e à Vanessa, que sempre trouxeram leveza, jovialidade e vivacidade, devolvendo sorrisos que a universidade, por vezes, tenta apagar; momentos que guardarei com enorme afeto. À Henrique, que ocupa um espaço especial no meu coração — meu primeiro amor, meu primeiro companheiro, e que hoje se transformou em uma amizade genuína e sincera.

Agradeço também aos meus outros amigos, que mesmo não estando tão próximos, ainda fazem parte do que sou e sempre serão amados, independentemente da distância ou de qualquer adversidade como Luan, Gisele e Luane. Do grupo de mulheres da geografia que me mostraram a delicadeza e o amor ao próximo agradeço à Ana Clara, Ana Lemos, Ileza Reis, Keli Cristina, Júlia Villas Boas, Marilane Silva e Nivea Pinheiro. Do grupo feito no componente “Mapeamento Bioregional em Comunidades Tradicionais” agradeço as queridas (o): Barbara, Camila, Gabriela (Frô), July, Luiz, Maria Fernanda, Rebeca e Thai.

Ao Instituto Steve Biko que me ajudou a realizar o meu sonho de estudar em uma universidade pública, proporcionando conhecimento crítico e pessoal e novas amizades que ganharam seu espaço no meu coração como: Pérola, Karise, Jéssica, Jadmile e Cris.

Aos meus pets, Éris e Azazel, agradeço por estarem presentes nos momentos mais difíceis e mais felizes, por dividirem o dia a dia comigo, por me infernizarem com graça e por me mostrarem o verdadeiro amor.

À minha família, dedico meu agradecimento mais profundo. Aos meus pais, por me criarem, educarem e moldarem a pessoa que sou hoje. À minha mãe, Alice, por quem tenho amor incondicional e que me inspira diariamente a ser alguém melhor, para que um dia eu possa retribuir tudo o que ela merece. Às minhas sobrinhas, que despertam em mim um sentimento de paternidade e me motivam a correr atrás dos meus objetivos, desejando sempre ser exemplo e orgulho. E à minha irmã, Adriele, a pessoa que mais amo na vida. Nossa relação é única e transcende qualquer dimensão; ainda que distantes, ela permanece comigo em tudo o que sou. Sempre estará no meu coração.

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise integrada da Bacia Hidrográfica do Rio Joanes, destacando os principais elementos físicos e antrópicos que influenciam sua dinâmica ambiental. O objetivo geral foi compreender de que maneira a interação entre geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso e ocupação do solo contribui para os eventos ambientais, principalmente ligados à erodibilidade do solo. Para isso, foram utilizados métodos de análise espacial, utilizando modelo digital de elevação, classificação do uso e ocupação da terra, índice de vegetação e dados temáticos provenientes de instituições oficiais. A metodologia adotada fundamentou-se nos referenciais teóricos de paisagem, geossistema e vulnerabilidade ambiental, possibilitando uma interpretação sistêmica da bacia. Os resultados evidenciam que a intensificação das ações antrópicas, especialmente a supressão da cobertura vegetal associada à expansão urbana, alterou a dinâmica de escoamento e ampliou a vulnerabilidade ambiental ao longo do período analisado. Conclui-se que a bacia encontra-se sob elevada pressão antrópica, favorecendo a ocorrência de inundações e processos erosivos, sobretudo em áreas com crescimento urbano acelerado, reforçando a necessidade de políticas públicas voltadas à gestão ambiental e ao ordenamento territorial.

Palavras-chave: Vulnerabilidade ambiental; Uso do Solo; Geoprocessamento; Bacia hidrográfica

ABSTRACT

This work presents an integrated analysis of the Rio Joanes Basin, highlighting the main physical and human-driven elements that shape its environmental dynamics. The overall objective was to understand how the interaction among geology, geomorphology, soils, vegetation, and land use and land cover contributes to hydrological patterns and to the occurrence of floods. To achieve this, geoprocessing and spatial analysis techniques were applied, supported by digital elevation models, land-use and land-cover classification, vegetation indices, and thematic data from official institutions. The methodological approach was grounded in theoretical frameworks such as landscape, geosystem, and environmental vulnerability, which enabled a systemic interpretation of the basin. The results indicate that the intensification of human activities—especially vegetation suppression linked to urban construction—has altered runoff dynamics, increasing the area's environmental vulnerability over the analyzed period. The study concludes that the basin is under significant anthropic pressure, favoring flood events, particularly in zones experiencing expressive urban expansion. This underscores the need for public policies aimed at strengthening environmental management across the territory.

Keywords: Environmental vulnerability; Landscape; Geoprocessing; Watersheds

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da área de estudo

Figura 2 – Informações geológicas da BHRJ

Figura 3 – Ilustração das unidades geomorfológicas da BHRJ

Figura 4 – Nível percentual da declividade da área de estudo

Figura 5 – Localização dos principais afluentes do rio Joanes.

Figura 6 – Classificação dos solos na Bacia Hidrográfica do Rio Joanes

Figura 7 – Índice de NDVI da Bacia Hidrográfica do Rio Joanes

Figura 8 – Evolução do Uso e Ocupação do Solo (2000 — 2022)

Figura 9 – Fluxograma dos pilares metodológicos

Figura 10 – Etapas para a elaboração do IDR (adaptado de Lima, 2018)

Figura 11 – Resultado morfométrico para a área da BHRJ

Figura 12 – Resultado final da escala de vulnerabilidade da Bacia do Rio Joanes, no ano de 2022

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Informações contextualizadas do NDVI (com base em Meneses et al., p.149)

Quadro 2 – Matriz do IDR (Ross, 1993, p. 67)

Quadro 3 – Fonte de aquisição dos dados trabalhados

Quadro 4 – Síntese dos procedimentos metodológicos

Quadro 5 – Matriz do IDR (Ross, 1993, p. 67)

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – População residente sob a APA Joanes Ipitanga, 2000

Tabela 2 – População residente sob a APA Joanes Ipitanga, 2022

Tabela 3 – Quantidade de prospecção mineral da BHRJ

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APA – Área de Proteção Ambiental

BHRJ – Bacia Hidrográfica do Rio Joanes

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

DEM – Modelo Digital de Elevação

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDR – Índice de Dissecção do Relevo

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

NDVI – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

QGIS – *Quantum Geographic Information System*

SIG – Sistema de Informações Geográficas

UC – Unidade de Conservação

Sumário

Sumário

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. Objetivos Específicos.....	14
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	14
2.1. Características populacionais dos municípios contidos na RMS	14
2.2. Geologia	16
2.3. Geomorfologia	18
2.4. Hidrografia	21
2.5. Solos	23
2.6. Vegetação.....	25
2.7. Uso e Ocupação do Solo	28
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	32
3.2. Vulnerabilidade Ambiental	33
3.3. Bacia Hidrográfica	33
3.4. Cartografia da Vulnerabilidade à erosão.....	34
4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	35
4.1. Atribuição dos valores de vulnerabilidade às variáveis matriciais.....	38
5. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	41
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
APÊNDICE A — MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DO ANO DE 2000 ...	49
APÊNDICE B — MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DO ANO DE 2024	50

1. INTRODUÇÃO

Conforme Christofoletti (1980), o principal agente impactante nos processos erosivos do solo é a água, em que a chuva promove o deslocamento e arrancamento das partículas da terra. A água é um dos recursos naturais mais valiosos para a sociedade, constituindo elemento fundamental para o desenvolvimento econômico, social e ambiental. Nesse contexto, a Bacia Hidrográfica do Rio Joanes (BHRJ) assume papel estratégico para as dinâmicas territoriais da Região Metropolitana de Salvador (RMS), área marcada por um histórico colonial, intenso crescimento e acelerado processo de urbanização. Essas características tornam indispensável a proteção e o manejo adequado dos recursos hídricos, configurando a gestão da bacia como prioridade para as esferas administrativas.

A RMS, conforme previsto no ordenamento territorial brasileiro, corresponde a um conjunto de municípios contíguos que se articulam socioecononomicamente a uma cidade-polo, compartilhando infraestrutura, serviços e dinâmicas urbanas comuns (Brasil, 1988). Ao mesmo tempo, o arcabouço legal de proteção ambiental instituído no país, especialmente entre 1981 e 2000, estabeleceu diretrizes fundamentais para a conservação de áreas naturais.

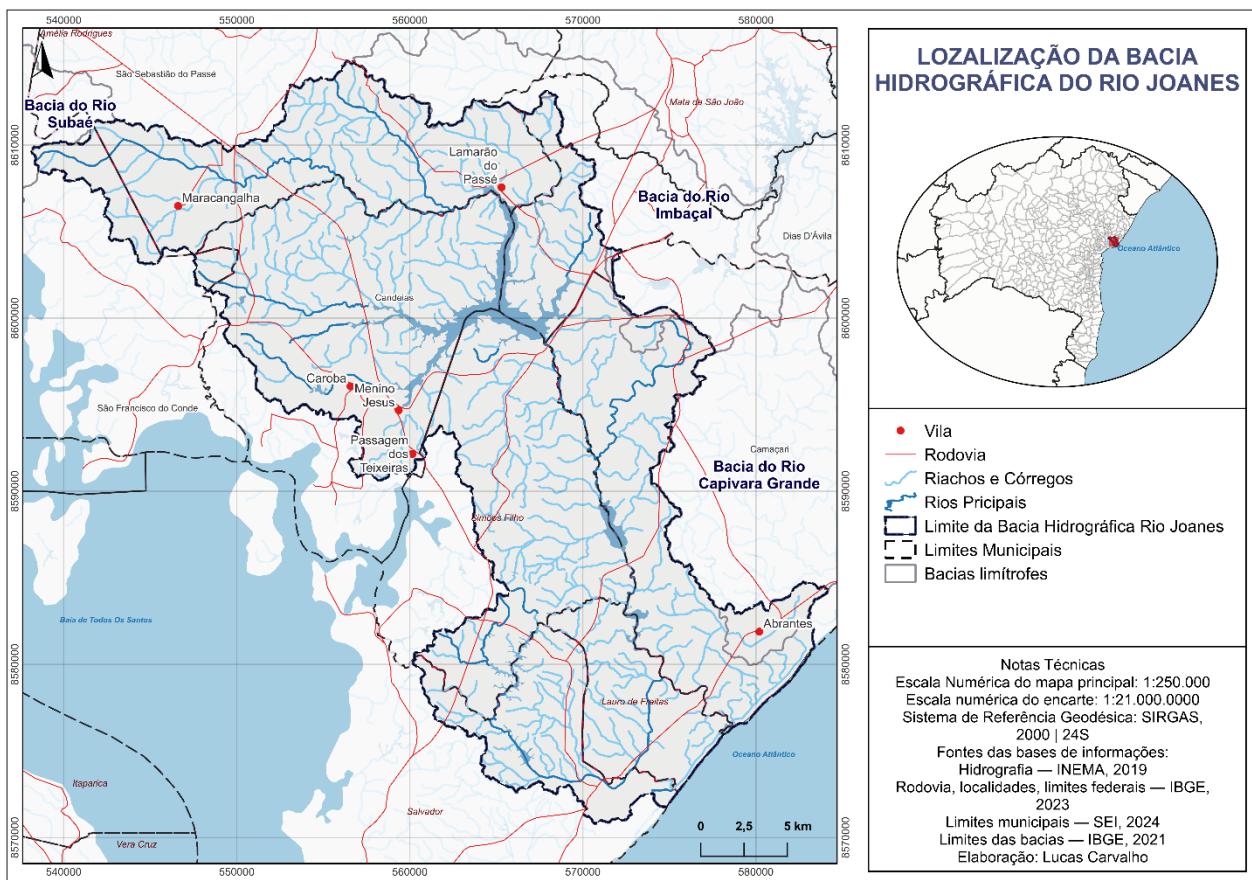
A Lei nº 6.902/1981 e a Lei nº 9.985/2000, que instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), definiram categorias de proteção ambiental, entre as quais se destaca a Área de Proteção Ambiental (APA). Parte da BHRJ encontra-se inserida em áreas de preservação permanente, cuja importância reside na proteção da biodiversidade, na segurança dos recursos naturais e na garantia da qualidade de vida das populações (Brasil, 2000). As bacias hidrográficas constituem unidades naturais de planejamento ambiental, caracterizadas por áreas topograficamente delimitadas que direcionam o escoamento superficial para um ponto de saída comum. A Bacia Hidrográfica do Rio Joanes abrange parcial ou totalmente os municípios de Camaçari, Candeias, Dias D'Ávila, Lauro de Freitas, Salvador, São Francisco do Conde, São Sebastião do Passé e Simões Filho.

Seu principal curso d'água, o Rio Joanes, possui extensão aproximada de 1.200 km² e uma rede de afluentes que totaliza cerca de 250 km. Sua nascente localiza-se em São Francisco do Conde, e sua foz desemboca na Praia de Buraquinho, no município de Lauro de Freitas. A vazão média do rio é de aproximadamente 11 m³/s, podendo atingir valores

regularizados de até 6,4 m³/s (PLANARQ, 2001), o que evidencia sua relevância para o abastecimento e para os processos hidrológicos regionais.

A figura 1 apresenta a localização da BHRJ, destacando sua posição geográfica em relação à RMS e a costa atlântica. Esse mapa oferece uma visão espacial necessária para a compreensão dos processos ambientais, hidrológicos e socioeconômicos que serão analisados ao longo deste trabalho.

