



Geomorfologia Fluvial e Lacustre

Organização:

- José Yure Gomes dos Santos
- Filipe da Silva Peixoto





Geomorfologia Fluvial e Lacustre

Organização:

- José Yure Gomes dos Santos
- Filipe da Silva Peixoto

MOSSORÓ- RN, 2026.

UERN



Universidade do Estado do Rio Grande do Norte

Reitora

Cicília Raquel Maia Leite

Vice-Reitor

Francisco Dantas de Medeiros Neto

Diretor da Editora Universitária da Uern (Eduern)

Francisco Fabiano de Freitas Mendes

Chefe do Setor Executivo da Editora Universitária da Uern (Eduern)

Jacimária Fonseca de Medeiros

Chefe do Setor de Editoração da Editora Universitária da Uern (Eduern)

Lindercy Francisco Tomé de Souza Lins

Conselho Editorial das Edições UERN

Andreza Tacyana Félix Carvalho

Francisco Fabiano de Freitas Mendes

Franklin Roberto da Costa

Fernanda Abreu de Oliveira

Gleisson do Carmo Oliveira

Ismênia Gurgel Martins

Jacimária Fonseca de Medeiros

Lindercy Francisco Tomé de Souza Lins

Maria Ione da Silva

Otoniel Fernandes da Silva Júnior

Patrícia Batista Barra

Kalidia Felipe de Lima

Saulo Gomes Batista

Sérgio Luiz Pedrosa Silva

Capa e Diagramação

Gabriela Mabel Alves Vieira

**Catálogo da Publicação na Fonte.
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.**

Geomorfologia Fluvial e Lacustre-Vol.III [recurso eletrônico]. / José Yure Gomes dos Santos, Filipe da Silva Peixoto (orgs.). – Mossoró, RN: Edições UERN, 2026.

107 p.

ISBN: 978-85-7621-588-2 (E-book).

Coleção: Geomorfologia do Brasil.

1. Geomorfologia Fluvial. 2. Geomorfologia lacustre. 3. Geomorfologia - Brasil. I. Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. II. Título.

UERN/BC

CDD 551.4

Bibliotecário: Aline Karoline da Silva Araújo CRB 15/ 783

Sumário:



APRESENTAÇÃO.....

06

1. PADRÕES DE DRENAGEM E CORRELAÇÕES LITOESTRUTURAIS NA PORÇÃO MERIDIONAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SALGADO - CEARÁ

João Victor Mariano da Silva;
Frederico de Holanda Bastos;
Sinara Gomes de Sousa.

08

2. DINÂMICA FLUVIAL EM AMBIENTES TROPICAIS ÚMIDOS: FORMAS E PROCESSOS FLUVIAIS NO BAIXO CURSO DA BACIA DO RIO GOIANA - PERNAMBUCO

Carla Suelania da Silva;
Osvaldo Girão da Silva;
Antonio Carlos de Barros Corrêa;
Joana Darc Matias de Almeida;
Wemerson Flávio da Silva.

22

3. CONTROLE MORFOMÉTRICO NO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO NO RIO GURGUÉIA, SUDOESTE DO PIAUÍ

Reurysson Chagas de Sousa Morai;
Larissa Sheydder de Oliveira Lopes;
Mauro César de Brito Sousa.

41

4. ANÁLISE COMPARATIVA DA FORMAÇÃO DE LOCIS DEPOSICIONAIS EM RIOS DO PLANALTO DA BORBOREMA A PARTIR DA APLICAÇÃO DO ÍNDICE KSN

Marcos Bayron Mendes de Macena;
José Danilo da Conceição Santos;
Bruno de Azevedo Cavalcanti Tavares;
Antônio Carlos de Barros Corrêa.

57

5.

APLICABILIDADE DO RADAR DE PENETRAÇÃO NO SOLO (GPR) AOS DEPÓSITOS ALUVIAIS: AS DIFERENTES RESPOSTAS DE GEORADAR À ANÁLISE GRANULOMÉTRICA EM DEPÓSITOS ALUVIAIS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Joana D'arc Matias de Almeida;
Antonio Carlos de Barros Corrêa;
Carla Suelania da Silva;
José Danilo da Conceição Santos.

71

6.

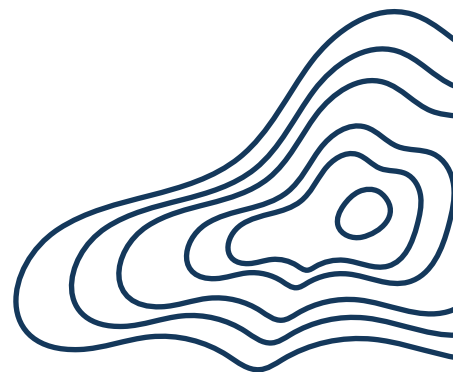
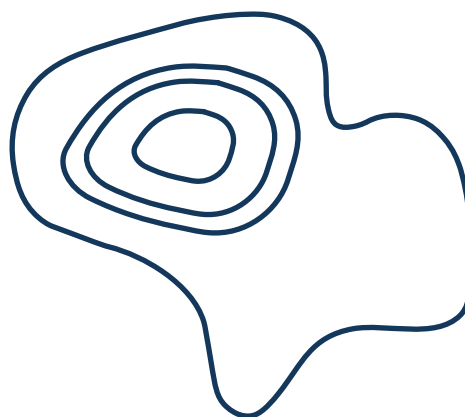
TRANSFORMAÇÕES GEOMORFOLÓGICAS E NA DINÂMICA SEDIMENTAR DE CANAIS FLUVIAIS EMBREJADOS - MUNICÍPIO DE VOLTA REDONDA (RJ)

Anderson de Souza Ribeiro;
Maria Naíse de Oliveira Peixoto;
Rafael Silva Barros.

88

Geomorfologia Fluvial e Lacustre

José Yure Gomes dos Santos
Filipe da Silva Peixoto





Geomorfologia do Brasil

Apresentação

A **Coleção Geomorfologia do Brasil**, editada pela Edições Uern - EDUERN, reúne contribuições de pesquisadores e pesquisadoras de diferentes regiões do país que apresentaram seus trabalhos no XV Simpósio Nacional de Geomorfologia (SINAGEO), realizado em Natal (RN), entre os dias 4 e 8 de agosto de 2025.

Composta por 14 volumes temáticos, a coleção expressa a diversidade e a vitalidade da produção científica brasileira em Geomorfologia, contemplando desde abordagens clássicas até perspectivas inovadoras que integram novas tecnologias, análises ambientais e dimensões sociais da paisagem. Cada livro reflete o compromisso coletivo de fortalecer e divulgar o conhecimento geomorfológico produzido no Brasil, promovendo diálogo entre diferentes áreas e instituições.

... OS VOLUMES QUE COMPÕEM A COLEÇÃO SÃO:



1. Intemperismo, Solos e Paisagem

organizado por Davi do Vale Lopes (UFRN)



2. Processos e Formas de Vertentes

organizado por Grace Bungenstab Alves (UFBA)



3. Geomorfologia Fluvial e Lacustre

organizado por José Yure Gomes dos Santos (UFRN)
e Filipe da Silva Peixoto (UERN)



4. Geomorfologia Costeira, Marinha e Eólica

organizado por Antônio Rodrigues Ximenes Neto (UFRN)



5. Geomorfologia de Áreas Cársticas

organizado por Luiz Eduardo Panisset Travassos (PUC-MG)



6. Geomorfologia Estrutural

organizado por Abner Monteiro Nunes Cordeiro (UFRN)



7. Geomorfologia Ambiental

organizado por Glairton Cardoso Rocha (IFPI)



8. Quantificação de Processos, Modelagem e Geocronologia

organizado por Kleber Carvalho Lima (UPE)
e Everton Vinicius Valezio (UPE)



9. Mapeamento Geomorfológico: Básico e Aplicado

organizado por Rosangela Garrido Machado Botelho (IBGE)



10. Risco Geomorfológico: Diagnóstico, Prevenção e Previsão

organizado por Maria Carolina Villaça Gomes (UERJ)



11. Antropoceno e Geomorfologia Urbana

organizado por Guilherme Borges Fernandez (UFF)
Miguel Felipe (UFJF)
e Maria Luíza de Oliveira Terto



12. Geodiversidade e Patrimônio Geomorfológico

organizado por Thiara Oliveira Rabelo (UFRN)
e Luciana Martins Freire (UFPA)



13. Geotecnologias e Inteligência Artificial Aplicadas à Geomorfologia

organizado por Paulo Victor do Nascimento Araújo (IFRN)
e Sílvio Braz de Sousa (UFRN)



14. Ensino de Geomorfologia na Educação Formal e Não Formal

organizado por Emanuel Lindemberg Silva Albuquerque (UFDFPar)
e José Falcão Sobrinho (UVA)

Mais do que uma coletânea de textos, esta coleção constitui um registro histórico da consolidação da geomorfologia brasileira em múltiplas frentes — teórica, metodológica e aplicada. Esperamos que cada volume inspire novas leituras do relevo, novas formas de pensar a paisagem e novos caminhos de pesquisa comprometidos com a compreensão das dinâmicas da superfície terrestre.

Desejamos a todos uma excelente leitura!

*Jacimária Fonseca de Medeiros, Thaís Guimarães,
e Marco Túlio Mendonça Diniz*

Organizadores da Coleção Geomorfologia do Brasil



PADRÕES DE DRENAGEM E CORRELAÇÕES LITOESTRUTURAIS NA PORÇÃO MERIDIONAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SALGADO - CEARÁ

João Victor Mariano da Silva¹
Frederico de Holanda Bastos²
Sinara Gomes de Sousa³

PALAVRAS-CHAVE: Rede de Canais, Sistema fluvial, Anomalias, Nordeste brasileiro, Bacia de Araripe.

RESUMO

Os padrões de drenagem são um reflexo do conjunto de atributos físicos que existem dentro de uma bacia hidrográfica e que as permite organizar sua rede de canais. Eles se formam do contato entre dos canais de drenagem e a litologia do relevo, o que possibilita observar a diversificação litoestrutural de uma superfície. Na Bacia Hidrográfica do Rio Salgado (BHRS) no sul do estado do Ceará, a heterogeneidade litológica de estruturas sedimentares e cristalinas, organizada pelos lineamentos da Zona de Cisalhamento de Patos (ZCP) e Farias Brito possibilita que a bacia apresente variações quanto ao padrão de drenagem e dos canais. Desse modo, este trabalho visa discutir teoricamente a correlação entre os padrões de drenagem e seus fatores litológicos condicionantes e observar exemplos desta correlação na porção meridional da BHRS. Metodologicamente, o trabalho contou com uma breve discussão bibliográfica acerca do controle estrutural em canais de drenagem. Nas etapas de geoprocessamento foram utilizados os *softwares* ArcMap e QGis 3.28.11, para o tratamento do *raster* MDE FABDEM 30, extração e correção da rede de drenagem na área de estudo e a classificação dos padrões de drenagem os associando com as litoestruturas existentes na área, usando como base trabalhos de referência da literatura científica. Também foi feito o mapeamento geológico e hidrográfico da área e a discussão dos resultados. As drenagens desta bacia nascem nas encostas da chapada do Araripe (970m), sustentadas pelos arenitos da bacia do Araripe. Neste setor, os canais se organizam em padrões paralelos devido ao controle da declividade e, após se confluírem, na depressão periférica, nota-se uma tendência se tornarem dentríticos, não apresentando retinidades, mas sim um caráter “arborescente”. Na área de contato entre o “sedimentar e o cristalino” marcado pelos lineamentos da ZCP, os canais passam a se apresentar retos, paralelos e retangulares com curvas expressivas, aspecto este também visível na parte cristalina deste setor sul da bacia, onde estão dispostas as rochas do Complexo Caicó (PP2γcaí) e Granjeiro (A24g) nos municípios de Aurora e Caririaçu. Ainda neste trecho visualizou-se padrões retangulares e de treliça. Este contexto indica

- 1** Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Ceará (PROPGEO/UECE), jvictor.silva@aluno.uece.br
- 2** Professor Doutor do Curso de Graduação em Geografia e do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UECE, fred.holanda@uece.br
- 3** Doutora em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco (PPGeo/UFPE), sinara.sousa@ufpe.br.



segmentos das drenagens que tendem a acompanhar as zonas de falhas provenientes da ZCP, mostrando nítido controle estrutural comum de ambientes cristalinos. Além disso, fortes indicadores de anomalias fluviais estão associados a canais de leito rochoso. Esta análise, além de possibilitar associar a rede de drenagem ao seu substrato geológico, permite entender, mesmo que em linhas gerais, de que modo o controle fluvial está se dando em cada trecho, e como isso pode estar refletindo na geomorfologia do terreno.

Palavras-chave: Rede de canais, Sistema fluvial, Anomalias, Nordeste brasileiro, Bacia do Araripe.

INTRODUÇÃO

Os rios são elementos sensíveis à quaisquer alterações ocorrentes em seus terrenos. Eles se constituem como fortes sistemas para observação de controles estruturais, processos morfoestruturais e suas interferências na dinâmica fluvial (Firmino; Filho, 2017), e toda sua organização é reflexo direto do seu processo de ajustamento dentro de um setor transversal no terreno (Christofolletti, 1980).

Neste viés, a rede de drenagem torna-se um forte agente de análise de fenômenos geológicos, geomorfológicos e mudanças expressivas na paisagem, possibilitando obter dados de estruturais, de litologias inativas em subsuperfície (Howard, 1967).

Uma das formas de se observar as influências litoestruturais sobre os canais fluviais é a partir da identificação e classificação dos padrões de drenagem. Estes expressam o quanto as variações litológicas e topográficas implicam nas alterações em trechos das redes de drenagem, representando deformações e padrões de drenagens distintos do geral (Acklas; Etchebehere; Casado, 2003).

Neste contexto, a área de estudo deste trabalho, a Bacia Hidrográfica do Rio Salgado (BHRS), no extremo sul do estado do Ceará, apresenta um sistema fluvial que se organiza sobre um complexo contexto litoestrutural que pode refletir em variação de padrões de drenagens, importantes de serem observadas

Seus terrenos situam-se sobre as rochas da Província Borborema Setentrional, com uma diversidade litológica de materiais sedimentares provenientes da Bacia Sedimentar do Araripe - em sua porção meridional, e cristalinas, que estão desenvolvidas sobre um extenso setor de zonas de falhas sentido E-W, que é responsável por condicionar o fluxo da rede de drenagem regional (Maia, 2018; Píneo et al., 2020).

Desse modo, essa variação litológica pode estar atuando com fortes controles estruturais da rocha sobre os canais em dados setores da BHRS, originando padrões de drenagens distintos em uma mesma bacia, que podem ser melhor estudados do ponto de vista estrutural e geomorfológico.



Após isso, obteve-se uma base cartográfica da rede de drenagem de 2000 pixels da área de estudo, contemplando setores adjacentes. Além da elaboração dos mapas de localização/hipsometria e do mapa geológico com apoio as bases de Píneo *et al* (2020).

Feito isso, houve a realização da última etapa que se concentrou na identificação, classificação dos padrões de drenagem e observação de variações na área de estudo, associando-as as litoestruturas existentes. Nesta etapa usou-se como base os modelos teóricos da literatura científica discutidos e apresentados nas obras de Howard (1967); Christofolletti (1980); Huggett (2007); Zhang; Guilbert (2012) e Jesus; Barreto (2021), que foram fundamentais na construção do trabalho.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

PADRÕES DE DRENAGEM

Nas bacias hidrográficas, além do canal principal há uma rede complexa e ramificada de canais que alimentam o canal principal e coexistem juntos ao mesmo tempo. Essa configuração onde “um abastece o outro”, desenvolve-se e evolui com influências de fatores climáticos e principalmente geológicos, que forma dentro da bacia uma “rede” de canais que variam de bacia para bacia, obtendo padrões de drenagem específicos (Charlton, 2008)

Conceitualmente, os padrões de drenagem além de tipos específicos ou formas na qual a rede de canais se organiza, eles são formados no terreno mediante influências exercidas por controles na morfologia. Estes, podem ser causados pela geologia em sub-superfície, por fatores topográficos, altimétricos, pedológicos, climáticos ou pela história tectônica da região (Charlton, 2008; Zhang; Guilbert, 2013)

Em linhas gerais, os padrões de drenagem formam-se de modo natural no ambiente no momento que o escoamento fluvial entra em contato com os materiais rochosos que sustentam o relevo. A partir dessa interação, os rios vão se organizando, e qualquer variação geológica ou topográfica pode refletir em padrões de drenagens distintos do contexto regional, possíveis de serem identificado observando em trechos ou sub-bacias (Twidale, 2004; Zhang; Guilbert, 2013; Stevaux; Latrubesse, 2017).


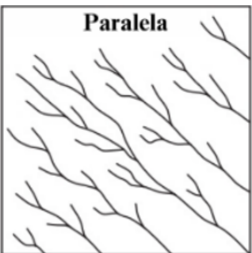
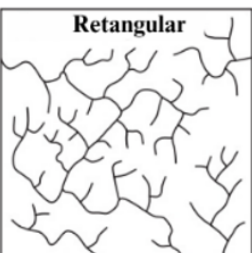
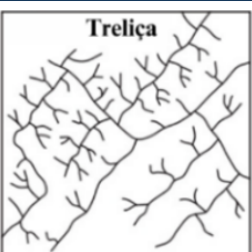
Toda organização em padrões específicos por estar ligada a fatores geológicos, influenciam o design da rede de canais dentro da bacia (Zhang; Guilbert, 2012). Isso aponta que, o comprimento dos canais de drenagem e a extensão das bacias são fortes influenciadores na variação de estilos específicos de drenagem. Uma vez que, em uma única bacia os rios podem coexistir em diferentes contextos geográficos e morfológicos, que os possibilita formar padrões definidos ou indefinidos.

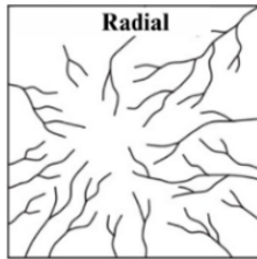


Com base nisso, a classificação dos padrões de drenagem, sendo algo que os difere das demais categorizações fluviais, leva-se em consideração alguns aspectos. Dentre eles, aos atributos físicos-ambientais do terreno (Zhang; Guilbert, 2012; Jesus; Barreto, 2021), a forma (desenho dos rios na superfície), os indicadores geométricos e o ângulo de confluência entre os canais (Charlton, 2008; Zhang; Guilbert, 2013).

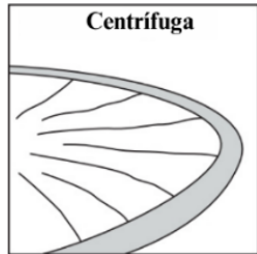
Assim, existem diversos tipos de padrões, como aqueles tidos como definidos: dentríticos (ou arborescente), paralelos, retangular, treliça, radial, centrífugo, centrípeto e anelar; e os modificados que se formam das derivações regionais os tronando com características distintas (Christofoletti, 1980; Huggett, 2007, Jesus; Barreto, 2021). Abaixo, segue algumas especificidades de características dos modelos tradicionais (**Quadro 1**).

QUADRO 1 - Tradicionais padrões de drenagens e uma síntese de suas características

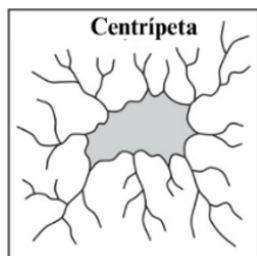
PADRÕES DE DRENAGEM	
	O dentrítico também conhecido como “arborescente”, possui o formato de galhos de uma árvore em direções distintas. É um padrão que tende a se formar em rochas resistentes e/ou estruturas sedimentares. Ele ainda pode ser representado por sub-padrões do tipo: pinado, sub-dentríticos e anastomosados.
	Os paralelos chamam-se assim quando seus canais de drenagem escoem “um paralelo ao outro” de forma ramificada impulsionada sobretudo por fatores topográficos, declividades e condições estruturais (lineamentos ou falhas). Seus padrões quando modificados podem formar drenagens do tipo subparalelas ou colineares.
	Este padrão trata-se de uma classificação direta de canais controlados por áreas que sofrem influências estruturais (zonas de falhas) ou com litologias com variações de resistência na rocha. Neste, as curvas dos canais apresentam-se de forma ortogonal, o que faz alguns autores o citarem como um canal modificado do tipo Treliça.
	O padrão do tipo treliça possui canais que apresentam confluências formando ângulos retos (90°) e estes tributários tendem a ser curtos em comprimento. Assim, ele se configura como um típico canal com uma direção principal e outras direções secundárias. Seus canais estão diretamente associados a áreas de controle estrutural, tendo um escoamento que tende a seguir o eixo das dobras e falhas, se configurando (assim como o Retangular) ótimos na identificação de anomalias.



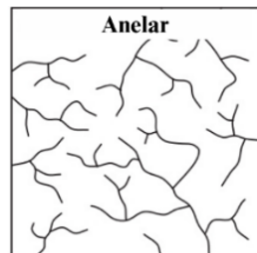
As redes de drenagem do tipo **radial**, chamam-se assim pois possuem seu escoamento ao redor de um “ponto central”, que pode ser entendido como uma superfície topográfica elevada, como vulcões ou domos. Ela pode ter duas características, podendo ser centrípeta ou centrífuga.



O padrão radial do tipo **centrífugo** trata-se daquele onde o escoamento da rede de canais diverge do eixo ou setor central de uma superfície elevada indo em direção as suas periferias. É tido como semelhante ao radial, por isso é uma subcategoria deste.



Já o padrão do tipo **centrípeta**, acontece o inverso. Os canais drenam seu escoamento de superfícies mais elevadas à um setor rebaixado onde as águas convergem entre si. É típico de áreas de crateras, caldeiras, dolinas e até mesmo bacias de origem tectônica.



O padrão do tipo **anelar** possui uma drenagem que se assemelha a anéis, ou seja, curvas que contornam linhas de fraqueza em relevos de áreas dômicas ou superfícies elevadas. É um padrão evolutivo do radial, quando os rios entalham camadas não resistentes expostas e assumem formatos circulares ao redor do relevo, o que os caracteriza como anelares.

ORGANIZAÇÃO: Autor (2024). **FONTES:** As figuras foram adaptadas de Huggett (2007) e as informações e figuras foram extraídas de Christofolletti (1980); Huggett (2007); Zhang; Guilbert (2012); Jesus; Barreto (2021) e Magalhães-Jr.; Barros; Macedo-Cota (2020).

CONTEXTO LITOESTRUTURAL DA ÁREA

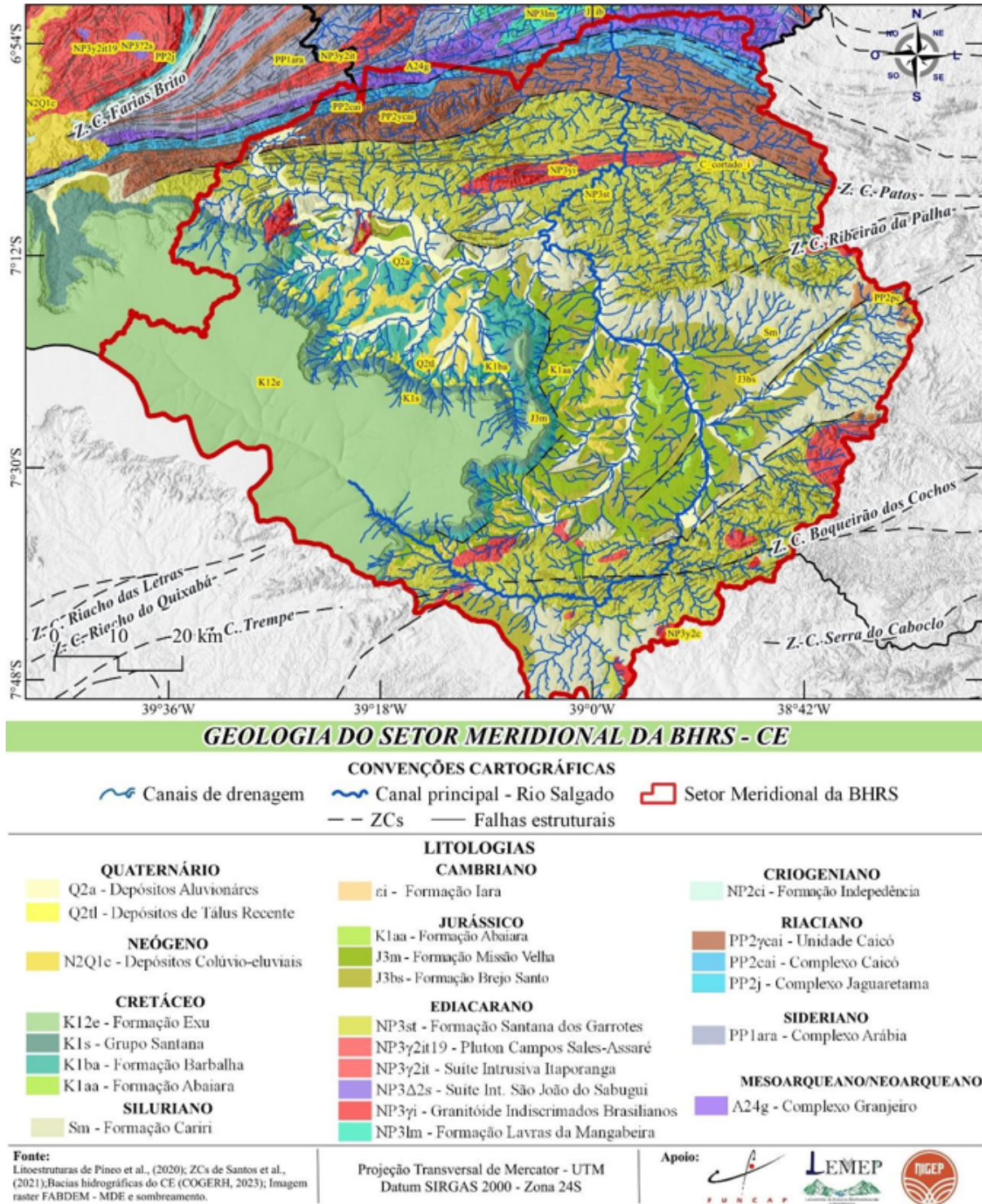
Como mencionado anteriormente, a BHRS apresenta um contexto litoestrutural complexo por estar situada em dois domínios geológicos distintos e de relevância regional: a Província Borborema e a Bacia Sedimentar do Araripe. Os setores de alto e médio curso da bacia hidrográfica encontram-se no domínio sedimentar, bordeando a Chapada do Araripe e esculpindo a depressão periférica, enquanto o nível de base do setor estudado situa-se no contexto do embasamento cristalino entalhando as rochas ígneas e metamórficas da Superfície Sertaneja.

Do ponto de vista cronolitoestratigráfico, as rochas mais antigas que constituem o arcabouço geológico da área de estudo datam do Mesoeoarqueano / Neoarqueano,



enquanto as mais recentes datam do Cretáceo. Ademais, tem-se as coberturas sedimentares inconsolidadas que datam do Quaternário, originados pela dinâmica geomorfoclimática recente (Figura 2).

FIGURA 2 – Mapa geológico da área de estudo.



FONTE: Píneo et al (2020); Santos et al (2021) e FABDEM – MDE. Organização: Autores (2025).

Nesta porção meridional da BHRS, a maior parte das litologias são provenientes da Bacia Sedimentar do Araripe. Esta, em linhas gerais, configura-se como a mais importante das bacias fanerozóicas interiores do Nordeste do Brasil, tendo um território

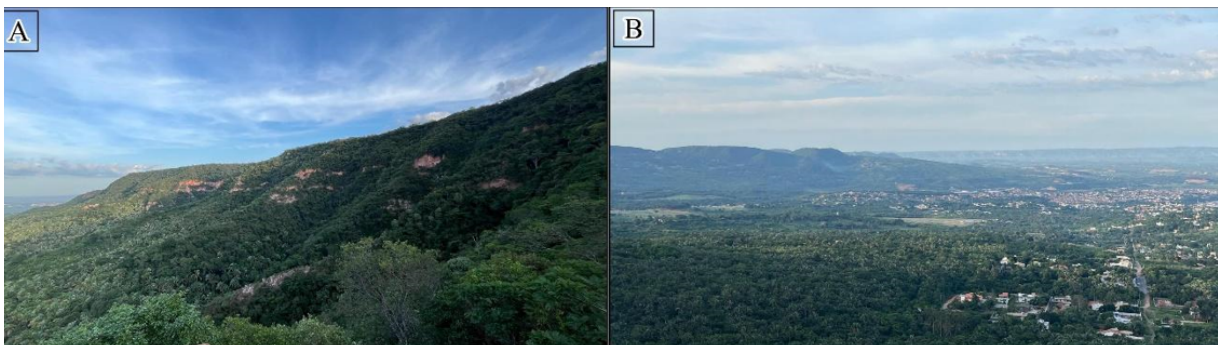


que abrange as fronteiras dos estados de Piauí, Pernambuco e Ceará, delimitada pelas coordenadas 07°00' e 08°00' estando entre as bacias do Parnaíba, Potiguar e do Tucano (Chagas, 2006).

A disposição das camadas sedimentares da Bacia do Araripe a torna uma unidade geológica de origem poligênica. Com isso, suas camadas se organizam-se sobre o embasamento cristalino em sequencias sedimentares de sentidos discordantes, sendo elas de origem fluvial, lacustre, marinha e fluvial novamente, soerguidas a partir de impulsos tectônicos de escala regional (Assine, 2007; Assine *et al.*, 2014; Guerra, 2020).

Tomando como referência o Planalto do Araripe (ou Chapada do Araripe), ⁴situado na porção sedimentar do recorte da bacia, no topo aflora a Formação Exu (K2e) e, nas encostas, as Formações Crato, Ipubi e Romualdo, pertencentes ao Grupo Santana (K1s), e Formação Barbalha (K1ba). Nos patamares erosivos da Depressão Periférica que circunda o Planalto, afloram as Formações Abaiara (K1aa), Missão Velha (J3m), Brejo Santo (J3bs) e da Formação Cariri (Sm). Associadas às formações sedimentares, afloram na paisagem da Bacia Sedimentar do Araripe Granitóides Indiscriminados Brasileiros (NP3yi), que se manifestam na forma de serras e colinas (**Figura 3**).

FIGURA 3 – (A) Encostas sedimentares/patamares de entorno da Chapada do Araripe; (B) Depressão periférica do Vale do Cariri – CE.



FONTE: Acerto dos autores (2025).

Este material sedimentar, organizado em camadas se dispõe em todo alto e médio curso da BHRS, sendo separadas por uma zona de cisalhamentos nas litologias cristalinas em sua porção norte.

A chamada de Zona de Cisalhamento de Patos (ZCP) que atravessa horizontalmente toda a bacia na porção norte, representa um importante marcador da história estrutural e de metamorfismo regional da porção setentrional da Província Borborema. Na área de estudo, a ZC de Patos funciona como um limite entre a Formação Santana dos Garrotes, constituída por metapelitos, metassiltitos,

4 Esta, configura-se como uma unidade geomorfológica sustentada pelas rochas sedimentares da Bacia do Araripe, com cerca de 980m de altitude (*vide* Figura 1).



metaritmicos e níveis de ardósia e formações ferríferas (Silva, 2020) e a Unidade Caicó, de idade paleoproterozóica.

A porção norte da bacia do Salgado apresenta arquitetura geológica essencialmente cristalina, onde afloram rochas do Complexo Granjeiro (A24g), com destaque para Ortognaisses, Tonalitos e Granodioritos. Também ocorrem os Complexos Arábia (PP1ara), Caicó (PP2cai) e Jaguaretama (PP2j) compostos por litotipos metamorfizados por eventos de plutonismo félsico e máfico (Sousa, 2024).