Figura 1: Localização da área de estudo



Fonte: elaborado pelo autor

Em maio de 2025, o acumulado de 307 mm de chuva que atingiu a RMS resultou em diversos episódios de alagamentos no município de Lauro de Freitas, onde famílias ficaram ilhadas devido ao transbordamento do Rio Joanes e do Rio Ipitanga, principais corpos hídricos da bacia (CORREIO 24 HORAS, 2025). Esses eventos reforçam a urgência em compreender os processos ambientais que estruturam a BHRJ, bem como os efeitos decorrentes da urbanização acelerada — frequentemente espontânea — que modificou suas dinâmicas hidrológicas ao longo das últimas décadas. Assim, este estudo busca

caracterizar e analisar a interação entre os elementos físico-naturais e a ação humana, ressaltando os impactos gerados sobre a paisagem e sobre o comportamento hídrico da bacia.

1.1. Objetivos Específicos

- Analisar o processo de ocupação urbana na RMS entre os anos de 2000 e 2024;
- Identificar os principais eventos ambientais relacionados à influência antrópica registrados no período;
- Aplicar técnicas de análise espacial para compreender as características físicas da paisagem e elaborar mapas temáticos, como declividade, uso e ocupação do solo, dissecação do relevo, entre outros;
- Verificar, a partir da integração das informações físicas da paisagem, os pontos mais vulneráveis aos processos erosivos.
- Propor diretrizes de mitigação de riscos ambientais com base nos resultados obtidos.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A caracterização da área de estudo é de extrema importância para compreender a dinâmica ambiental e socioespacial da BHRJ. Neste capítulo, apresentam-se os principais atributos físicos e sociais, fornecendo uma base sólida para a análise desenvolvida, de forma integrada, nos capítulos subsequentes.

2.1. Características populacionais dos municípios contidos na RMS

Os dados populacionais obtidos a partir dos censos realizados pelo Instituto Brasileiro Geográfico e Estatístico evidenciam um crescimento expressivo entre os anos de 2000 e 2022 (IBGE, 2000, 2022).

Tabela 1: População Residente sob a BHRJ, 2000

Municípios	População	
	Total	Percentual (%)
Camaçari	115.258	29,22
Candeias	45.671	11,58
Dias D'Ávila	Sem informação	0
Lauro de Freitas	113.543	28,78
Salvador	87.781	22,25
São Francisco do Conde	Sem informação	0

São Sebastião do Passé	3.873	0,98
Simões Filho	28.329	7,18
Total	394.455	100

Fonte: Censo, 2000, IBGE (cálculo baseado nos setores censitários). Elaborado pelo autor.

Para completar a análise temporal da população residente, a tabela 2 traz os dados do ano de 2022 para fins comparativos.

Tabela 2: População Residente sob a BHRJ, 2022

Municípios	População	
	Total	Percentual (%)
Camaçari	219.022	26,9
Candeias	60.979	7,5
Dias D'Ávila	4.257	0,5
Lauro de Freitas	202.966	25
Salvador	213.360	26,2
São Francisco do Conde	2.556	0,3
São Sebastião do Passé	6.708	0,8
Simões Filho	103.446	12,8
Total	813.294	100

Fonte: Censo, 2022, IBGE (cálculo baseado nos setores censitários). Elaborado pelo autor.

Esse crescimento populacional reflete-se em um processo de urbanização não controlada e em mudanças no perfil econômico da região, especialmente nos municípios de Camaçari, Lauro de Freitas, Salvador e Simões Filho, que concentram aproximadamente 90% dos residentes da área de estudo. Entre 2000 e 2022, esses municípios apresentaram taxas de crescimento populacional de 90.03%, 78.76%, 143.06%, 265.16%, respectivamente.

O aumento populacional nesses municípios está associado às transformações socioeconômicas decorrentes da industrialização - ainda que tardia - impulsionada pelo estabelecimento de grandes complexos industriais. Entre eles, destacam-se o Complexo Petroquímico de Camaçari (COPEC), o Centro Industrial de Aratu (CIA) e a Refinaria Landulpho Alves, em Mataripe (RLAM).

Esses empreendimentos modificaram profundamente a macroestrutura produtiva baiana, gerando impactos significativos na economia da RMS. Como exemplo, o Produto Interno Bruto (PIB) estadual passou de 12%, em 1960, para 38,1%, em 1990 (ALMEIDA, 2008, p. 26, apud MENEZES, 2001).

Salvador destaca-se em três importantes vertentes: economia, cultura e turismo. No campo econômico, consolidou-se como o centro administrativo do estado da Bahia, abrigando os principais órgãos públicos estaduais e desempenhando papel estratégico na gestão da região Nordeste. A cidade investiu na ampliação de infraestruturas destinadas a

garantir o acesso da população a serviços essenciais, como saúde, energia elétrica, lazer, saneamento básico e educação, ainda que esse acesso não seja plenamente equitativo.

Na dimensão cultural e turística, Salvador tornou-se referência nacional e internacional ao valorizar e difundir sua rica história colonial, marcada por conflitos, disputas e legado cultural singular, consolidando-se como o principal destino turístico do Nordeste.

Por outro lado, municípios como Candeias, Dias D'ávila, São Francisco do Conde e São Sebastião do Passé apresentaram crescimento populacional mais moderado.

2.2. Geologia

A geologia constitui um componente fundamental para a compreensão da organização do espaço e dos processos que atuam na superfície terrestre. É por meio dela que se interpreta a estrutura do planeta e se identifica a composição dos materiais que moldam a paisagem (PENHA, 1990).

No caso da BHRJ, essa compreensão está diretamente relacionada ao Cráton São Francisco, uma das morfoestruturas mais antigas do Brasil. Essa unidade geológica apresenta longa história de erosão e recobrimento sedimentar, articulando-se, em escala regional, ao Embasamento Cristalino que domina a faixa leste do continente sul-americano.

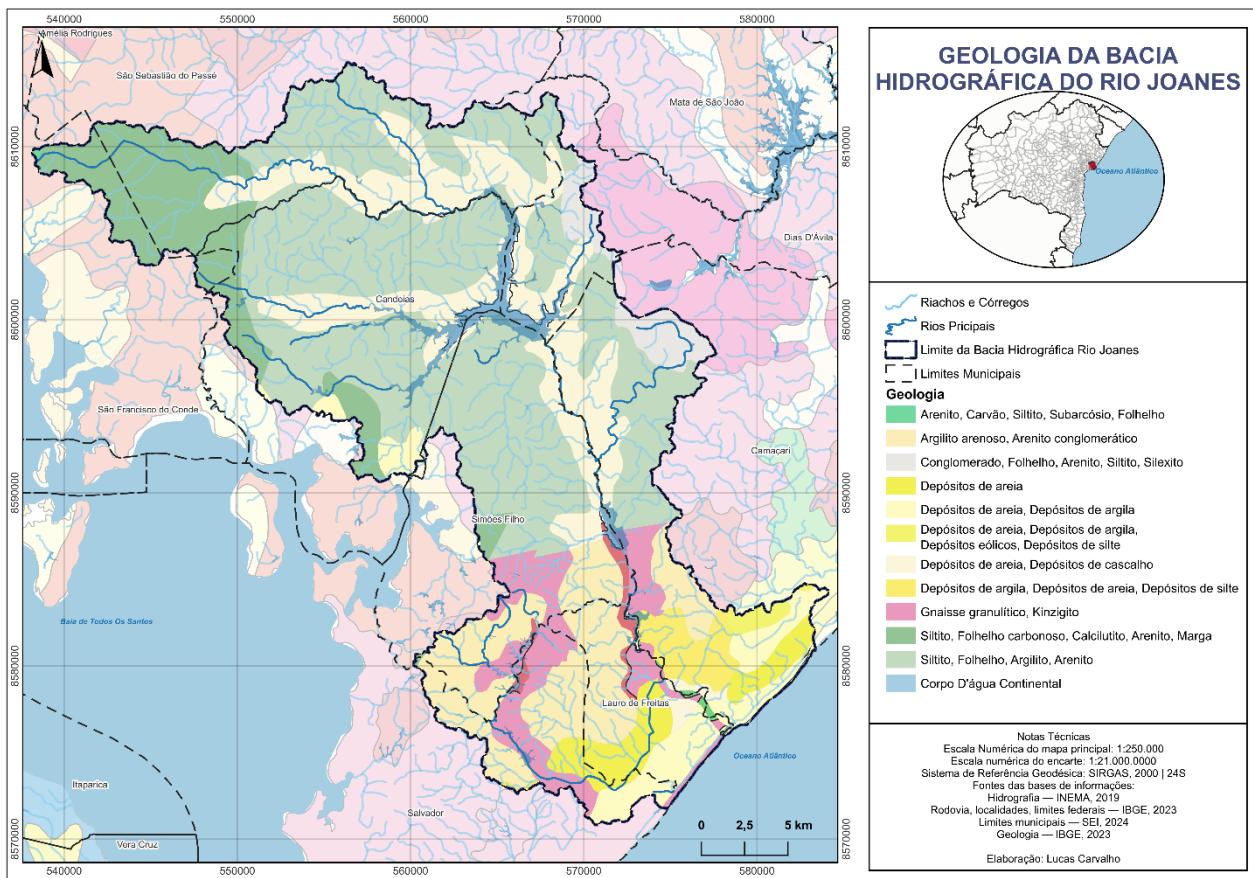
Ross (1995) caracteriza os crátions como porções antigas e estáveis da crosta continental, com grande diversidade litológica e rochas cuja idade varia entre 1 e 2 bilhões de anos. Na BHRJ, essa condição se reflete na presença de rochas metamórficas, principalmente gnaisses e granulitos do Complexo Granulítico Salvador–Esplanada.

Esses materiais afloram, sobretudo, nos municípios de Salvador, Lauro de Freitas, Simões Filho e Camaçari — áreas que concentram maior urbanização dentro da bacia. Além de seu interesse científico, essas rochas possuem relevância econômica, sendo utilizadas como brita, base para obras de infraestrutura e, em alguns casos, como material ornamental.

No conjunto das unidades sedimentares da bacia, predominam arenitos, argilitos, siltitos e depósitos recentes, especialmente nas porções mais baixas do relevo e ao longo dos vales fluviais. O Figura 2 evidencia essa distribuição, reunindo tanto unidades

litológicas consolidadas quanto materiais inconsolidados resultantes dos processos deposicionais associados à dinâmica fluvial ao longo do tempo.

Figura 2: Informações geológicas da BHRJ



Fonte: Elaborado pelo autor

A distribuição litológica da BHRJ exerce influência direta sobre seu comportamento hidrológico. Rochas de granulometria fina, como argilitos e siltitos, apresentam baixa permeabilidade, dificultando a infiltração da água e favorecendo o escoamento superficial imediatamente após eventos de precipitação. Já os depósitos inconsolidados, por serem mais suscetíveis à erosão, podem intensificar o aporte de sedimentos para os cursos d'água, contribuindo para o assoreamento dos canais e reduzindo sua capacidade de vazão.

Quando esses fatores são somados à expansão urbana — expressa pela construção de residências, vias e empreendimentos — e às atividades de uso rural do solo, estabelece-

se um cenário propício ao aumento da frequência e da intensidade de eventos de inundação e degradação do solo ao longo dos cursos fluviais.

Assim, considerar o comportamento dos diferentes tipos de rochas diante da erosão, do intemperismo e da interação constante com a água é fundamental para compreender a dinâmica hidrológica da BHRJ. Segundo Crepani et al. (2001) os materiais menos resistentes e de menor permeabilidade tendem a responder mais rapidamente às chuvas, elevar o volume de sedimentos transportados e, consequentemente, aumentar a vulnerabilidade da bacia a processos de erosão.

São estes materiais, apresentados do mais resistente ao menos resistente: arenito quartzoso, conglomerados, subgrauvacas, grauvaca, siltitos, argilito, folhelho, margas, dolomito, calcários, evaporitos, sedimentos inconsolidados.

A partir da análise da sequência decrescente de resistência dos materiais — do mais resistente ao menos resistente — observa-se que aproximadamente 27% da área da bacia é composta por depósitos inconsolidados. Por se tratar de materiais menos coesos e mais suscetíveis à erosão, essas áreas apresentam maior contribuição para a ocorrência e intensificação de processos hidrológicos na BHRJ, reforçando sua importância no entendimento da dinâmica ambiental da bacia.

2.3. Geomorfologia

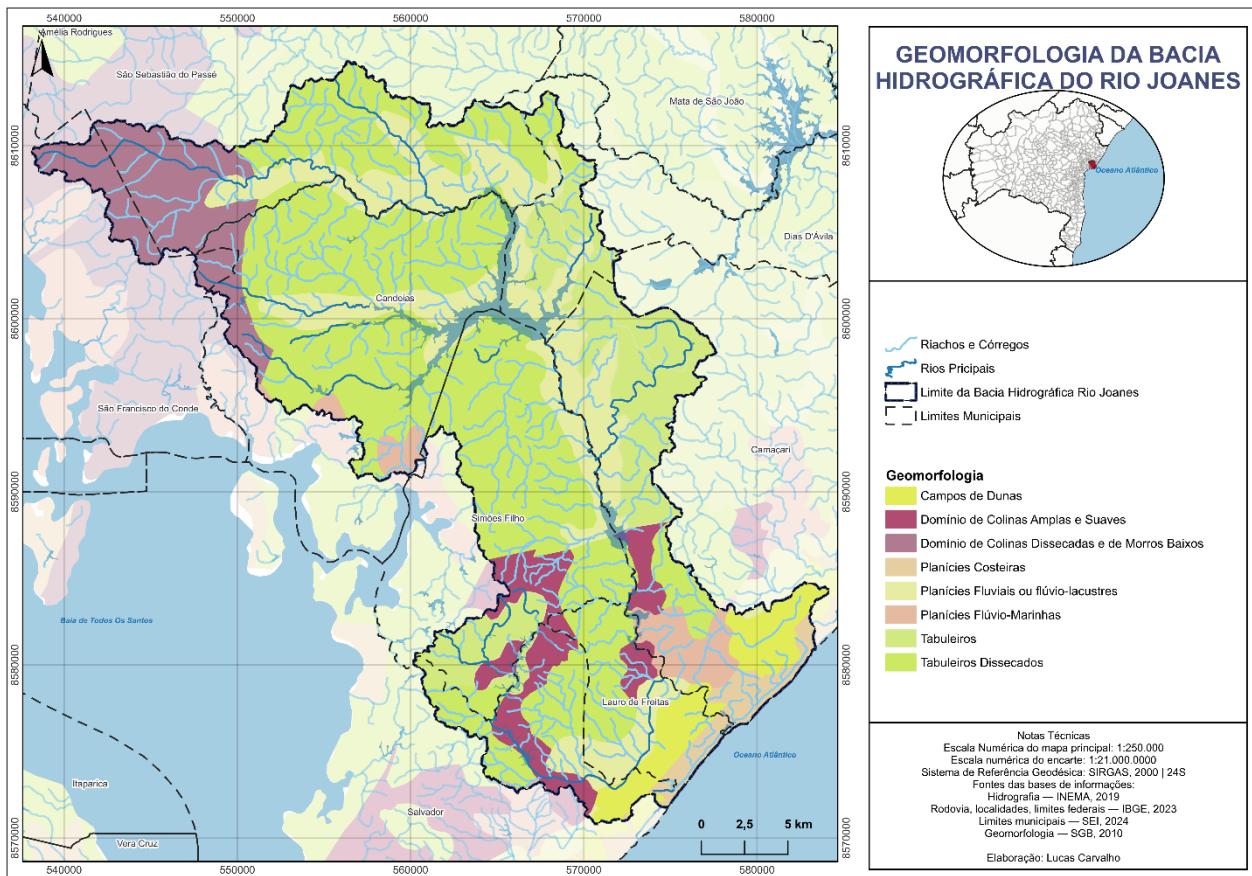
A área de estudo apresenta predominância de formas de relevo associadas às planícies fluviais e aos tabuleiros costeiros, que, em conjunto, representam mais de 70% da extensão da bacia. Os tabuleiros caracterizam-se por superfícies superiores relativamente planas e vertentes convexas, modeladas sobre litologias sedimentares pouco consolidadas, condição que aumenta a suscetibilidade da região aos processos erosivos (IBGE, 2009).

Essas superfícies, em geral, apresentam altitudes entre 80 e 120 metros, valores considerados modestos quando comparados a unidades geomorfológicas como chapadas e patamares estruturais. Os topos dos tabuleiros apresentam morfologia em forma de “mesa”, caracterizada por elevada capacidade de infiltração em função dos materiais sedimentares porosos que os constituem. Em contraste, as vertentes concentram parte significativa da dinâmica superficial. Conforme PLANARQ (2001), nesses setores

predominam tanto o escoamento laminar difuso — típico de áreas com menor declividade e solos expostos — quanto o escoamento concentrado, que se desenvolve nos trechos mais íngremes e favorece a formação de sulcos e ravinas. A vertente, compreendida como a superfície inclinada que conecta os topos aos fundos de vale, constitui o principal compartimento do relevo onde se manifestam processos de erosão, transporte de sedimentos e instabilidade, sendo fortemente influenciada pela declividade, forma e comprimento (IBGE, 2009).

Assim, na figura 3, é possível observar quais as unidades geomorfológicas que compõem a bacia, confirmando então que as chances de possuir uma alta vulnerabilidade a erosão é clara.

Figura 3: Ilustração das unidades geomorfológicas da BHRJ

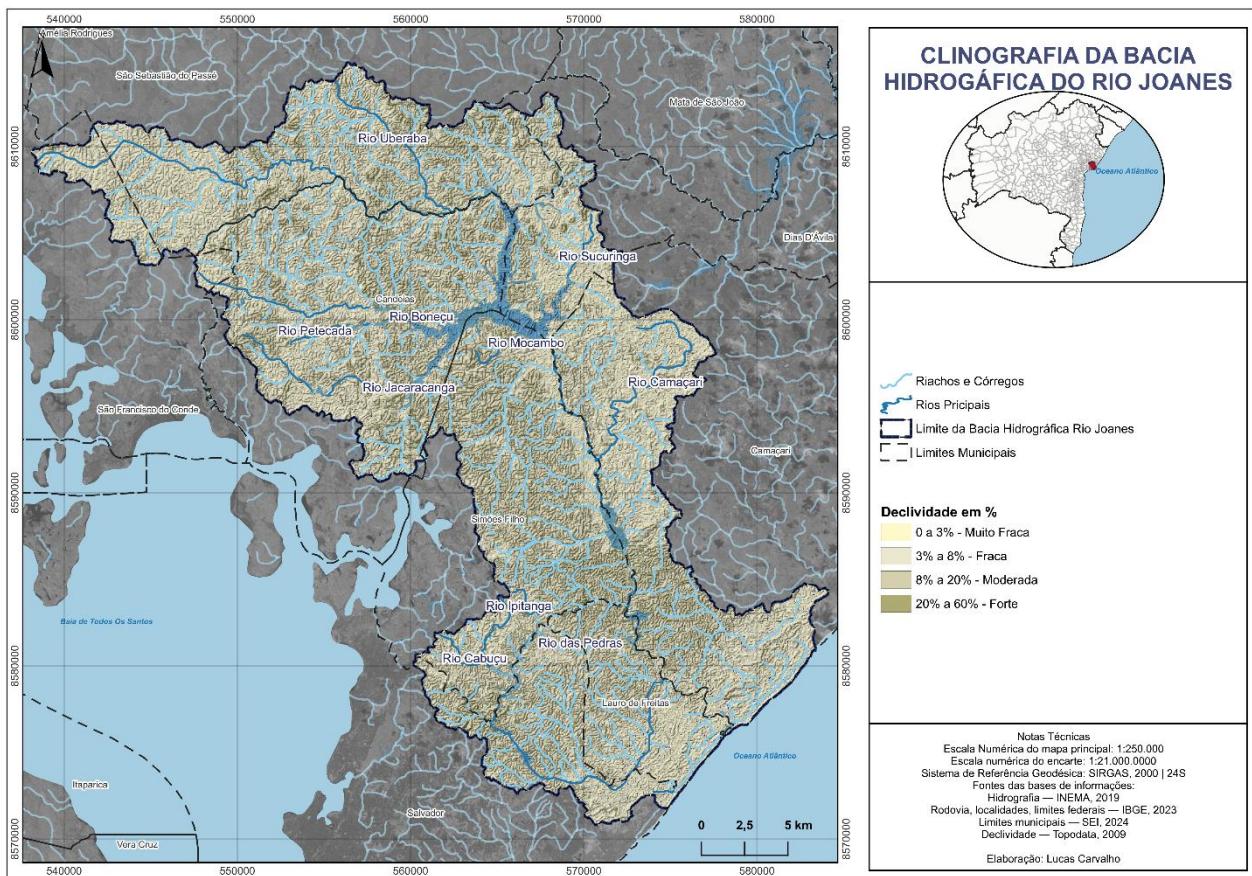


Fonte: elaborado pelo autor

No que se refere a inclinação do terreno, com base nas informações do Modelo Digital de Elevação (MDE), embasados pelo Alaska Satellite Facility (ASF), uma plataforma interativa disponibilizada pelo Eaarthdata, foi criado o mapa clinográfico (Figura 4), que

apresenta a declividade da BHRJ. De acordo com o Manual Técnico de Geomorfologia (IBGE, 2009), a área apresenta predominância de declividade entre 0 e 15%, indicando relevo majoritariamente suave a moderado, embora ocorram trechos mais declivosos nas transições entre tabuleiros.

Figura 4: Nível percentual da declividade da área de estudo



Fonte: elaborado pelo autor

Além dos tabuleiros, a bacia apresenta conjuntos de colinas e morros suavemente arredondados, formas de relevo de dissecação leve a moderada, com altitudes em torno de 50 metros. Essas morfologias, esculpidas sobre arenitos, folhelhos, argilitos e siltitos, são drenadas por uma rede fluvial densa de padrão dendrítico, típica de áreas compostas por rochas relativamente homogêneas. A atuação da dissecação fluvial ao longo do tempo originou vales amplos e abertos, resultado da baixa resistência das rochas sedimentares à erosão (PLANARQ, 2001).

A geomorfologia da BHRJ, associada à sua composição litológica e pedológica, favorece a ocorrência de processos de instabilidade, como erosão, movimentos de massa

superficial e assoreamento. A intensificação das atividades antrópicas — especialmente a expansão urbana, industrial e agropecuária — tem ampliado as áreas de solo exposto e reduzido a cobertura vegetal, contribuindo para o surgimento de vertentes desnudas. Como consequência, observa-se um aumento significativo da produção de sedimentos, do escoamento superficial e do aporte sedimentar aos canais fluviais, o que resulta em assoreamento, redução da capacidade de vazão e maior recorrência de eventos de transbordamento.

2.4. Hidrografia

Com base em Christofoletti (1979) o padrão de escoamento da BHRJ é considerado exorreico, pois ocorre um escoamento direto e contínuo para o mar. Outro aspecto relevante a ser mencionado é a forma geométrica da bacia, que segue um padrão dendrítico.

A BHRJ configura-se como sub-bacia integrante da Bacia Hidrográfica do Recôncavo Norte, conectando-se a outros sistemas hidrográficos do estado da Bahia. O rio Joanes nasce no município de São Francisco do Conde. A BHRJ possui uma área aproximadamente de 1.200 km², possui cerca de 250 km de extensão de cursos d'água e apresenta vazão média de 11 m³/s, com vazão regularizada de 6,4 m³/s (Silva, 2007).

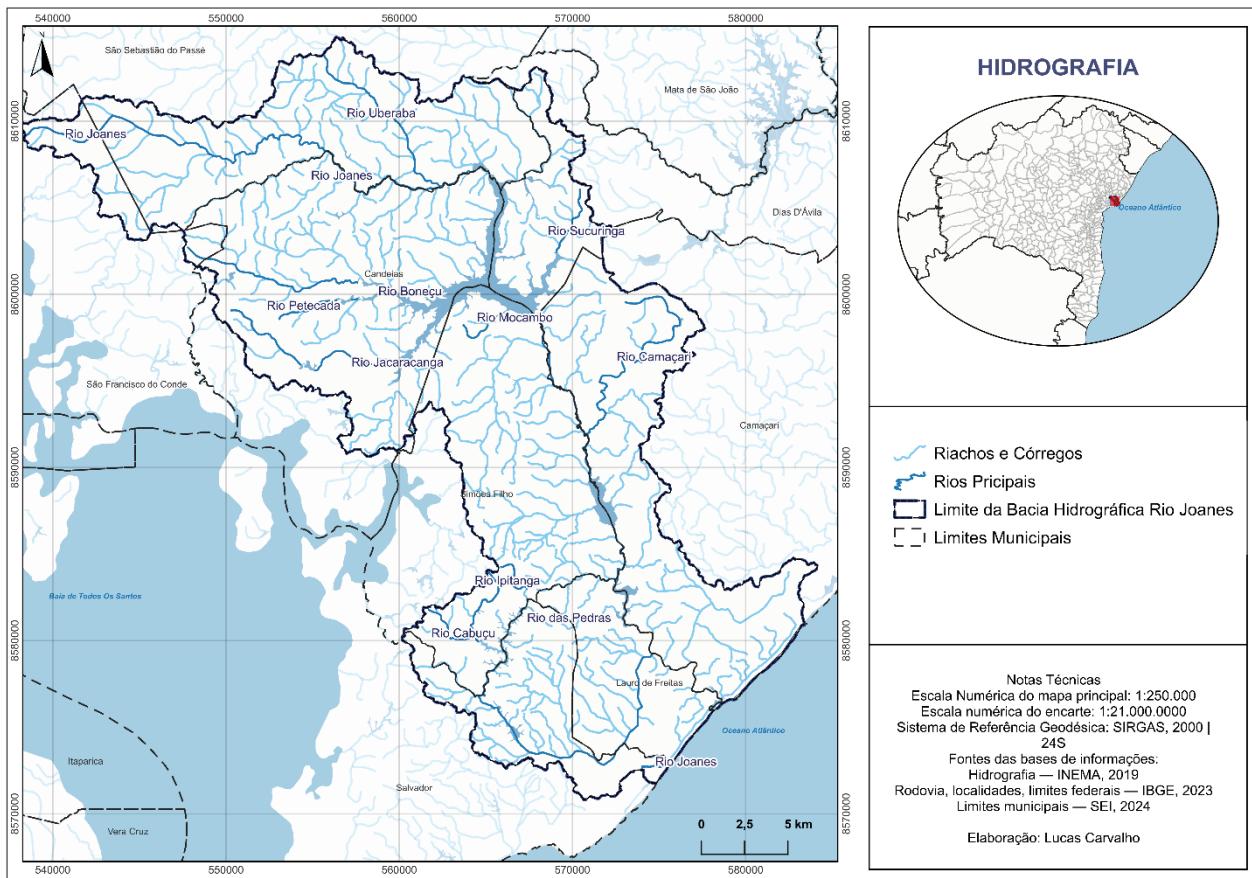
Os principais afluentes do rio Joanes distribuem-se entre suas margens direita e esquerda. Na margem direita, destacam-se os rios Ipitanga, São Francisco, Boneçu, Petecada, Jacarecanga, Muriqueira, Itamboatá e Jaíba. Já na margem esquerda, encontram-se os rios Uberaba, Lamarão, Sucuricanga, Camaçari (ou Bandeira) e Piaçabeira, além do Riacho Parafuso e do Córrego Cantagalo. A figura 5 mostra a localização desses afluentes.