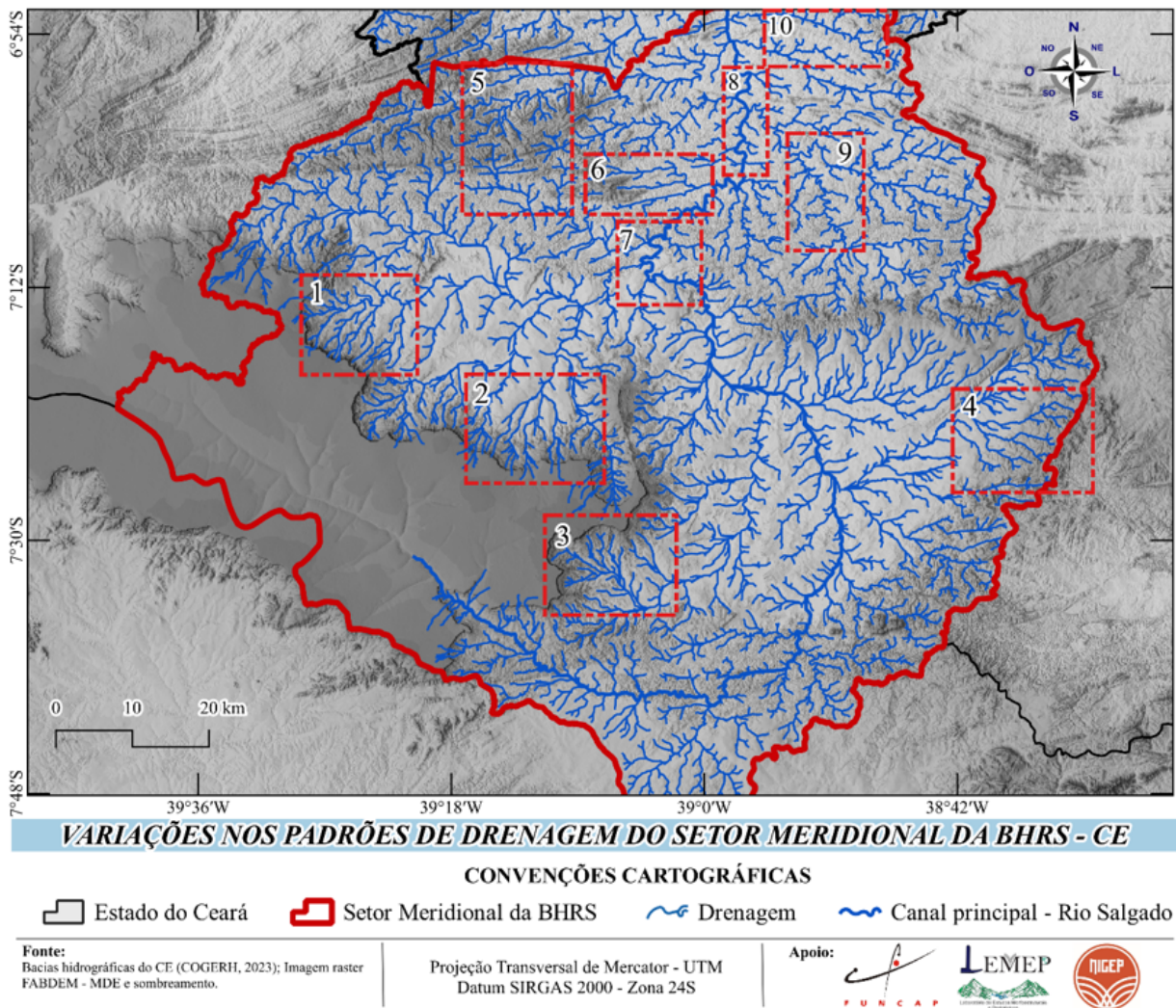
VARIAÇÕES NA REDE DE DRENAGEM

Mesmo o setor meridional da BHRS tendo maior parte de sua área composta de rochas sedimentares provenientes da Bacia do Araripe, a heterogeneidade estrutural proporcionada pelas formações sedimentares da bacia, a proximidade com a ZC de patos e o setor cristalino, influenciam em alterações diretas nos padrões de drenagem observadas em alguns trechos. O mapa a seguir apresenta as semelhanças, variações de padrões e possíveis anomalias fluviais identificadas na área de estudo, ambas relacionadas a aspectos geomorfológicos e estruturais (**Figura 4**).

Este contexto notado é destacado por Acklas, Etchebehere e Casado (2003) como um fator associado a sensibilidade dos rios, uma vez que, ao encontrar variações litológicas que formam topografias diferentes, estruturas e resistências distintas, a rede de drenagem tende a readaptar-se quanto ao seu fluxo e quanto ao seu padrão.



FIGURA 4 – Mapa de localização e identificação dos padrões de drenagens no setor meridional da BHRS – CE.



FONTE: COGERH, 2023 e FABDEM – MDE Sombreamento. **ELABORAÇÃO:** Autores (2025).

No alto curso da BHRS, nas áreas de cabeceiras situadas nas encostas da Chapada do Araripe onde localizam-se as principais nascentes dos rios, os canais formam-se de modo suavemente retos com forte paralelismo, fluindo em direção as áreas mais rebaixadas do Vale do Cariri. Essa característica notada neste trecho, está ocasionada pela diferença topográfica da chapada para com do vale, além do caráter litológico da área, que por possuir as rochas cretáceas sedimentares do Grupo Santana (K1s), Formação Barbalha (K1ba) e Abaiara (K1aa) (Píneo *et al.*, 2020), facilitam a incisão fluvial encosta abaixo.

No Vale do Cariri, o encontro desses canais forma o padrão dentrítico (vide Figura 3). Nestes, os canais tributários se confluem a um canal principal mantendo o aspecto arborescente, se mantendo assim em quase todo entorno da Chapada do Araripe, como nos trechos 1, 2 e 3. O padrão 4, embora também localizado em rochas sedimentares,



apresenta um *design* distinto, sub-dentrítico, onde os seus canais de 1ª ordem seguem um paralelismo mostrando controle causado pela inclinação da área e se juntam em pontos relativamente próximos no canal principal (Jesus; Barreto, 2021).

Segundo as corroborações de Lima (2015), estes rios também recebem contribuições diretas da umidade da chapada do Araripe, o que faz apresentarem além de maior incisão, maior volume d'água e seus vales na área da depressão periférica conseguem se manter perenes mesmo na estiagem.

Próximo a área de contato do sedimentar e o cristalino, identificou-se dois trechos com padrões de treliça, do tipo modificados. O padrão 5, como uma treliça recurvada com ângulos retos (90°), curvas e dobras nos canais; e o padrão de treliça de falha no trecho 10, onde o canal segue os *trends* das falhas exercido por controles estruturais (Howard, 1967). Em ambos os trechos, tem-se as rochas ortognaisses graníticas e migmatíticas da Unidade Caicó (PP2cai) e do Complexo Caicó (PP2γcai) e a ZC de Patos, que formam um conjunto de atributos condicionantes na formação desse tipo de padrão de drenagem no ponto 5 e no 10.

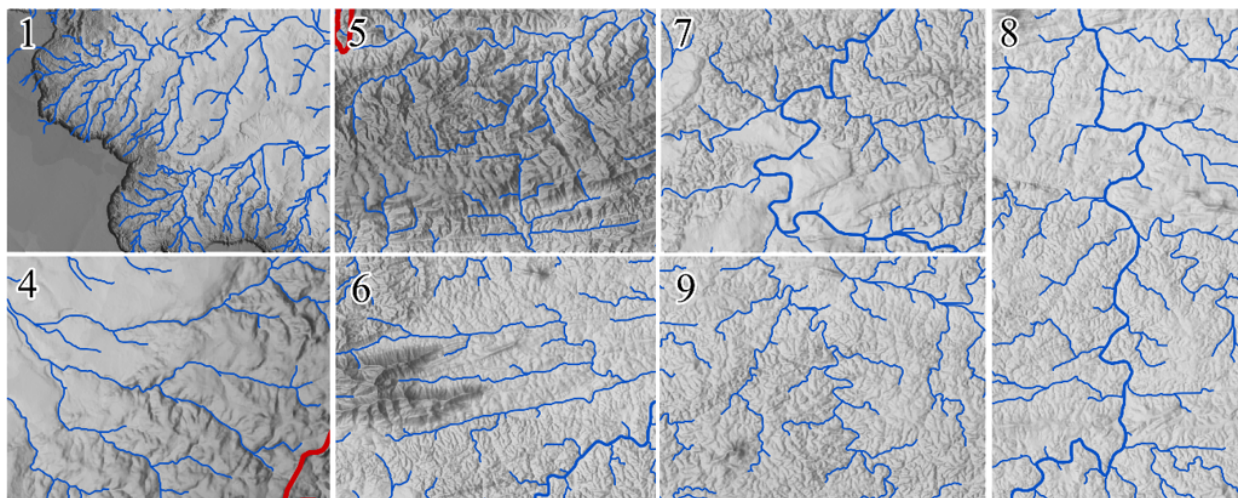
O trecho 6 possui uma retilinidade com canais que seguem um paralelismo expressivo, que lembram um padrão subparalelo. Pode-se dizer, ao observar o mapa hipsométrico (*vide* Figura 1) que há forte influência altimétrica na área, oriunda de uma superfície elevada pelas rochas de um granitoide indiscriminado brasileiro (PP2γi) Píneo *et al* (2020) (*vide* Figura 2).

Em determinados trechos do canal principal nos setores de número 7 e 8 e de num trecho de um tributário específico (número 9), notou-se a presença de curvas sinuosas, expressivas e abruptas dentro da bacia hidrográfica, não sendo identificado um padrão específico para esses segmentos, o que as levou a serem categorizadas como possíveis anomalias fluviais. Estas, são entendidas como trechos que se desviam dos padrões, causado por atributos estruturais ou crustais (Howard, 1967) (**Figura 5**).

O trecho 7 possui curvas abruptas e meandros relativamente comprimidos na área do médio para o baixo curso do canal, mesmo não encontrando falhas diretamente associadas ao leito do rio. Contudo, observa-se uma superfície elevada próximo ao canal com cerca de 500m de altitude, associada as rochas pertencentes a Formação Cariri (Sm). Isso leva a hipótese que, neste trecho tenha havido o desvio do canal causado pela topografia do terreno.



FIGURA 5 – Trechos com variações no padrão de drenagem na área de estudo.



FONTE: Imagem raster e sombreamento SRTM. **ORGANIZAÇÃO:** Autores (2025).

Os trechos 8 e 9 visualmente apresentam formas semelhantes, mesmo acomodando sinuosidades e dobras abruptas, o rio segue uma direção distinta no sentido de N da bacia, além de, visivelmente cortar superfícies elevadas aparentemente do tipo cristas. Essa condição, pode estar associado a possíveis superimposições fluviais, principalmente no setor 8, onde já há as falhas da ZC de Patos e o contato com os materiais cristalinos da Unidade Caicó (PP2cai).

Aqui, pode então, além de ser uma área anômala na rede hidrográfica da bacia, um canal do tipo transversal, que, segundo Douglass *et al* (2009), são rios que contrariam o “padrão”, não exercendo o desvio ao encontrar terrenos elevados, mantendo seu escoamento “normal”.

Desse modo, mesmo tendo com resultado a “possível hipótese” desse contexto neste trecho da bacia – que merece ser validado com uso de outras técnicas, cita-se que as observações feitas a partir da classificação dos padrões de drenagem são úteis para identificar esses trechos distintos. Para isso, existem técnicas que podem aprofundar e contribuir na classificação desses segmentos dos rios e que devem ser melhor discutidas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos aspectos observados neste trabalho, a identificação de padrões de drenagem em áreas amplas ou em trechos pontualmente localizados, pode fornecer dados sobre os controles exercidos nos canais de drenagem, bem como, dos processos geomorfológicos atuantes rio. Isso se deve ao fato de que, a depender do terreno onde a rede de canais se encontra, processos como incisão, tipo de escoamento ou variações de leito podem apresentar aspectos distintos, mesmo dentro de uma única bacia.



Assim, a visualização dos padrões e sua classificação na BHRS, embora tenha se dado a partir de técnicas de geoprocessamento, e em linhas gerais, seja considerado como um trabalho inicial, funcionou para observar as variações na rede de canais causadas pelas diferentes estruturas. Bem como abriu margem para entender questões relacionadas às dinâmicas fluviais existentes em diferentes setores da bacia e a formação de anomalias ocorrentes nesta porção meridional.

Elenca-se ainda, que pela extensão da área de estudo, outros tipos de canais, anomalias fluviais ou aspectos relacionados a processos fluviais podem ainda ser visualizados em escalas de maiores detalhes. No entanto, para este trabalho, a escala utilizada foi útil, atingindo a proposta de observar os padrões existentes.

Por fim, aponta-se que pesquisas neste contexto, por fazer parte do arcabouço de estudos da geomorfologia fluvial, subsidiam outras áreas e ideias que podem ser desenvolvidas com técnicas específicas. Como exemplo, tem-se a análise morfométrica de canais, que pode resultar em produtos geomorfológicos fundamentais para áreas com complexas variações litológicas.

Agradecimentos:

Ao programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Ceará (ProPgeo/UECE) e à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP).



REFERÊNCIAS

- ACKLAS, R. J.; ETCHEBEHERE, M. L. CASADO, F. C. Análise de perfis longitudinais de drenagens do município de Guarulhos para a detecção de deformações neotectônicas. Guarulhos – **Geociências**, v 7, n. 6, p. 64 – 78, 2003.
- ASSINE, M. L. Bacia do Araripe. **Boletim de Geociências da Petrobrás** (Rio de Janeiro/RJ), v. 15, n. 2, p. 371-389, 2007.
- ASSINE, M. L.; PERINOTTO, J. A. J.; CUSTÓDIO, M. A.; NEUMANN, V. H.; VAREJÃO, F. G.; MESCOLOTTI, P. C. Sequências Depositionais do Andar Alagoas da bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Boletim de Geociências da Petrobrás** (BGP), v. 22, n. 01, p. 03-28, 2014.
- CHARLTON, R. **Fundamentals of fluvial geomorphology**. New York – Routledge, 2008.
- CHRISTOFOLETTI, C. **Geomorfologia**. São Paulo – Blucher, 1980.
- DOUGLASS J.; MEEK N.; DORN R. I.; SCHMEECKLE M. W. A criteria-based methodology for determining the mechanism of transverse drainage development, with application to the southwestern United States. **Geological Society of America Bulletin**, 121(3/4):586-598, 2009.
- FIRMINO, I. G.; SOUZA-FILHO, E. E. Análise de padrões e de anomalia de drenagem na porção média da bacia do rio Tibagi (PR). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 1, p. 37-49, 2017.
- HOWARD, W. D. Drainage analysis in geologic interpretation. California, Stanford: The **American Association of Petroleum Geologists Bulletin**, v. 51, n. 11, 2246 – 2259, 1967.
- HOUGGETT, R. J. **Fundamentals of Geomorphology**. Abingdon Oxon, Londres: Routledge, 2007.
- JESUS, V. C. de; BARRETO, H. N. Padrão de drenagem, um resgate conceitual como subsídio à classificação da Bacia do Rio Preguiças – MA. Bauru: **Ciência Geográfica**, v. 25, n. 4 p. 1533 – 1552, 2021.
- MAIA, R. P. Geomorfologia estrutural, neotectônica e carste: exemplos no nordeste brasileiro. Recife/PE, **Revista de Geografia (Recife)**, v. 35, n. 4 (Ed. Especial XII SINAGEO, 2018), p. 432-441, 2018.
- MAGALHÃES JR. A. P.; BARROS, L. F de P.; MACEDO-COTA, G. E. Morfogênese fluvial. In: MAGALHÃES-JR. A. P; BARROS, L. F. de P. (Org.) **Hidrogeomorfologia**. Rio de Janeiro – Bertrand Brasil, p. 121- 162, 2020.
- LIMA, F. J. **Evolução geomorfológica e reconstrução paleoambiental do setor subúmido do Planalto Sedimentar do Araripe**: um estudo a partir dos depósitos colúviais localizados nos municípios de Crato e Barbalha – Ceará (Tese de doutorado em Geografia) Universidade Federal de Pernambuco, 2015, p. 17 – 45.
- PINÉO, T. R. G. *et al.* **Mapa geológico e de recurso minerais do estado do Ceará. Serviço Geológico do Brasil** (CPRM), Ceará – Brasil, 2020.
- SANTOS, F. G.; PINÉO, T. R. G.; MEDEIROS, V. C.; SANTANA, J. S.; MORAI S, D. M. F.; VALE, J. A. R.; WANDERLEY, A. A. **Mapa Geológico da Província Borborema**. Projeto Geologia e Potencial Mineral da Província Borborema. Escala 1:1.000.000. Recife: SGB CPRM, 2021, 1 mapa.
- SILVA, D. S. **Relação estrutural entre o embasamento cristalino e os arenitos da Formação Mauriti – borda NE da Bacia do Araripe (Ceará, Brasil)**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia). Rio de Janeiro: UFRJ, Instituto de Geociências, 2020.
- SOUSA, S. G. **Evolução Da Paisagem Geomorfológica Na Bacia Hidrográfica Do Rio Cariús (BHRC), Semiárido Brasileiro**. Tese (Doutorado em Geografia) Universidade Federal de Pernambuco. 2024, 210p.
- STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia Fluvial**. Oficina de Textos, 2017.
- TWIDALE, C. R. River patterns and their meaning. **Earth-Science Reviews**, n. 67, p. 159 – 218, 2004.
- ZHANG, L. GUILBERT, E. A study of variables characterizing drainage patterns in river networks. **International Archives of the Photogrammetry**, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, v. 39-B2, XXII ISPRS Congress, p. 29-34, 2012
- ZHANG, L., & GUILBERT, E. Reconhecimento automático de padrões de drenagem em redes fluviais. **International Journal of Geographical Information Science**, 27 (12), 2319–2342, 2013. <https://doi.org/10.1080/13658816.2013.802794>



DINÂMICA FLUVIAL EM AMBIENTES TROPICAIS ÚMIDOS: FORMAS E PROCESSOS FLUVIAIS NO BAIXO CURSO DA BACIA DO RIO GOIANA – PERNAMBUCO

Carla Suelania da Silva¹

Oswaldo Girão da Silva²

Antonio Carlos de Barros Corrêa³

Joana Darc Matias de Almeida⁴

Wemerson Flávio da Silva⁵

PALAVRAS-CHAVE: Geomorfologia Fluvial, Mapeamento Geomorfológico, Formas de relevo, Morfodinâmica.

RESUMO

Os rios desempenham um papel fundamental na modificação do relevo, criando formas geomorfológicas por meio de ajustes fluviais, adaptações às mudanças na superfície terrestre e sendo sensíveis às alterações decorrentes de movimentos tectônicos, dinâmicas climáticas, variações no nível do mar e atividades antrópicas. Por isso, a investigação da dinâmica dos cursos d'água possibilita a compreensão da organização espacial e da evolução das paisagens fluviais, especialmente no contexto de sistemas localizados em ambientes tropicais úmidos, dada sua relevância na transferência de sedimentos para os oceanos, no armazenamento de material sedimentar em bacias continentais e na regulação do ciclo hidrológico. Com base nessa perspectiva, a pesquisa tem como objetivo analisar a dinâmica fluvial do baixo curso da bacia do rio Goiana, a partir da identificação e mapeamento dos processos e formas fluviais. A área de estudo está localizada no Nordeste brasileiro, no município de Goiana, no Estado de Pernambuco, e nos municípios de Pitimbu e Caaporã, no Estado da Paraíba. Esse trecho da bacia caracteriza-se por uma diversidade de formas deposicionais associadas ao rio Goiana e seus tributários. O estudo dessas formas contribui para o entendimento dos processos de erosão, transporte e deposição, além de fornecer subsídios para a compreensão do comportamento dos canais. A metodologia adotada baseou-se no mapeamento das formas fluviais e na análise dos processos associados aos ambientes deposicionais, fundamentando-se nos trabalhos de Brierley e Fryirs (2013; 2005) e na proposta de mapeamento geomorfológico da União Geográfica Internacional (UGI),

1 Professora Doutora do curso de Licenciatura em Geografia da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN, carlasuelania@uern.br

2 Professor Doutor Titular do Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, osvaldo.girao@ufpe.br

3 Professor Doutor Titular do Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, antonio.correa@ufpe.br

4 Doutora em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, joana.matias@ufpe.br

5 Professor Doutor do Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, wemerson.silva@ufpe.br



conforme descrita por Demek (1972). Foram realizados trabalhos de campo para observação direta das formas e processos geomorfológicos e validação dos mapeamentos elaborados no *software* ArcGIS 10.7.1. Os principais resultados indicam uma dinâmica fluvial influenciada por fatores climáticos, tectônicos e antrópicos. A área de estudo está inserida na compartimentação geomorfológica da Planície Flúvio-marinha do rio Goiana, formada sobre o *graben* do Goiana, com áreas rebaixadas de altitudes inferiores a 10 metros. O rio principal, com 16 km de extensão, possui um padrão meandrante, sobre um vale aberto, com predominância de processos de agradação. Destacam-se a presença de barras laterais vegetadas, ilhas fluviais estáveis, canais retificados (naturais e antrópicos) e meandros abandonados. A vegetação densa, composta por manguezais e restingas, exerce um papel importante na estabilização dessas feições. No entanto, atividades antrópicas, como a carcinicultura e o cultivo de cana-de-açúcar, têm contribuído para a modificação da paisagem fluvial. Observam-se também terraços fluviais resultantes de antigas migrações dos canais. Conclui-se que a dinâmica fluvial do baixo curso da bacia do rio Goiana resulta da interação entre fatores naturais (climáticos e tectônicos) e ações antrópicas, sendo refletida na diversidade de formas fluviais e nas transformações da paisagem. A ocorrência de canais meandrantés, barras laterais, ilhas fluviais e terraços revela a atuação de processos erosivos, deposicionais e de migração fluvial, enquanto a vegetação e o uso da terra desempenham um papel crucial na estabilidade ou transformação dessas feições.

INTRODUÇÃO

A Geomorfologia Fluvial constitui um campo fundamental para a compreensão da dinâmica dos cursos d'água, oferece subsídios para o entendimento das múltiplas perspectivas que envolvem a estruturação dos canais, sua organização espaço-temporal e a configuração evolutiva das redes de drenagem. Conseqüentemente, esse campo de estudo é essencial para a análise da gênese e da evolução das paisagens fluviais. As diversas técnicas empregadas permitem interpretar os arranjos espaciais, os padrões de drenagem, os processos e formas resultantes, bem como os fatores condicionantes desses ambientes, sejam eles de origem natural ou resultantes da ação antrópica.

Os trópicos, localizados nas baixas latitudes do globo terrestre, caracterizam-se por elevadas temperaturas e significativa variabilidade na distribuição das chuvas. Essa região pode ser subdividida em trópicos úmidos e trópicos áridos/semiáridos, diferenciação que se baseia principalmente no índice pluviométrico anual. Características como altas temperaturas, elevada intensidade das chuvas e elevada taxa de evapotranspiração potencial são comuns aos trópicos. No entanto, é essencial considerar que as taxas anuais de precipitação e os padrões sazonais variam significativamente, o que imprime uma diversidade climática dentro da própria faixa tropical (Gupta, 2011; Paula; Rocha, 2019; Silva, 2022).



Essas condições climáticas exercem influência direta sobre a geomorfologia tropical. Em ambientes de clima úmido, a combinação entre altas temperaturas e chuvas abundantes acelera os processos de intemperismo, principalmente o químico, além de favorecer a ocorrência de movimentos de massa, erosão nas vertentes e eventos frequentes de enchentes e inundações. Nos trópicos áridos e semiáridos, por outro lado, predomina o intemperismo físico, e as inundações ocorrem de forma esporádica. O clima, portanto, exerce papel crucial na dinâmica geomorfológica tropical, mas seus efeitos variam em função da intensidade dos parâmetros climáticos e da localização geográfica (Latrubesse; Stevaux; Sinha, 2005; Gupta, 2011; Paula; Rocha, 2019).

Além dos fatores naturais, a atuação antrópica nos ambientes tropicais representa um componente decisivo na transformação dos processos e formas do relevo, notadamente nas áreas sob intensa urbanização, como na porção leste do Brasil. Segundo Silva (2022), ainda que tardia, a ocupação antrópica dos trópicos brasileiros tem gerado significativas perturbações ambientais. A rápida expansão urbana tem alterado as taxas naturais de erosão e sedimentação, destacando-se como um fator relevante para os estudos da Geomorfologia Tropical, sobretudo no que se refere à compreensão das alterações nos sistemas fluviais provocadas por ações humanas (Wirthmann, 1999; Silva, 2022).

Os rios tropicais percorrem diversas unidades geomorfológicas, incluindo cinturões orogênicos, planaltos e plataformas sedimentares e basálticas, regiões de crátons, bacias sedimentares e terrenos com topografia mista. A morfologia desses rios é heterogênea e pode sofrer mudanças ao longo do seu curso. Dessa forma, não apenas o clima, mas também a tectônica e a topografia são fatores controladores da morfologia dos canais fluviais, influenciando as transformações espaciais e temporais das formas e dos processos (Latrubesse; Stevaux; Sinha, 2005; Gupta, 2011; Alves, 2013).

Nos ambientes tropicais úmidos, a análise dos sistemas fluviais é geralmente conduzida a partir do recorte da bacia hidrográfica, delimitada com base em atributos morfológicos como área, forma, relevo, solo, clima, geologia e cobertura vegetal. A interação entre esses elementos condiciona o comportamento hidrológico da bacia, regulando os processos de entrada (precipitação) e saída (escoamento), o que permite caracterizar os padrões de drenagem e de resposta hidrológica ao longo do tempo (Charlton, 2008; Cunha, 2012; Silva, 2018).

A dinâmica fluvial está relacionada aos processos de erosão, transporte e deposição, que dependem da energia disponível no canal fluvial. A erosão fluvial ocorre quando a água remove o material do leito e das margens, seja por ação química (corrosão) ou física (ação hidráulica). O transporte do material erodido é condicionado pela capacidade e



competência do canal, que por sua vez estão associadas ao volume de água, à velocidade do fluxo, à vazão e aos condicionantes geomorfológicos e climáticos. Esses fatores determinam a carga sedimentar transportada pelo rio.

A efetividade dos processos fluviais depende de variáveis como a energia do fluxo (potencial e cinética), a declividade do terreno, o volume de água, a morfologia da seção transversal do canal e as características dos sedimentos. À medida que o fluxo se desloca em direção à jusante, a energia disponível tende a aumentar, embora a fricção com o leito e as margens atue como força contrária ao movimento. A carga sedimentar também aumenta nesse sentido e, caso haja redução da energia do fluxo, inicia-se o processo de deposição (Christofoletti, 1980; Bigarella, 2003; Cunha, 2012; Menezes et al., 2020).

Nas áreas costeiras do Nordeste brasileiro, os processos de dissecação ocorrem principalmente sobre rochas e sedimentos da Formação Barreiras, associando-se a morfoestruturas controladas por *hemi-grabens* cenozoicos, cujo aporte sedimentar decorre da denudação de horsts adjacentes. Nesses contextos, a dissecação pode apresentar variações espaciais marcantes, com alterações abruptas na geometria dos canais. Assim, a ocorrência de dissecação e deposição pode indicar atividade tectônica, especialmente quando associada a mudanças morfológicas nos canais. No Nordeste do Brasil, a influência tectônica se expressa no controle da rede de drenagem, na formação de terraços, na consolidação de vales e nas deformações em rochas neógenas e quaternárias, elementos que condicionam a morfologia da paisagem fluvial (Schumm; Dumont; Holbrook, 2000; Maia; Bezerra, 2011).

Diante do exposto, esta pesquisa tem como objetivo analisar a dinâmica fluvial do baixo curso da bacia do rio Goiana, por meio da identificação e mapeamento dos processos e formas fluviais atuantes. Os resultados apresentados compõem parte da investigação desenvolvida no doutorado, voltada à compreensão da evolução e da dinâmica da paisagem geomorfológica do baixo curso da bacia do rio Goiana. O estudo busca contribuir para o avanço do conhecimento geomorfológico da região, sobretudo sob a perspectiva fluvial, fomentando discussões acadêmicas e científicas sobre o comportamento, a morfologia e os condicionantes da paisagem fluvial, além de dialogar com os trabalhos já realizados na bacia hidrográfica do rio Goiana.

MATERIAL E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

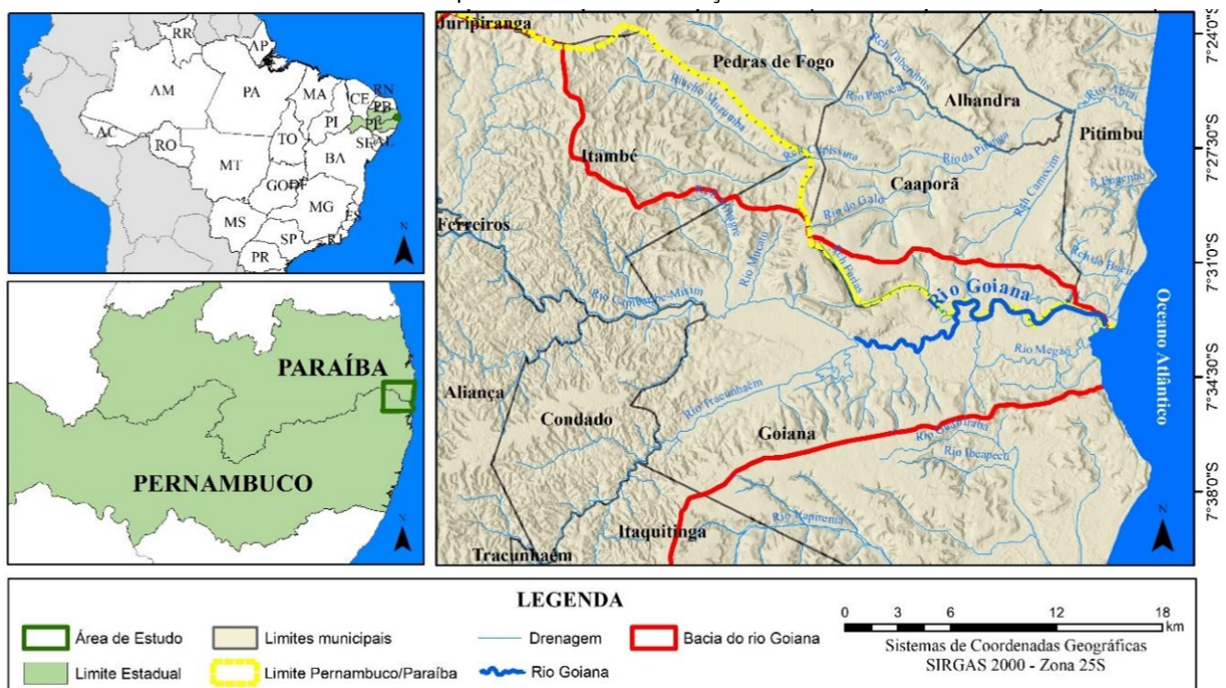
O recorte territorial analisado está situado na porção norte do litoral do Estado de Pernambuco, na divisa com a Paraíba, situado no baixo curso da Bacia Hidrográfica do Rio Goiana (BHRG). Essa bacia tem como limite setentrional o interflúvio que a separa da Bacia Hidrográfica do Rio Abiaí (BHRA), no Estado da Paraíba. Destaca-se, na



compartimentação estrutural da área, a presença de feições tectônicas do tipo horsts e grabens, sendo que o próprio baixo curso do Rio Goiana está inserido em um graben homônimo, o qual exerce controle direto sobre a configuração do relevo e da drenagem.

A área de estudo localiza-se entre as coordenadas geográficas $7^{\circ}24'30''$ e $7^{\circ}35'30''$ de latitude sul, e $35^{\circ}04'30''$ e $34^{\circ}48'00''$ de longitude oeste, abarca parte do município de Goiana, em Pernambuco, e os municípios de Pitimbu e Caaporã, na Paraíba, ao norte (Figura 01). Segundo dados da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC, 2023), a BHRG possui uma área aproximada de 2.850 km², distribuída por 26 municípios pernambucanos. Seus limites geográficos incluem, a oeste e ao norte, o Estado da Paraíba e o conjunto de bacias de pequenos rios litorâneos 6 (GL6); ao sul, limita-se com a bacia do rio Capibaribe e com o grupo de bacias litorâneas 1 (GL1).

FIGURA 01 – Mapeamento de localização da área de estudo



FONTE: Os autores (2024).

A rede hidrográfica da BHRG é composta, principalmente, pelos rios Capibaribe-Mirim, Tracunhaém, Siriji e Goiana. O rio Tracunhaém possui uma extensão de 127 km, enquanto o Capibaribe-Mirim percorre cerca de 93 km. A confluência entre esses dois dá origem ao rio Goiana, principal eixo hidrográfico da bacia em seu trecho inferior.

Do ponto de vista geológico, a área de estudo integra a Bacia Sedimentar Paraíba, que se estende por uma área terrestre de aproximadamente 5.073 km². A bacia Paraíba está situada entre a Zona de Cisalhamento Pernambuco, ao sul, e o Planalto Estrutural de Mamanguape, ao norte, este último é um prolongamento da Zona de



Cisalhamento de Patos (Barbosa; Lima Filho, 2005). A Bacia Paraíba apresenta-se como uma rampa estrutural suavemente inclinada para leste, sugere-se uma maior resistência ao rifteamento ocorrido durante o Cretáceo.

Estudos indicam que essa bacia teria permanecido emersa até o Cretáceo Superior, período em que se iniciaram os depósitos sedimentares do Turoniano-Coniaciano, particularmente na faixa costeira. Esses eventos tectono-sedimentares resultaram na formação de blocos estruturais soerguidos (*horsts*) e rebaixados (*grabens*), que definem o relevo regional. Fortes (1986) designou essa configuração estrutural como “tectônica em teclas”, fazendo referência ao padrão de compartimentação do extenso movimento de direção NE-SW (Barbosa; Lima Filho, 2005; Fonsêca, 2012; Lavor, 2021).

Quanto à dinâmica climática, o litoral norte de Pernambuco e sul da Paraíba está sob predominante influência da Massa Tropical Atlântica (mTA), caracterizada por ser quente e úmida, atuando de maneira contínua ao longo do ano. De acordo com Girão et al., (2006), essa massa de ar é responsável pelos ventos úmidos que incidem sobre a região, especialmente nos meses de outono e inverno, impulsionados pela atuação da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). A circulação atmosférica regional é frequentemente perturbada por sistemas secundários, como o deslocamento para o sul da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a presença de Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis (VCANs), a incursão da Frente Polar Atlântica (FPA), em processo de tropicalização, e a formação de Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs), todos atuantes na geração de precipitações na região costeira nordestina.

No município de Goiana, a sazonalidade da precipitação indica que o período mais chuvoso ocorre entre os meses de março e julho, com médias mensais de precipitação em torno de 250 mm, enquanto as temperaturas médias caem para valores próximos de 23 e 24 °C. Nos meses de menor pluviosidade, entre agosto e fevereiro, os volumes de chuva ficam abaixo de 50 mm mensais, e as temperaturas médias se elevam, podendo atingir cerca de 27 °C. Em suma, a dinâmica hídrica é influenciada por questões geológicas, climáticas e antrópicas na área.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A base cartográfica foi elaborada a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) do programa Copernicus DEM, disponibilizado pela European Space Agency (ESA). Este modelo apresenta um conjunto de elevações da Terra coletadas a partir dos dados de Radar, com resolução espacial de 30 metros por píxel. Também foram utilizadas imagens de satélite disponibilizadas na plataforma do Google Earth Pro. Todo processamento e produção dos mapas temáticos foram realizados no *software* ArcGis 10.7.1.



As atividades realizadas nos trabalhos de campo ocorreram durante o doutorado entre 2022 e 2024, com objetivo de reconhecimento da área de estudo, observação das formas e processos geomorfológicos, registros fotográficos, validação dos mapas temáticos. Também foi realizado um sobrevoo com drone com intuito de obter imagens aéreas de alta resolução em áreas específicas da paisagem.

O mapeamento hipsométrico é definido, a partir do modelo digital de elevação (MDE), utilizando uma classe de cores que representa a variação altimétrica da área de estudo. A confecção da declividade foi reproduzida em porcentagem, utilizando as classes de declividade proposta pela EMBRAPA (2018), plano (0 – 3%); suave-ondulado (3 – 8%); ondulado (8 – 20%); forte-ondulado (20 – 45%); montanhoso (45 – 75%) e escarpado (> 75%).

Para o mapeamento Geomorfológico fluvial, foram utilizados o MDE, o relevo sombreado extraído pela ferramenta *Hillshade*, e a confecção de curvas a cada 5 metros de altitude, pela ferramenta *Contour*, ambas disponibilizadas no *Arctoolbox*. Posteriormente, foi realizada uma análise conjunta com outros mapeamentos-base, como hipsometria, declividade e das imagens de satélites e das obtidas pelo drone em campo. A metodologia utilizada para o mapeamento geomorfológico é da União Geográfica Internacional (UGI), descrita por Demek (1972), na escala de 1:25.000, utilizando de apoio a metodologia proposta por Brierley e Fryirs (2005; 2013) para identificação das unidades geomórficas do canal.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

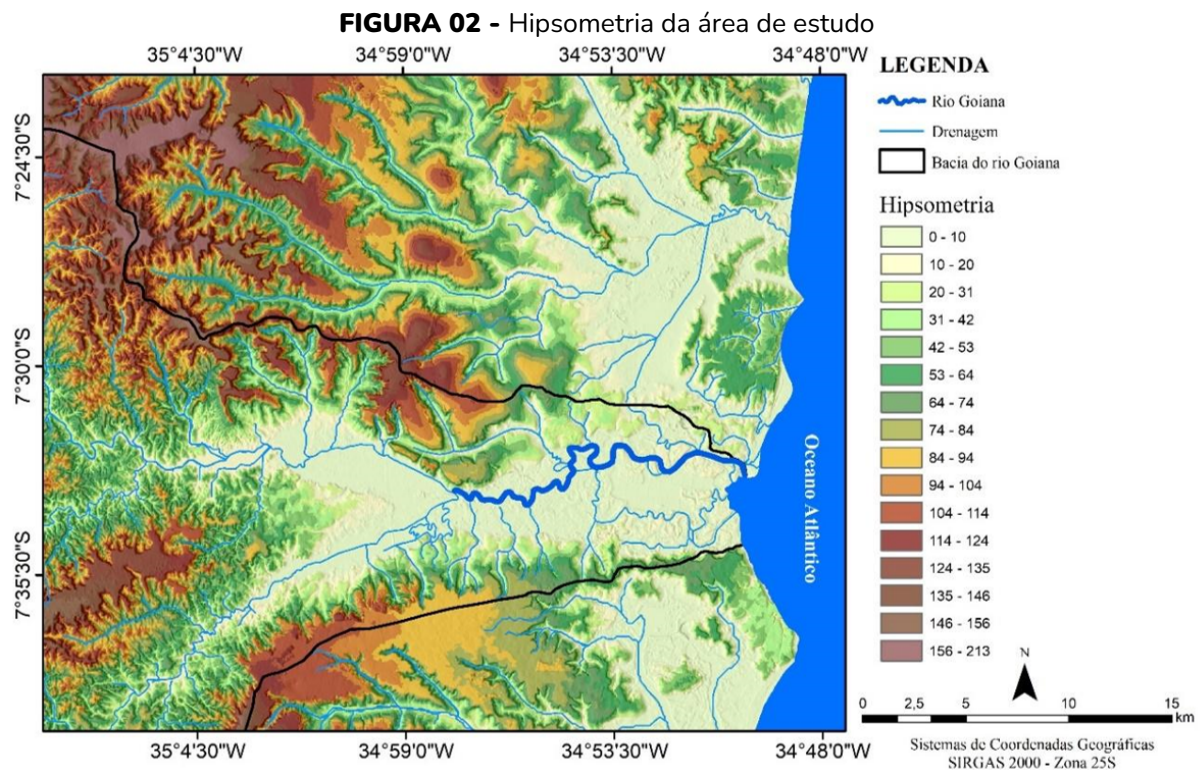
CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO DO BAIXO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GOIANA

Os aspectos geomorfológicos da área de estudo são inicialmente analisados por meio da hipsometria e da declividade, parâmetros fundamentais para a interpretação do relevo. A representação hipsométrica, aliada à análise da inclinação do terreno, permite identificar as formas e processos geomorfológicos atuantes em diferentes escalas espaciais, contribuindo para a compreensão da compartimentação da paisagem. Em destaque, encontra-se a delimitação da Planície Flúvio-marinha, elemento chave na configuração geomorfológica do baixo curso da bacia hidrográfica rio Goiana.

A hipsometria da área revela um relevo predominantemente rebaixado e intensamente modelado pelos processos intempéricos. As altitudes variam de 0 a 213 metros, com os valores mais elevados (entre 213 e 100 metros) localizados nos topos dos Tabuleiros Costeiros. Em direção ao oceano, as altitudes diminuem progressivamente,



alcançando cotas entre 0 e 30 metros, típicas de áreas de planície (Figura 02). Esse padrão altimétrico evidencia uma paisagem de baixa elevação, caracterizada por superfícies tabulares, formas colinosas e extensas planícies.



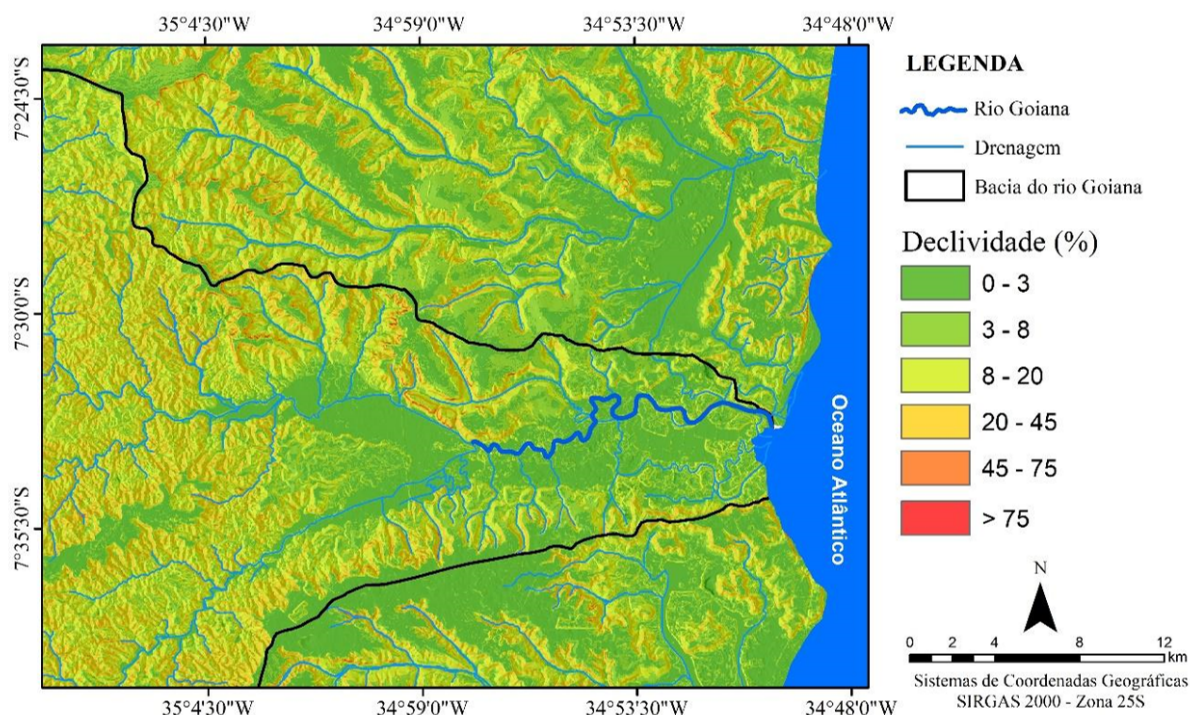
FONTE: Os autores (2025).

No mapa hipsométrico, as tonalidades mais escuras indicam áreas com altitudes mais elevadas, distantes da linha de costa, enquanto as cores mais claras representam superfícies próximas ao nível do mar. A rede de drenagem atua no entalhamento dessas formas, transportando sedimentos rumo à planície fluvial do rio Goiana, cujo fluxo converge em direção ao oceano Atlântico.

Em relação à declividade, de acordo com Santos et al., (2018), a partir da análise dos percentuais de desnível do terreno, o relevo da área de estudo pode ser classificado, em sua maioria, como suave ondulado a ondulado, predominando declives moderados entre 8% e 20% em áreas colinosas e tabulares. Em alguns setores mais acentuados, os valores de declividade ultrapassam 45%, sendo classificados como declives fortes. Nas planícies, os desníveis são mínimos, variando de 0% a 3%, o que caracteriza o relevo como plano (Figura 03).



FIGURA 03 - Declividade da área de estudo



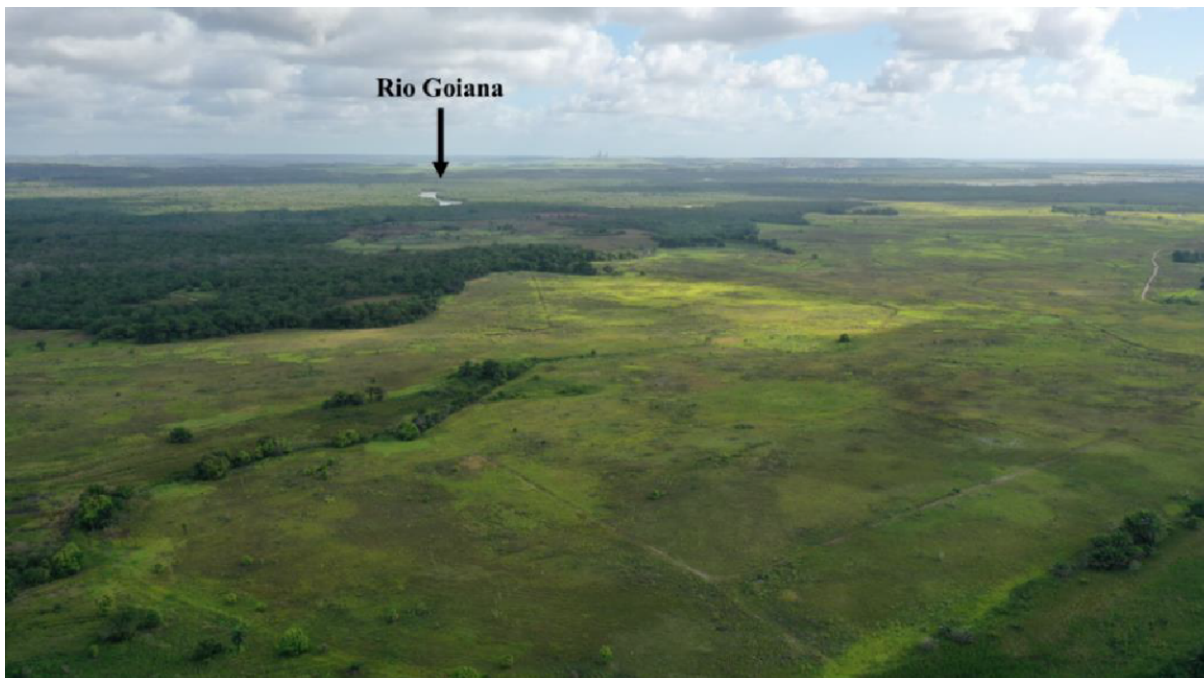
FONTE: Os autores (2025).

A integração das análises hipsométrica e de declividade permite identificar o comportamento das principais formas de relevo e o grau de dissecação, diretamente relacionado à dinâmica climática costeira. Destaca-se, ainda, a individualização das áreas planas, associadas a baixos gradientes altimétricos e declivosos, onde os processos de deposição se intensificam. Nesse contexto, o rio Goiana apresenta uma redução na competência de transporte e erosão, favorecendo o desenvolvimento de formas e processos típicos de ambientes deposicionais fluviais.

A Planície Flúvio-Marinha do rio Goiana é resultante da interação entre os processos de sedimentação fluvial e costeira. Os sedimentos fluviais são oriundos da bacia de drenagem do rio Goiana, enquanto os sedimentos costeiros derivam do cordão litorâneo. Esse compartimento abriga depósitos característicos de ambientes de baixios de maré e lagunas, com morfologia predominantemente plana (Figura 04).



FIGURA 04 - Vista da planície Flúvio-marinha do rio Goiana

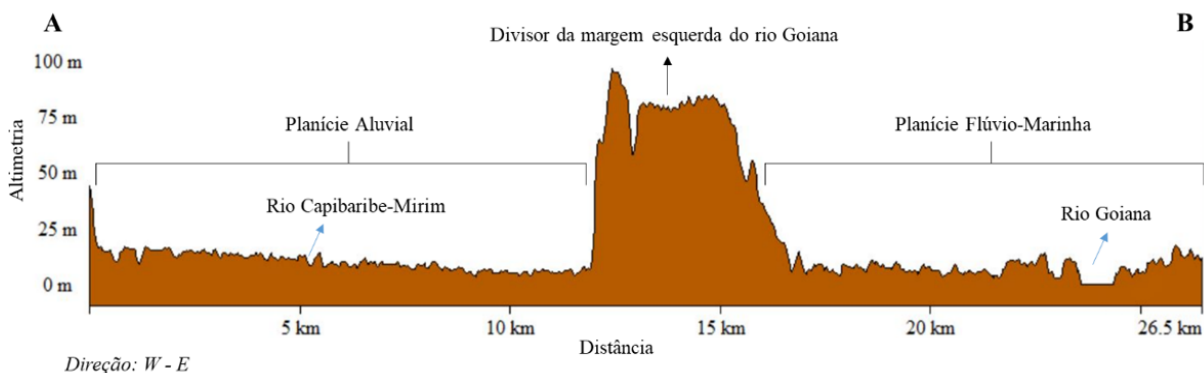


FONTE: Os autores (2024).

Para melhor compreensão das planícies, estas foram subdivididas em dois compartimentos geomorfológicos, conforme a origem predominante dos sedimentos: costeira ou fluvial. Essas unidades localizam-se principalmente nos vales fluviais e nas regiões estuarinas do rio Goiana, apresentando superfícies planas e rebaixadas, com desníveis pouco expressivos e altitudes de até 30 metros (Figura 05). São compostas por unidades litoestratigráficas de sedimentos aluvionares e depósitos flúvio-marinhos, o que permite sua compartimentação em:

- **Planície Aluvial**, constituída pelos depósitos aluvionares relacionados aos canais principais da área de estudo, como os rios Capibaribe-Mirim, Tracunhaém e Goiana;
- **Planície Flúvio-Marinha**, composta por sedimentos provenientes tanto da dinâmica fluvial quanto da influência costeira.

FIGURA 05 - Perfil topográfico A – B das Planícies



FONTE: Os autores (2025).



A Planície Flúvio-marinha do rio Goiana corresponde a uma extensa área de terras baixas, sobreposta ao graben do Goiana, estrutura tectônica formada pelo basculamento de blocos na margem continental, resultando na exposição de uma depressão alongada e de fundo plano. Essa planície desenvolveu-se a partir da acumulação sucessiva de sedimentos continentais e marinhos, a foz estuarina constitui evidência da interação entre processos fluviais e costeiros.

A deposição de sedimentos na planície ocorre mediante a diminuição da velocidade do fluxo e a redução do gradiente do canal. Essa deposição tende a ocorrer quando o rio Goiana deixa seu leito confinado e expande-se em uma seção transversal maior, resultando na perda de energia do fluxo e na consequente deposição dos materiais transportados

Esse processo deposicional pode ser observado em escala menor ao longo de todo o curso fluvial, contudo, é nas regiões de foz que os ambientes de sedimentação se intensificam. Nesse trecho, o canal atinge seu nível de base geral, que pode ser um lago, outro rio ou o oceano, o que implica redução da força da corrente, seguida de diminuição da capacidade de transporte. O material sedimentar mais grosseiro é depositado primeiro, seguido pelos sedimentos mais finos.

Em ambientes de transição entre o rio e o oceano, a deposição contínua da carga sedimentar transportada pode dar origem a ambientes como deltas e estuários. No caso da área de estudo, o ambiente deposicional predominante é o estuário, formado pela interação entre as dinâmicas fluvial e costeira. Trata-se de uma zona altamente dinâmica, onde as formas de relevo sofrem modificações constantes, impactando diretamente a geomorfologia local (Vieira, 2020).

FORMAS E PROCESSOS FLUVIAIS DA PLANÍCIE DO RIO GOIANA

O rio constitui um dos principais agentes modeladores do relevo terrestre. Por meio da atividade fluvial, ao longo do canal, é possível identificar na paisagem uma diversidade de feições geomorfológicas resultantes desses processos. Para compreender a dinâmica geomorfológica fluvial, é essencial conhecer os mecanismos de erosão, transporte e deposição de sedimentos. Entender tais processos implica reconhecer a formação e evolução das superfícies no domínio fluvial (Bigarella, 2003; Cunha, 2012).

Segundo Brierley e Fryirs (2013), o desempenho fluvial é determinado pela relação entre o fornecimento de sedimentos e a energia relativa disponível para seu transporte ou deposição. O comportamento do sistema fluvial e as formas de relevo associadas expressam correlações com eventos ambientais em diferentes escalas, tanto local quanto



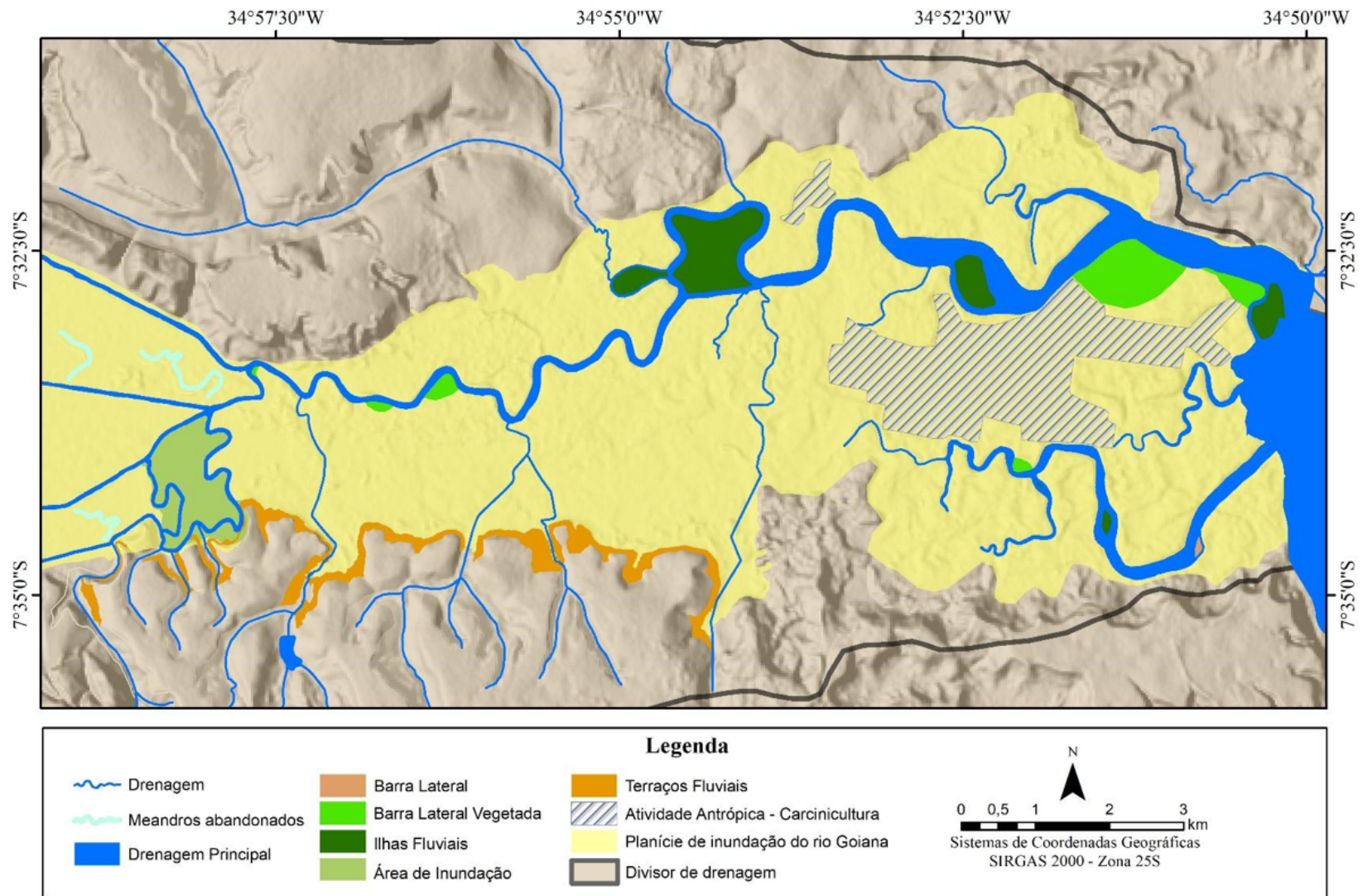
regional. Compreender os sistemas fluviais exige reconhecer que essas formas derivam de respostas distintas, que variam conforme a intensidade das perturbações e a resistência do meio.

O rio Goiana, com aproximadamente 16 km de extensão, resulta da confluência dos rios Capibaribe-Mirim e Tracunhaém. Seu vale apresenta morfologia ampla, com configuração lateralmente não confinada, dominada por planícies de inundação contínuas e totalmente inseridas em relevo plano, com leito aluvial e predomínio de processos de agradação. Em leitos aluviais, os processos de erosão e deposição são mais dinâmicos, ocorrendo tanto no canal quanto nas planícies, sendo a vegetação um fator estabilizador, atenuando a erosão marginal.

O canal do rio Goiana, devido à elevada sinuosidade, é classificado como meandrante (Figura 06). Esse padrão, típico de leitos aluviais, promove a erosão das margens côncavas, onde há convergência do fluxo, e deposição nas margens convexas, onde ocorre a divergência dos fluxos e conseqüente perda de energia. Tais processos contribuem para a formação das curvas do rio e para a migração do canal ao longo do tempo.



FIGURA 06 - Mapeamento de detalhe da planície do rio Goiana

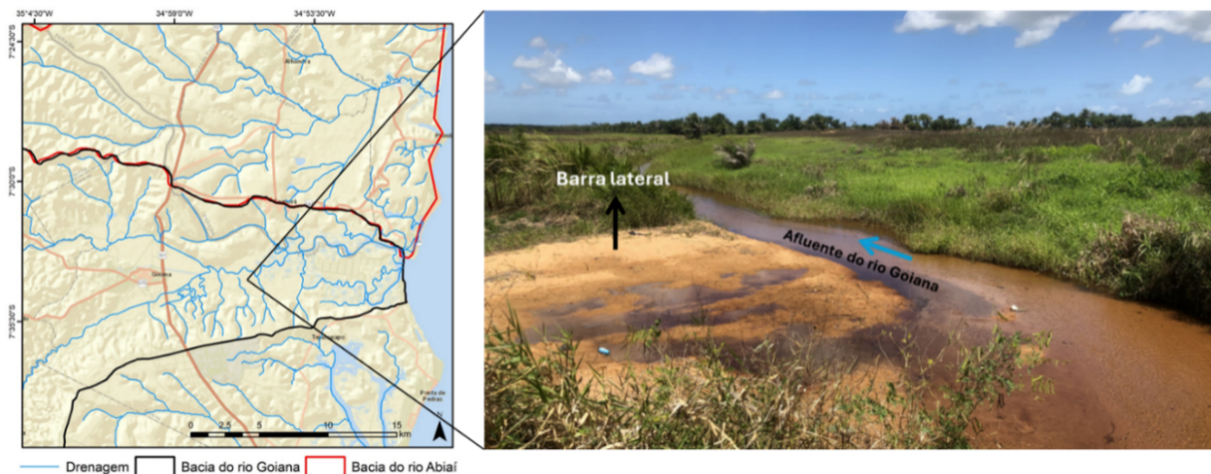


FONTE: Os autores (2025).



Segundo Magalhães Júnior, Barros e Cota (2020), a gênese dos meandros está associada ao fluxo helicoidal, que intensifica a velocidade em função da curvatura do leito. As barras laterais, ou barras em pontal, formam-se a partir desse movimento helicoidal, que favorece a acreção lateral e a deposição de sedimentos (geralmente areia e cascalho), deslocando-os do canal para a planície (Figura 07).

FIGURA 07 - Barra lateral do afluente do rio Goiana na margem direita. Tejucupapo, Goiana/PE



FONTE: Os autores (2024).

Bigarella (2003) destaca que os processos fluviais não atuam de maneira isolada: eles são interdependentes e operam simultaneamente no espaço e no tempo. A capacidade erosiva está relacionada às partículas transportadas, e os movimentos de fluxo determinam a eficácia dos processos erosivos. Quando o fluxo atinge seu nível de base, a energia é reduzida, favorecendo a deposição de sedimentos. Os níveis de base, portanto, atuam como elementos controladores do perfil de equilíbrio do rio (Cordeiro, 2022).

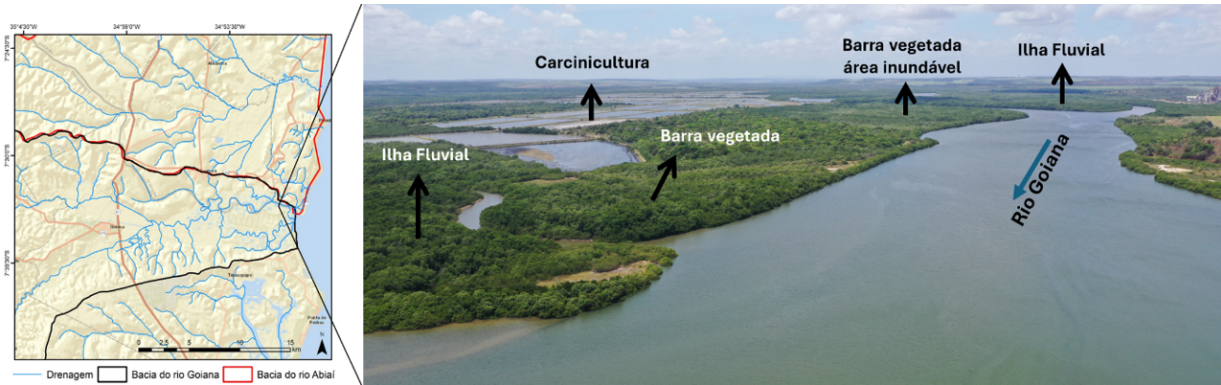
Para Cunha (2012), uma das formas pelas quais o rio retorna ao seu estágio de equilíbrio ocorre por meio da erosão marginal e das mudanças na geometria do leito. As feições do canal são condicionadas pela relação entre a descarga líquida e a carga de sedimentos transportada. As formas fluviais estão intimamente ligadas aos processos de erosão e sedimentação. As formas erosivas são geradas pelas forças do fluxo sobre as formações rochosas presentes no leito e nas margens (Barros; Magalhães Júnior, 2020; Oliveira, 2020).

Na área de estudo, observam-se barras de acreção lateral, muitas delas vegetadas, o que proporciona maior estabilidade às margens, impedindo que as correntes destruam essas formas. Em geral, essas barras são ativas e de sedimentação recente, cuja existência depende do regime de fluxo. Sua presença indica menor competência e capacidade do fluxo fluvial para transportar a carga sedimentar nessas zonas. Associados



a esses processos, as ilhas fluviais, caracterizadas por maior resistência à mobilidade, sendo ambientes de deposição mais estáveis, resultado da vegetação densa e da predominância de sedimentos mais finos, como argila (Figura 08).

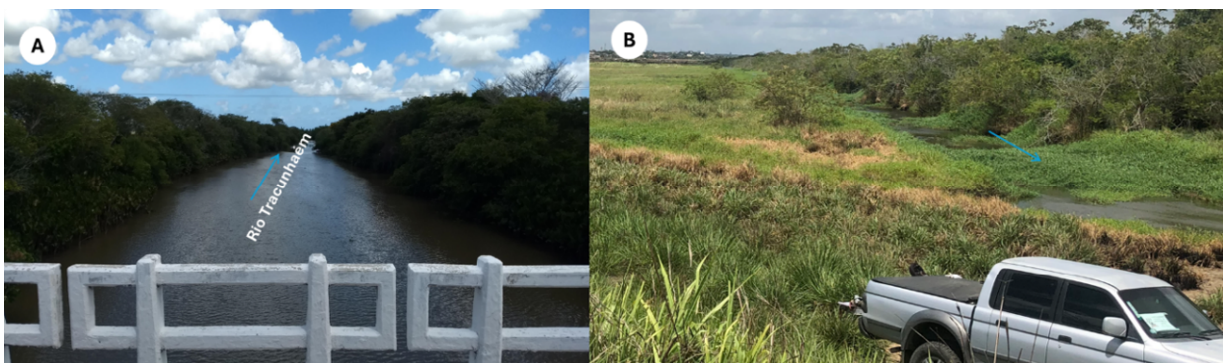
FIGURA 08 - Formas fluviais e atividades antrópicas na planície do rio Goiana



FONTE: Os autores (2024).

Na planície, ocorre uma rede de canais que convergem para o rio Goiana. Alguns afluentes não apresentam traçado sinuoso, sendo retificados por estruturas de falhamento (Figura 09A), enquanto outros foram modificados por ação antrópica (Figura 09B). Em decorrência desses fatores, observam-se meandros abandonados, que podem ser naturais, resultantes da migração lateral e do abandono de segmentos do canal, ou induzidos por retificação antrópica, como evidenciado no mapeamento da Figura 06.

FIGURA 09 - A – Trecho do rio Tracunhaém sobre um falhamento, B – canal retificado pela ação antrópica na margem direita do rio Tracunhaém



FONTE: Os autores (2024).

Também são identificados trechos abandonados e áreas alagadas, com características de pântano, recobertos por vegetação densa, o que dificulta a visibilidade direta dessas formas. Entretanto, trata-se de ambientes de águas estagnadas que, durante eventos de maior precipitação, voltam a ser reativados, alagando pontos da planície. A vegetação na planície do rio Goiana é densa, composta por manguezais, restingas e uma

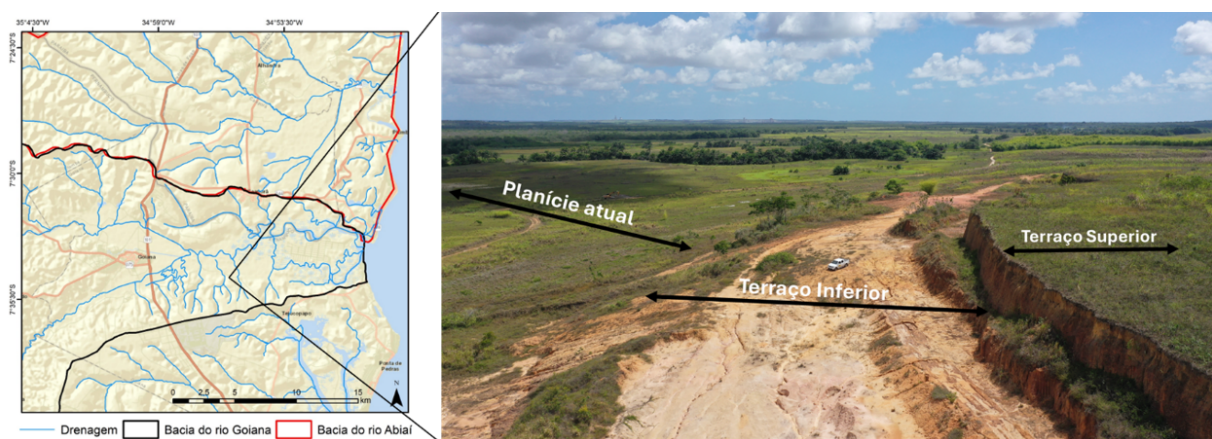


diversidade de ecossistemas. O rio Megaó e o rio Goiana integram uma Área de Proteção Ambiental Estuarina (APA), embora se destaque, na região, a significativa presença de áreas destinadas à carcinicultura como observado na figura 08.