Os afluentes desempenham papel fundamental na dinâmica hidrológica da BHRJ, pois alimentam o curso principal e regulam o escoamento superficial ao longo da bacia. Além da função hidrológica, esses cursos d'água exercem influência direta sobre a manutenção dos padrões de uso e ocupação do solo. Nas proximidades das nascentes, alguns afluentes são utilizados para atividades de pecuária associadas à criação bovina; nas zonas industriais, destacam-se como fontes essenciais para processos produtivos, especialmente no polo petroquímico e em empreendimentos vinculados ao tratamento e

refino de derivados do petróleo; já nas áreas urbanas, seus usos são diversos, abrangendo desde a subsistência da população até atividades ligadas à construção civil.

Assim, os afluentes do rio Joanes não apenas estruturam o sistema de drenagem, mas também refletem e absorvem os impactos das múltiplas formas de uso do território, evidenciando sua importância para a gestão e para a compreensão dos processos ambientais da bacia.

Figura 5: Localização dos principais afluentes do rio Joanes



Fonte: elaborado pelo autor

A BHRJ apresenta um regime pluviométrico anual caracterizado por médias entre 1.700 e 2.000 mm, com precipitações máximas variando de 2.500 a 3.500 mm e mínimas situadas entre 800 e 1.200 mm. A distribuição sazonal das chuvas evidencia uma marcada assimetria: o período de estiagem ocorre entre setembro e novembro, enquanto o período úmido concentra-se de abril a junho, influenciado principalmente pela atuação de sistemas atmosféricos (PLANARQ, 2001).

O avanço do processo de industrialização na região da bacia, conforme discutido anteriormente, intensificou significativamente a demanda hídrica. Como resposta a esse aumento de demanda, o Governo do Estado implementou um conjunto de reservatórios destinados ao abastecimento público e industrial. A construção dessas barragens, de acordo com Silva (2009), atendeu a funções específicas:

- **Ipitanga I (1936):** regularização das águas do Rio Ipitanga e abastecimento futuro de Salvador e Lauro de Freitas;
- **Ipitanga II (1971):** fornecimento de água, tratada ou não, ao então Centro Industrial de Aratu (CIA);
- **Ipitanga III (1971):** acumulação e transposição do Rio Joanes em períodos de estiagem;
- **Joanes I (1955):** abastecimento de Salvador e Lauro de Freitas;
- **Joanes II (1971):** atendimento ao Polo Petroquímico.

2.5. Solos

Na BHRJ, o histórico de eventos de inundação e erosão estão associado, entre outros fatores, às propriedades intrínsecas dos solos que compõem sua paisagem. Conforme apresentado na Figura 6, observa-se a predominância de Argissolos na porção central, nordeste e noroeste da bacia, além da ocorrência de Espodossolos, Latossolos e pequenas manchas de Neossolos Quartzarênicos.

Os Argissolos apresentam forte diferenciação textural entre os horizontes A e B — com horizonte superficial arenoso e horizonte subsuperficial argiloso — característica que reduz a condutividade hidráulica e limita a infiltração vertical. Em consequência, há incremento no coeficiente de escoamento superficial, o que eleva a suscetibilidade a processos erosivos e a eventos de inundação.

Os espodossolos, embora predominantemente arenosos e de elevada porosidade, apresentam um horizonte B espódico enriquecido por matéria orgânica complexada com Al e/ou Fe. Tal composição confere alta mobilidade hídrica vertical e baixa fertilidade natural. Embora favoreçam a infiltração, sua estrutura frágil pode permitir percolação intensa, alterando a redistribuição hídrica no perfil.

Os latossolos, por sua vez, constituem solos profundos, bem estruturados e altamente intemperizados, caracterizados por elevada permeabilidade e homogeneidade textural. Esses atributos conferem baixa geração de escoamento superficial sob condições naturais. Contudo, quando submetidos a processos de compactação ou impermeabilização decorrentes de usos urbanos e agroindustriais, sua capacidade de infiltração pode ser substancialmente reduzida, modificando sua resposta hidrológica original.

Os neossolos quartzarênicos, ocorrem em relevos ondulados e e planos, tme baixa retenção de água e sua textura é arenosa, o que pode ajudar no processo de erosão, principalmente quando associada às atividades antrópicas.

A análise integrada da distribuição dos solos na bacia revela que grande parte da BHRJ é composta por classes com maior suscetibilidade a processos hidrogeomorfológicos, sobretudo em função da baixa capacidade de infiltração, da limitada profundidade efetiva e da presença de contrastes texturais acentuados.

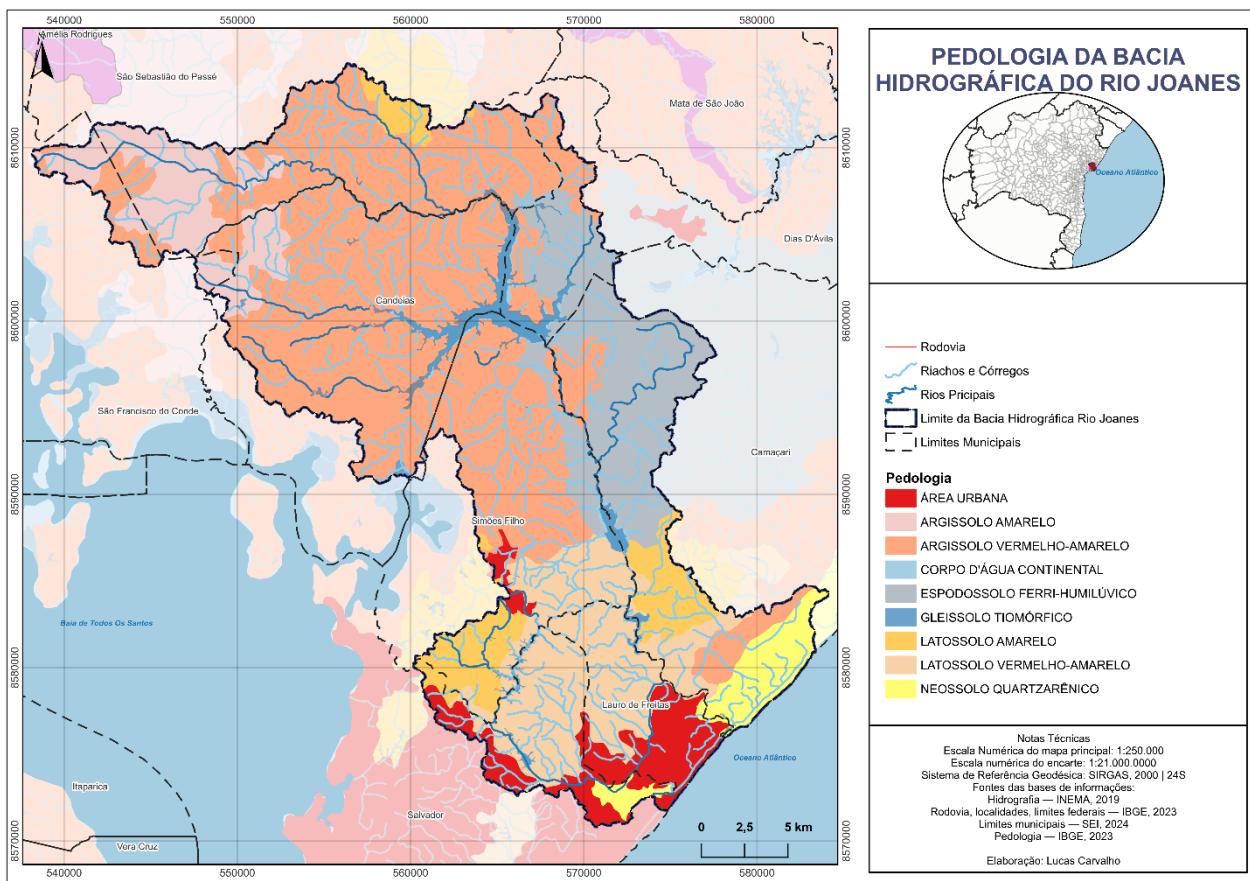
De acordo com Crepani et al. (2001), a vulnerabilidade ambiental pode ser classificada em uma escala de 1 a 3, na qual 1 representa baixa vulnerabilidade e 3 corresponde à maior fragilidade frente à ação de agentes naturais.

Nesse contexto, os latossolos, devido à sua alta permeabilidade e melhor estrutura, tendem a ser classificados em níveis de menor vulnerabilidade (nível 1), não contribuindo de forma significativa para a geração de escoamento superficial em condições naturais.

Os argissolos e neossolos, em contrapartida, enquadram-se predominantemente nos níveis 2 a 3, em razão da baixa profundidade (neossolos) e do contraste textural entre horizontes (Argissolos), fatores que restringem a infiltração, aumentam a saturação superficial e intensificam o escoamento.

Os espodossolos apresentam vulnerabilidade intermediária, pois, apesar da elevada permeabilidade, sua mobilidade hídrica vertical, associada à fragilidade estrutural e à baixa coesão, pode favorecer processos hidrológicos intensificados em determinadas condições de uso e cobertura do solo.

Figura 6: Classificação dos solos na Bacia Hidrográfica do Rio Joanes



Fonte: elaborado pelo autor

2.6. Vegetação

De acordo com a PLANARQ (2001), a vegetação primária da BHRJ apresenta características de floresta ombrófila densa. Esse tipo de vegetação se caracteriza por não perder totalmente suas folhas ao longo do ano e por ocorrer predominantemente em regiões tropicais úmidas (Goes, 1988).

Segundo o IBGE (2012), a Floresta Ombrófila Densa caracteriza-se por elevada resistência às condições climáticas tropicais, marcada por altas temperaturas e elevados índices de precipitação distribuídos ao longo do ano, apresentando um período seco reduzido — entre 0 e 60 dias — insuficiente para ocasionar estresse hídrico significativo. Trata-se de uma formação vegetal perenifólia, com dossel estratificado, elevada biomassa áerea, alta diversidade florística e intensa dinâmica de ciclagem de nutrientes.

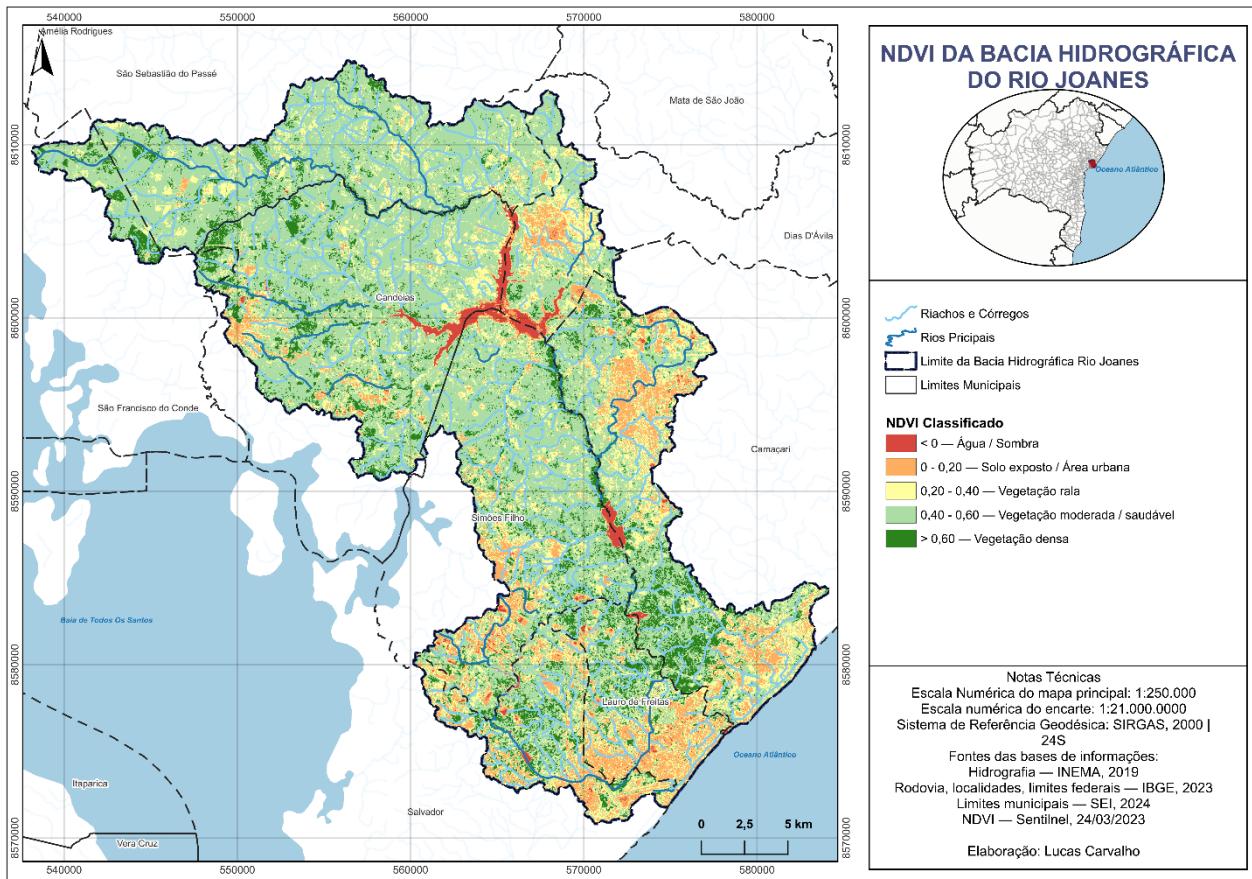
No que se refere às formações pioneiras, a área de estudo apresenta dois tipos principais: (i) a formação pioneira com influência fluviomarinha arbórea; e (ii) a formação pioneira com influência marinha, abrangendo fisionomias arbóreas e arbustivas. Nos ambientes fluviomarinhas, representados sobretudo pelos manguezais, a vegetação se estabelece em substratos hidromórficos e salobros, condicionados pela interação entre o regime fluvial e a dinâmica das marés. Esses ecossistemas apresentam adaptações morfofisiológicas específicas, como raízes aéreas (pneumatóforos), tolerância à salinidade e propagação por viviparidade, o que garante elevada eficiência na fixação e estabilização do sedimento.