Na margem direita do rio Goiana, foram identificados terraços fluviais ao sopé das encostas, os quais registram eventos pretéritos de sedimentação e sugerem a migração dos canais que atuaram na formação da planície. Esses terraços foram formados sob distintos contextos geológicos e climáticos, que influenciaram a intensidade do fluxo e levaram ao abandono dessas superfícies, hoje reconhecidas como setores antigos da planície.

Os terraços margeiam a planície atual com pequena diferença altimétrica e apresentam suave declive em direção ao canal principal, comportando-se como rampas que conectam as vertentes superiores ao sistema fluvial. Representam antigos níveis deposicionais relacionados tanto à migração de canais quanto aos processos de encosta (Figura 10). A dificuldade em encontrar terraços na margem esquerda pode ser atribuída à tectônica recente, que provocou o soerguimento deste divisor, favorecendo a formação de formas deposicionais como leques aluviais, posteriormente modificados por dinâmicas climáticas e antrópicas.

FIGURA 10 - Níveis deposicionais da planície do rio Goiana na margem direita



FONTE: Os autores (2024).

Além disso, o uso intenso e a ocupação da terra dificultam a preservação dessas superfícies na paisagem. Alguns antigos terraços foram transformados em cortes para estradas de serviço, principalmente vinculadas ao cultivo de cana-de-açúcar, enquanto outros foram degradados pela extração de areia. Em ambientes tropicais, os depósitos aluviais tendem a ser rapidamente erodidos, dificultando sua preservação e identificação. Em regiões úmidas e com evidências de atividade tectônicas, como na área de estudo, os registros sedimentares são frequentemente descaracterizados e homogeneizados (Barros; Magalhães Júnior, 2020).



CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da dinâmica fluvial do baixo curso da bacia do rio Goiana evidenciou a complexa interação entre fatores naturais (clima, relevo, tectônica e vegetação) e antrópicos (uso da terra, carcinicultura, agricultura de cana-de-açúcar), os quais moldam continuamente a organização e a morfologia da paisagem fluvial local. Os resultados demonstram que esse setor da bacia está inserido em um contexto geomorfológico particular, sobre um graben estrutural, com predomínio de relevo rebaixado, planícies Flúvio-marinhas e ampla atuação de processos deposicionais.

A presença de canais meandrantos, barras laterais vegetadas, ilhas fluviais, terraços e meandros abandonados revela uma dinâmica fluvial condicionada por um sistema de leito aluvial em equilíbrio dinâmico, que responde sensivelmente às variações no regime de fluxo, às influências tectônicas e à pressão antrópica. A vegetação marginal, sobretudo os manguezais e restingas, exerce papel fundamental na estabilidade das margens, funcionando como barreira natural à erosão, enquanto as ações humanas representam um fator de instabilidade crescente sobre as formas do relevo fluvial.

A integração de diferentes técnicas de mapeamento, análise espacial e observações de campo permitiu a identificação e a caracterização das principais feições fluviais e dos processos atuantes na planície do rio Goiana. A abordagem metodológica adotada demonstrou-se eficaz para compreender as formas de resposta do sistema fluvial às perturbações ambientais em múltiplas escalas.

Conclui-se que o rio Goiana é um exemplo representativo de sistema fluvial tropical úmido, onde a convergência entre fatores estruturais, climáticos e antrópicos resulta em uma paisagem dinâmica e sensível. O mapeamento geomorfológico detalhado, aliado à interpretação dos processos fluviais, fornece subsídios valiosos para a gestão integrada da bacia hidrográfica e para a conservação dos ecossistemas associados. Além disso, a pesquisa contribuiu para o avanço do conhecimento científico na Geomorfologia Fluvial brasileira, em especial nos ambientes úmidos do Nordeste, e destaca a necessidade de estratégias de monitoramento e mitigação dos impactos antrópicos sobre os sistemas fluviais tropicais.

Agradecimentos:

Agradeço à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelo apoio na realização desta pesquisa, por meio da concessão da bolsa de doutorado.



REFERÊNCIAS

- ALVES, N. de S. **Mapeamento hidromorfodinâmico do complexo fluvial de anavilhanas Contribuição aos estudos de geomorfologia fluvial de rios amazônicos**, 228f, Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, 2013.
- APAC – AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMAS. **Bacia do rio Goiana**. 2023. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/164-bacias-hidrograficas-rio-goiana/194-bacia-do-rio-goiana>. Acesso dia 22 de maio de 2023.
- BARROS, L. F. P.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. Bases teóricas e fatores controladores da dinâmica fluvial. In: MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; BARROS, L. F. P. **Hidrogeomorfologia: formas, processos e registros sedimentares fluviais**, 1. ed, Bertrand Brasil, 2020, 516 p.
- BARBOSA, J. A.; LIMA FILHO, M. Os domínios da Bacia da Paraíba. **Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás**, Salvador, 2005.
- BIGARELLA, João José. **Estruturas e origem das paisagens tropicais e subtropicais**, Florianópolis, vol III, Editora da UFSC, p 877- 1436. 2003.
- BRIERLEY, G. J.; FRYIRS, K. A. **Geomorphologic analysis of river systems: an approach to reading the landscape**, 1º ed, Blackwell Publishing Ltd, 2013, 360p.
- BRIERLEY, G. J.; FRYIRS, K. A. **Geomorphology and River Management Applications of the River Styles Framework**. 1º ed, Blackwell Publishing Ltd, 2005, 412p.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2ª ed. São Paulo, Ed Edgar Blücher, 1980, 188 p.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**, Ed Edgard Blücher, São Paulo, 1981, 297p.
- CORDEIRO, J. S. **Evolução hidrogeomorfológica de sistemas fluviais afetados por ruptura de barragem de rejeito**. 2022, 292 p. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022.
- CUNHA, S. B. Canais Fluviais e a Questão Ambiental. In: **A Questão Ambiental: diferentes abordagens**. S. B. CUNHA; A. J. T. GUERRA (org). Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2012, 250p.
- CHARLTON, R. **Fundamentals of fluvial geomorphology**. 1º ed, Nova York, Routledge, 2008, 275p.
- DEMEK, J. (Ed) **Manual of detailed geomorphological mapping**. Praga: Comm. Goomorph. Surv. Mapping. IGU, 1972. 368p.
- FONSÊCA, D. N. **Reconstrução da Paisagem Geomorfológica através da Assinatura Geoquímica dos eventos deposicionais da bacia do rio Capibaribe-Mirim, Pernambuco**. 2012. 88 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.
- FORTES, F. P. Tectônica de terras da bacia Potiguar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34., 1986, Goiânia. **Anais [...]** Goiânia: SBGEO, 1986. v3, p.1145-1159.
- GIRÃO, O.; CORRÊA, A. C. B.; GUERRA, A. J. T. Influência da climatologia rítmica sobre áreas de risco: o caso da Região Metropolitana do Recife para os anos de 2000 e 2001. **Revista de Geografia**, UFPE/DCG-NAPA: Recife, v.23, nº1, p. 03-41, 2006.
- GUPTA, A. **Geomorfologia Tropical**, Cambridge University Press, 2011, 409 p.
- LATRUBESSE, E. M.; STEVAUX, J. C.; SINHA, R. Grandes sistemas fluviais tropicais: uma visão geral. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, ano 6, nº 1, p. 01 – 18, 2005.
- LAVOR, L. F. **Investigação geológica e geomorfológica da origem da depressão do Abiaí na faixa costeira da bacia Paraíba**, NE do Brasil. 2021, 145 p. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2021.
- MAIA, R. P.; BEZERRA, F. H. R. Neotectônica, geomorfologia e sistemas fluviais: uma análise preliminar do contexto nordestino. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 12, n. 3, p. 37- 46, 2011.
- MENEZES, F. B. T.; WANKLER, F. L.; VELOSO, R. S.; GAMA, C. V. C. Sistemas deposicionais fluviais: análise estratigráfica das unidades sedimentares da formação Boa Vista, Nordeste da bacia do Tacutu, RR. **Rev. Geogr. Acadêmica**, v.14, n.1, p. 69 – 93, 2020.



MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; BARROS, L. F. P.; COTA, E. M. Morfodinâmica fluvial. *In*: MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; BARROS, L. F. P. **Hidrogeomorfologia: formas, processos e registros sedimentares fluviais**, 1.ed, Bertrand Brasil, 2020, 516 p.

OLIVEIRA, C. K. R. **Avaliação integrada dos sistemas fluviais: subsídio para reconhecimento e classificação do geopatrimônio fluvial**. 2020, 310 p. Tese (Doutorado em Ciências Naturais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2020.

PAULA, R. T.; ROCHA, G. C. Análise do quadro físico em ambiente tropical úmido e reflexos na vulnerabilidade climática, o caso de Juiz de Fora – MG, **Anais** do XIII ENANPEGE, São Paulo, p 01-14, 2019.

SCHUMM, S. A. **The Fluvial System**. Wiley, New York, 1977, 338p.

SCHUM, S. A; DUMONT, J. F; HOLBROOK, J. M; **Actives Tectonics and Alluvial Rivers**. Cambridge University Press, 292 p, 2000.

SILVA, T. M. Geomorfologia dos trópicos úmidos – Sudeste do Brasil, **William Morris Davis - Revista de Geomorfologia**, v. 3, n. 1, p. 1-28, 2022.

SILVA. C. S. **Avaliação das condições hidrogeomorfológicas da bacia hidrográfica do Rio Jaboatão**. 2018, 137 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.

SANTOS, L. D. J.; SILVA, W. F.; SILVA, C. S.; LISTO, F. L. R.; GIRÃO, O. Identificação dos padrões de configuração de vale e sua influência na morfologia do canal rio Aripibú – Pernambuco. **Anais** do XII Simpósio Nacional de Geomorfologia, 2018.

VIEIRA, D. S. **Riqueza de peixes e funções ecossistêmicas em habitats estuarinos tropicais**. 2020, 50 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2020.

WIRTHMANN, A. **Geomorphology of the Tropics**. Springer, 1999, 323 p.



CONTROLE MORFOMÉTRICO NO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO NO RIO GURGUÉIA, SUDOESTE DO PIAUÍ

Reurysson Chagas de Sousa Morais¹

Larissa Sheydder de Oliveira Lopes²

Mauro César de Brito Sousa³

PALAVRAS-CHAVE: Bacia hidrográfica, Cerrado, Morfometria, Uso da Terra.

RESUMO

A bacia hidrográfica do rio Gurguéia, localizada no sudoeste do estado do Piauí, drena parte de uma região ambientalmente sensível conhecida como Núcleo de Desertificação de Gilbués. Essa área apresenta solos frágeis e elevada suscetibilidade à erosão, o que, em tese, a caracterizaria como uma importante fonte de sedimentos para o rio Parnaíba. No entanto, estudos anteriores já indicaram uma baixa capacidade de transferência de carga sedimentar do rio Gurguéia para o rio Parnaíba. Diante disso, este estudo teve como objetivo avaliar a influência da morfometria da bacia do rio Gurguéia sobre sua capacidade de transporte de sedimentos em suspensão. Parte-se da hipótese de que características morfométricas e morfológicas da bacia e do canal fluvial, respectivamente, estariam favorecendo o acúmulo local de sedimentos e reduzindo seu transporte a jusante. Para isso, foram utilizados dados de concentração de sedimentos em suspensão obtidos de duas estações sedimentométricas da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), situadas ao longo do rio Gurguéia (códigos 34251000 e 34270000). Os dados foram organizados em médias anuais e analisados estatisticamente. Como nenhuma das séries apresentou distribuição normal, aplicou-se o teste de Mann-Whitney, que identificou diferença estatisticamente significativa entre as duas estações ($U = 386,0$; $p = 0,0085$), com valores sistematicamente maiores de concentração média anual de sedimentos na estação a montante (34251000) do que na estação a jusante (34270000). Esse resultado indica ausência de efeito cumulativo da carga de sedimentos ao longo do rio, sugerindo deposição ou retenção de sedimentos entre as estações. Para a estação fluviométrica a montante, foi identificada tendência negativa significativa na série de vazão ($\tau = -0,443$; $p = 0,0020$), com redução média estimada de $-0,44 \text{ m}^3/\text{s}$ por ano. Na estação a jusante, também foi observada tendência decrescente significativa ($\tau = -0,347$; $p = 0,016$), com declínio médio de $-0,77 \text{ m}^3/\text{s}$ por ano. Quanto à concentração de sedimentos em suspensão, a estação a jusante apresentou tendência negativa significativa ($\tau = -0,398$; $p = 0,0018$), com redução média anual estimada em $-4,76$

1 Professor do curso de Tecnologia Geoprocessamento e do Mestrado Profissional em Análise e Planejamento Espacial do Instituto Federal do Piauí - IFPI, reurysson@ifpi.edu.br

2 Professora de Geografia do Instituto Federal do Maranhão - IFMA, laryssa.lopes@ifma.edu.br

3 Professor do curso de Engenharia Civil e do Mestrado Profissional em Análise e Planejamento Espacial do Instituto Federal do Piauí - IFPI, mauro.sousa@ifpi.edu.br



mg/L, enquanto a estação a montante não apresentou tendência estatisticamente significativa ($\tau = -0,265$; $p = 0,149$). A análise morfométrica da bacia revelou superfícies com baixa declividade das terras, delimitadas por escarpas, bem como um perfil longitudinal com baixa declividade no médio e baixo curso do rio. Associa-se a isso o alargamento progressivo do canal principal em direção à foz, fatores que podem estar favorecendo o assoreamento do canal. Dados de uso e cobertura da terra demonstram que a formação savânica (cerrado) permanece em torno de 80% da área da bacia. Os resultados indicam que as condições morfométricas da bacia interferem diretamente na capacidade de transporte dos sedimentos em suspensão, mais do que as mudanças no uso e cobertura da terra, e que o trecho entre as duas estações analisadas funciona como zona de deposição de sedimentos. A pesquisa contribui para o entendimento da dinâmica do transporte sedimentar em uma bacia localizada na região dos cerrados piauienses e pode subsidiar ações de conservação e manejo do solo e da água em áreas suscetíveis a processos erosivos.

INTRODUÇÃO

Bacias hidrográficas são consideradas sistemas abertos complexos, nos quais a interação entre os componentes físicos, biológicos e socioeconômicos influencia a dinâmica hidrológica e o transporte de sedimentos (BOTELHO; SILVA, 2004; SILVA; SCHULZ; CAMARGO, 2007). Compreender o funcionamento desses sistemas requer a análise integrada de fatores como o uso do solo, a precipitação e as características da rede de drenagem.

Dentre os diversos fatores que afetam a produção e o transporte de sedimentos destacam-se a morfometria e as mudanças de cobertura e uso da terra. A morfometria da bacia hidrográfica, por exemplo, influencia diretamente o tempo de concentração da água e a capacidade de transporte de sedimentos, enquanto as mudanças no uso do solo podem alterar a infiltração da água no solo e a estabilidade das encostas, afetando a produção de sedimentos. Parâmetros como o perfil longitudinal do rio e a curva hipsométrica são amplamente utilizados na avaliação do comportamento erosivo das bacias hidrográficas (ZAVOIANU, 1985; LUO, 1998).

Rios com perfil longitudinal acentuadamente côncavo tendem a apresentar maior capacidade de transporte de sedimentos na porção inferior da bacia, enquanto rios com perfil mais retilíneo podem apresentar maior equilíbrio entre a produção e o transporte (CUNHA, 2022). Já a curva hipsométrica, por sua vez, reflete a distribuição altimétrica da bacia e pode indicar o grau de maturidade da paisagem. A integral hipsométrica, por sua vez, pode ser utilizada como um indicador da taxa de erosão e da capacidade de recarga hídrica da bacia (CHRISTOFOLETTI, 1980; STRAHLER, 1952). Farhan et al. (2016), por exemplo, ao analisarem sub-bacias do Wadi Mujib-Wala, na Jordânia, com



base em curvas hipsométricas extraídas de imagens de satélite e dados topográficos, concluíram que a maioria das áreas estudadas se encontrava em estágios iniciais de desenvolvimento geomorfológico, com elevada propensão à erosão.

Nesse sentido, análises integradas de morfometria, uso da terra e dinâmica hidrossedimentológica têm sido aplicadas em bacias do Cerrado brasileiro com resultados reveladores. Por exemplo, Amaral, Rosa e Formiga, (2021) analisaram a bacia do rio Meia Ponte, em Goiás, e demonstraram que a variação na concentração de sedimentos entre diferentes trechos do rio está associada tanto ao relevo e à forma da bacia quanto às mudanças de cobertura do solo, mesmo em contextos de prevalência de vegetação nativa.

A bacia hidrográfica do rio Gurguéia, situada no sudoeste do estado do Piauí, insere-se nesse contexto. Trata-se de uma região marcada por alta sensibilidade ambiental, onde os solos frágeis, o regime hídrico variável e o avanço seletivo da agricultura sobre as chapadas coexistem com extensas áreas de vegetação nativa e zonas suscetíveis à desertificação (MORAIS; SALES, 2017; OLIVEIRA; AQUINO, 2021).

Apesar dessas condições, estudos anteriores realizados por Moraes (2015) indicam baixa transferência de carga sedimentar do rio Gurguéia para o rio Parnaíba, o que levanta questionamentos sobre os mecanismos que regulam o transporte de sedimentos em suspensão nesta bacia. Compreender esses mecanismos é essencial para orientar estratégias de manejo e conservação dos recursos hídricos, sobretudo em regiões de cerrado que enfrentam crescente pressão antrópica. Nesse contexto, este estudo busca avaliar a influência da morfometria da bacia sobre a dinâmica do transporte de sedimentos, em contraponto a fatores como o uso da terra ou variabilidade climática.

Portanto, este trabalho busca compreender em que medida as características morfométricas da bacia do rio Gurguéia, a variabilidade de parâmetros hidrológicos e dinâmica de uso da terra interferem na sua capacidade de transporte de sedimentos em suspensão do rio Gurguéia.

Hipoteticamente assume-se que a morfometria da bacia do rio Gurguéia, marcada por baixa declividade das terras e do canal principal, associado a um perfil longitudinal suavizado, limita o transporte de sedimentos em suspensão ao longo do curso do rio, resultando em retenção de sedimentos nos trechos de médio e baixo curso.

Diante disso, este trabalho tem como objetivo avaliar a influência das características morfométricas da bacia hidrográfica do rio Gurguéia sobre o transporte de sedimentos em suspensão. Para tanto, foram definidos os seguintes objetivos específicos: (i) Analisar a variação espacial e temporal da concentração de sedimentos em suspensão em duas estações ao longo do rio Gurguéia; (ii) Investigar tendências nas séries históricas



cas de vazão e precipitação entre 2000 e 2024; (iii) Caracterizar a morfometria da bacia com base em dados altimétricos e métricas hipsométricas; (iv) Avaliar a evolução do uso e cobertura da terra na bacia entre os anos de 2000 e 2023;

Nesse contexto, este estudo propõe uma abordagem integrada para a análise da bacia do rio Gurguéia. Busca-se compreender de que forma os fatores morfométricos, a variabilidade hidrológica e as alterações no uso e cobertura da terra interferem na dinâmica do transporte de sedimentos em suspensão.

MATERIAIS E MÉTODOS

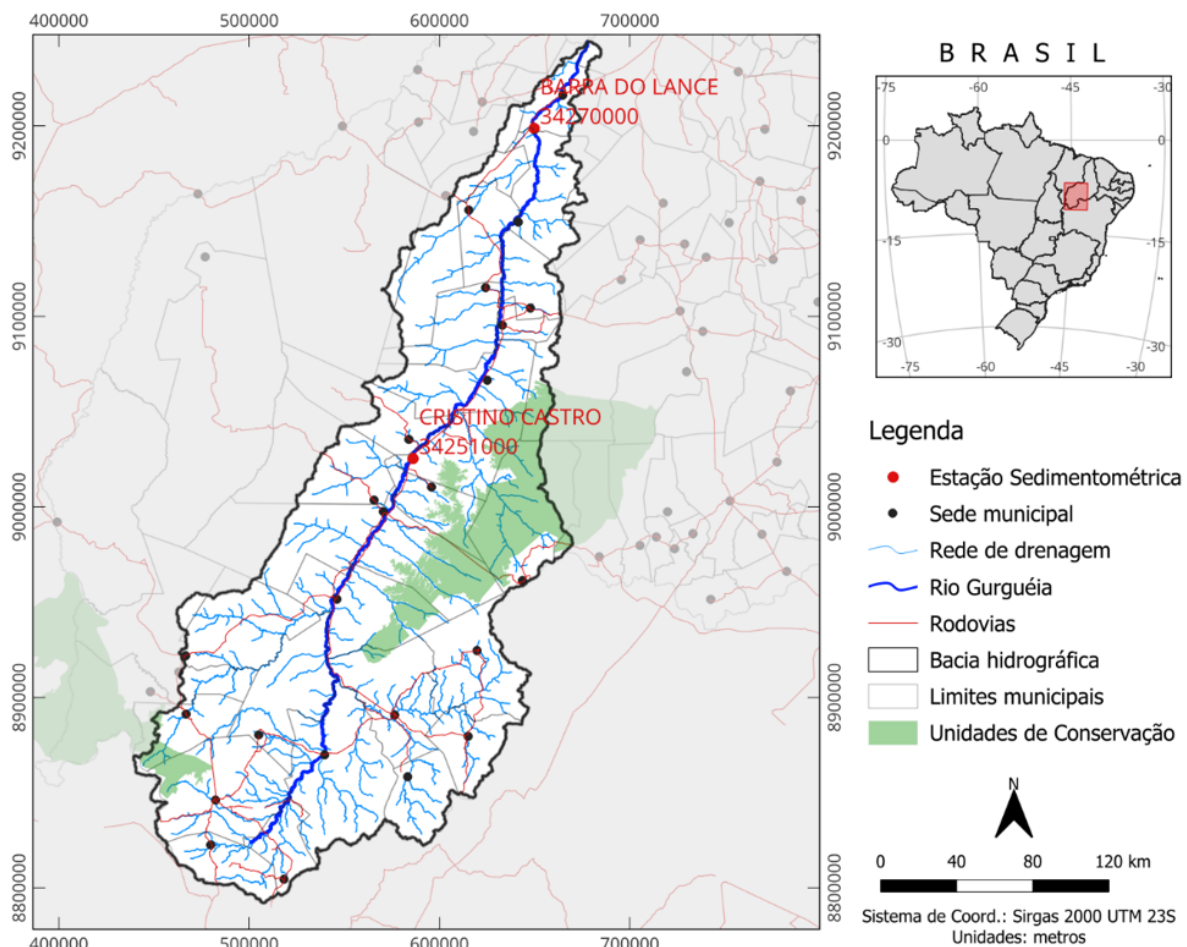
O presente estudo foi realizado na bacia hidrográfica do rio Gurguéia, uma importante sub-bacia da bacia do rio Parnaíba. Esta se estende desde a porção sul até a região central da bacia do Parnaíba, onde o rio Gurguéia deságua no rio Parnaíba, na divisa entre os municípios de Jerumenha e Floriano, após percorrer aproximadamente 668 km.

As principais nascentes do rio Gurguéia localizam-se no sopé da Chapada das Mangabeiras, distribuídas entre os municípios de Corrente e Cristalândia do Piauí, a cerca de 500 metros de altitude. A bacia drena parcial ou integralmente cerca de 24 municípios do estado do Piauí, abrangendo uma área de significativa relevância ambiental, econômica e hidrográfica para a região.

A bacia encontra-se inserida no bioma Cerrado. O clima predominante é o subúmido seco, segundo a classificação de Thornthwaite, com estação chuvosa concentrada entre os meses de novembro e abril, e precipitação média anual em torno de 900 a 1.100 mm. As temperaturas são elevadas durante todo o ano, com médias que variam entre 24 °C e 28 °C (ANDRADE JÚNIOR et al., 2004; MORAIS, R. C. de S.; ABREU, 2021).



FIGURA 1 – Localização da bacia hidrográfica do rio Gurguéia, Piauí, Brasil.



FONTE: Os autores (2025).

A geologia da bacia do rio Gurguéia é composta quase integralmente por rochas sedimentares. Na porção sul, até os arredores do município de Gilbués, predominam rochas areníticas dos Grupos Urucuaia e Areado, pertencentes à bacia sedimentar do São Francisco. Do sul em direção ao leste, ocorrem afloramentos de rochas metamórficas do Complexo Cristalândia do Piauí (substituir com o nome correto, se disponível). Em todo o restante da bacia, predominam unidades sedimentares das formações Poti, Piauí, Longá e Cabeças, todas integrantes da bacia sedimentar do Parnaíba (SGB, 2006).

Essa diversidade geológica da bacia se reflete no padrão da drenagem na porção sul e sudeste da bacia. No restante da bacia a drenagem apresenta padrões mistos, com predomínio de drenagem paralela e dendrítica, condicionados pela estrutura geológica e pela variação do relevo.

Do ponto de vista geomorfológico, a bacia é composta por superfícies suavemente onduladas, chapadas e vales estreitos, com predomínio de relevo plano a suave ondulado, especialmente nas porções médias e inferiores. A altimetria varia de aproxima-



damente 100 m na foz até 800 m nos divisores topográficos ao sul. As características geomorfológicas condições um ambiente de baixa energia que se reflete com rios com baixas vazões e capacidade de transporte de sedimentos.

Além de sua importância hidrográfica, a bacia do rio Gurguéia tem sido alvo de expansão agrícola, especialmente nas áreas de chapada, onde se observa o avanço de cultivos de soja nas últimas décadas. No entanto, grande parte da bacia ainda preserva cobertura vegetal nativa, notadamente nas chapadas localizadas ao leste e ao sul, que se encontram sob regime de proteção integral por estarem inseridas em unidades de conservação, como o Parque Nacional da Serra das Confusões e o Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba.

Ao longo do vale do Gurguéia, predominam atividades agropastoris de subsistência, com baixo nível de mecanização. De todo modo, alterações na cobertura e uso da terra podem deflagrar processos erosivos que, combinados com o aumento do escoamento superficial, podem resultar no assoreamento dos corpos hídricos. Isso é particularmente importante na porção sul da bacia, que abrange parte da área do Núcleo de Desertificação de Gilbués, região caracterizada por solos frágeis e alta susceptibilidade natural à erosão.

BASE DE DADOS E MÉTODOS DE ANÁLISE

Foram utilizados dados de concentração de sedimentos em suspensão, obtidos em duas estações sedimentométricas da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), localizadas ao longo do rio Gurguéia: a estação Barra do Lance (34270000), situada a jusante, próxima ao exutório da bacia; e a estação Cristino Castro (34251000), situada a montante. A partir dos dados referentes ao período de 2007 a 2024, para estação 34251000; e de 1992 a 2024 para a estação 34270000, foram calculados os valores médios anuais de sedimento em suspensão. Registros com valores ausente de sedimentos em suspensão foram removidos do banco de dados.

As séries históricas de vazão média anual, referente ao período de 2000 a 2024, foram obtidos utilizando os dados consistidos disponibilizados pela ANA, com auxílio do software Hidro 1.4. Um único registro faltante observado em 2012 na estação 3427000 foi preenchido o valor médio da série histórica.

Os dados anuais de precipitação acumulada, correspondente ao período de 2000 a 2024, foram obtidos por meio do programa *Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM* (IMERG) (HUFFMAN *et al.*, 2023). Esses dados foram extraídos da plataforma GIOVANNI/NASA em formato raster, com resolução espacial de $0,1^\circ \times 0,1^\circ$. A precipitação



acumulada média anual da bacia hidrográfica foi calculada utilizando a ferramenta Estatísticas Zonais no *software* QGIS, a partir da delimitação da bacia do rio Gurguéia. Os resultados foram então exportados em formato CSV para posterior análise utilizando o pacote Pandas do Python.

O teste de Shapiro-Wilk foi aplicado para testar a normalidade dos dados de concentração de sedimentos em suspensão. Confirmado a assimetria dos dados de cada estação, a comparação dos valores médios entre as duas estações foi realizada utilizando o teste de Mann-Whitney. Em ambos os testes foi considerando o nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$).

Além disso, foi aplicada a análise de tendência das séries temporais de precipitação e vazão por meio do teste de Mann-Kendall, com o objetivo de identificar tendências significativas ao longo do período de estudo, que possam estar influenciando na redução da carga de sedimento em suspensão entre as duas estações. O cálculo da inclinação foi realizado pelo estimador de Sen, permitindo quantificar a magnitude da tendência identificada. Nesta etapa foi utilizado o pacote *pyMannKendall* do Python (HUSSAIN; MAHMUD, 2019).

A caracterização morfométrica da bacia foi conduzida com base no Modelo Digital de Elevação (MDE) Copérnicos DEM, com 30 metros de resolução espacial. Foram analisados parâmetros como declividade, perfil longitudinal e curva hipsométrica. No processo de geração da curva hipsométrica e cálculo da Integral Hipsométrica (HI) foi utilizado o plugin ArcGreek (PUCHA-COFREP, 2024), com o intuito de avaliar o estágio de desenvolvimento da bacia e sua relação com o transporte de sedimentos em suspensão. A partir do MDE foi gerado ainda o mapa de declividade das terras da bacia, com as classes definidas por Santos (2018).

Com o intuito de avaliar a influência da cobertura e uso da terra sobre a dinâmica hidrossedimentar, foi realizada a análise da variação espacial e temporal das classes de uso e cobertura da terra na bacia do rio Gurguéia. Para isso, foram utilizados os dados do Projeto MapBiomas (Coleção 9), que disponibiliza mapas anuais com resolução espacial de 30 metros, derivados de imagens Landsat.

As informações foram extraídas por meio do *Google Earth Engine*, com delimitação espacial correspondente à área da bacia hidrográfica. A análise considerou as principais classes presentes na bacia (Formação Savânica, Formação Florestal, Mosaico de Agricultura e Pastagem e Soja). Todas as demais classes que em 2023, representavam menos de 1% da área da bacia foram agrupadas em classe denominada Outras.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

As séries temporais de vazão média anual, concentração de sedimentos em suspensão (CSS) e precipitação apresentaram variação significativa entre os pontos de monitoramento e ao longo do período analisado. A análise descritiva dos dados, apresentados na Tabela 1, revela contrastes expressivos entre os pontos de monitoramento ao longo do rio Gurguéia. A concentração média de sedimentos em suspensão (CSS) na estação a montante (34251000) é aproximadamente 3,8 vezes superior àquela observada na estação a jusante (34270000). Além disso, a dispersão dos dados também é mais acentuada a montante, conforme indicado pelo maior desvio padrão e intervalo interquartil (IIQ), sugerindo elevada variabilidade interanual na geração de sedimentos nessa região.

A mediana e os quartis reforçam essa tendência, indicando que as concentrações elevadas de CSS não são pontuais ou restritas a eventos extremos, mas ocorrem de forma recorrente ao longo da série temporal. Esse padrão evidencia uma possível perda de carga sedimentar no trajeto entre as estações, associada a processos de deposição ou retenção ao longo do curso do rio.

TABELA 1 – Estatísticas descritivas das séries de vazão, concentração de sedimentos em suspensão e precipitação anual na bacia do rio Gurguéia.

ESTATÍSTICAS	SEDIMENTOS EM	VAZÃO	PRECIPITAÇÃO		PRECIPITAÇÃO
	SUSPENSÃO (CSS) (MG/L)	(M ³ /S)	(MM/ANO)	(MM/ANO)	
	ESTAÇÃO 34251000	ESTAÇÃO 34270000	ESTAÇÃO 34251000	ESTAÇÃO 34270000	
n	17	31	25	25	25
Média	707,7	186,9	12,1	20,0	927,5
Desvio Padrão	867,9	260,5	6,6	12,0	156,8
CV (%)	122,6	110,5	54,5	60	16,9
Mínimo	27,9	3,7	4,2	4,6	510,0
Q1	165,6	67,1	7,4	11,9	828,6
Mediana	565,4	103,3	9,8	15,6	926,5
Q3	897,1	230,4	15,6	26,6	1048,4
IIQ	731,5	163,3	8,2	14,7	2019,8
Máximo	3677,1	1448,3	29,2	50,1	1151,3

n: quantidade de anos; CV: Coeficiente de Variação; Q1 e Q3: primeiro e terceiro quartil, respectivamente; IIQ: Intervalo Interquartil.

FONTE: Os autores (2025)

A mediana e os quartis reforçam essa tendência, indicando que as concentrações elevadas de CSS não são pontuais ou restritas a eventos extremos, mas ocorrem de



forma recorrente ao longo da série temporal. Esse padrão evidencia uma possível perda de carga sedimentar no trajeto entre as estações, associada a processos de deposição ou retenção ao longo do curso do rio.

No que se refere à vazão média anual, observa-se o comportamento inverso: os valores são mais elevados na estação a jusante, possivelmente por contribuições de afluentes. Ainda assim, a carga de sedimentos em suspensão diminui de montante para jusante, o que sugere a ocorrência de processos de deposição ao longo do curso principal, compatível com as características morfométricas observadas na bacia.

Por fim, a precipitação média anual na bacia apresentou distribuição relativamente estável ao longo do período, com coeficiente de variação inferior de 16,9% e mediana próxima à média, sugerindo que a variabilidade na geração e transporte de sedimentos e na vazão não pode ser atribuída exclusivamente às flutuações pluviométricas.

A partir dessas observações, foram conduzidas análises adicionais de tendência e comparação entre as séries, buscando identificar padrões estatísticos e possíveis interferências morfométricas na dinâmica de transporte hídrico e sedimentar ao longo do rio Gurguéia.