Por outro lado, observa-se que grande parte da BHRJ é atualmente constituída por vegetação secundária, resultante da substituição ou degradação da cobertura vegetal primária ao longo do tempo. Embora tais formações apresentem capacidade de regeneração natural, sua estrutura e composição florística diferem substancialmente da vegetação original, apresentando menor complexidade estratigráfica, biomassa reduzida e aumento de espécies oportunistas ou pioneiras. Os principais agentes antrópicos responsáveis por esse processo incluem atividades agropecuárias, extração mineral, expansão urbana e implantação de infraestrutura, que promovem fragmentação, perda de habitat e alterações na dinâmica ecológica local.

A Figura 7, ilustra a distribuição atual da cobertura vegetal da bacia por meio dos valores do NDVI, o qual expressa a variação espacial da atividade fotossintética e da densidade de biomassa verde. Essa representação permite identificar áreas de maior degradação, zonas de regeneração secundária e remanescentes de vegetação nativa, constituindo um importante parâmetro para o diagnóstico ambiental da BHRJ.

A análise do mapa de NDVI da Bacia Hidrográfica do Rio Joanes evidencia uma baixa representatividade de formações vegetais iniciais associadas à Floresta Ombrófila Densa. A maior parte da bacia apresenta valores de NDVI entre 0,20 e 0,60, indicando condições de vegetação rala a moderadamente densa, compatíveis com áreas de uso antrópico, regeneração secundária, fragmentação florestal e mosaicos de ocupação urbana. Esses valores refletem a estrutura vegetacional atual da BHRJ, marcada pela substituição da cobertura original por formações secundárias de menor biomassa e heterogeneidade estrutural.

Figura 7: Índice de NDVI da Bacia Hidrográfica do Rio Joanes



Fonte: elaborado pelo autor

A classificação utilizada baseou-se nos intervalos espectrais definidos por Meneses et al. (2012), cujas amostras — extraídas de uma cena Landsat ETM+ — demonstram que áreas de vegetação densa apresentam NDVI entre 0,75 e 0,85 (com uma margem de erro, uma vez que os processos de saturação do NDVI, pode não demonstrar toda a vegetação densa existente); solos expostos variam entre 0,33 e 0,41; e corpos d'água apresentam valores negativos, entre -0,42 e -0,11. Esses padrões confirmam que valores superiores a 0,60 estão associados a elevada densidade de biomassa e maior vigor vegetativo, enquanto valores inferiores a 0,20 correspondem a superfícies urbanizadas, solos expostos ou áreas com baixa cobertura vegetal.

A remoção ou alteração estrutural da vegetação, especialmente aquela de caráter pioneiro, reduz significativamente a capacidade de infiltração do solo, intensifica o escoamento superficial e aumenta a susceptibilidade a processos hidrológicos como inundação, erosão laminar e transporte de sedimentos. Tais fenômenos são

particularmente evidentes nas porções da BHRJ onde predominam valores reduzidos de NDVI.

Com o objetivo de sintetizar essas informações, a Tabela 3 apresenta os intervalos de NDVI empregados na classificação da BHRJ, fundamentados em Meneses et al. (p. 149). Essa tabela sistematiza as condições de vegetação identificadas no mapa (Figura 8) e encerra a análise da cobertura vegetal e de seus padrões ambientais abordados neste capítulo.

Quadro 1: Informações contextualizadas do NDVI (com base em Meneses et al., p.149)

Classe	Intervalo NDVI	Interpretação	Fundamentação (Meneses et al., p. 149)
1 – Água / Sombra	< 0	Corpos d'água, sombras profundas, ausência de vegetação	Água: -0,42 a -0,11
2 – Solo exposto / Área urbana	0,00 – 0,20	Superfícies urbanas, solo nu, baixa biomassa	Solo exposto: 0,33 a 0,41
3 – Vegetação rala	0,20 – 0,40	Pastagens, vegetação esparsa, cultivos iniciais	Valores intermediários ligados à baixa densidade
4 – Vegetação moderada	0,40 – 0,60	Vegetação secundária, regenerada, cobertura contínua	Valores próximos à transição para vegetação densa
5 – Vegetação densa	> 0,60	Alta biomassa, vegetação madura	Vegetação: 0,75 a 0,85

Fonte: elaborado pelo autor

2.7. Uso e Ocupação do Solo

No âmbito da mineração, predomina a exploração de substâncias minerais não metálicas de uso imediato na construção civil. A Bacia Hidrográfica do Rio Joanes, especialmente em sua Região Metropolitana, caracteriza-se pela extração de materiais essenciais para obras de infraestrutura, como cerâmica vermelha, areia, calcário, granito e mármore, além da extração de água mineral.

O Código de Mineração (Decreto-Lei nº 227/1967), posteriormente atualizado pela Lei nº 9.314/1996, classificava originalmente essas substâncias na Classe II, categoria frequentemente citada na literatura técnica, mesmo após a revogação formal da

classificação. A mineração não metálica, de certa forma, ainda influencia o desenvolvimento regional, sendo responsável pelo fornecimento de insumos para a construção civil, indústria e até para o setor ornamental.

Em 1997, conforme o PLANARQ (2001), a Região Metropolitana de Salvador (RMS) apresentava uma produção significativa de materiais como pedra, argila, areia e cerâmica, com destaque para a produção de cerâmica vermelha utilizada em revestimentos e outros itens de construção.

Essa atividade mineradora continua a ser relevante para a economia local, especialmente no que se refere à exploração de recursos minerais que não apenas abastecem o mercado regional, mas também contribuem para o crescimento urbano e industrial da área. O quadro a seguir sintetiza os principais minerais extraídos nos municípios da RMS, refletindo a diversidade de recursos minerais explorados na região.

Quadro 2: Produção mineral na região da BHRJ, 1997

Município	Mineral
Camaçari	Cerâmica Vermelha
Candeias	Cerâmica Vermelha
Dias D'Ávila	Água Mineral; Cerâmica Vermelha
Lauro de Freitas	Artefatos Minerais; Pedra preciosa calibrada
Salvador	Areia; argila; calcário; granito; mármore; pedra
Simões Filho	Cerâmica Vermelha

Fonte: Adaptado de SICM – Cadastro do Produtor Mineral (1997). Dados publicados em: Diagnóstico Ambiental da APA Joanes–Ipitanga (1997).

Com base nos dados disponibilizados pela Agência Nacional de Mineração (ANM, 2017), observa-se a presença de distintos tipos de uso e registros minerários na área de estudo, conforme apresentado na Tabela 3.

Esses registros permitem quantificar a intensidade da atividade extractiva e compreender, de forma mais abrangente, a dinâmica antrópica que incide sobre o território. Em especial, é possível analisar as pressões exercidas sobre os sistemas geomorfológicos, hidrológicos e ecossistêmicos associados. Como resultado, ocorre uma exploração contínua dos recursos minerais em quase todo o território da BHRJ, predominantemente

dentro da conformidade das legislações ambientais vigentes, embora, em alguns casos, seja necessário um monitoramento mais rigoroso para garantir a mitigação de danos ambientais.

Tabela 3: Quantidade de prospecção mineral da BHRJ

Tipo de Uso	Processos	Porcentagem (%)
Brita	12	5,24
Cerâmica Vermelha	3	1,31
Construção Civil	102	44,54
Demais Substâncias	22	9,61
Dados não cadastrados	7	3,06
Engarrafamento	12	5,24
Industrial	63	27,51
Revestimento	8	3,49
Total	229	100

Fonte: elaborado pelo autor

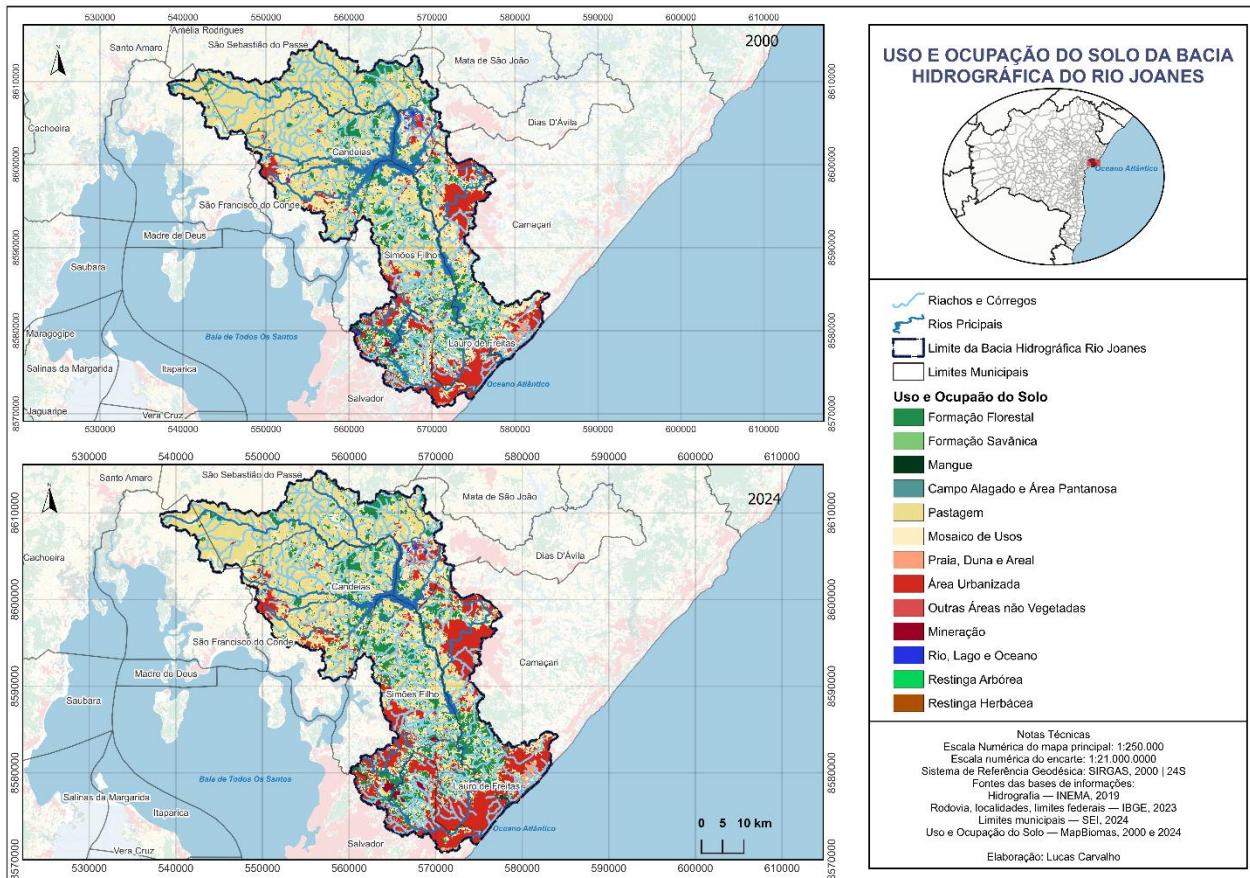
Os minerais abrangem diferentes etapas do processo de aproveitamento mineral — desde requerimentos de pesquisa e autorizações de lavra até licenças voltadas ao aproveitamento comercial — evidenciando a diversidade de interesses sobre as substâncias exploradas. Entre os materiais predominantemente registrados destacam-se granito, granulito, argila, areia, cascalho, saibro, caulim, gnaisse e quartzo, além de minérios metálicos como ferro e cobre, bem como registros específicos de captação e exploração de água mineral.

No contexto da BHRJ verifica-se a predominância histórica de usos antrópicos como pastagens, áreas de mineração e expansão urbano-industrial. Essa configuração espacial revela um quadro de elevada tensão antrópica, caracterizado pela intensificação das pressões sobre os sistemas físico-ambientais.

A interação entre as atividades socioeconômicas e os componentes naturais da bacia — incluindo o regime hidrológico, o balanço hídrico, a dinâmica de escoamento superficial e a estabilidade dos compartimentos geomorfológicos — gera impactos bilaterais: ao mesmo tempo em que a ação humana altera a morfologia da paisagem, a modificação desses atributos intensifica a suscetibilidade a processos ligados a eventos

ambientais. Essas dinâmicas são evidenciadas na Figura 8, a representação do uso e ocupação do solo, demonstra uma predominância alta de práticas antrópicas espalhadas pela BHRJ, principalmente no que se refere as atividades ligadas à agropecuária. As práticas agropecuárias presentes na bacia contribuem para a compactação e a erosão do solo, reduzindo a quantidade de macroporos e, consequentemente, diminuindo a infiltração.

Figura 8: Evolução do Uso e Ocupação do Solo (2000 — 2024)



Fonte: elaborado pelo autor

Na mesma perspectiva, atividades ligadas à construção civil e às mudanças florestais — especialmente o desmatamento — reduzem a interceptação da chuva e a evapotranspiração, diminuindo a profundidade e a capacidade de armazenamento do solo. Essas alterações favorecem o escoamento superficial e contribuem para a ocorrência de inundações na BHRJ.

Como a bacia hidrográfica não coincide integralmente com os limites municipais da Região Metropolitana de Salvador, os dados de áreas plantadas e destinadas à colheita

representam a totalidade dos municípios e não apenas a parcela contida na bacia. Ainda assim, dada a história agroexportadora da região, esses valores permitem compreender a pressão exercida pelas atividades agrícolas sobre o ambiente.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

O presente referencial teórico fundamenta-se nos conceitos de paisagem, vulnerabilidade ambiental e bacia hidrográfica, os quais estruturam a base analítica necessária para compreender a dinâmica espacial da Bacia Hidrográfica do Rio Joanes. Esses referenciais permitem interpretar os processos de interação biofísica e antrópica que moldam os padrões hidrológicos da área, contribuindo para a compreensão dos mecanismos que condicionam a ocorrência de degradação ambiental.

3.1. Paisagem

A discussão sobre o conceito de paisagem envolve diferentes perspectivas teóricas e metodológicas. Para Bertrand (2004), a paisagem constitui um conceito amplo e multifacetado, frequentemente abordado, mas ainda sem consenso definitivo quanto à sua definição. O autor destaca que compreender a paisagem implica reconhecer sua complexidade e superar a visão estreita que a associa apenas aos elementos físicos isolados. Em sua concepção, a paisagem é formada pelo conjunto indissociável de componentes naturais e antrópicos, que interagem de maneira dinâmica e contínua.

Santos (1997) complementa essa visão ao afirmar que a paisagem resulta da combinação de dois grupos de elementos: os naturais, não produzidos diretamente pelo homem, e os sociais, que correspondem às formas construídas historicamente pela ação humana. O autor enfatiza o caráter dinâmico da paisagem, ressaltando que transformações sociais — sejam econômicas, culturais ou políticas — demandam reconfigurações do espaço, o que faz com que os elementos naturais se adaptem às novas necessidades impostas pela sociedade.

O IBGE (1961), por sua vez, reforça que, embora inicialmente analisada sob uma perspectiva predominantemente física, a paisagem também reflete as dinâmicas populacionais e as transformações decorrentes das atividades humanas. Assim, sua delimitação e classificação passam a incorporar simultaneamente atributos naturais e

características oriundas da ação antrópica, reconhecendo a paisagem como produto da interação entre sociedade e natureza.

3.2. Vulnerabilidade Ambiental

Ao analisar os elementos físicos do ambiente, torna-se fundamental adotar uma perspectiva integradora, que considere tanto as dinâmicas naturais quanto os efeitos das intervenções humanas. Ross (1994) afirma que compreender a vulnerabilidade de uma área envolve avaliar suas características naturais e sociais, bem como a articulação entre elas. O conceito de vulnerabilidade ambiental, portanto, busca evidenciar os fatores que condicionam a ocorrência de eventos ambientais, analisando como as ações antrópicas se inserem no meio natural e o modificam.

Nessa mesma linha, Tricart (1977) destaca que os estudos sobre o meio natural devem necessariamente incluir as atividades humanas, pois o ser humano atua como agente transformador da paisagem. Para o autor, a dinâmica ambiental só pode ser plenamente compreendida ao se reconhecer que natureza e sociedade estão intrinsecamente conectadas, sendo essa relação determinante nos processos que elevam ou reduzem a vulnerabilidade ambiental de determinado espaço.

3.3. Bacia Hidrográfica

Christofoletti (1980) define a bacia hidrográfica como uma unidade natural composta pelas áreas que drenam suas águas para um mesmo curso principal. Essa unidade integra elementos como relevo, solos, cobertura vegetal, rede de drenagem e condições climáticas, que atuam conjuntamente na regulação do escoamento superficial e subterrâneo.

O autor destaca que a bacia constitui um espaço privilegiado para a análise da articulação entre processos geomorfológicos e hidrológicos, permitindo identificar padrões de circulação da água, respostas do terreno à precipitação e mecanismos que condicionam infiltração, escoamento, erosão e eventos de inundação.

Desse modo, o estudo de uma bacia hidrográfica possibilita compreender como os componentes físicos e antrópicos interagem e influenciam diretamente o comportamento hidrológico do sistema, constituindo um instrumento essencial para análises ambientais e para o planejamento territorial.

3.4. Cartografia da Vulnerabilidade à erosão

Uma vez que todos os processos iniciais de verificação, compatibilização e construção dos mapas temáticos, a próxima etapa do trabalho se pautou em encontrar a melhor metodologia a ser utilizada para a elaboração de um mapa final que buscasse mostrar a junção das informações ambientais para analisar as áreas mais e menos sensíveis a acontecimentos hídricos, como as inundações dos corpos d'água encontrados na bacia.

Dessa forma, para orientar esse processo, Crepani et al. (2001) nos diz que:

“Uma unidade territorial básica é uma entidade geográfica que contém atributos ambientais que permitem diferenciá-la de suas vizinhas, ao mesmo tempo em que possui vínculos dinâmicos que a articulam à uma complexa rede integrada por outras unidades territoriais.” (CREPANI et al., 2001, p. 12-13)

Paralelamente ao pensamento do autor, ainda que as especificidades de cada temática tenham a sua importância na análise de um estudo ambiental e indique os impactos como, por exemplo, a exploração mineral que pode levar ao assoreamento dos rios e depósito excessivo de sedimentos, gerando alterações da dinâmica no fluxo da bacia, a necessidade de integração torna a pesquisa ainda mais completa e dinâmica.

Portanto, para o trabalho na área da Bacia Hidrográfica do Rio Joanes, o modelo integrador de vulnerabilidade escolhido foi o de Crepani et al. (2001), uma vez que ele elenca valores quantitativos que variam de 1,0 a 3,0 e associa a atributos qualitativos, indicando uma escala nominal do menos vulnerável ao mais vulnerável.

No estudo original dos autores aplicam o método a vulnerabilidade natural à perda do solo, contudo o modelo é altamente adaptável a diferentes dinâmicas ambientais, desde que os critérios adotados sejam coerentes com a proposta da pesquisa.

Neste trabalho, cada variável ambiental foi tratada como uma *unidade de trabalho*, sendo normalizada a partir da reclassificação temática (solos, geomorfologia, geologia, vegetação e uso e ocupação do solo), diferenciando da metodologia oficial, para esta

pesquisa foi adicionado o critério de uso e ocupação do solo, uma vez que a relevância deste item é de suma importância para o estudo.

Em seguida, aplicou-se o procedimento de integração proposto por Crepani et al. (2001), somando-se as variáveis normalizadas entre 1,0 e 3,0 e extraindo-se a média da soma das variáveis selecionadas. O resultado corresponde a um mapa síntese que expressa o grau de vulnerabilidade ambiental para cada setor da Bacia Hidrográfica do Rio Joanes.

Ao adotar cinco critérios (incluindo o uso e ocupação do solo), este estudo propõe uma abordagem mais abrangente para a avaliação da vulnerabilidade, incorporando a complexidade da interação sócio-física da região, enquanto a metodologia de Crepani et al. (2001) se restringe a uma análise com menos variáveis, focando mais nos aspectos físicos do ambiente.

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo, apresenta-se os procedimentos metodológicos adotados para a construção dos produtos cartográficos e das análises ambientais realizadas na BHRJ. Para a construção do trabalho, a abordagem utilizada foi organizada em quatro pilares essenciais para se trabalhar a temática de vulnerabilidade: *áquisição de dados, pré-processamento, processamento de variáveis e integração das variáveis*, resultando em um mapa de vulnerabilidade ambiental.

O objetivo da metodologia adotada foi analisar a vulnerabilidade ambiental da BHRJ, considerando a interação entre os aspectos sócio físicos e seus impactos nos processos hidrológicos, além de sua relação com a ocorrência de eventos críticos, especialmente na erosão do solo e na perda de capacidade de infiltração. A abordagem integradora adotada também visa proporcionar subsídios para o desenvolvimento de políticas públicas, a partir dos resultados gerados, especialmente no formato cartográfico.

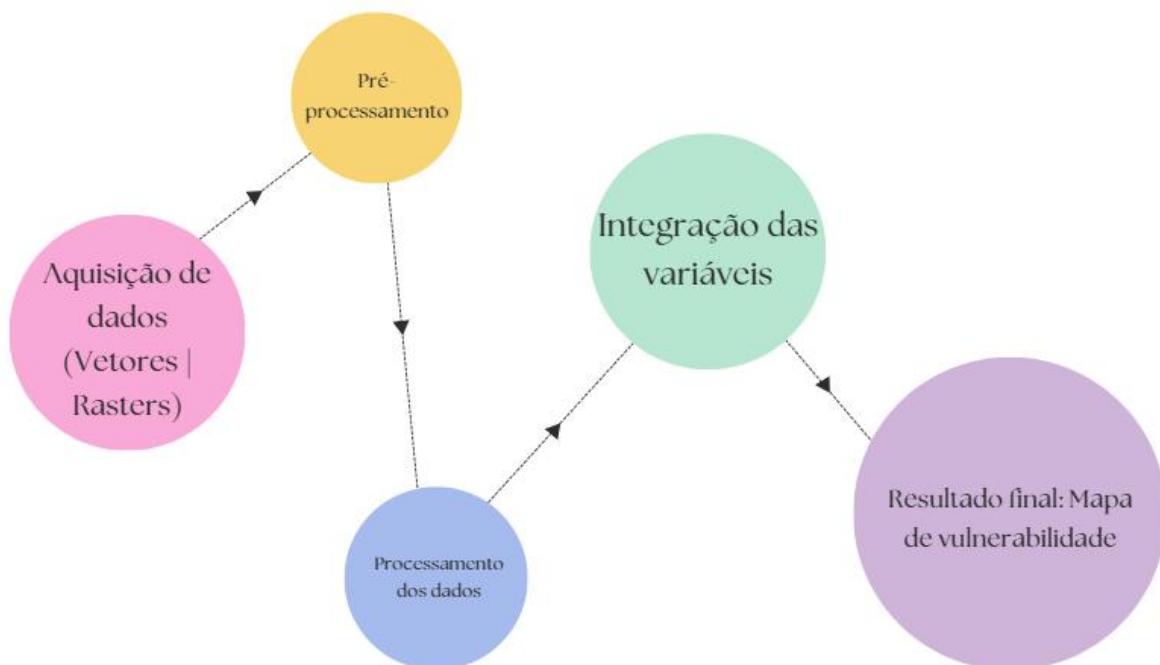
Cada variável observada foi analisada de forma independente, destacando seus principais fatores estruturantes, sua relação com os demais elementos físicos da paisagem, e o impacto causado no comportamento da bacia. A integração das variáveis foi uma etapa crucial, pois possibilitou a categorização dos elementos em níveis de vulnerabilidade,

proporcionando uma visão sistêmica e detalhada, especialmente quando associada à ação antrópica.

A aquisição de dados envolveu a coleta de informações relevantes em diversas fontes, como dados vetoriais e raster, abrangendo aspectos geológicos, geomorfológicos e de uso do solo. O pré-processamento preparou esses dados para análise, garantindo sua consistência e compatibilidade para os passos seguintes. No processamento de variáveis, as informações adquiridas foram manipuladas e analisadas de forma a identificar as áreas mais vulneráveis aos processos erosivos.

Por fim, a integração das variáveis resultou na construção do mapa de vulnerabilidade, que sintetizou os diversos fatores ambientais, destacando as regiões da bacia mais suscetíveis a impactos, como alagamentos e erosão. A seguir, a Figura 9 ilustra o fluxograma dos pilares metodológicos, demonstrando a sequência lógica e interconectada das etapas adotadas para gerar o mapa de vulnerabilidade ambiental.

Figura 9: Fluxograma dos pilares metodológicos



Fonte: elaborado pelo autor

No quadro 3, por sua vez, é possível verificar informações sintetizadas das etapas realizadas durante a construção do trabalho para o desenvolvimento do mapa de vulnerabilidade.

Quadro 3: Fonte de aquisição dos dados trabalhados

Dado	Fonte	Escala/Resolução	Tipo de Dado
Geologia e Geomorfologia	SGB (2003/2004)	1:1.000.000	Vetorial
Limites Municipais	SEI (2024)	1:100.000	Vetorial
Hidrografia	INEMA (2019)	1:50.000	Vetorial
MDE (Modelo Digital de Elevação)	INPE/Topodata (2011)	30 m	Matricial
Imagen de Satélite (ALOS-PALSAR)	EARTHDATA (2011-2009)	10 m / 1:50.000	Matricial
MapBiomas (Uso e Cobertura do Solo)	MapBiomas (2022)	30 m / 1:150.000	Matricial

Fonte: elaborado pelo autor

No que diz respeito ao detalhamento dos procedimentos metodológicos, o quadro 4 sintetiza os quatro pilares usados para este trabalho, indicando os processos, cada um com seu objetivo específico.

Quadro 4: Síntese dos procedimentos metodológicos

Procedimento	Processos	Objetivo
Pré-processamento	Reprojecção, recorte e padronização das bases	Garantir consistência métrica e espacial
Processamento Vetorial	Recorte, compatibilização e estilização das camadas	Construção dos mapas temáticos ambientais
Processamento Raster	Cálculo e reclassificação de declividade; análise de UOS	Geração de superfícies temáticas contínuas
Integração das Variáveis	União das variáveis temáticas; mapa-síntese	Construção do Mapa de Vulnerabilidade Ambiental

Fonte: elaborado pelo autor

4. Atribuição dos valores de vulnerabilidade às variáveis vetoriais

Para que fosse feito a escala de vulnerabilidade, Crepani et al. (2001) utiliza a teoria da caracterização da morfodinâmica, ou seja, as dinâmicas estruturantes do meio físico a partir dos conceitos primordiais da ecodinâmica de Tricart, o qual ele classifica em três estágios: estável, intermediário e instável (prevalece a formação do solo, equilíbrio entre os

processos pedogenéticos e morfogenéticos e prevalece a formação do relevo, respectivamente).