Inicialmente, avaliou-se a distribuição dos dados de vazão média anual e CSS em cada estação fluviométrica por meio do teste de Shapiro-Wilk. Os resultados indicaram forte desvio significativos de normalidade em ambas as séries, em cada uma das estações. Diante disso, optou-se pelo uso de testes não paramétricos para a comparação entre os conjuntos.

A aplicação do teste de Mann-Whitney revelou diferença estatisticamente significativa entre as duas estações ($U = 169,0$; $p = 0,0055$), com valores sistematicamente maiores de vazão média anual observados na estação a montante. Este resultado indica uma redução consistente do volume escoado ao longo do trecho monitorado.

A avaliação da tendência das séries temporais de vazão média anual foi conduzida por meio do teste de Mann-Kendall, com nível de significância de 5%. Para a estação fluviométrica a montante, foi identificada uma tendência decrescente estatisticamente significativa ($\tau = -0,443$; $p = 0,0020$), indicando redução consistente na vazão ao longo do período analisado. A inclinação estimada pelo método de Sen foi de $-0,44 \text{ m}^3/\text{s}$ por ano, o que corresponde a uma diminuição média anual expressiva do volume escoado nesse ponto do rio.

Na estação a jusante, também foi detectada uma tendência negativa significativa ($\tau = -0,347$; $p = 0,016$), com redução média estimada em $-0,77 \text{ m}^3/\text{s}$ por ano. magnitude da tendência sugere que o decréscimo da vazão nesse trecho é ainda mais acentuado, reforçando a hipótese de perda de volume entre as duas seções do rio ao longo do tempo.

A análise comparativa entre as séries anuais de concentração de sedimentos em suspensão revelou diferença estatisticamente significativa entre as duas estações sedi-



mentométricas ($U = 386,0$; $p = 0,0085$), com valores sistematicamente maiores observados na estação a montante. Esse resultado indica ausência de acúmulo progressivo de sedimentos ao longo do trecho monitorado, sugerindo a ocorrência de deposição ou retenção entre as estações.

A avaliação da tendência temporal reforça essa interpretação. Na estação a montante, o teste de Mann-Kendall não apontou tendência significativa ao longo do período analisado ($\tau = -0,265$; $p = 0,149$). Por outro lado, a estação a jusante apresentou tendência negativa estatisticamente significativa ($\tau = -0,398$; $p = 0,0018$), com decréscimo médio de $-4,76$ mg/L por ano, conforme estimado pelo método de Sen.

Em relação à precipitação anual média na bacia do rio Gurguéia, os resultados também apontaram para uma tendência de redução no período considerado ($\tau = -0,32$; $p = 0,0265$). Essa redução da precipitação, embora modesta, pode ter alguma influência na diminuição do volume escoado, intensificando processos de deposição fluvial.

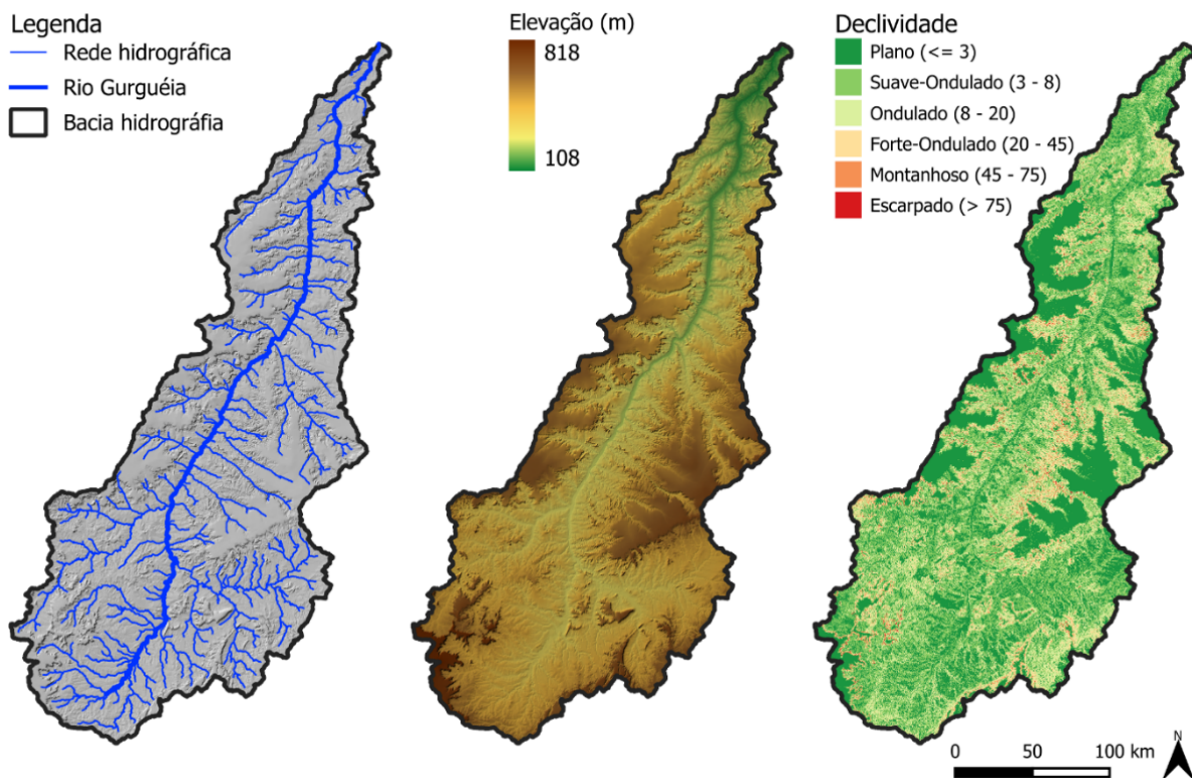
Em conjunto, esses resultados sugerem que, além da redução do volume de água, há também perda significativa da carga de sedimentos em suspensão ao longo do trecho do rio Gurguéia analisado, possivelmente devido a processos de deposição em áreas de baixa declividade e alargamento do canal, conforme discutido nas análises morfométricas.

A bacia hidrográfica do rio Gurguéia apresenta relevo predominantemente plano e suave ondulado, constituídos por planaltos dissecados, chapadas e um extenso vale esteiro próximo às cabeceiras de drenagem, que se alarga em direção a foz (Figura 2). Com aproximadamente 668 km de extensão, o rio apresenta um traçado meandrante, sobretudo em seu baixo curso, configurando um perfil longitudinal típico de rios com baixa energia, o que reforça a influência da morfologia no seu comportamento hidrológico, conforme apresentado na Fig. 3.

A diferença altimétrica entre a nascente (435 m) e a foz (107 m) é de apenas 328 m, o que resulta em uma declividade média de 0,36 m/km. Essa baixa declividade do canal principal limita a capacidade de transporte de sedimentos, favorecendo a deposição, especialmente em trechos com alargamento do leito e menor velocidade de escoamento. A combinação entre relevo suavizado, alongamento do canal e ausência de desníveis expressivos sugere que a morfologia da bacia exerce controle direto sobre os processos de acúmulo e transporte de sedimentos em suspensão.

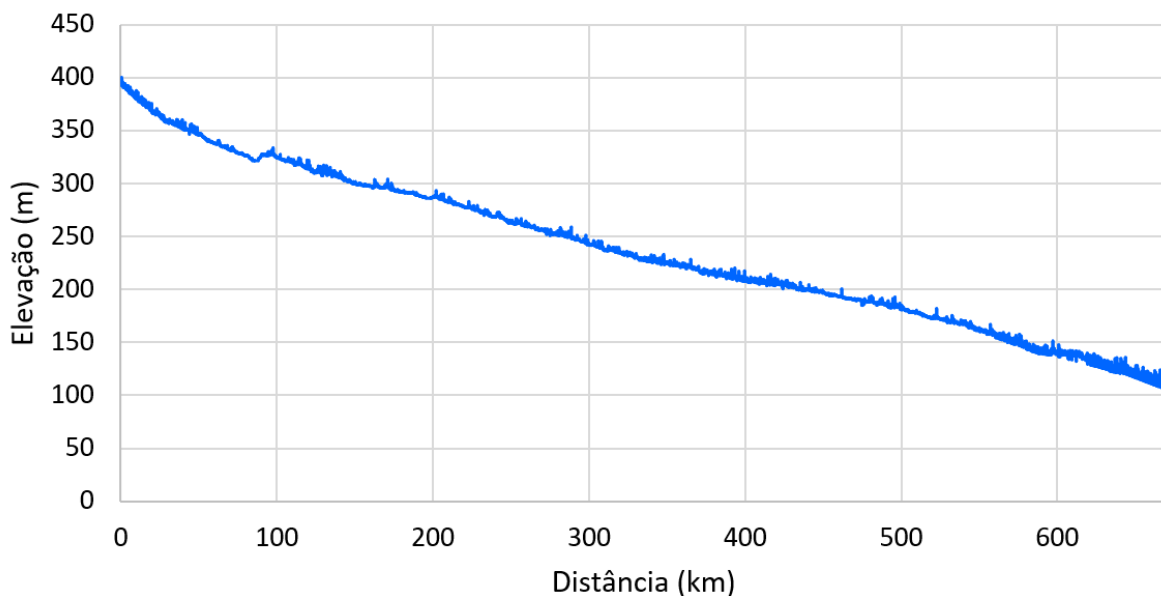


FIGURA 2– Rede de drenagem, hipsimetria e declividade da bacia hidrográfica do rio Gurguéia.



FONTE: Os autores (2025).

FIGURA 3 – Perfil longitudinal do rio Gurguéia.



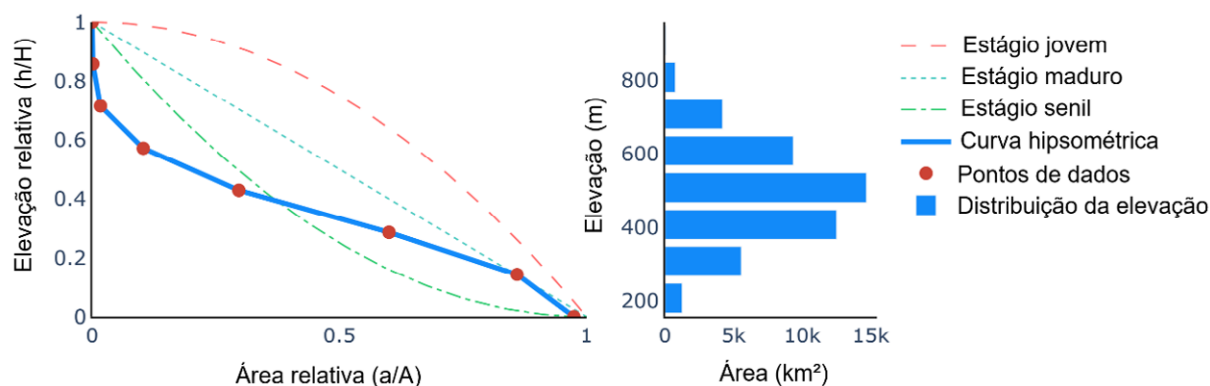
FONTE: Os autores (2025).

A análise hipsométrica da bacia do rio Gurguéia (Figura 4) revela que se trata de uma bacia em estágio geomorfológico avançado de evolução. A curva hipsométrica apresenta concavidade acentuada, com mais de 90% da área da bacia situada nos 55% inferiores do gradiente altimétrico, o que indica predomínio de superfícies rebaixadas e



ausência de porções elevadas bem preservadas. Esse padrão morfológico é característico de bacias maduras a senis, nas quais os processos de denudação já atuaram de forma intensa e prolongada (FARHAN et al., 2016; ION ZAVOIANU, 1985; STRAHLER, 1952).

FIGURA 4 - Curva hipsométrica na bacia hidrográfica do rio Gurguéia.



FONTE: Os autores (2025).

A baixa integral hipsométrica ($HI = 0,338$) evidencia um sistema fluvial em estágio avançado de desenvolvimento geomórfico. Isso implica em reduzida capacidade de aprofundamento vertical dos canais e predominância de superfícies suavizadas (STRAHLER, 1952). Esse padrão favorece o escoamento superficial em detrimento do escoamento subsuperficial e pode contribuir para processos de deposição ao longo do curso do rio.

Corroborando esta interpretação geomorfológica, estudos específicos na Bacia Hidrográfica do Alto Gurguéia (BHAG) realizados por Moraes e Sales (2017) sobre o Potencial Natural de Erosão (PNE) dos solos apontou que a BHAG apresenta um baixo potencial natural de erosão em decorrência da predominância de relevo plano. A análise de correlação demonstrou que o fator topográfico (LS) é o principal influenciador do PNE na BHAG, superando a influência da erosividade das chuvas (fator R), que, embora alta (média de 6.297 Mj.mm.ha-1.h-1.ano-1), apresenta baixa variabilidade espacial e correlação nula com o PNE. No entanto, Moraes e Sales (2017) também identificaram PNE elevada nas áreas declivosas, como escarpas das bordas dos planaltos, chapadas e superfícies residuais. Essas áreas de alta declividade são consideradas de alto risco de erosão. Essa distribuição do PNE sugere que, embora grande parte da bacia do Gurguéia apresente menor potencial erosivo, as áreas de relevo mais acidentado podem ser fontes significativas de sedimentos, que, dada a condição de estágio maduro da bacia, tenderiam a se acumular nas seções de médio e baixo curso do rio, onde o relevo é mais suavizado.

Em contraste, ao analisarem as sub-bacias da bacia hidrográfica de Wadi Mujib-Wala, na Jordânia, Farhan et al. (2016) observaram que altos valores das integrais hipsométricas (variando de 0,71 a 0,88) estavam associados a altos valores de sedimento

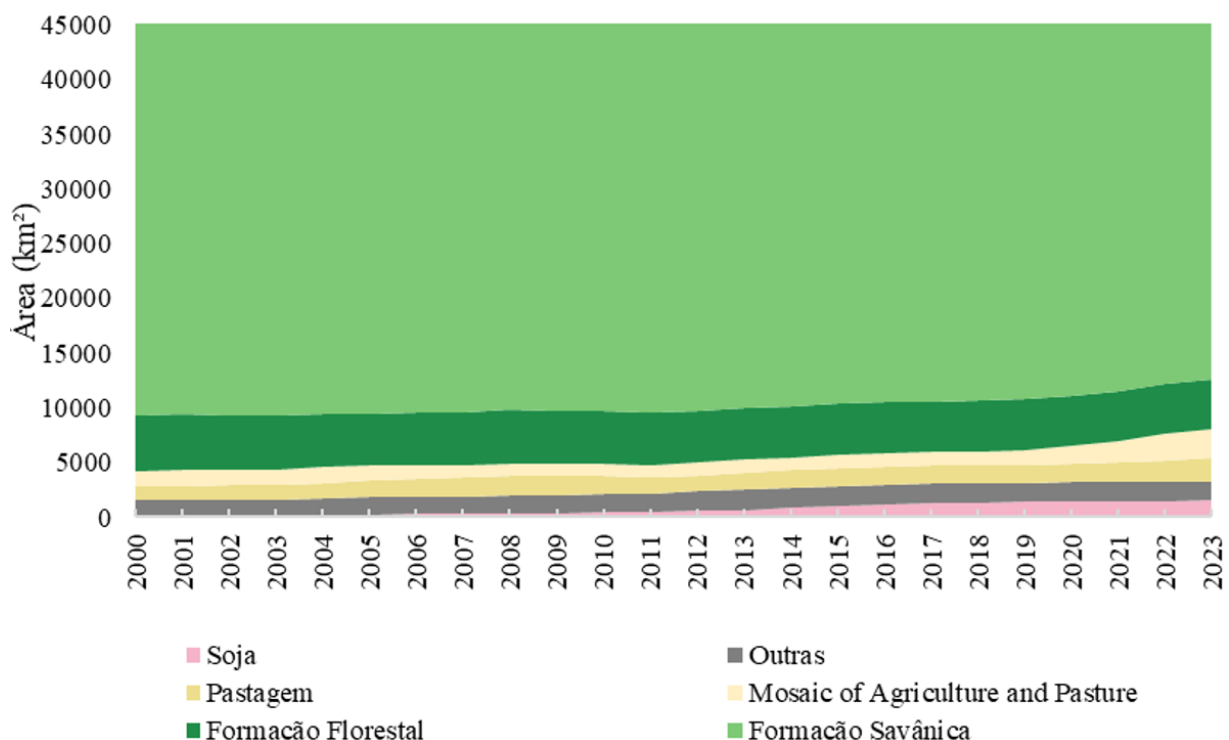


transportado pelos rios. Os autores concluíram que as bacias com HI elevado na região de Wadi Mujib-Wala estavam no estágio jovem de desenvolvimento geomórfico, sendo altamente suscetíveis à erosão, incisão de canais e movimentos de massa. Eles validaram essa avaliação indireta do estado de erosão com base nos rendimentos estimados de sedimentos, que foram consistentes com os altos valores da integral hipsométrica.

Os dados de uso e cobertura da terra indicam a predominância da formação savânica (Cerrado) na bacia do rio Gurguéia ao longo das últimas décadas, com relativa estabilidade espacial, como demonstrado na Figura 5. Apesar de uma redução de 8,6% entre 2000 e 2023, o equivalente a cerca de 6 mil km², a vegetação nativa ainda ocupa aproximadamente 80% da área da bacia. Em contrapartida, observou-se um crescimento expressivo da área destinada ao cultivo de soja, com aumento superior a 3.000% em relação à área inicial. Ainda assim, em 2023, essa cultura ocupava apenas cerca de 3% da bacia. As demais classes de uso mantiveram-se relativamente estáveis.

A distribuição espacial da ocupação agrícola evidencia sua concentração nas chapadas, áreas mais planas e menos suscetíveis à erosão, conforme sugerido pelos mapas de declividade e altimetria (Figura 2). Essa ocupação seletiva ajuda a explicar a limitação da expansão agrícola intensiva, preservando mosaicos de agricultura e pastagem ao longo dos vales, que são regiões mais frágeis do ponto de vista ambiental.

FIGURA 5 – Variação temporal (2000- 2023) da cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Gurguéia.

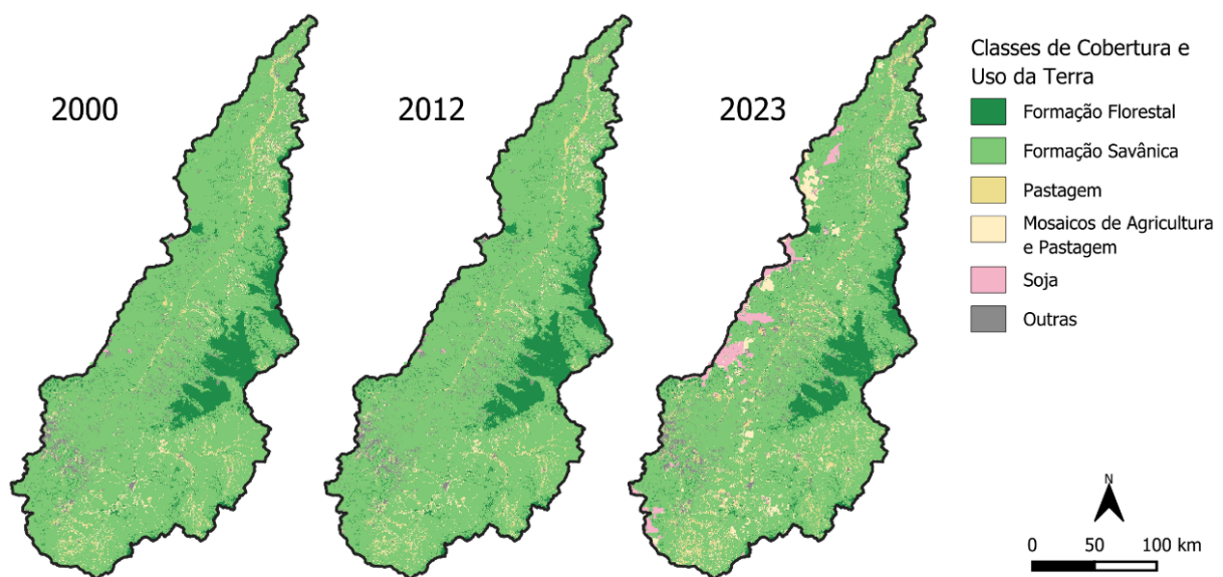


FONTE: Os autores (2025).



A Figura 6 apresenta a variação espacial da cobertura e uso da terra em 2000, 2012 e 2023. Em 2023, observa-se o avanço das áreas de pastagem, mosaicos de uso e lavoura mecanizada, que somadas atingem cerca de 13% da bacia. Essa expansão é mais perceptível no setor sul, justamente onde se localizam áreas de elevada suscetibilidade à degradação física, já identificadas por Morais (2018). A ocupação dessas áreas potencializa processos erosivos e pode comprometer a capacidade de retenção e transporte de sedimentos. Destaca-se a extensa área de formação florestal, a leste da bacia, pertencente ao Parque Nacional Serras das Confusões, uma unidade de conservação de proteção integral.

FIGURA 6 – Variação espacial e temporal da cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Gurguéia.



FONTE: Os autores (2025).

Em tese, a manutenção de ampla cobertura nativa reduz os impactos antrópicos diretos sobre a produção de sedimentos via escoamento superficial. Isso reforça a hipótese central deste estudo: a limitação do transporte de sedimentos em suspensão no rio Gurguéia está mais fortemente relacionada às características morfométricas da bacia do que às alterações no uso e cobertura da terra.

Outros estudos destacam a influência significativa das mudanças de uso da terra na dinâmica hidrossedimentológica. Souza et al. (2017), analisando a bacia do rio das Fêmeas (BA), identificaram que a expansão agrícola e a redução da vegetação nativa contribuíram para alterações nos padrões de vazão, mesmo em contextos em que a precipitação permaneceu relativamente constante. Resultados semelhantes foram encontrados por Peixoto et al. (2020) na bacia do rio Jordão (MG), onde a substituição da vegetação por agricultura e pastagem intensificou o escoamento superficial e aumentou a carga de sedimentos, sobretudo em períodos chuvosos. Cabral e Reis (2015),



ao estudarem a bacia urbana do rio Jacarecica (AL), também relacionaram diretamente o uso do solo com a produção de sedimentos e assoreamento, destacando o papel da vegetação ripária na contenção dos fluxos erosivos.

No entanto, os achados deste trabalho dialogam de forma mais direta com os estudos de Farhan et al. (2016) e Morais e Sales (2017), que apontam os fatores morfométricos e geomorfológicos como elementos estruturantes na definição da suscetibilidade natural à erosão e à dinâmica do transporte sedimentar. Nesse sentido, mesmo reconhecendo que alterações no uso e cobertura da terra, sobretudo em áreas de solos frágeis, podem intensificar os processos erosivos, os dados analisados indicam que a morfometria da bacia constitui o principal fator condicionante da limitação da carga sedimentar transportada a jusante.

De forma geral, a combinação entre baixa declividade, perfil longitudinal suavizado, estágio geomorfológico avançado e a ausência de tendência significativa de aumento da vazão média anual sugere uma tendência à deposição e retenção de sedimentos no leito do rio. A limitada pressão antrópica sobre a cobertura vegetal contribui para a minimização dos efeitos do uso do solo sobre a produção de sedimentos, reforçando o papel da morfologia da bacia como elemento chave na regulação do transporte sedimentar até o exutório.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A bacia do rio Gurguéia apresenta morfologia compatível com um estágio geomorfológico avançado, caracterizada por baixa declividade do canal, perfil longitudinal suavizado e predominância de superfícies planas, o que favorece a deposição de sedimentos ao longo do curso do rio.

Foi observada uma redução significativa da vazão a jusante, sem tendência correspondente a montante, indicando retenção de água e sedimentos no trecho intermediário. A concentração de sedimentos em suspensão também foi maior a montante, reforçando esse padrão de acúmulo.

A estabilidade no uso e cobertura da terra ao longo das últimas décadas limita a influência antrópica na produção de sedimentos, apontando os fatores morfométricos como principais condicionantes do transporte sedimentar.

Conclui-se, portanto, que a morfologia da bacia exerce papel determinante na limitação do transporte de sedimentos em suspensão. Esses resultados contribuem para o entendimento da dinâmica hidrossedimentar do rio Gurguéia e podem orientar ações de manejo e conservação em áreas suscetíveis à degradação ambiental.



REFERÊNCIAS

- ANDRADE JÚNIOR, A. S. de et al. **Classificação climática do estado do Piauí. Teresina: Embrapa Meio-Norte**, 2004. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/68171/classificacao-climatica-do-estado-do-piaui>>. Acesso em: 16 jul. 2025. (Documentos, 86).
- BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (Org.). **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 1980.
- CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia fluvial**. In: CUNHA, Sandra Baptista da; GUERRA, A. J. T. (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2022.
- FARHAN, Y. et al. Hypsometric Analysis of Wadi Mujib-Wala Watershed (Southern Jordan) Using Remote Sensing and GIS Techniques. **International Journal of Geosciences**, v. 07, n. 02, p. 158–176, 2016. Disponível em: <<http://www.scirp.org/journal/doi.aspx?DOI=10.4236/ijg.2016.72013>>. Acesso em: 1 jul. 2025.
- HUFFMAN, G. J. et al. **GPM IMERG Final Precipitation L3 1 month 0.1 degree x 0.1 degree V07**. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/GPM_3IMERGM_06/summary>, 2023
- HUSSAIN, M.; MAHMUD, I. pyMannKendall: a python package for non parametric Mann Kendall family of trend tests. **Journal of Open Source Software**, v. 4, n. 39, p. 1556, jul. 2019.
- LUO, W. Hypsometric Analysis with a Geographic Information System. **Computers & Geosciences**, v. 24, n. 8, p. 815–821, out. 1998. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0098300498000764>>. Acesso em: 1 jul. 2025.
- MORAIS, R. C. de S. Estimativa de produção e transporte de sedimentos na bacia hidrográfica do rio Parnaíba, nordeste do Brasil. **Revista Equador**, v. 4, n. 4, p. 81–97, 16 dez. 2015. Disponível em: <<https://revistas.ufpi.br/index.php/equador/article/view/3656>>. Acesso em: 4 abr. 2024.
- MORAIS, R. C. de S.; SALES, M. C. L. Estimativa Do Potencial Natural de Erosão Dos Solos Da Bacia Hidrográfica Do Alto Gurguéia, Piauí-Brasil, Com Uso de Sistema de Informação Geográfica. **Caderno de Geografia**, v. 27, n. 1, p. 84, 23 nov. 2017. Disponível em: <<http://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/view/p.2318-2962.2017v27nesp1p84>>. Acesso em: 4 abr. 2024.
- MORAIS, R. C. de S. **Contribuição metodológica para a elaboração do Diagnóstico Físico-Conservacionista (DFC) em bacias hidrográficas: aplicação na bacia do alto Gurguéia, Piauí (Brasil)**. 2018. 151 f. Tese (doutorado)—Universidade Federal do Ceará. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Fortaleza, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/36791>>. Acesso em: 15 jul. 2025.
- MORAIS, R. C. de S.; ABREU, L. P. de. Análise espacial da variabilidade de precipitação na bacia hidrográfica do rio Parnaíba, nordeste de Brasil. **Revista da Academia de Ciências do Piauí**, v. 2, n. 2, 2021. Disponível em: <<https://periodicos.ufpi.br/index.php/acipi/article/view/902/811>>. Acesso em: 4 abr. 2024.
- NUNES AMARAL, A. K.; ESPÍNDOLA ROSA, L.; TEODOMIRO MARTINS FORMIGA, K. Estudo Do Transporte de Sedimentos Em Suspensão Ao Longo Da Bacia Hidrográfica Do Rio Meia Ponte – Go. **Ateliê Geográfico**, v. 15, n. 2, p. 94–113, 22 out. 2021. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/ateliê/article/view/66498>>. Acesso em: 26 jul. 2025.
- OLIVEIRA, L. N.; AQUINO, C. M. S. Análise dos fatores de erodibilidade e declividade na sub-bacia hidrográfica do rio Gurgueia, Piauí, Brasil. **Terra Plural**, v. 15, p. 1–14, 2021. Disponível em: <<https://revistas2.uepg.br/index.php/tp/article/view/16655/209209214102>>. Acesso em: 26 jul. 2025.
- PUCHA-COFREP, F. **ArcGeek Calculator**. GitHub: [s.n.]. Disponível em: <<https://github.com/franzpc/ArcGeekCalculator>>, 2024
- SANTOS, H. G. dos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5 rev. e ampl. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- SGB - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa geológico do estado do Piauí**, 2006. Disponível em: <<https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/2923>>.
- SILVA, A. M. da; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. de. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. 2. ed. São Carlos: RiMa, 2007.
- STRAHLER, A. N. Hypsometric (Area-Altitude) Analysis of Erosional Topography. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, n. 11, p. 1117, 1952. Disponível em: <<https://pubs.geoscienceworld.org/gsbulletin/article/63/11/1117-1142/4477>>. Acesso em: 15 jul. 2025.
- ZAVOIANU, I. Hypsometric Curves and Longitudinal Stream Profiles. **Morphometry of Drainage Basins**. Developments in Water Science. [S.l.]: Elsevier, 1985. v. 20. p. 185–200. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167564808704234>>. Acesso em: 1 jul. 2025.



ANÁLISE COMPARATIVA DA FORMAÇÃO DE LOCIS DEPOSICIONAIS EM RIOS DO PLANALTO DA BORBOREMA A PARTIR DA APLICAÇÃO DO ÍNDICE KSN

Marcos Bayron Mendes de Macena ¹

José Danilo da Conceição Santos ²

Bruno de Azevedo Cavalcanti Tavares ³

Antônio Carlos de Barros Corrêa ⁴

PALAVRAS-CHAVE: Bacias Semiáridas, Índice Ksn, Loci Depositionais, Planalto da Borborema.

RESUMO

O sistema fluvial consiste em um setor geomorfológico sensível às perturbações sofridas no modelado terrestre. Neste sentido, a aplicação de índices morfométricos à rede de drenagem permite evidenciar elementos responsáveis pela elaboração e modificação do relevo. A geomorfologia fluvial aborda os processos e formas decorrentes da dinâmica dos canais, aspectos estruturais e sua influência na rede de drenagem. Porém, existem estudos que buscam compreender a influência estrutural, principalmente na criação de locis deposicionais em fundo de vale encontram-se incipientes, e trabalhos recentes que buscam evidenciar através da utilização de índices morfométricos a influência neotectônica em redes de drenagem e na criação de espaços de acomodação de sedimentos. Em vista disto, o presente trabalho buscou correlacionar a formação de locis deposicionais na bacia hidrográfica do Riacho do Meio (Pesqueira-PE) e a bacia do rio Carnaúba (Carnaúba dos Dantas-RN) e criar tipologias de acordo com os seus contextos estruturais. Para tanto, o MDT da bacia do Carnaúba obtido na base de dados do Copernicus, em seguida foi calculado o índice de Ksn, a partir da função “ksn” presente no pacote Topotoolbox, por sua vez, presente no software MATLAB. Foi observado que as duas áreas apresentam anomalias na drenagem influenciada pela estrutura, consequência das reativações ocorridas a partir do cretáceo, que ocasionou mudanças de níveis de bases locais, onde ocorre o acúmulo de sedimentos, representadas pelas anomalias negativas do Ksn. Entretanto, as áreas apresentam tipologias de locis deposicionais distintos. A bacia do Riacho do Meio tem sua drenagem condicionada pela estrutura, visto um regime transpressivo ocasionado pela reativação da Zona de Cisalhamento Pernambuco durante o cenozóico, que acarretou lineamentos associados e soerguimento de blocos gerando um novo nível de base, sendo evidenciado por um knickpoint no baixo curso da bacia seguido de uma área deposicional, fazendo com que o canal esteja concordante às estruturas. Por outro lado, na bacia do Carnaúba, ocorre superimposição do canal às estruturas, ou seja, a drenagem corta transversalmente o

¹ Mestrando pelo Curso de Geografia da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, marcos.macena@ufpe.br

² Doutorando pelo Curso de Geografia da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, jose.danilo@ufpe.br

³ Doutor pelo Curso de Geografia da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, bruno.tavares@ufpe.br

⁴ Antonio Carlos de Barros Correa: Doutor, Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, antonio.correa@ufpe.br



relevo. A partir desses dois cenários, conseguimos entender que houve um processo de desconexão fluvial, que por sua vez possibilitou a criação de espaços deposicionais, onde na bacia do Riacho do meio criou-se locis deposicionais em estruturas concordantes, enquanto na bacia do rio carnaúba, locis deposicionais em estruturas discordantes.

INTRODUÇÃO

O sistema fluvial é um importante agente morfogenético, atuando ativamente na elaboração e modificação das formas de relevo, como também no transporte e deposição de sedimentos. Assim, ele se torna um dos principais objetos de estudos voltado à compreensão da transferência de sedimentos na paisagem, bem como de sua eventual estocagem (Fryirs & Brierley, 2013).

Acerca do exposto, surge a temática da conectividade fluvial, que ressalta as relações existentes dentro de um sistema fluvial, entre canal, encostas e planícies de inundação, sendo esses elementos entendidos como facilitadores ou obstáculos à transferência de material ao longo da bacia hidrográfica, alterando cascatas de sedimentação e favorecendo a conexão ou desconexão fluvial (Fryirs, 2013).