Em termos técnicos, o processo de atribuição dos valores de vulnerabilidade foi realizado através da padronização das classes temáticas de solo, geologia, relevo e vegetação, conforme explicado nas seções a seguir. No entanto, a metodologia adotada neste trabalho se diferencia da de Crepani et al. (2001), pois o critério de uso e ocupação do solo foi incluído como variável adicional, dada a sua importância para compreender as alterações induzidas pelo ser humano e sua relação com a dinâmica hidrológica da BHRJ.

4.1. Atribuição dos valores de vulnerabilidade às variáveis matriciais

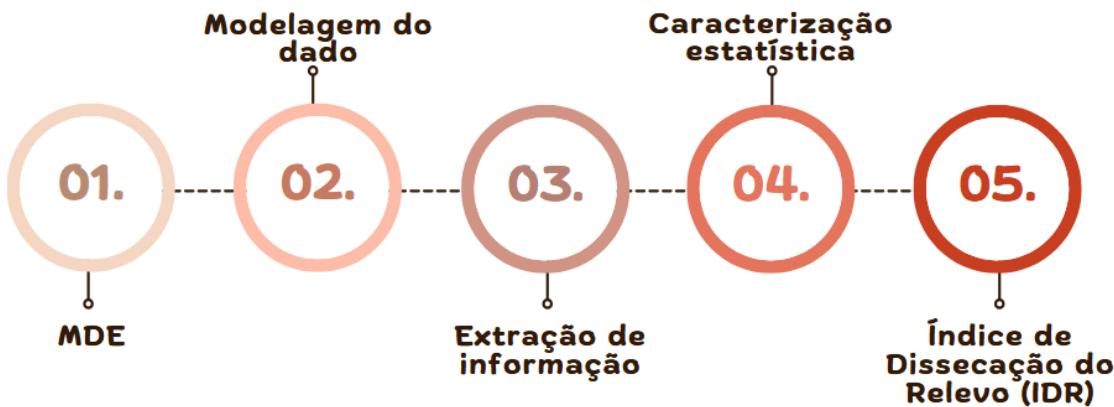
Para as informações matriciais, a atribuição dos valores de vulnerabilidade ocorreu de maneira diferenciada, uma vez que o software limita algumas operações que são rotineiramente realizadas em vetores, como a manipulação direta de dados tabulares na tabela de atributos.

Um dos elementos importantes para a atribuição de valores de vulnerabilidade é a geomorfologia, em que Ross (1993) indica que, para uma análise mais precisa e completa da temática geomorfológica em escalas médias, como 1:250.000 — escala utilizada nos produtos cartográficos deste trabalho — é imprescindível considerar informações relacionadas ao relevo, tais como características altimétricas/topográficas e os Índices de Dissecção do Relevo (IDR).

Crepani et al. (2001), ao analisar a vulnerabilidade ambiental à perda dos solos, explicam que, no âmbito geomorfológico, o **grau de dissecação**, a **amplitude altimétrica** e a **declividade** são elementos fundamentais para a compreensão das formas do relevo. Assim, para que a metodologia pudesse ser aplicada de forma consistente neste trabalho, tornou-se necessária a elaboração individual dessas três variáveis.

Para a obtenção do **Índice de Dissecção do Relevo (IDR)**, utilizou-se a metodologia de Lima (2018), baseada nos conceitos de Ross (1993), que propõe procedimentos metodológicos aplicáveis a ferramentas SIG. Esses procedimentos foram adaptados pelo autor desta pesquisa para o software QGIS. A Figura 10 representa essas etapas.

Figura 10: Etapas para a elaboração do IDR (adaptado de Lima, 2018)



Fonte: elaborado pelo autor.

As etapas estão descritas a seguir, usando como referência Lima (2018):

- **MDE:** Utilizou-se a imagem raster do TOPODATA/INPE como base altimétrica para a obtenção das variáveis do relevo.
- **Modelagem do dado:** Incluiu as técnicas de correção do MDE por meio da ferramenta *Fill*, além do recorte da imagem para a área de interesse por meio de *Clip*.
- **Extração de informação:**

Abrangeu os seguintes procedimentos:

- inversão dos valores de altitude na calculadora raster, multiplicando a imagem por -1;
- cálculo da direção do fluxo (*Flow Direction*);
- delimitação das mini-bacias por meio da ferramenta *Basin*;
- conversão das mini-bacias para vetor.
- **Características estatísticas:** Após a conversão das mini-bacias para vetor, procedeu-se à extração da Dissecção Vertical (DV) com base na ferramenta *Estatísticas Zonais*, obtendo-se o intervalo altimétrico. Foram calculados também a área e o perímetro das mini-bacias; a partir desses valores, determinaram-se o **comprimento** e a **largura** conforme Lima (2018, p. 28 apud Christofoletti, 1970, p. 113–117):

$$C = \frac{P}{2}, L = \frac{A}{C}$$

Por fim, criaram-se dois campos na tabela de atributos das mini-bacias, associando os valores de intervalo à DV e os valores de largura à DH (Dissecção Horizontal). Em seguida, ambos foram classificados segundo a matriz proposta por Ross (1993), apresentada no Quadro 5.

Quadro 5: Matriz do IDR (Ross, 1993, p. 67)

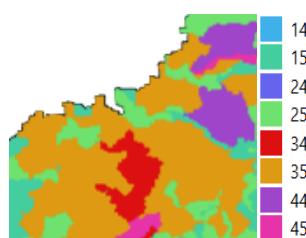
MATRIZ DOS ÍNDICES DE DISSECAÇÃO DO RELEVO

\ Densidade de Drenagem ou \ Dimensão Interfluvial \ Média (Classes)	MUITO BAIXA (1) >3750m	BAIXA (2) 1750 a 3750m	MÉDIA (3) 750 a 1750m	ALTA (4) 250 750m	MUITO ALTA (5) <250m
Graus de Entalhamento dos vales (Classes)	> 15 mm	3 a 15 mm	3 a 5 mm	1 a 3 mm	1 mm
Muito Fraco (1) (< de 20m)	11	12	13	14	15
Fraco (2) (20 a 40m)	21	22	23	24	25
Médio (3) (40 a 80m)	31	32	33	34	35
Forte (4) (80 a 160m)	41	42	43	44	45
Muito Forte (5) (> 160m)	51	52	53	54	55

Fonte: Ross, 1993, p. 67 (figura reproduzida conforme a fonte original)

- **Índice de Dissecção do Relevo (IDR):** O resultado final consistiu em um novo raster contendo a informação morfométrica categorizada para cada mini-bacia, conforme apresentado na Figura 11.

Figura 11: resultado morfométrico para a área da BHRJ



Fonte: elaborado pelo autor

Na **amplitude altimétrica**, a referência conceitual utilizada foi de Crepani et al. (2001, p. 75) que indica: “A amplitude altimétrica é obtida pelo cálculo da diferença entre as cotas máxima e mínima contidas na unidade de paisagem natural, realizado a partir dos dados de altimetria das cartas topográficas.

Em termos práticos, a partir do MDE — que já possui valores altimétricos — utilizou-se a ferramenta *Estatísticas Zonais*, relacionando o MDE à camada vetorial de geomorfologia recortada para o limite da área de estudo. Foram extraídos os valores de **mínimo (min)** e **máximo (max)**, e posteriormente criou-se um campo contendo a operação:

$$Amplitude = max - min$$

Como o resultado precisava ser um dado matricial, procedeu-se à conversão de vetor para raster, utilizando o campo recém-gerado como referência.

A **declividade** foi obtida a partir da ferramenta *Slope* (ou *Declividade*, dependendo da versão do QGIS), utilizando-se o MDE como base. O resultado foi expresso em valores percentuais.

4.1.1. Normalização dos valores

O último passo para a elaboração do produto final consistiu na reclassificação das variáveis discutidas — Geomorfologia, Geologia, Solo, Vegetação e Uso e Ocupação do Solo. Para isso, os elementos vetoriais foram convertidos para raster, com resolução espacial de 30m, utilizando o campo de vulnerabilidade, gerando imagens com gradação variando de 1.0 a 3.0. A geomorfologia, por sua vez, foi normalizada por meio dos procedimentos matemáticos já descritos anteriormente.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

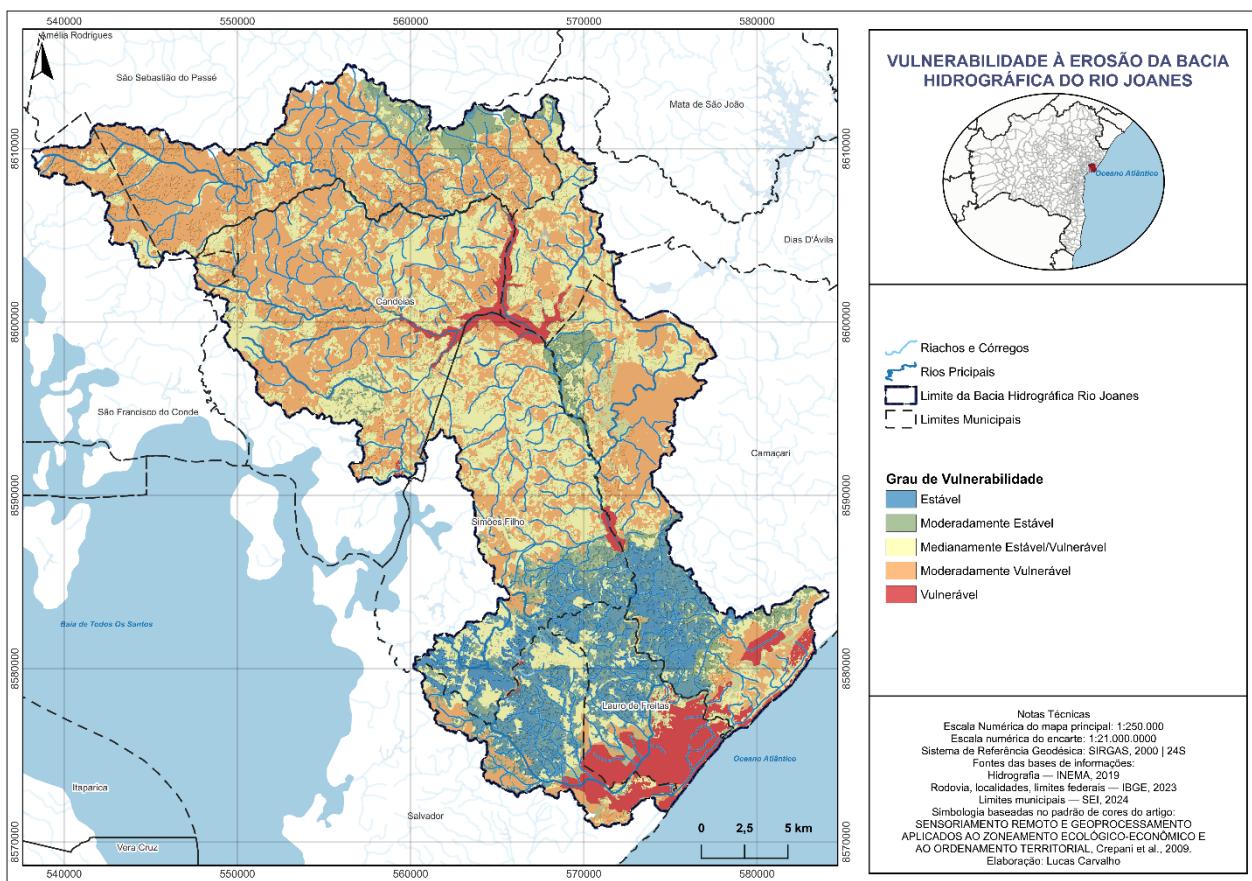
Após a normalização, o **Mapa de Vulnerabilidade** foi elaborado com base em uma média simples dos critérios temáticos, somando-se os critérios e dividindo-se pela quantidade total de variáveis. O cálculo utilizado, a partir da ferramenta *Calculadora Raster*, pode ser observado a seguir:

$$Vul = \frac{(U + G + V + S + R)}{5}$$

Onde Vul = Vulnerabilidade; U = Uso e Ocupação do Solo; G = Geologia; V = Vegetação; S = Solo e R = Relevo / Geomorfologia

Na **Figura 12**, é possível verificar que, em toda a extensão da bacia, a predominância da vulnerabilidade é, em sua maior parte, medianamente estável/vulnerável a moderadamente vulnerável, com alguns pontos mais sensíveis margeando a extremidade sul.

Figura 12: Resultado final da escala de vulnerabilidade da Bacia do Rio Joanes, no ano de 2022



Fonte: elaborado pelo autor

Esse padrão ocorre, de forma mais evidente, na região do município de Lauro de Freitas, onde a combinação entre características físicas do relevo, tipos de solo e intensidade da ocupação urbana contribui para o aumento da vulnerabilidade.

Além disso, observa-se que parte das áreas de maior vulnerabilidade encontra-se associada diretamente ao traçado dos rios principais, destacando a influência da dinâmica hidrológica local e da proximidade aos cursos d'água nos processos de inundação recorrentes da Bacia Hidrográfica do Rio Joanes. Portanto, o resultado apresentado no mapa de vulnerabilidade indica que as mudanças observadas decorrem de três possibilidades principais:

- **Influência dos elementos físicos da paisagem**, que, por sua própria natureza, podem apresentar predisposição à ocorrência de eventos ambientais, especialmente nas áreas associadas a planícies fluviais, rochas menos permeáveis e solos menos profundos e com baixa capacidade de infiltração;
- **Interação entre a estrutura ambiental e o processo antrópico**, em que o padrão espacial previamente estabelecido pelas variáveis físicas é intensificado pelas intervenções humanas — como urbanização e supressão vegetal parcial ou total — potencializando a frequência e a intensidade dos eventos hidrológicos já mencionados;
- **Predominância direta da ação antrópica**, quando a modificação intensa da paisagem reduz a capacidade de infiltração, aumenta o escoamento superficial e acelera o processo de elevação dos níveis dos rios, resultando em transbordamentos e, consequentemente, em episódios de inundação.

Em termos percentual, a classe “Moderadamente Vulnerável” apresenta maior representatividade espacial, que corresponde a aproximadamente 40,98% da bacia apresentada, indicando uma vulnerabilidade acentuada aos processos erosivos. Já a classe “Medianamente Estável/Vulnerável” ocupa cerca de 33,70%, apresentando áreas que estão em transição, o qual cada alteração dos fatores naturais pode intensificar os níveis de vulnerabilidade.

Por outro lado, as áreas que menos aparecem no resultado do mapa são as que possuem menor vulnerabilidade como “Estável” e “Moderadamente Estável” que representam, respectivamente, 11,22% e 8,15% da área total. Outra área que não tem uma quantidade expressiva é a “Vulnerável” que mesmo que ocupe apenas 5,93% do total, é necessária uma atenção redobrada quanto ao planejamento público.

Assim, cabe à administração pública, tanto no nível estadual quanto municipal, o monitoramento contínuo das áreas com maior vulnerabilidade, especialmente aquelas mais suscetíveis a impactos ambientais. Os resultados indicam a existência de um ciclo vicioso, em que as atividades antrópicas, principalmente a exploração mineral, industrial e agropecuária, contribuem para a degradação dos elementos físicos da paisagem, seja por alterações em sua composição química ou por danos estruturais e físicos.

Essa degradação provoca consequências diretas, afetando especialmente as populações mais vulneráveis da bacia. Essas comunidades enfrentam, de forma constante, eventos hidrológicos como alagamentos e inundações, que comprometem suas condições de vida.

A intensidade e a frequência desses eventos são ampliadas pela deterioração ambiental, agravando ainda mais a situação da população, que já se encontra em uma posição de risco. Esse ciclo de impactos ambientais tem sérias implicações sociais, principalmente para as camadas mais carentes. A falta de infraestrutura adequada intensifica os desafios enfrentados por essas populações.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises realizadas ao longo deste trabalho permitiram compreender, de forma integrada, como os elementos físicos da paisagem — geologia, geomorfologia, pedologia e vegetação — interagem com as atividades antrópicas relacionadas ao uso e ocupação do solo, revelando relações de causa e consequência na incidência de eventos de inundação, erosão e degradação do solo na BHRJ. O estudo evidenciou que o principal agente transformador da dinâmica hidrológica da bacia é a ação humana, sobretudo em função do processo de urbanização.

Tais inferências se materializam empiricamente no episódio ocorrido em maio de 2025, quando Lauro de Freitas registrou aproximadamente 307 mm de chuva acumulada, ocasionando o transbordamento dos principais rios da bacia e afetando diversas famílias residentes.

Esse evento encontra respaldo nos resultados apresentados pelos mapas de vulnerabilidade e pelas análises físico-antrópicas: as áreas classificadas como mais vulneráveis são justamente aquelas submetidas a maior pressão antrópica, onde a supressão da vegetação e a impermeabilização do solo reduzem significativamente a infiltração e ampliam o escoamento superficial — condições diretamente associadas ao aumento do risco de alagamentos, sobretudo em setores ocupados por populações de baixa renda.

A aplicação do método de Crepani et al. (2001) possibilitou integrar as variáveis ambientais, destacando, de forma minuciosa, a importância individual de cada elemento para as dinâmicas hidrológicas da bacia. No entanto, algumas limitações foram identificadas durante o desenvolvimento do trabalho. Inicialmente, previa-se a elaboração de um segundo mapa, de caráter preditivo, impediu uma análise mais robusta sobre as tendências futuras de vulnerabilidade, o que poderia fornecer insights valiosos sobre a evolução da pressão antrópica na região.

Além disso, reconhece-se que a inclusão de novos critérios — como informações de vazão hídrica e séries de chuva acumulada — poderia ampliar o grau de detalhamento e robustez da análise, permitindo interpretações ainda mais abrangentes. Apesar dessas

limitações, o estudo apresenta uma linha de raciocínio consistente, capaz de facilitar a compreensão do leitor e de subsidiar ações de planejamento por parte dos setores administrativos do Estado da Bahia.

Entre as medidas de mitigação que poderiam contribuir para reduzir a recorrência de eventos ambientais, destacam-se: (a) a identificação e recuperação de áreas com maior degradação ambiental; (b) o mapeamento de setores urbanos de maior risco, para subsidiar planos urbanísticos voltados à melhoria da drenagem urbana e ao aumento da permeabilidade do solo, especialmente em Lauro de Freitas, Simões Filho e Camaçari; e (c) o fortalecimento do monitoramento ambiental por meio do sensoriamento remoto, a partir de sensores de umidade do solo, de modo a identificar pontos de supressão vegetal e alterações no uso da terra pode aumentar de forma significativa as previsões e alertas de eventos ambientais extremos.

Nesse sentido, a implementação dessas medidas requer uma ação que integra o poder público, privado e a população. A degradação da vegetação, por exemplo, exigiria uma parceria entre instituições financeiras, o setor público e organizações ambientais, em uma equipe multidisciplinar para a criação de corredores ecológicos que promovessem a regeneração da vegetação nativa. Já a infraestrutura urbana, necessitaria de revisão nas legislações de uso e ocupação do solo pautadas em planos urbanísticos municipais.

Embora este estudo tenha se concentrado na BHRJ, a metodologia aplicada — que combina análise espacial com a avaliação de variáveis ambientais e antrópicas — pode ser adaptada e aplicada a outras bacias hidrográficas, permitindo uma análise comparativa de vulnerabilidades ambientais em diferentes contextos.

Por fim, é importante ressaltar que toda a análise realizada, em conjunto com o aumento da frequência de eventos ambientais extremos em escala global, evidencia a necessidade de que políticas públicas, ambientais e territoriais incorporem estratégias de ordenamento, zoneamento ecológico-econômico e planos de manejo capazes de prevenir cenários semelhantes ao observado em maio de 2025, garantindo maior preservação ambiental para toda a área da BHRJ e segurança, saúde e bem-estar para a sociedade que residem e interagem com a área de estudo.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Paulo Henrique de. **A economia de Salvador e a formação de sua Região Metropolitana**. In: CARVALHO, I. M. M.; PEREIRA, G. C. (orgs.). *Como anda Salvador e sua região metropolitana*. 2. ed. rev. e ampl. Salvador: EDUFBA, 2008.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Senado Federal, 1988. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 27 nov. 2025.

BERTRAND, G. **Paisagem e geografia física global: esboço metodológico**. RA'E GA – O Espaço Geográfico em Análise, Curitiba, n. 8, p. 141–152, 2004.

CHRISTOFOLLETTI, Antônio. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1980.

CORREIO 24 HORAS. **Rio Joanes transborda e deixa famílias ilhadas em Lauro de Freitas**. Salvador, 25 maio 2025. Disponível em: <https://www.correio24horas.com.br/minha-bahia/rio-joanes-transborda-e-deixa-familias-ilhadas-em-lauro-de-freitas-0525#:~:text=Em%20Lauro%20de%20Freitas%2C%20na,centro%20de%20apoio%20da%20prefeitura.&text=Diversos%20pontos%20da%20cidade%20registraram,Caji-Caixa%20D%C3%A1gua>. Acesso em: 27 nov. 2025.

CREPANI, Edison; MEDEIROS, José Simeão de; HERNANDEZ FILHO, Pedro; FLORENZANO, Teresa Gallotti; DUARTE, Valdete; BARBOSA, Cláudio Clemente Faria. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2001.

IBGE. **Paisagens do Brasil**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 182 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 275 p.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati de (orgs.). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UnB, 2012.

LIMA, Juarez Souza. **Estudo integrado da paisagem, geomorfologia e geotecnologias: proposta de automatização dos índices de dissecação do relevo**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.

PENHA, Hélio Monteiro. **A geologia e os problemas ambientais**. Anuário do Instituto de Geociências, Rio de Janeiro, v. 13, p. 31-38, 1990.

PLANARQ – Planejamento Ambiental e Arquitetura Ltda. **Diagnóstico Ambiental da APA Joanes–Ipitanga, Estado da Bahia**. Salvador, 2001. Relatório Final.

PREFEITURA MUNICIPAL DO SALVADOR. Órgão Central de Planejamento – OCEPLAN. Programa MINTER/RM Salvador: **Estudo Preliminar – Projeto Urbanização e Oferta de Lotes**. Salvador, 1983.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados**. Revista do Departamento de Geografia, n. 8 , p. 63-74, 1994, Tradução. Disponível em: <https://doi.org/10.7154/RDG.1994.0008.0006>. Acesso em: 10 out. 2025.

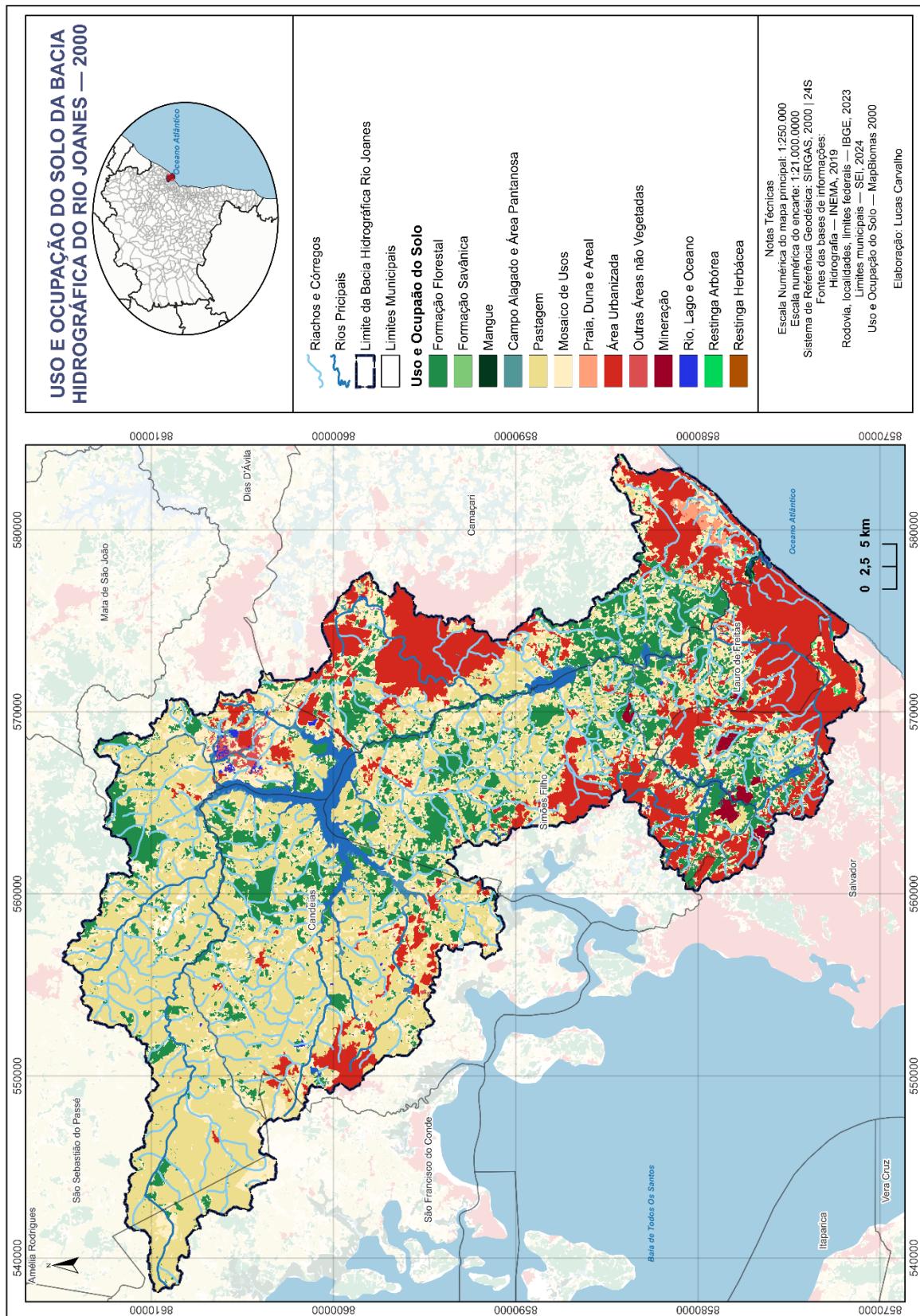
ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. **As estruturas e as formas do relevo brasileiro**. IBGE. *Geografia do Brasil: Região Sudeste*. Rio de Janeiro: IBGE, 1995. p. 11–66.

SANTOS, Milton. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. 4. ed. p. 16-17, São Paulo: Edusp, 1996.

SILVA, Gildete Clarinda das Virgens. **Avaliação crítica da qualidade das águas da Bacia Hidrográfica do Rio Joanes**. 2009. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal da Bahia, Instituto de Química, Salvador, 2009.

VELOSO, Henrique P.; GÓES-FILHO, Luiz. **Fitogeografia brasileira: classificação fisionômico-ecológica da vegetação neotropical**. Salvador: Projeto RADAMBRASIL, 1982.

APÊNDICE A — MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DO ANO DE 2000



APÊNDICE B — MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DO ANO DE 2024