Melo et al. (2024), apontam a importância dos aspectos estruturais no desenvolvimento das bacias hidrográficas e sua influência na drenagem, que pode resultar em um baixo desenvolvimento dos canais de ordens mais elevadas. O sistema fluvial sofre interferência direta dos fatores lito-estruturais, uma vez que a diferença litológica, e a presença de falhas e zonas de cisalhamento influenciam as formas e as dinâmicas em uma rede de drenagem (Melo *et al.*, 2024). O entendimento dos aspectos estruturais nos permite compreender o próprio desenvolvimento das bacias hidrográficas, e a partir dessa perspectiva, a aplicação de índices morfométricos permite aferir os controles operantes sobre esse desenvolvimento.

Paratanto, faz-se uso de perfis longitudinais, da identificação de quebras de gradiente (knickpoints) e de modelos digitais de elevação (MDE), que são reconhecidamente parâmetros essenciais para o entendimento das influências estruturais e tectônicas nas bacias (Leopold, 1994; Vita-Finzi, 2012, *apud* Tavares et al, 2025).

No que se refere à análise morfogenética e morfoevolutiva, faz-se necessário o entendimento do termo neotectônica, que se refere ao estudo das deformações provocadas pelo último campo de tensões vigente em determinada região. Bezerra e Vita-Finzi (2000) constatarem evidências de atividade tectônica pós-pleiocênica, a partir da expressão em diversos indicadores, se destacando o controle estrutural da drenagem, liquefação em sedimentos fluviais e as deformações e falhas em rochas neógenas.



Maia e Bezerra (2011) abordam a necessidade de uma atualização dos conhecimentos referentes à evolução geomorfológica do Nordeste, a partir de análises de paleotensões, e sua possível influência na organização da rede de drenagem, em vista dos mecanismos elaboradores da paisagem, que atuam através da dissecação e do aluvionamento. Assim, a geometria dos canais fluviais é o resultado da complexa interação entre tipo de carga transportada, regime de fluxo, topografia, substrato e atividade tectônica (SCHUM *et al.*, 2000 apud MAIA e BEZERRA, 2011).

Por se tratar de bacias hidrográficas que ocorrem dentro do contexto do Planalto da Borborema, cabe uma análise do proposto por Corrêa *et al.* (2010). O trabalho aborda o contexto da compartimentação megageomorfológica do planalto, o que nos permite compreender com maior profundidade as feições morfométricas e sua relação com os controles estruturais e litológicos.

Seguindo o exposto, o presente trabalho se propõe a analisar e comparar os fatores que levam à criação de *loci* deposicionais em rios do Planalto da Borborema, a partir da aplicação do índice de declividade normalizada - Ksn nas sub-bacias hidrográficas que integram a bacia rio Carnaúba, localizado entre os municípios de Carnaúba dos Dantas-RN e Acari-RN, no setor ocidental da Borborema, e da bacia do Riacho do Meio, que se encontra no distrito de Mimoso a leste do município de Pesqueira-PE e oeste de Arcoverde-PE, inserido no setor oriental do planalto.

MATERIAIS E MÉTODOS

Em vista dos objetivos propostos, foi utilizada a base de dados do Copernicus DEM, para obtenção do Modelo Digital de Elevação através do open *topography* com DSM de resolução de 30 m (GLO-30). A partir da obtenção e tratamento do MDE, Santos (2024) e Tavares *et al.* (2025) realizaram procedimentos para geração de dados através do pacote *topotoolbox*, no *software MATLAB*, identificando as áreas de anomalia de Ksn e utilização do índice Relação Declividade Extensão-RDE para verificar a existências de anomalias de drenagens (*knickpoints*), para as áreas de estudo. Neste trabalho realizaremos uma comparação dos resultados obtidos com vistas a compreender quais os fatores que mais influenciam a formação dos *loci* deposicionais em ambos os contextos geomorfológicos

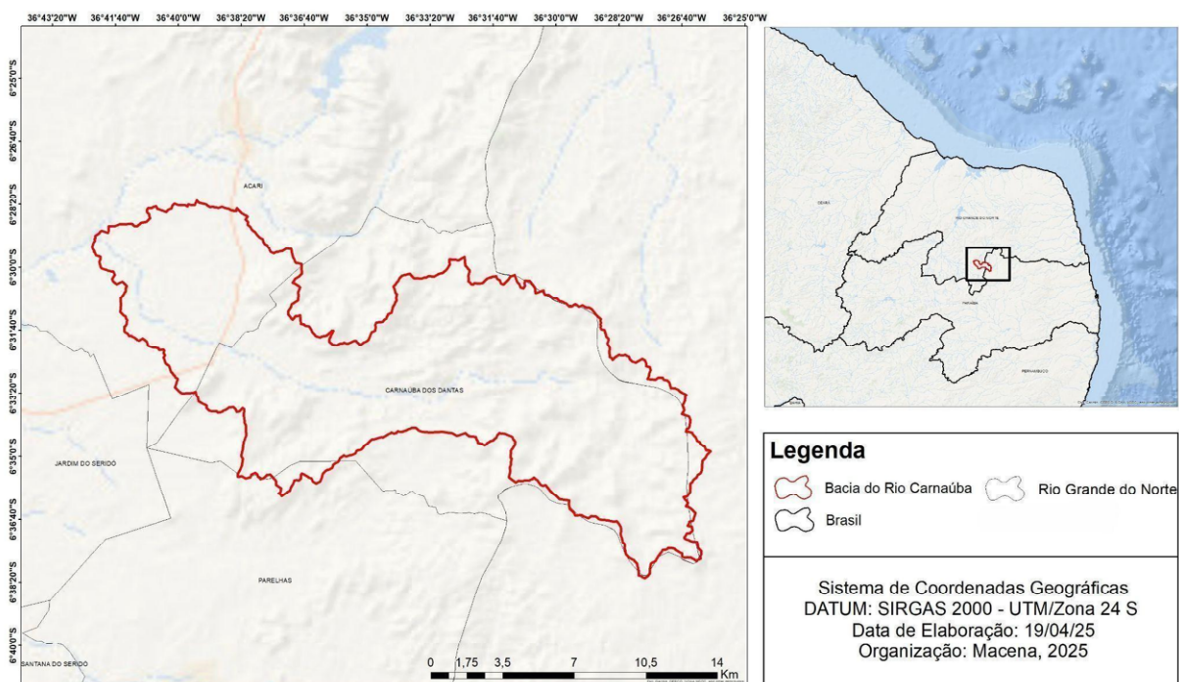


ÁREA DE ESTUDO

BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CARNAÚBA

A bacia do Rio Carnaúba está situada na mesorregião central potiguar, e na microrregião do Seridó Oriental, entre os municípios de Carnaúba dos Dantas (RN) e Acari (RN) (figura 1) (Mützenber, 2007). O rio Carnaúba possui 38 km de extensão, sendo um dos afluentes da bacia do rio Piranhas-Açu. Apresenta um caráter intermitente e padrão de drenagem dendrítico (Mützenber *et al.*, 2005 *apud* Tavares *et al.*, 2025).

FIGURA 1 - Mapa de localização da bacia do Rio Carnaúba



FONTE: Macena (2025).

Em seu contexto geológico, a bacia hidrográfica do rio Carnaúba, está localizada no Domínio Norte do Província Borborema, se diferenciando dos demais terrenos e domínios tectonoestratigráficos a partir da individualização de segmentos tectônicos, separados por zonas de cisalhamento de idade Brasiliana (Jardim de Sá, 1994; Van Schmus *et al.*, 1995; Brito Neves *et al.*, 2000; Santos *et al.*, 2000; Delgado *et al.*, 2003).

Conforme Brandão e Tavares (2020), a bacia do rio Carnaúba, em seu contexto geológico, está inserida no domínio da faixa Seridó. A área de estudo é marcada por unidades litoestratigráficas neoproterozóicas da Suíte de Médio e Alto Potássio Itaporanga e do Grupo Seridó, o rio Carnaúba secciona quatro formações inseridas nessas unidades, a Formação Seridó, Formação Equador, Formação Jucurutu e a Formação Serra dos Quintos (Figura 2) (CPRM, 2005; 2010; Tavares e Mutzenberg, 2020).

A bacia do Rio Carnaúba está localizada em uma área de transição morfoestrutural, deste modo ela reflete efeitos combinados de heranças tectônicas e compartimentações

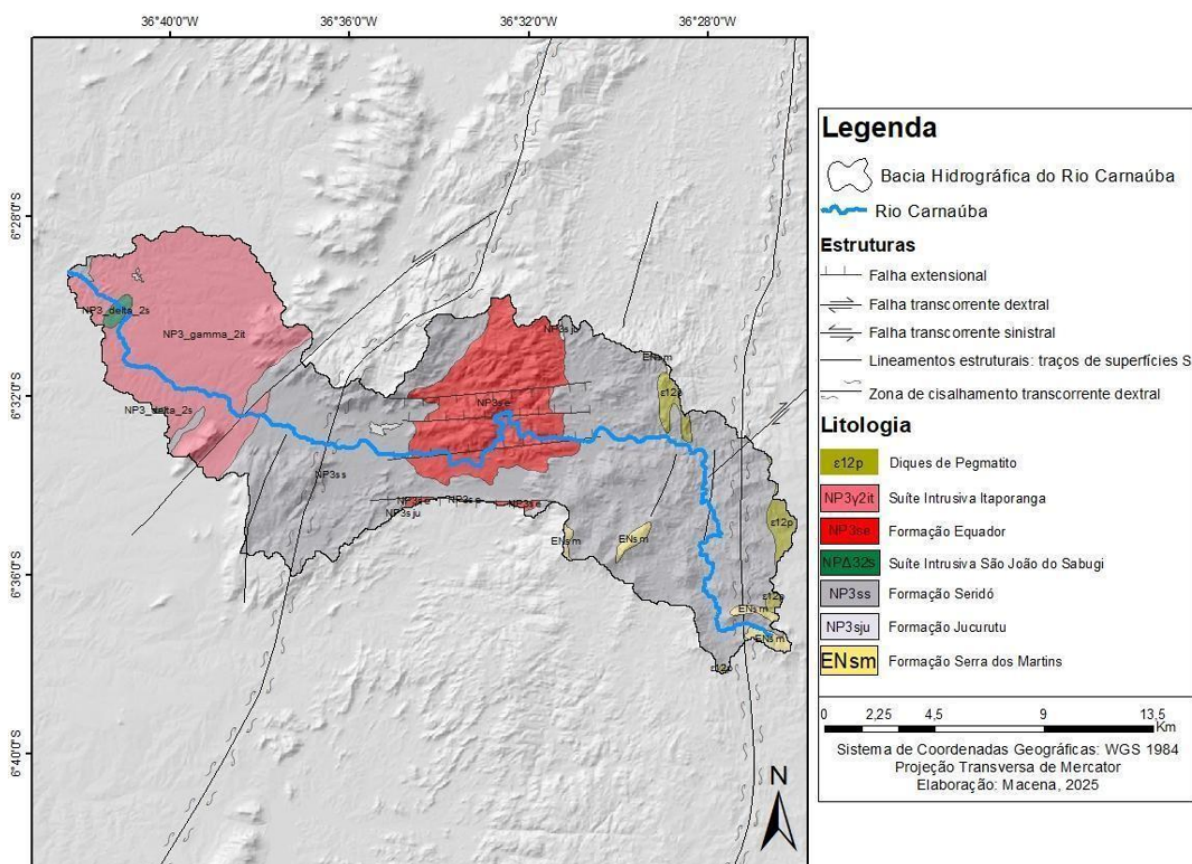


geomorfológicas. Corrêa et al. (2010) evidenciam que a bacia se insere entre a Cimeira Estrutural São José do Campestre e no limite setentrional da Depressão Sertaneja Potiguar, apresentando um setor com contraste altimétrico e estrutural que influencia diretamente a organização do sistema fluvial.

Conforme Tavares et al. (2025), o Rio Carnaúba apresenta um sistema fluvial caracterizado por uma conectividade disfuncional, marcada pela presença de segmentos de canais desconectados, obstruções deposicionais e variações abruptas de gradiente. Tais aspectos são corroborados pelas estruturas presentes na bacia, como os falhamentos neoproterozóicos reativados, e interação com unidades heterogêneas (migmatitos e granitos fraturados). Combinadas ao regime pluviométrico intermitente, elas contribuem para uma drenagem que alterna entre uma drenagem entre trechos entalhados e setores com baixa energia e acúmulo de sedimentos.

O rio tem suas nascentes no Planalto da Borborema, sobre embasamentos cristalinos do Neoproterozóico, com capeamentos sedimentares paleogênicos da Formação Serra dos Martins, e ao seguir para oeste, ele atravessa rochas metamórficas das Formações Seridó e Equador (Tavares *et al.*, 2025).

FIGURA 2 - Mapa geológico e estrutural da Bacia Hidrográfica do Rio Carnaúba



FONTE: Macena (2025).



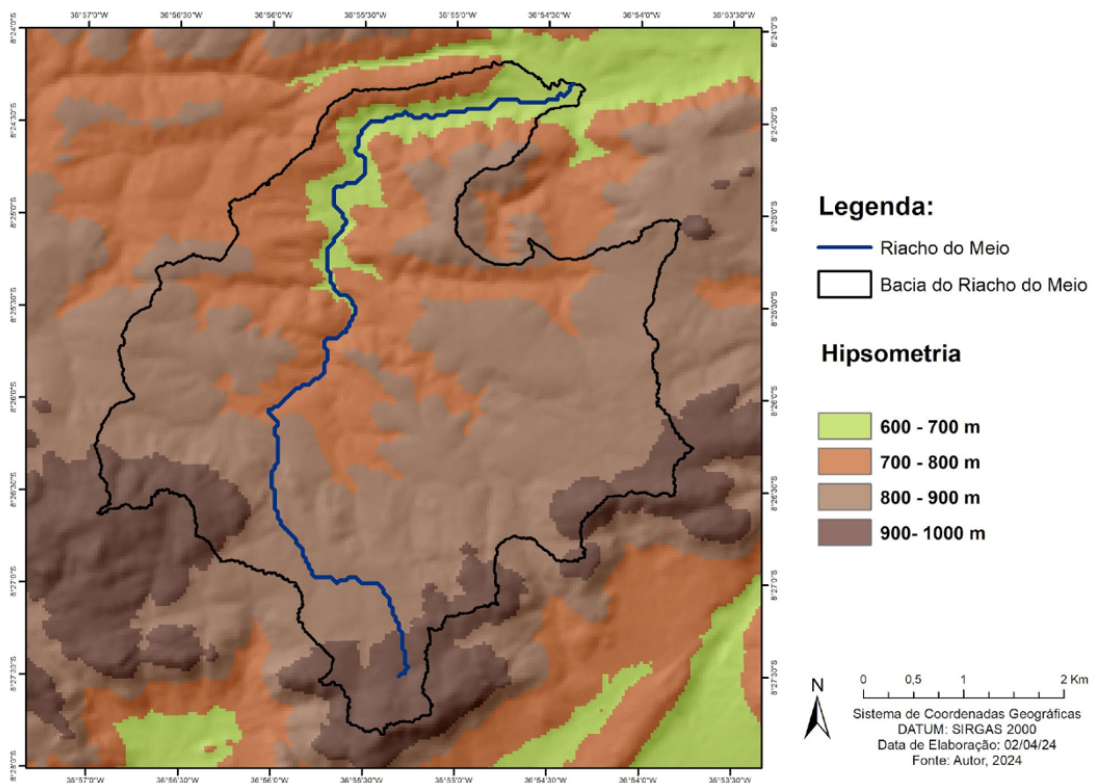
O clima atuante na região é o tropical semiárido, com precipitação pluvial de verão/outono irregularmente distribuídas, com cerca de 409 mm anuais, e com temperatura média acima dos 26°C (Brandão & Tavares, 2020; Corrêa *et al.*, 2019). O sistema atmosférico atuante na região é controlado pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que exerce controle direto sobre a precipitação e os períodos de estiagem na porção setentrional do Nordeste brasileiro.

BACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO DO MEIO

A bacia do Riacho do Meio – BHRM, está localizada a oeste do município de Pesqueira e a leste de Arcoverde, no distrito de Mimoso, estado de Pernambuco. A BHRM integra o alto curso da bacia do rio Ipanema, localizada no setor oriental do Planalto da Borborema, na unidade dos Maciços Remobilizados da Zona Transversal, sendo circundado pela Cimeira Estrutural Pernambuco-Alagoas e Depressão Interplanáltica do Ipanema (Figura 3) (Corrêa *et al.*, 2010).

A área da bacia apresenta uma variação altimétrica de 650 a 1.000 m, com rios de caráter intermitentes, com vales profundos e estreitos encaixados a um relevo escarpado e dissecado (Santos, 2024). O clima varia de tropical semiárido a sub-úmido, com precipitação média anual de 655 mm, tem período chuvoso de outono/inverno, com verão seco a partir de setembro/outubro.

FIGURA 3 - Mapa Hipsométrico da Bacia do Riacho do Meio



FONTE: Adaptado de Santos (2024).

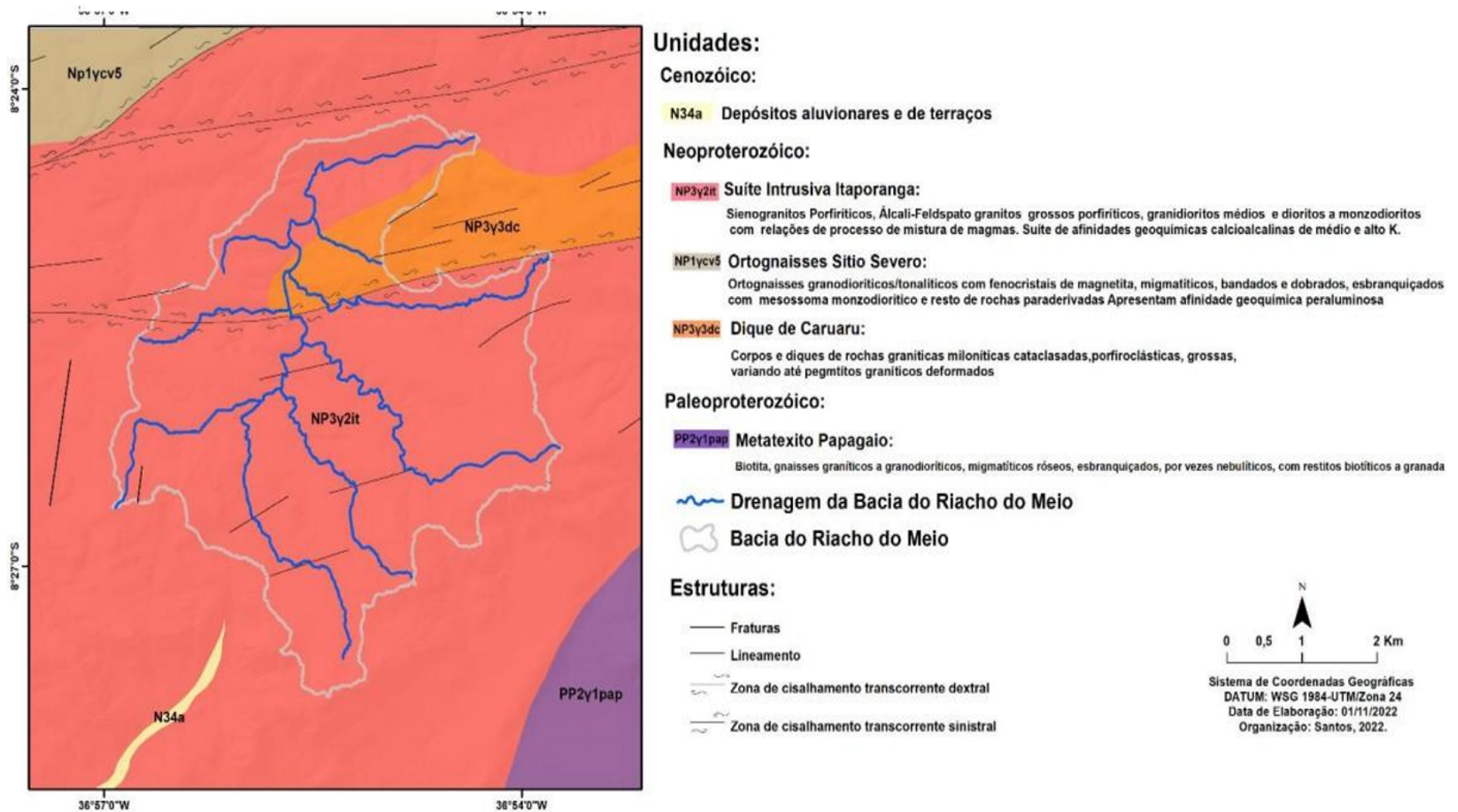


A Zona de Convergência Intertropical – ZCIT é o principal sistema produtor de chuva atuante no Nordeste brasileiro. Se trata de uma faixa de nuvens que circula o globo na faixa equatorial, são formadas a partir da convergência dos ventos alísios, que tem origem nos hemisférios Norte e Sul, e controla os momentos de chuva no verão e estiagem no inverno austral. No entanto, a área está sob a influência dos sistemas provenientes do Atlântico, a partir da dinâmica dos DOLs (Distúrbios Ondulatórios de Leste) e sua entrada no Nordeste Oriental. A área de estudo, atualmente, é caracterizada por um clima semiárido, onde eventos extremos de precipitação e períodos de seca são influenciados por teleconexões associadas ao El Niño-Oscilação Sul (ENOS). (Polzin et al, 2014; Corrêa et al, 2019; Utida *et al*, 2023).

A bacia se insere, geologicamente, na unidade Suíte Intrusiva Itaporanga, também se encontra sobre a unidade Dique de Caruaru (figura 4). Estruturalmente, a bacia se insere no contexto da Zona de Cisalhamento Pernambuco com fraturamentos associados, que condicionam o relevo da região, este apresentando divisores em cristas formadas por granitos e gnaisses e vales encaixados (Santos, 2024).



FIGURA 4 - Mapa Geológico da Bacia Hidrográfica do Riacho do Meio.



FONTE: Santos (2024).



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em vista o objetivo idealizado para o presente trabalho, foram analisados trabalhos que utilizam o índice de inclinação normalizada do canal - Ksn, buscando compreender fatores que controlam a criação de locis deposicionais em rios do Planalto da Borborema, sendo os canais principais da bacia hidrográfica do Riacho do Meio e a da bacia do rio Carnaúba.

BACIA HIDROGRÁFICA RIACHO DO MEIO

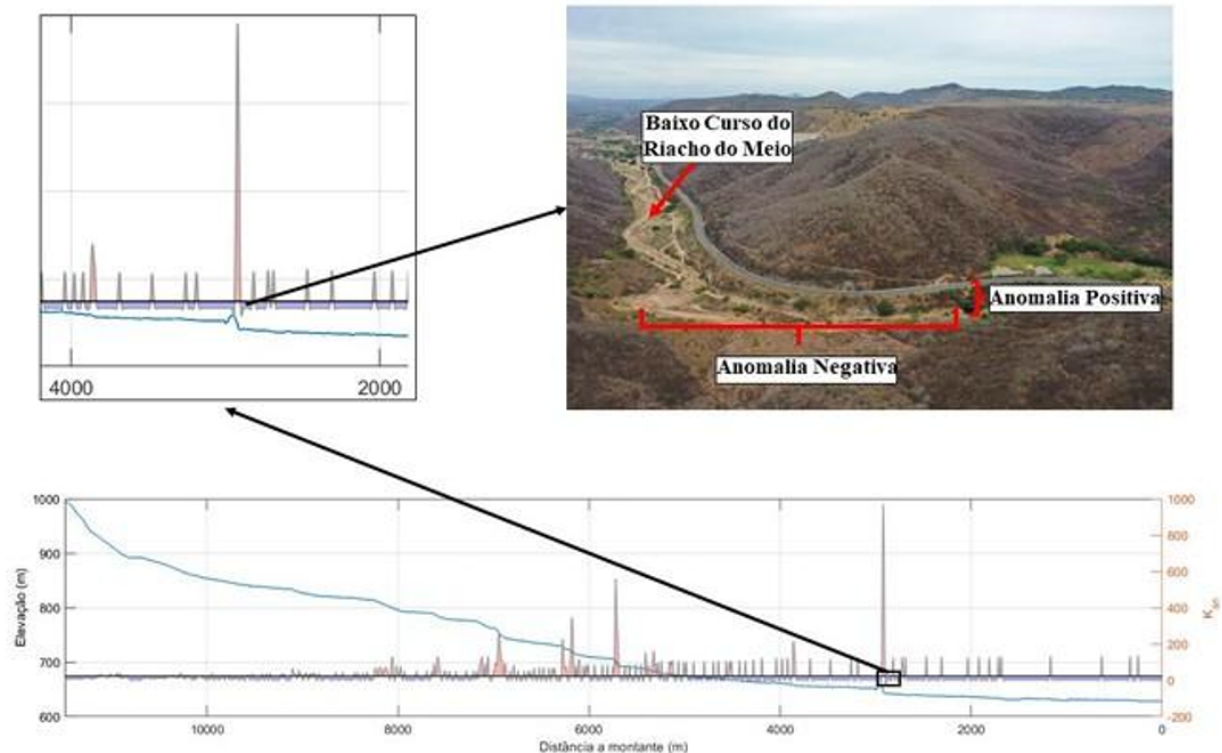
Santos (2024), utilizou em seu trabalho índices morfométricos (Índice Relação Declividade Extensão-RDE, Índice de Inclinação Normalizada do Canal-Ksn), para identificação de setores anômalos na bacia, buscando evidenciar o papel dos controles estruturais na criação de locis deposicionais. A partir da aplicação e correlação dos dois índices, Santos (2024), pôde identificar 8 anomalias na drenagem, a qual, seguindo os resultados obtidos pelo Ksn, se mostraram anomalias positivas, evidenciando um controle estrutural sobre a drenagem principal.

As anomalias presentes no canal principal, estão associadas a presença de uma zona de cisalhamento dextral que é cortada pela drenagem. A presença das anomalias aponta para um provável desnivelamento de blocos na BHRM condicionada pela reativação da zona de cisalhamento durante o Cenozóico (Maia e Bezerra, 2011; 2018).

Visto a provável reativação Cenozóica, houve o desnivelamento sob um regime transpressivo, levando a um soerguimento do divisor de drenagem ocasionando a anomalia localizada na cota altimétrica de 650 m. Essa anomalia é confirmada pela presença de um Knickpoint, delimitando a formação do espaço de acomodação de sedimento no fundo do vale, no baixo curso da bacia (Santos, 2024). Mostrando também que, logo após as anomalias positivas se encontravam as anomalias negativas, que apontam para a presença s de espaços de acomodação de sedimentos (figura 5).



FIGURA 5 - Imagem evidenciando as anomalias positivas e negativas na BHRM e sua localização no baixo curso da bacia.



FONTE: Santos (2024).

BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CARNAÚBA

Os valores obtidos através da aplicação do índice Ksn indicam que o setor central da bacia, apresentam valores entre 0 e 14,8, que se encaixam na classe mais baixa, sendo associado à áreas deposicionais, que se confirma pela característica do relevo local e pela presença de uma bacia de retenção com valores variando entre 19 e 142.

A partir da observação das cotas altimétricas de 300 e 400 metros, Tavares et al. (2025) observaram evidências de espaços de acomodação, que foram corroborados pela análise dos valores do Ksn, do alinhamento do perfil longitudinal e da linha de melhor ajuste do canal. Os gráficos Ksn mostram anomalias positivas (em vermelho) e negativas (em azul), setores com anomalias negativas são visíveis, onde os espaços de acomodação estão preenchidos. Enquanto os setores que apresentam anomalias positivas, no alto e no baixo curso do rio, coincidem com a influência das duas zonas de cisalhamento dextrais que atravessam a bacia. Essas áreas mostram que a influência das estruturas lineares subjacentes (juntas e fraturas) no canal principal, o que resulta em mudanças abruptas de direção, segmentos retos e quebras de taludes, seguindo por bolsões deposicionais a jusante (Tavares *et al*, 2025).



A área de estudo está inserida em um contexto de margem continental passiva, a qual passou por reativações tectônicas ao longo do Cenozoico, e no Quaternário, criando implicações diretas na topografia e na drenagem (Bezerra et al., 2008; Bezerra et al., 2011; Bezerra e Vita-Finzi, 2000; Maia e Bezerra, 2014; Oliveira *et al.*, 2023; Tavares et al., 2025). Calegari et al. (2020; 2021) falam que áreas plataformais reativadas são reconhecidas por seus espaços de acomodação que estocam materiais de sedimentação quaternária, entretanto, devido às particularidades do clima semiárido brasileiro, essas áreas se tornam sumidouros de acumulação a longo prazo, o que ocasiona armazenamento e desconexão no transporte de sedimentos entre os setores da bacia.

A bacia hidrográfica do Rio Carnaúba é um exemplo de uma bacia controlada por rearranjos de falhas, resultado de reativações tectônicas ocorridas no Cenozóico e durante o período Quaternário, como mostrado por Maia e Bezerra (2014) e por Tavares et al. (2025), resultando em diferentes espaços de acomodação de sedimentos, principalmente no médio e baixo curso da bacia.

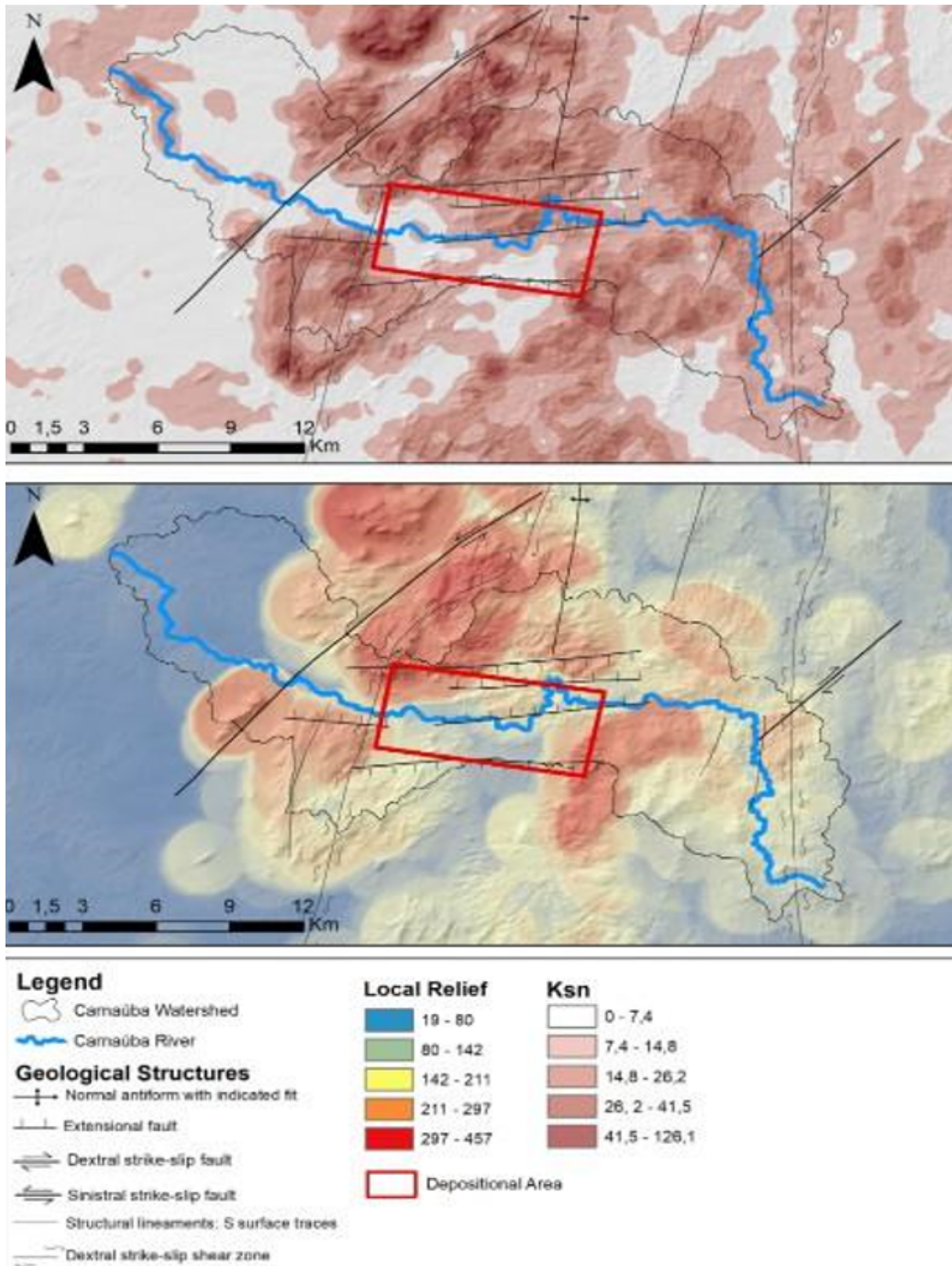
A análise morfométrica de bacias hidrográficas oferecem diversos insights acerca do comportamento morfotectônico, os dados obtidos na bacia do Carnaúba se coadunam com outros trabalhos conduzidos no contexto setentrional do Planalto da Borborema, onde há indícios da formação de espaços de acomodação que atuaram como áreas de estocagem de sedimentos, dificultando a conectividade geral da paisagem em toda a bacia.

Por fim, Tavares et al. (2025) concluíram que, a partir dos dados coletados sobre o relevo local e o índice Ksn, ocorreram distintas condições tectônicas em diferentes trechos do canal principal (figura 6). No curso superior do rio existe um bolsão de sedimentos a jusante dos knickpoints, enquanto no médio curso, a existência de falhas normais associadas à um regime extensional resultou em grabens de profundidades rasas rodeados por cristas quartzíticas e Biotita/xistos como horsts, onde os blocos rebaixados atuaram como áreas de acúmulo para a sedimentação aluvial quaternária (Mützenberg, 2007). E planícies de inundação de bolsões que ocorrem a montante de condicionantes estruturais promovendo a sobreposição e ajuste do canal principal às suítes intrusivas e cristas mais resistentes, promovendo uma desconectividade fluvial e rearranjo do fluxo no curso médio e inferior (Tavares et al., 2025).

No baixo curso os trechos de retenção de sedimentos estão associados aos degraus rochosos dispostos transversalmente ao curso, neste cenário a sedimentação se restringe a bolsões aluviais, originando as planícies de inundação assimétricas, com terraços na margem direita do rio e canal justaposto a afloramentos rochosos na margem esquerda, essa condição ocorre por todo baixo curso até o seu exutório no Rio Acauã (Tavares *et al.*, 2025).



FIGURA 6 - Relevo local e Ksn destacando a área deposicional no centro da bacia hidrográfica.



FONTE: Tavares et al. (2025).



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao comparar as duas bacias observa-se que ambas apresentam uma forte influência dos controles morfoestruturais e dinâmicas climáticas quaternárias na criação dos *loci* deposicionais. A distinção entre esses fatores reside na natureza e profundidade dos depocentros e expressão da sedimentação de encosta. A BHRM se caracteriza por sistemas coluviais truncando a sedimentação fluvial, preenchendo o vale e exibindo uma forte relação encosta-canal, apresentando tipologias deposicionais concordantes as estruturas, visto a influência da Zona de Cisalhamento Pernambuco, enquanto a BHRC exhibe depocentros mais significativos e profundos, com dados de poços que demonstram profundidades de até 12 m, evidenciando ainda que as regiões deposicionais são resultantes da formação de *grabens* e atuação de falhas extensionais que atuaram na formação desses espaços, expondo ainda que esses ambientes são discordantes à estrutura, visto que a drenagem desta bacia as transpõe.

Agradecimentos:

Agradeço a FACEPE pela concessão de bolsa de pós-graduação - PBPG-2149-7.06/24.



REFERÊNCIAS

- CORRÊA, A. C. B.; TAVARES, B. A. C.; MONTEIRO, K. A.; CAVALCANTI, L. C. S.; LIRA, D. R. Megageomorfologia e morfoestrutura do Planalto da Borborema. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 31, n. 1/2, p. 35–52, 2010.
- FONSÊCA, D. N. Evolução Geomorfológica e Sedimentação Quaternária no Setor Oriental do Piemonte da Borborema. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, **Tese de Doutorado (Geografia)**, 195 p. 2018.
- GONÇALVES, R. B., Fonseca, D. N., & Correa, A. C. de B. Padrões de Fotolineamentos Aplicados à Análise Morfoestrutural da Bacia do Rio Mamanguape, Paraíba. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 34, 43-54 p, 2017.
- KIRBY, E.; WHIPPLE, K. X. Expression of active tectonics in erosional landscapes. **Journal of Structural Geology**, v. 44, p. 54–75, 2012.
- MACENA, Marcos Bayron Mendes de. Aplicação de parâmetro morfométrico e mapeamento de unidades geomórficas do canal principal da bacia do Riacho do Meio, Pesqueira-PE: proposta taxonômica para o ambiente semiárido. 2024. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Licenciatura em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2024.
- MAIA, R. P.; BEZERRA, F. H. R. Neotectônica, geomorfologia e sistemas fluviais: uma análise preliminar do contexto nordestino. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 12, p. 32–42, 2011.
- MAIA, R. P.; BEZERRA, F. H. R. Geomorfologia e neotectônica da bacia hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró – NE/Brasil. **Mercator (Fortaleza)**, v. 11, n. 24, p. 209–228, 2012.
- MAIA, R. P.; BEZERRA, F. H. R. Condicionamento estrutural do relevo do Nordeste Setentrional Brasileiro. **Revista Mercator**, Fortaleza, v. 13, n. 1, p. 127–141, 2014.
- MONTEIRO, K. A. Análise geomorfológica da escarpa oriental da Borborema a partir da aplicação de métodos morfométricos e análises estruturais. Recife, PE. 2015. 223f. **Tese de doutorado**, Universidade Federal de Pernambuco, 2015.
- MONTEIRO, K. A.; CORRÊA, A. C. B. Application of morphometric techniques for the delimitation of borborema highlands, northeast of Brazil, eastern escarpment from drainage knick-points. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 103, p. 1-28, 2020.
- MUTZENBERG, D.; TAVARES, B. A. C.; CORRÊA, A. C. B. A influência dos controles estruturais sobre a morfogênese e a sedimentação neógena na bacia do rio Carnaúba (RN) e sua aplicação aos estudos geoarqueológicos do Seridó. **Clio – Arqueológica**, n. 19, p. 112–125, 2005.
- MUTZENBERG, D. S.; ÁVILA, M. G. M. Gênese e ocupação pré-histórica do Sítio Arqueológico Pedra do Alexandre: uma abordagem a partir da caracterização paleoambiental do vale do rio Carnaúba–RN. 2007. 145 f. **Dissertação** (Mestrado em Antropologia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.
- PINHEIRO, M. VILLELA, F.; CIANFARRA, P. Neotectonic landforms of the Neoproterozoic basement of Southeastern Brazil: The case of the north border of the São Paulo Basin. **Geomorphology**. 453. 2024, 109123. 10.1016/j.geomorph.2024.109123.
- SANTOS, J. D. C. Evolução geomorfológica da paisagem da bacia hidrográfica do Riacho do Meio, afluente do rio Ipanema, Pesqueira-PE. 2024. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2024.
- SANTOS DE MELO, J. H. et al. Anomalias de valores de Ksn e lineamentos de relevo na bacia hidrográfica do rio Ipojuca (Brasil): evidência de controle estrutural. **Caminhos de Geografia**, v. 25, 2024. DOI: <https://doi.org/10.14393/RCG259869556>.
- SILVA, W. F. Evolução morfoestrutural e morfotectônica da bacia hidrográfica do rio Sirinhaém a partir da reorganização fluvial: os índices morfométricos como mecanismo de análise. 2022. 170 f. **Tese** (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022.
- TAVARES, B.; SILVA, W.; MELO, J. H.; OLIVEIRA, G.; LIRA, D. R. CORREA, A. C. B. MÜTZENBERG, D. ARAÚJO, R.; GIRÃO, O. Structural controls and dysconnectivity in a semi-arid watershed: A case study from northeastern Brazil. *Geographical Research*. 2025, 10.1111/1745-5871.12687.



APLICABILIDADE DO RADAR DE PENETRAÇÃO NO SOLO (GPR) AOS DEPÓSITOS ALUVIAIS: AS DIFERENTES RESPOSTAS DE GEORADAR À ANÁLISE GRANULOMÉTRICA EM DEPÓSITOS ALUVIAIS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Joana D'arc Matias de Almeida ¹
Antonio Carlos de Barros Corrêa ²
Carla Suelania da Silva ³
José Danilo da Conceição Santos ⁴

PALAVRAS-CHAVE: Depósitos aluviais, GPR, Morfoestratigrafia de radar, Granulometria, Semiárido.

RESUMO

O presente trabalho dedica-se a uma análise comparativa entre as características físicas dos sedimentos que compõem depósitos aluviais distintos no semiárido do Nordeste brasileiro e sua relação com a profundidade de aquisição/investigação do radar de penetração no solo (GPR). O objetivo é compreender em quais meios a prospecção geofísica apresenta melhor leitura de profundidade e resolução em ambiente aluvial, com intuito de interpretar a dinâmica formativa associada a gênese desses depósitos aluviais, considerando a múltipla utilização dessas feições para pequenas comunidades rurais locais. Foram selecionados quatro depósitos de planícies aluviais, em contextos paisagísticos distintos, para investigação em subsuperfície, utilizando equipamento GPR GSSI Sir 3000 com antena de 200MHz, com aquisição a partir de linhas transversais ao fluxo. A priori verificou-se uma variação de profundidade de aquisição entre 2 a 5 metros, no entanto a composição dos depósitos e a saturação dos mesmos foi primordial para a qualidade da investigação. A proposta enfatiza a aplicabilidade do GPR enquanto método não invasivo de investigação, viabilizando melhores ações de gestão ambiental e de recursos hídricos, promovendo a preservação dos depósitos aluviais com maior potencial hídrico.

INTRODUÇÃO

- 1** Doutora em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, joana.matias@ufpe.br
- 2** Professor Titular do Curso de Geografia da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, antonio.correa@ufpe.br
- 3** Professora do Curso de Geografia da Universidade Estadual do Rio Grande do Norte - UERN, csuelania.geografia@gmail.com
- 4** Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, jose.danilo@ufpe.br



A análise de sequências estratigráficas, inicialmente focada em depósitos marinhos, expandiu-se para incluir depósitos fluviais costeiros e continentais (SCHERER, 2008; MIALL, 2014). A compreensão desses sistemas deposicionais é crucial para interpretar os processos sedimentares que atuam nos canais e interflúvios. Essa interpretação depende do reconhecimento de fácies (Suguio e Bigarella, 1979), a partir de subcomponentes definíveis, cujas características estão diretamente ligadas aos processos que as formaram (Graf, 1988). Nos ambientes fluviais de terras secas, as evidências sedimentológicas fornecem indicadores de processos deposicionais geológicos muito recentes (Graf, 1988; Fryirs e Brierley, 2013; Miall, 2014).

Com a intenção de auxiliar e fornecer dados mais robustos à análise arquitetural desses depósitos aluviais, novas tecnologias foram aplicadas a este tipo de estudo, como o reconhecimento de fácies através de radar, visto que ambientes deposicionais específicos produzem diferentes padrões de reflexão (fácies de radar). Assim, a estratigrafia de radar visa reconhecer as fácies de radar características e correlacioná-las com os ambientes deposicionais específicos. Nesse sentido, o Radar de Penetração no Solo (GPR – Ground Penetrating Radar) constitui um avanço tecnológico no estudo das sequências sedimentares, que antes se limitavam a correlações provenientes de dados de poços, afloramentos ou trincheiras rasas (Gauw, 2007). Beres e Haeni (1991) destacam o GPR como um dos métodos geofísicos de superfície mais promissores para uso em estudos de mapeamento hidrogeológicos e superficiais, por permitir a criação de um modelo realístico e tridimensional dos depósitos sedimentares. O GPR é uma ferramenta geofísica com a finalidade de detectar e identificar estruturas, quer abaixo da superfície natural ou antrópica. Bristow e Jol (2003) enfatizam a utilização do GPR para estudos estratigráficos, gerando perfis de alta resolução que ajudam na determinação da arquitetura deposicional, da geometria dos corpos sedimentares e da quantificação de suas estruturas.

A aquisição de dados de subsuperfície por GPR é aplicada a uma ampla gama de pesquisas de cunho técnico e científico, por constituir um método não-invasivo para o mapeamento das características deposicionais em profundidade (Davis e Annan, 1986; Moorman *et al.*, 1991; Miall, 1996), aumentando o conhecimento dos padrões das superfícies subterrâneas e suas descontinuidades (Prinzio, *et al.*, 2010). A técnica funciona com a emissão de ondas, em curtos pulsos e envolve a transmissão de impulsos eletromagnéticos de alta frequência por uma antena transmissora. As ondas são refletidas e difratadas em subsuperfície e recebidas de volta pela antena receptora (Annan, 1992). A propagação das ondas emitidas pelas antenas transmissoras depende das propriedades elétricas dos materiais depositados, como condutividade elétrica, permissividade dielétrica e permeabilidade magnética (Gauw, 2007).



Nessa perspectiva, as reflexões ocorrem na interface de camadas contrastantes entre as propriedades elétricas, que podem atenuar o sinal e influenciar na profundidade de penetração. Desse modo, várias aplicações têm demonstrado a capacidade da ferramenta para mapear detalhes arquiteturais dos depósitos fluviais em profundidades de até 30 m, com resolução tão alta quanto 10 cm (Miall, 1996). Essa profundidade da sondagem está relacionada com a frequência das antenas utilizadas, sendo assim, antenas de menor frequência apresentam maior penetração, porém tem menor resolução. A definição da frequência da antena se dá em função do objetivo do levantamento a ser realizado. Gauw (2007) constatou a aplicabilidade das antenas de 200 e 400 MHz para o mapeamento de depósitos fluviais recentes, apresentando imagens de perfis de alta resolução da subsuperfície rasa. Enfatizou ainda a potencialidade do uso aos pacotes sedimentares fluviais por tratar-se de um método não invasivo, georreferenciado e contínuo.

Além disso, observa-se também a direta relação da profundidade de aquisição em relação ao material depositado, partindo do pressuposto que o GPR pode diferenciar os tipos de sedimentos, como argila, areia e cascalho, analisando os padrões de reflexão, que variam com base nas propriedades do material (Geerdes e Young, 2007; Birkhead et al., 1996). Desse modo, Guo, et al. (2022) caracteriza o GPR enquanto método eficaz para identificação de as unidades sedimentares fluviais, revelando estruturas internas complexas e interfaces de conjuntos de canais, barras e margens em sistemas fluviais arenosos entrelaçados. Do mesmo modo, Souza, Robrini e Oliva (2020) com o intuito de avaliar a eficácia do GPR na detecção de estratos subterrâneos de rios a partir da análise granulométrica e das variações sazonais de salinidade, constatou o registro de radar superior a 3 m de profundidade, sendo a areia, a fração granulométrica dominante.

Desse modo, é evidente a potencialidade do GPR em caracterizar a geometria dos depósitos fluviais para fins ambientais e socioeconômicos, onde agrega-se também a viabilidade de utilização nos estudos de reconstrução paleoambiental. O GPR deve levar à reconstrução das estruturas paleofluviais, através do reconhecimento de paleocanais e a determinação de suas dimensões, que são necessárias para reconstruir as características do sistema fluvial. No entanto, esses estudos que relacionam a utilização radar de penetração no solo aos depósitos fluviais são considerados recentes na literatura, nacional e internacional, marcando o avanço tecnológico nas pesquisas morfoestratigráficas e suas diferentes aplicações no meio científico.



ÁREA DE ESTUDO

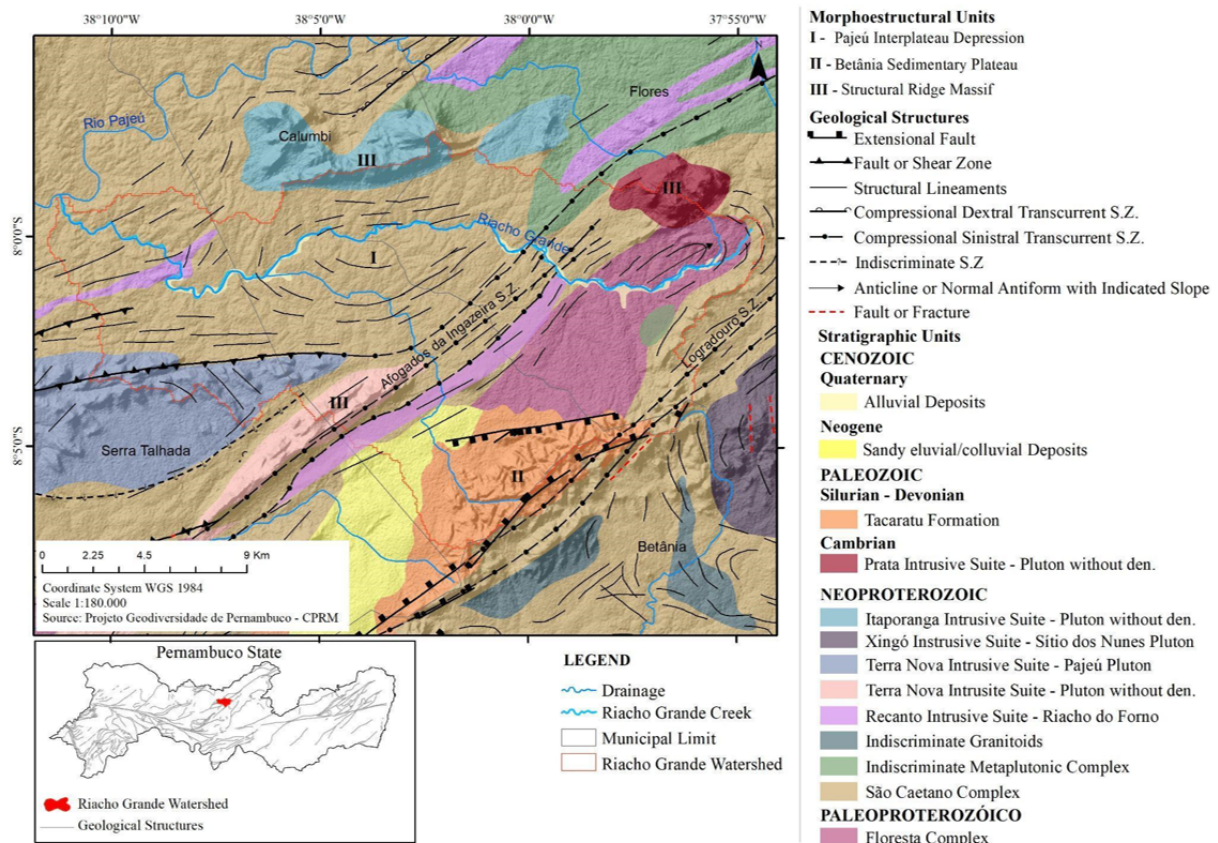
A Bacia do Riacho Grande, com área de 316 km², situa-se no centro do estado de Pernambuco, englobando partes dos municípios de Serra Talhada, Calumbi e Flores, compreendida entre as coordenadas geográficas 8°02'28''S e 38°05'93''W (Almeida, et al., 2016; Almeida, 2017; Almeida, 2021). No que se refere ao contexto climático, a bacia do Riacho Grande está inserida no domínio tropical semiárido do interior do Nordeste brasileiro, apresentando temperaturas médias mensais variando entre 22 e 26o C, total de precipitação anual inferior a 800 mm, com regime interanual irregular controlado por fenômenos de escala global, que podem ocasionar longas estiagens ou chuvas torrenciais concentradas ao longo de curtos períodos mesmo em épocas improváveis, o que favorece a ocorrência de enchentes e inundações (Aragão, 1998; Freire et al., 2011; Almeida et al., 2012; Alves, et al., 2017; Barros, 2018).

Apesar do caráter pulsátil, a precipitação no semiárido brasileiro tem papel fundamental para a esculturação da paisagem, controlando os processos superficiais e a distribuição das áreas de acumulação de sedimentos. Na região, o período chuvoso estende-se de fevereiro a abril, com máximas de precipitação no mês de março. A irregularidade espacial e temporal da precipitação gera déficits significativos no balanço hídrico, que se refletem na paisagem por meio de redes de drenagens efêmeras e intermitentes.

A partir da identificação do contexto paisagístico regional foram definidos os principais controles fisiográficos que atuam sobre a compartimentação fluvial na área de estudo. Assim, a partir dos elementos morfoestruturais do relevo, que se expressam por meio de diferentes classes de rugosidade do terreno, foi configurada uma primeira subdivisão da bacia em três unidades morfoestruturais (Figura 1): Depressão Interplanáltica do Pajeú, Maciços Estruturais em Crista e Planalto Sedimentar de Betânia



FIGURA 1 - Geologia da Bacia do Riacho Grande e do entorno



FONTE: Projeto Geodiversidade de Pernambuco (2014).

A Depressão Interplanáltica do Pajeú se desenvolve como uma faixa de terras baixas alongada para nordeste, confinada entre os Maciços Remobilizados do Domínio da Zona Transversal e a Encosta Ocidental do Planalto da Borborema (Corrêa et al., 2010), que corresponde à principal unidade de elevadas no setor oriental do Nordeste do Brasil. A bacia do Riacho Grande está em sua maior parte instalada sobre esse compartimento aplainado, sobre complexos metamórficos e plútons graníticos neoproterozoicos, em grande parte ainda recobertos pela vegetação arbustiva aberta xerofítica da Caatinga. A depressão é cortada por cristas miloníticas alongadas que acompanham os controles estruturais das Zonas Cisalhamento neoproterozóicas de direção NE-SW e E-W, sobre as quais alguns trechos dos canais se apresentam superimpostos (Almeida, et al., 1967; Sial, 1984; Silva Filho et al., 1987; Silva Filho e Guimarães, 1990).



QUADRO 1 - Resumo do Arcabouço litológico e suas áreas de ocorrência na área de estudo

UNIDADES MORFOESTRUTURAIS	ARCABOUÇO LITOLÓGICO	ÁREA DE OCORRÊNCIA
Depressão Interplanáltica do Pajeú	Complexo São Caetano Complexo Afogados da Ingazeira Complexo Floresta Granitoides indiscriminados Suíte Recanto - Riacho do Forno	Pedimentos Dissecados com e sem cobertura vegetal
	Depósitos aluviais	Plainos aluviais
Maciços Estruturais em Crista	Suíte Intrusiva Prata Suíte Intrusiva Terra Nova Suíte Intrusiva Itaporanga	Cristas alongadas de direção NE-SW / E-W
Planalto Sedimentar de Betânia	Formação Tacaratu	Planalto sedimentar em estrutura homoclinal

FONTE: Autores (2025).

Como resultado do arcabouço climático e geológico da região, Corrêa et al. (2014) ressaltam que os solos do semiárido são rasos, em consequência do balanço denudacional que favorece a erosão sobre a pedogênese, restando a distribuição das classes diretamente subordinada aos controles litológicos, compartimentação geomórfica da paisagem e uso e cobertura da terra. Nesse sentido, destacam-se na bacia do Riacho Grande as classes dos Fluvisols que são solos jovens característicos de planícies aluviais; os Leptosols solos rasos com presença de cascalho; e Arenosols solos arenosos erodidos facilmente, eles apresentam maior capacidade de infiltração, provavelmente por conterem, em sua maioria, os menores teores de argila. Os Planosols, se apresentam como outra classe de maior recorrência, possui horizonte de cor clara e mudanças abruptas de textura, solos rasos a pouco profundos, de baixa permeabilidade e mais suscetíveis aos processos erosivos (FAO, 2014; Almeida, 2015; Oliveira, 2016), sobretudo quando relacionada a intensidade de atividades antrópicas nos setores próximos as margens e leito dos rios.

No contexto morfoestrutural da Depressão Interplanáltica do Pajeú, Almeida et al. (2016) apontam a ocorrência dos plainos aluviais com atividades agropecuárias diversas conquanto áreas com ocorrência de planícies de inundação, localizadas, sobretudo, ao longo do canal principal, e resultantes da acumulação de sedimentos aluviais entre os bancos de canal e a margem do vale, oriundos do extravasamento de fluxo no canal.



Os plainos constituem-se *loci* de acumulação de sedimentos, que representam impedimentos da livre circulação de energia e matéria na bacia fluvial, com exceção quando dos eventos de alta magnitude, capazes de retrabalhar os sedimentos estocados, incorporando-os de volta ao sistema. Nessas áreas há o predomínio dos Fluvisols e dos Planosols no contato entre os plainos e os pedimentos rochosos que definem os limites laterais do domínio aluvial. Na referida unidade geoambiental são desenvolvidas atividades agropecuárias diversas, como a criação de gado e a prática agrícola de pequenos produtores rurais.

Os pedimentos recobrem grande parte da bacia do Riacho Grande, apresentando setores com cobertura vegetal conservada e setores no contato com os plainos aluviais, voltados para o desenvolvimento de atividades agropecuárias. Tratam-se de formas aplainadas, conservadas, com morfologia em rampa, ocorrendo entre cotas altimétricas de 450 a 550 metros (Almeida *et al.*, 2016). Estes compartimentos estão primordialmente estruturados nas sequências de rochas metassedimentares metamorfizadas do Complexo São Caetano (CPRM, 2001) ao norte da Zona de Cisalhamento (ZC) Afogados da Ingazeira e dos ortognaisses do Complexo Floresta. Sobre as rampas pedimentares predominam os Leptosols e Luvisols, enquanto nas baixadas ocorrem os Planosols. As atividades agropecuárias desenvolvidas nas áreas de contato entre o pedimento e os plainos aluviais são aquelas voltadas à subsistência, realizadas em pequenas propriedades familiares, que aproveitam das áreas com a presença de umidade no solo para o cultivo de lavouras de ciclo curto.

Diante da semiaridez na região, o desenvolvimento das atividades agropecuárias depende em grande parte da instalação de pequenas barragens e perfuração de poços rasos. A excessiva espacialização de barragens está atrelada à predominância do Domínio Hidrogeológico Fissural composto por rochas cristalinas, onde o armazenamento hídrico é condicionado por uma porosidade secundária representada por fraturas e fendas, refletindo em reservatórios subterrâneos aleatórios, descontínuos e de pequena extensão. Neste contexto, em geral, os poços apresentam baixas vazões, e a água em função da falta de circulação, elevada evapotranspiração e do tipo de rocha é na maior parte das vezes salinizada (MME, 2009).

A unidade de paisagem no contexto morfoestrutural do Planalto Sedimentar de Betânia denomina-se planalto homoclinal com cobertura vegetal conservada, distingue-se na paisagem como um relevo em cristas assimétricas com declividades superiores a 15°, dissecado por canyons e vales escarpados, como consequência da ação do intemperismo e erosão pluvial sobre seus litótipos predominantemente psamito-psefíticos, com forte diagênese e fraturamento subvertical. A bacia de Betânia preenchida



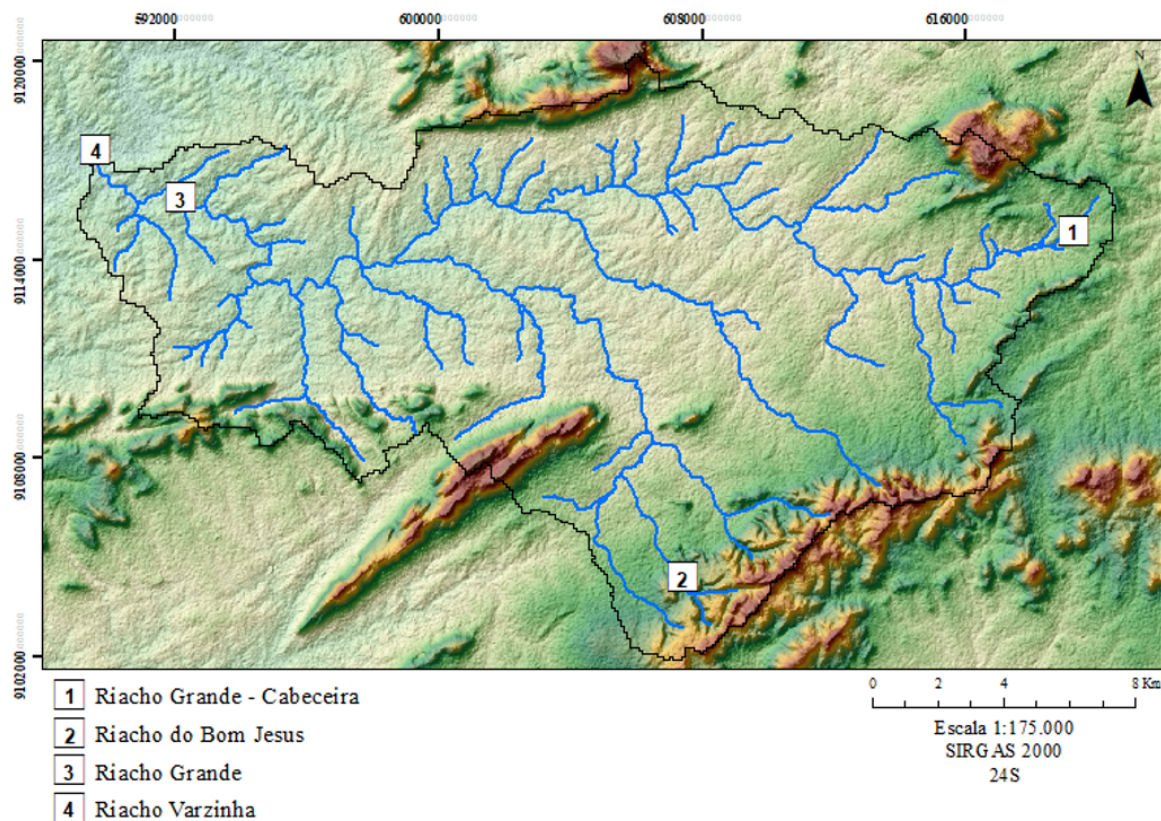
pelos arenitos siluro-devonianos da Formação Tacaratu representa as superfícies aflorantes de maior elevação na área de estudo. Seu relevo escarpado é associado à presença de falhas extensionais reativadas ao longo do Cenozóico (Carvalho et al., 2010).

Na unidade de paisagem em questão ainda se encontram as áreas compostas por sedimentos cenozóicos que se referem àquelas caracterizadas pelas planícies aluviais, de sedimentos arenosos, argilosos e conglomeráticos, enquanto os sedimentos eluvio-coluviais arenosos referem-se aos sedimentos cenozóicos inconsolidados retidos nos sopés das elevações. Quanto às classes de solos nesse contexto sedimentar destacam-se a distribuição dos Leptosols e afloramentos rochosos nas altas declividades e Arenosols no sopé das encostas. Na área verificou-se ainda em menor proporção a associação aos Acrisols.

METODOLOGIA

O desenvolvimento do presente trabalho seguiu as seguintes etapas - a primeira etapa, se refere a aquisição de GPR e a arquitetura deposicional dos plainos aluviais, que consistiu na confecção de 4 seções estratigráficas verticais dos depósitos, a partir da utilização do GPR, permitindo criar um registro computadorizado da sucessão estratigráfica dos depósitos. Nesses pontos foram realizadas aquisição de radar, bem como a coleta de sedimentos de fundo de vale e margens (figura 2).

FIGURA 2 - Pontos de aquisição de GPR e coleta de sedimentos



FONTE: Autores (2025).



O GPR, método geofísico, consiste na emissão no solo de ondas eletromagnéticas de alta frequência refletidas, em parte, a uma antena receptora. A partir das propriedades eletromagnéticas dos materiais atravessados é possível fazer inferências sobre a estratigrafia dos depósitos sedimentares rasos (Rossetti, et al., 2001). Neste trabalho foi utilizado o GPR Sir 3000 da Geophysical Survey System Inc. (GSSI), com a antena de frequência de 200 MHz. Para a exploração da geometria interna das planícies de inundação, considerou-se o levantamento de pelo menos uma linha de GPR em cada ponto previamente selecionado através das imagens (Gauw, 2007; Lima et al., 2009). As linhas seguiram perpendiculares ao fluxo dos canais fluviais.

Após aquisição dos perfis de radar foi realizado o processamento dos mesmos, com o objetivo de melhorar os radargramas, destacando os refletores de interesse e diminuindo ao máximo o ruído, que atrapalha na interpretação morfoestratigráfica (Aguiar, 2005). Nesta etapa, a utilização de informações adicionais da área de estudo, como fotografias aéreas, geomorfologia e geologia, foi imprescindível para um processamento robusto. Para este trabalho foi considerado o fluxo de processamento proposto por Annan (1992) e Lima et al. (2009) para melhores resultados de perfis de depósitos aluviais. O processamento envolve a aplicação de filtros que atenuam ou destacam os refletores de interesse. O processamento foi realizado utilizando software de processamento e modelagem Reflexw 7.3, com o objetivo da retirada de ruídos de alta amplitude e baixa frequência, que contaminam o dado e conseqüentemente, dificultam ou impossibilitam a visualização dos eventos deposicionais (Alves, 2011; Aguiar, 2005). Concluído o processamento dos radargramas, foi realizada a interpretação da morfoestratigrafia dos depósitos fluviais, de uma maneira integrada/sistêmica, considerando os aspectos estruturais e eventos pluviais que influenciam nos processos deposicionais. Isso permitiu o reconhecimento em detalhe das estruturas sedimentares dos depósitos aluviais, compreendendo a dinâmica da paisagem fluvial, relacionada sobretudo à sazonalidade dos eventos climáticos, com a construção de janelas estratigráficas em software Corel Draw/Illustrator.

A etapa seguinte se refere à coleta e análise das propriedades físicas dos sedimentos, visando estabelecer o tamanho das partículas de sedimentos detríticos e então compará-los à potencialidade de visualização dos refletores de radar. Desse modo, foram coletadas amostras de sedimentos superficiais ao longo do perfil perpendicular do canal fluvial, bem como amostras resultantes das seções verticais dos depósitos aluviais. A análise granulométrica permite o reconhecimento da natureza da área-fonte dos diferentes depósitos, assim como a caracterização de forma quantitativa e



qualitativa dos sedimentos que os estruturam. Assim, a análise granulométrica foi realizada, em parte, conforme as orientações da metodologia de peneiramento das amostras de Gale e Hoare (1991), empregando a escala de Wentworth para definição das classes do tamanho das partículas.

Para a análise, inicialmente separou-se uma amostra de 100g de sedimento inconsolidado. Em seguida foi adicionado em solução 20g do dispersante hexametáfosfato de sódio e 500ml de água, agitado por 10 minutos contínuos para deflocular e deixou-se a amostra em decantação por até 24h. Logo após o período de decantação, a amostra foi submetida a lavagem para separação dos sedimentos finos (silte e argila) e grossos (areia e cascalho), e foram colocadas para secar na estufa a uma temperatura de até 100°C. Quando secou a amostra foi novamente pesada. Posteriormente peneirou-se em jogos de peneira com intervalos sucessivos de 1 phi (ϕ) para a determinação de areia muito fina, areia fina, areia média, areia grossa e cascalho. Em seguida, esses dados foram utilizados para compreender a relação das características físicas dos sedimentos e a resolução dos radargramas, quanto a capacidade de profundidade de aquisição.

TABELA 1 - Identificação de amostras

LOCALIDADE	AMOSTRAS
Ponto 01	Amostras a, b, c
Ponto 02	Amostras d, e, f
Ponto 03	Amostras g, h, i
Ponto 04	Amostras j, l, m

FONTE: Autores (2025.)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

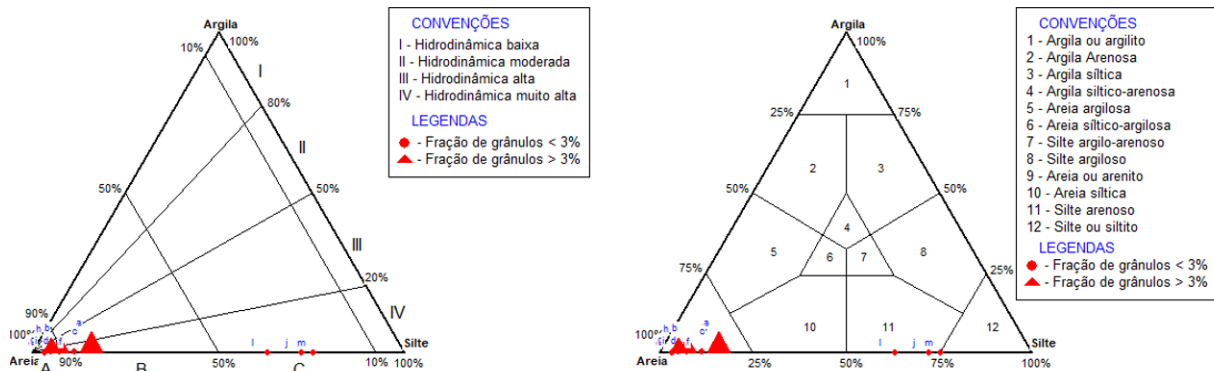
Diante da espacialização dos depósitos aluviais, em contextos geoambientais e fluviais diferentes, associados a controles estruturais e intensificados pela distribuição de barramentos antrópicos (Almeida et al., 2016; Almeida, 2021), foi realizada a aquisição de 4 perfis de radar, com o intuito de verificar a sua potencialidade para aplicação aos estudos em ambientes fluviais semiárido. Desse modo, ressalta-se a relação da profundidade de aquisição em depósitos aluviais de materiais distintos, a partir dos dados de radar e de poços perfurados no local.

Verificou-se inicialmente, que os materiais coletados no fundo dos depósitos aluviais da bacia do Riacho Grande, enquanto a análise de Pejrup (1988) e Shepard (1954), apresentaram hidrodinâmica muito alta, onde observou-se a predominância de sedimentos arenosos, com exceção do vale preenchido no exutório da bacia, composto majoritariamente por alta porcentagem de silte, refletindo a diminuição progressiva



das correntes fluviais (figura 3). Essa característica reflete na profundidade de aquisição e resolução dos dados de radar, visto que variações na textura do sedimento, como tamanho do grão e porosidade, afetam a retenção de água e as propriedades eletromagnéticas, resultando em reflexões GPR distintas (Dam et al., 2002).

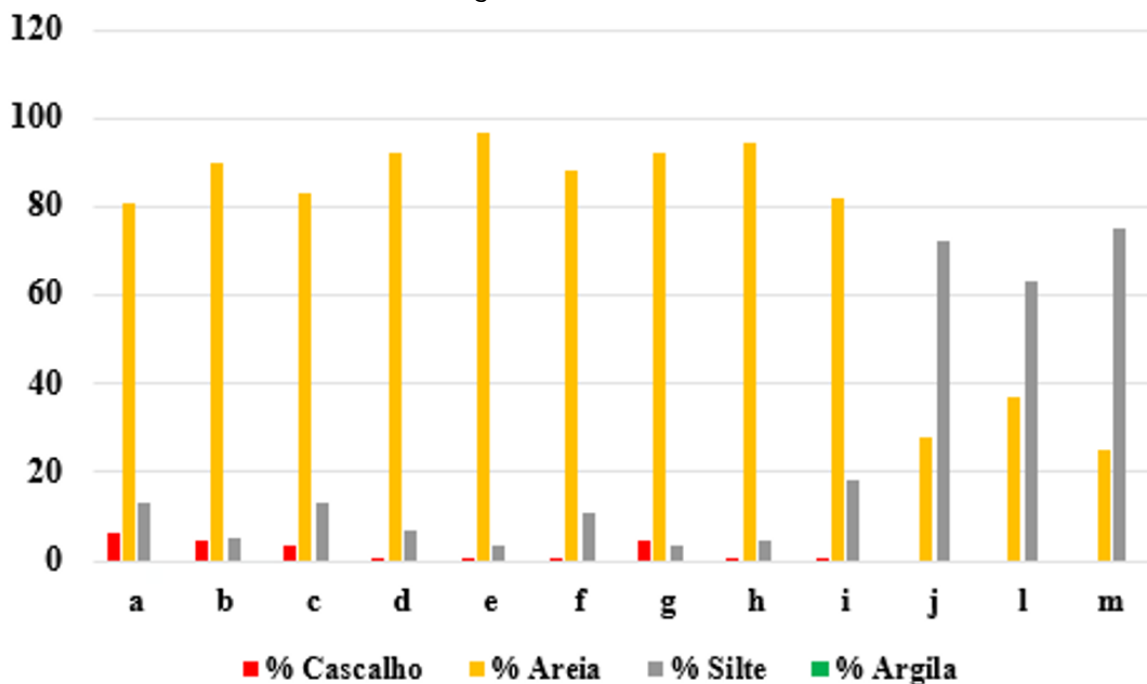
FIGURA 3 - Diagramas de Pejrup e Shepard



FONTE: Autores (2025)

A análise da granulometria dos sedimentos coletados nos canais da bacia do Riacho Grande classificou, predominantemente, como areia média. Com exceção do conjunto de amostras do ponto 4, coletadas no exutório do riacho Varzinha, que apresentou acentuada concentração de silte grosso. Esses resultados granulométricos mostram que, para todos os setores mapeados, o principal tamanho de grão transportado pela rede de drenagem na bacia do Riacho Grande corresponde a área média e fina, o que reflete a competência dos fluxos operantes.

FIGURA 4 - Gráfico granulometria das amostras analisadas

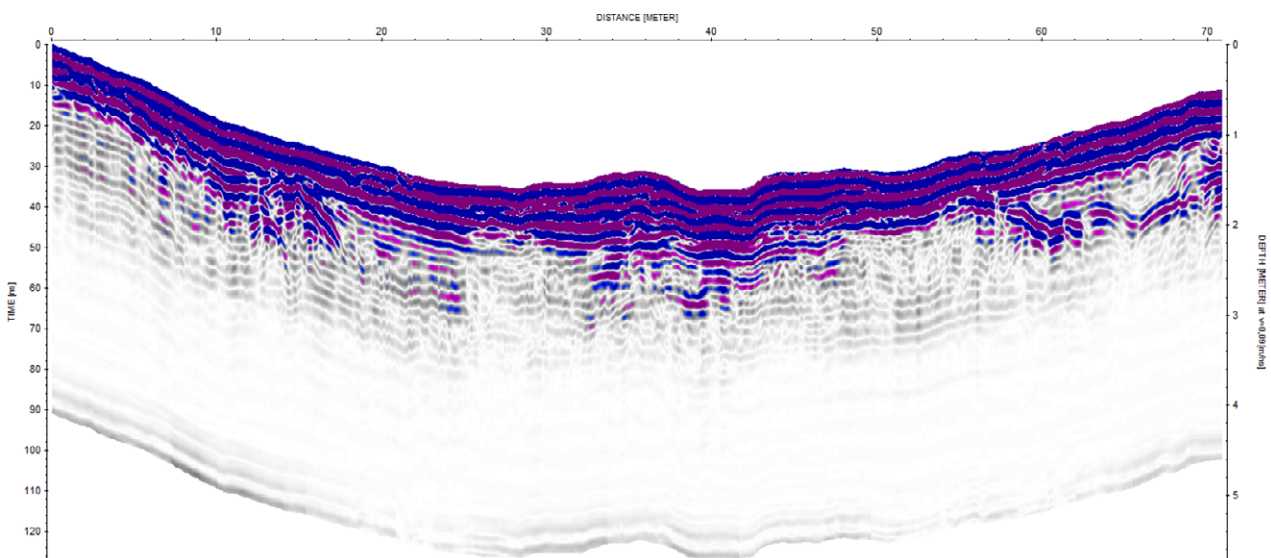


FONTE: Autores (2025).



Diante disso, observou-se que entre as amostras analisadas, predominam as frações de areia, o que é refletido nos dados de radargramas, que obtiveram profundidades de aquisição entre 3 a 5 metros e resolução semelhantes. Sobretudo nos pontos 3 e 2, onde verificou-se a baixa quantidade de silte associada às frações predominantes. Em relação ao ponto 1 (figura 5), localizado no setor próximo a nascente do canal principal, Riacho Grande, que se refere a um depósito a montante de barramento seco, sob terreno cristalino do Complexo Floresta, onde verificou-se as frações granulométricas de areia grossa a fina (Almeida, 2017; 2021). No radargrama, observou-se uma profundidade de aquisição de 4 metros, entretanto abaixo de 2.5 metros de profundidade observa-se uma camada basal onde o sinal de reflexão é muito baixo, supondo que nesse setor, o aluvião esteja saturado, sobretudo quando considera-se que a profundidade de penetração diminui rapidamente em sedimentos úmidos (Doolittle e Collins, 1995; Almeida, 2021).

FIGURA 5 - Perfil de radar do ponto 1, coletado em leito de barragem. Profundidade à direita.

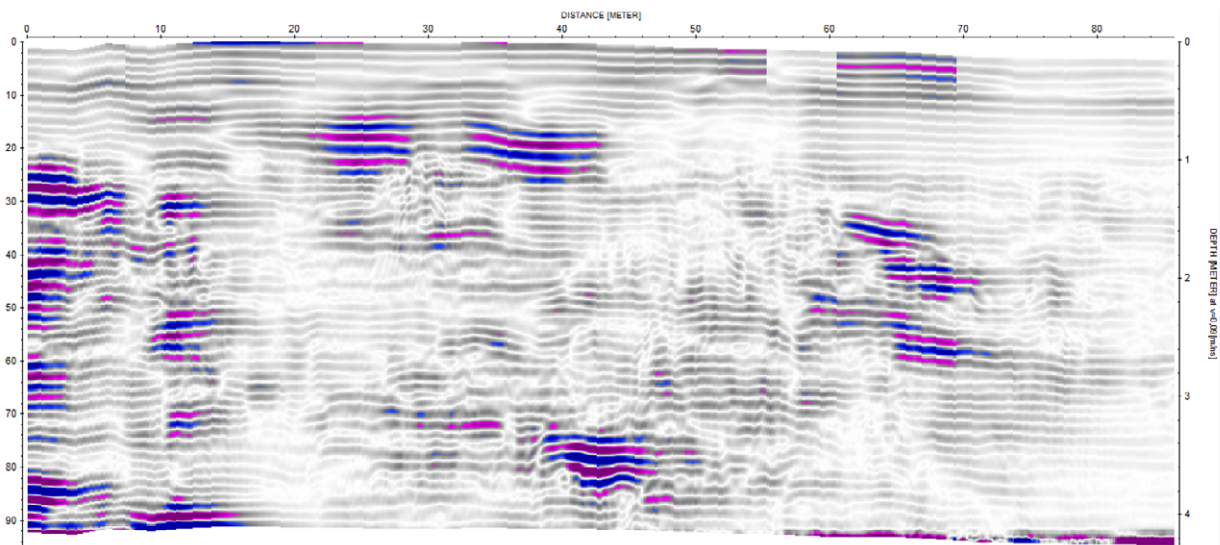


FONTE: Autores (2025)

O ponto 2 (figura 6), refere-se ao perfil de radar com aquisição em depósito aluvial adjacente às cabeceiras no Planalto Sedimentar de Betânia, área pertencente ao domínio hidrogeológico intersticial, onde verifica-se poços rasos perfurados com profundidades superiores a 7 metros. No entanto, em relação aos dados de radar, verificou-se profundidade de aquisição de aproximadamente 4,5 metros. Nesse sentido, observando a reflexão moderadamente contínua com alvos difusos, sinalizam a possível saturação do aluvião (Lima et al., 2009), destacando a influência da umidade na resolução dos dados.



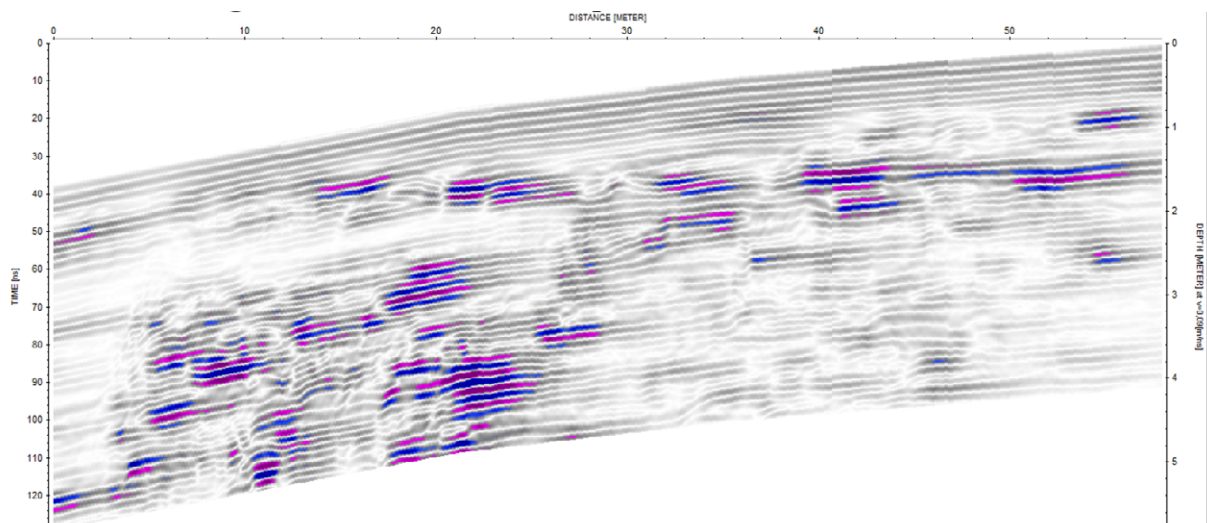
FIGURA 6 - Perfil de radar do ponto 2, coletado adjacente a cabeceiras em planalto sedimentar. Profundidade à direita.



FONTE: Autores (2025)

O terceiro ponto analisado se refere ao depósito aluvial próximo a confluência do Riacho Grande (canal principal), com o Riacho Varzinha, próximo ao exutório da bacia, encaixado sobre o setor de pedimento detrítico do Complexo São Caetano. De acordo com a medição de poços rasos instalados no leito arenoso, que conforme a análise granulométrica identificou as frações de areia média a muito fina, a profundidade mínima da sedimentação foi de 6 metros. Entretanto, a aquisição do radargrama com base no alcance do sinal de reflexão atingiu aproximadamente 4 metros de profundidade. Nota-se também uma melhor resolução dos dados, com refletores discerníveis, o que facilita o processamento e posterior interpretação dos dados.

FIGURA 7 - Perfil de radar do ponto 3. Profundidade à direita.

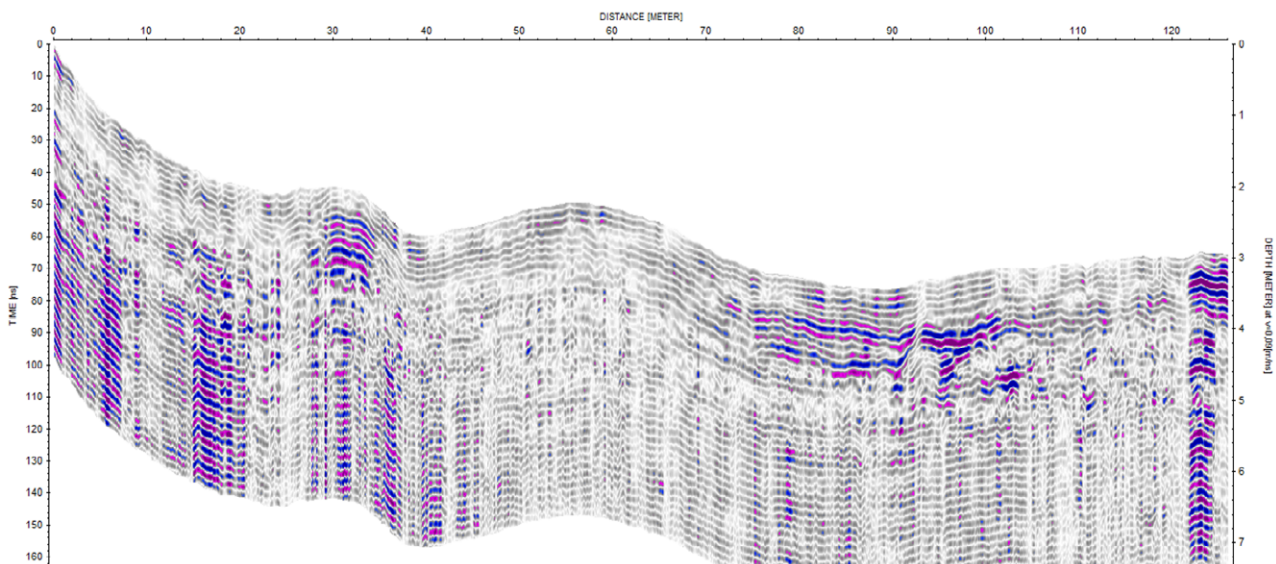


FONTE: Autores (2025)



O quarto ponto, localizado no exutório da bacia do Riacho Grande, com predominância de frações granulométricas finas como silte grosso a areia muito fina, classificado como areia siltica, verificando uma baixa qualidade dos dados em relação à profundidade e também à resolução. Nesse sentido, é possível observar uma profundidade de aquisição de 7 metros de profundidade. No entanto, dos 7 metros de alcance do sinal, apenas 1,5 metro apresentou dados viáveis, devido ao forte ruído proveniente das camadas silto-argilosas subjacentes, em contraste aos 10 metros apurados em poços perfurados no depósito em análise. A composição granulométrica dos materiais analisados nesse ponto, resultou em respostas distintas aos radargramas anteriores. Os depósitos compostos majoritariamente por areia e cascalhos, possuem alta reflectância, enquanto a presente aluvião, composto por materiais mais finos, apresentou baixa reflectância com alvos difusos e menor profundidade de aquisição. Destaca-se ainda a presença de ruídos, associados a interferências de aramados (cercas).

FIGURA 8 - Perfil de radar do ponto 4, no exutório da bacia do Riacho Grande.



Fonte: Autores (2025)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme a análise proposta nesse artigo, apesar da existência de muitos fatores limitantes para utilização do GPR, como aqueles capazes de atenuar o sinal eletromagnético emitido pelo equipamento, como a presença de água e o conteúdo de sedimentos finos, como silte e argila (Annan, 2001), a metodologia proposta se mostrou eficiente no imageamento da geometria deposicional dos sedimentos aluvionares e a consequente compreensão da dinâmica fluvial nas condições estudadas. Assim, a utilização do GPR como forma de análise integrada aos estudos geomorfológicos, se mostrou eficaz podendo ser recomendada também aos estudos fluviais, sobretudo



no ambiente semiárido, tanto para fins socioeconômicos, como na investigação dos depósitos aluvionares para a instalação de poços rasos e barragens subterrâneas (Lima et al., 2009), bem como para fins científicos, na compreensão da dinâmica e evolução das morfologias fluviais na região. Nesse sentido, sugere-se aliar à interpretação das fácies de radar a estudos geocronológicos dos depósitos aluviais, sobretudo na investigação de depósitos aluviais recentes, visto que as superfícies de radar representam uma estrutura interna geral e limitante, portanto, apresentam caráter cronológico.

Agradecimentos:

A Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, J. C. M. Radar de Penetração no Solo (GPR): **Aspectos Geofísicos e Geodésicos, Processamento e Análise em Pavimento Flexível**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Informação: UFPE, Recife, 128p., 2005.
- ALMEIDA, F. F. M.; LEONARDOS, O. H.; VALENÇA, J. **Review on granitic rocks of Northeast South America**. In: Symposium on Northeast South America Granites, Recife, 1967. Proc. Recife, IUGS/UNESCO, 41p, 1967.
- ALMEIDA, J. D. M.; LIMA, D.; FRANZEN, M.; LIMA, E. A. M.; COSTA, F. A. **Abastecimento público de água no Sertão de Alagoas e Pernambuco**. Recife: IV Workshop de Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco, 2012.
- ALMEIDA, J. D. M.; SOUZA, J. O. P.; CORRÊA, A. C. B. **Dinâmica e caracterização fluvial da bacia do Riacho Grande**: abordagem da conectividade da paisagem. Geo UERJ: Rio de Janeiro, n. 28, p. 308-331, 2016.
- ALMEIDA, J. D. M. **(Des)conectividade da Paisagem e Compartimentação Fluvial na Bacia do Riacho Grande, Sertão Central Pernambucano**. Dissertação (Mestrado): Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2017.
- ALMEIDA, J. D. M. **Dinâmica Fluvial no Sertão Central Pernambucano: morfogênese dos plainos aluviais na bacia do Riacho Grande**. Tese (Doutorado): Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2021.
- ALVES, J. M. B.; SILVA, E. M.; SOMBRA, S. S.; BARBOSA, A. C. B.; SANTOS, A. C. S.; LIRA, M. A. T. **Eventos Extremos Diários de Chuva no Nordeste do Brasil e Características Atmosféricas**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 32, n. 2, p. 227-233, 2017.
- ALVES, A. A. **Análise da Aplicabilidade do GPR e Eletrorresistividade na Detecção de Dutos**. Monografia. UFBA, Salvador, 80p., 2011.
- ANNAN, A.P. **Ground penetrating radar workshop notes**. Sensors & Software, 130p., 1992.
- ARAGÃO, J. O. R. **A previsão da precipitação no norte do Nordeste do Brasil para o período chuvoso de fevereiro a maio**: os anos 1997/98. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 10, e Congresso da Flismet, 8, 1998, Brasília, Anais, São Paulo: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1998.



- BARROS, A. C. M. **Tipologia e Dinâmica de Paisagens Não Canalizadas no Nordeste Semiárido**. Tese (Doutorado): Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós Graduação em Geografia, 2018.
- BERES, M.; HAENI, F.P. **Application of Ground-Penetrating Radar Methods in Hydrogeologic Studies**. Ground Water, 29 (3), 1991.
- BIRKHEAD, A.L., G.L. HERITAGE, H. WHITE, and A.W. VAN NIEKERK. **Ground-penetrating radar as a tool for mapping the phreatic surface, bedrock profile, and alluvial stratigraphy in the Sabie River, Kruger National Park**. Journal of Soil and Water Conservation 51 p 234-241, 1996.
- BRISTOW, C.S.; JOL, H.M. **An introduction to ground penetrating radar (GPR) in sediments**. In: BRISTOW, C.S., JOL, H.M. (Eds.). Ground Penetrating Radar in Sediments. Geol. Soc. London Spec. Publ. 211, 99–110, 2003.
- CARVALHO, R.R.; et al. **Origem e Proveniência das Sequência Siliciclástica Inferior da Bacia do Jatobá**. Estudos Geológicos, v. 20, n. 2, p. 113-127, 2010.
- CORRÊA, A. C. B.; TAVARES, B. A. C.; MONTEIRO, K. A.; CAVALCANTI, L. C. S.; LIRA, D. R. **Megageomorfologia e morfoestrutura do Planalto da Borborema**. Revista do Instituto Geológico, v. 31, n. 1-2, 2010.
- CORRÊA, A. C. B.; SOUZA, J. O. P.; CAVALCANTI, L. C. S. **Solos do ambiente semiárido brasileiro: erosão e degradação a partir de uma perspectiva geomorfológica**. In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. Degradação dos solos no Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 127-169, 2014.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Programas levantamentos geológicos do Brasil: Serra Talhada, Folha SB. 24-Z-C**. Estados de Pernambuco, Paraíba e Ceará. Escala 1:250.000. Brasília: CPRM, 2001.
- DAM, R.L.; SCHLAGER, W., DEKKERS, M.J.; HUISMAN, J.A. **Iron oxides as a cause of GPR reflections**. Geophysics, 67 (2002), pp. 536-545.
- DAVIS, J.L.; ANNAN, A.P. **High resolution sounding using ground probing radar**. Geoscience of Canada, 13 (3), p. 205-208, 1986.
- DOOLITTLE, J. A.; COLLINS, M. E. **Use of soil information to determine application of ground penetrating radar**. Journal of Applied Geophysics, v. 33, 1-3, p.101-108, 1995.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **World reference base for soil resources 2014: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps**, World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome, 2014, 203 p.
- FREIRE, J. L. M.; LIMA, J. R. A.; CAVALCANTI, E. P. **Análise de aspectos meteorológicos sobre o Nordeste do Brasil em anos de El Niño e La Niña**. Revista Brasileira de Geografia Física, 03, p. 429-444, 2011.
- FRYIRS, K. A.; BRIERLEY, G. J. **Geomorphic Analysis of River Systems: an approach to reading the landscape**. Blackwell Publishing LTD, 1ª Ed., 2013.
- GEERDES, I. C.; YOUNG, R. A. Spectral decomposition of 3D ground-penetrating radar data from an alluvial environment. The Leading Edge, 26 (8), 2007. DOI: 10.1190/1.2769560
- GRAF, W. L. **Fluvial Process in Dryland Rivers**. Caldwell: The Blackburn Press, 1988.
- GALE, S. J. & HOARE, P. G. **Quaternary sediments: petrographic methods for the study of ulithified rocks**. Londres: Bethaven Press, 1991.
- GAUW, D. S. **Estudo Integrado de Análogo a Reservatórios Petrolíferos Fluviais: caracterização, parametrização e modelagem tridimensional de depósitos recentes do Rio Assu (Rio Grande do Norte/Brasil)**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Geodinâmica e Geofísica: UFRN, Natal, 2007.
- GUO, W.; DONG, C.; LIN, C.; ZHANG, T.; ZHAO, Z.; LI, J. **3D Sedimentary Architecture of Sandy Braided River, Based on Outcrop, Unmanned Aerial Vehicle and Ground Penetrating Radar Data**. Minerals 2022, 12, 739. <https://doi.org/10.3390/min12060739>
- LIMA, A. O; SOUZA, A. M.; SABADIA, J. A. B.; CASAS, A.; LIMA-FILHO, F. P. **Utilização do GPR para Locação de Barragens Subterrâneas no Semi-Árido Brasileiro**. Anais do Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva. Caruaru, 2009.
- MIALL, A. **The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 582p. 1996.



- MIALL, A. **Fluvial Depositional Systems**. Springer Internacional Publishing, 2014.
- MME – Ministério de Minas e Energia. **Relatório Técnico: análise das informações sobre os recursos hídricos subterrâneos no país**. Junho, 2009.
- MOORMAN, B. J.; JUDGE, A. S.; SMITH, D. G. **Examining fluvial sediments using ground penetrating radar in British Columbia**. In: Current Research, Part A, Geological Survey of Canada, Paper 91-1A, p. 31-36, 1991.
- OLIVEIRA, D. C. **Detalhamento de Mapeamento de Solos em Ambientes Semiáridos**. Monografia, Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Geociências, 2016.
- PEJRUP, M. **The triangular diagram used for classification of estuarine sediments: a new approach**. In: BOER, P. L.; VAN GELDER, A.; NIO, D. D. (eds.). Tide-Influenced Sedimentary Environments and Facies. Reidel: Dordrecht, p.289-300, 1988.
- PRINZIO, M.; BITELLI, M.; CASTELLARIN, A.; PISA, P.R. **Application of GPR to the monitoring of river embankments**. Journal of Applied Geophysics, 71, p. 53-61, 2010.
- ROSSETTI, D F.; GÓES, A. M.; SOUZA, L. S. B. **Estratigrafia da sucessão sedimentar pós-Barreiras (Zona Bragantina, Pará) com base em radar de penetração no solo**. Brazilian Journal of Geophysics, v. 9 (2), 2001.
- SHEPARD, F. P. **Nomenclature based on sand-silt-clay ratios**. Journal of Sedimentary Petrology, v. 24, p. 151-158, 1954.
- SIAL, A. N. **Litogeoquímica de elementos terras raras na caracterização de granitoides no espaço Cachoeirinha, Nordeste do Brasil**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, Rio de Janeiro: Anais..., Rio de Janeiro, SBG, pp. 2697-2709, 1984.
- SILVA FILHO, A. F. et al. **Petrology of Terra Nova pluton, Brazil, and associated ultrapotassic dykes**. Rev. Brasil. Geoc., v. 17 (4), p. 481-487, 1987.
- SILVA FILHO, A. F.; GUIMARÃES, I. P. **Geologia das rochas ultrapotássicas da região de Salgueiro, PE**. Anais 36º Congr. Bras. Geol., p. 1752-1763, 1990.
- SOUSA, C.N. da C.; ROBRINI, M.; OLIVA, P.A.C. **Experimental survey of the Ground Penetrating Radar (GPR) in the study of the Aturiaí river (Bragança coastal plain, northeast of Pará)**. Research, Society and Development, 9 (2020), pp. 1-29, 10.33448/rsd-v9i10.8821
- SUGUIO, K.; BIGARELLA, J. J. **Ambientes de Sedimentação e sua Importância: Ambiente Fluvial**. Ed. Universidade Federal do Paraná: Curitiba, 1979.



TRANSFORMAÇÕES GEOMORFOLÓGICAS E NA DINÂMICA SEDIMENTAR DE CANAIS FLUVIAIS EMBREJADOS - MUNICÍPIO DE VOLTA REDONDA (RJ)

Anderson de Souza Ribeiro ¹
Maria Naíse de Oliveira Peixoto ²
Rafael Silva Barros ³

PALAVRAS-CHAVE: Brejos, Dinâmica, Fluvial, Geomorfologia Antropogênica, Médio Vale do Rio Paraíba do Sul.

RESUMO

Este trabalho apresenta uma caracterização geomorfológica e sedimentar de canais fluviais embrejados na região do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul, tomando como recorte de análise a bacia hidrográfica do Córrego Santa Rita, localizada município de Volta Redonda (RJ). Analisou-se, dentro de uma abordagem integrada, a estrutura geobiofísica desse tipo de canal fluvial por meio da caracterização da vegetação, do contexto geomorfológico, dos depósitos sedimentares e do uso e cobertura da terra na bacia, que permitiram identificar as relações entre processos naturais e intervenções humanas que influenciam sua dinâmica e funcionalidade. Para a caracterização morfológica do vale e dos canais fluviais embrejados foram individualizadas as formas geométricas e intervenções estruturais presentes, que serviram de base para a delimitação de trechos fluviais. A análise detalhada da vegetação abrangeu as estruturas aérea e radicular das plantas, com identificação de espécies indicadoras das condições ambientais, visando associá-la às características dos depósitos sedimentares. Na análise sedimentológica efetuou-se a identificação e descrição dos depósitos reconhecidos por sondagens e perfis, como camadas de turfa, argila e areia, bem como a análise de sua distribuição espacial nos segmentos embrejados. O mapeamento de cobertura e uso da terra bacia hidrográfica permitiu identificar práticas produtoras de transformações no sistema fluvial. Estas análises possibilitaram individualizar três padrões de canais embrejados, cujas características refletem as condições ambientais e diferentes intervenções humanas. Tipo 1 - Padrão marcado pelo predomínio de vegetação do gênero *Typha*, característica de ambientes de alta umidade, propiciando a formação e conservação de depósitos orgânicos (turfa); apresentam maior capacidade de estocagem de água e uma redução no transporte de sedimentos para os canais coletores, contribuindo para a manutenção do equilíbrio ambiental, sendo mais frequente em áreas de campo sujo. Tipo 2 - Padrão frequente em áreas de pastagem, caracterizado pela retificação dos canais fluviais embrejados com remoção parcial ou total da vegetação original, instalando-se vegetação de menor porte composta predominantemente

- 1 Mestre pelo PPGG/UFRJ, Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, anderson.geo.ufrj@email.com
- 2 Professora do Depto. de Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, marianaise@igeo.ufrj.br
- 3 Professor do Depto. de Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, rafel.barros@igeo.ufrj.br



por *Brachiaria*, *Hedychium* e *Eleocharis*; os depósitos de turfa são menos conservados, estando intercalados com camadas de argila e areia, devido à intensificação do fluxo do canal, impactando o equilíbrio sedimentar da bacia. Tipo 3 - Canais embrejados com presença de barragem, com desenvolvimento de *Typha* favorecido nas áreas próximas às águas represadas e predomínio de *Hedychium* nos trechos afastados; caracteriza-se pela deposição simultânea de turfa, argila e areia, refletindo as variações nas condições ambientais impostas pela estrutura da barragem, bem como pelo uso agrícola e pecuário. A caracterização integrada dos canais fluviais embrejados na bacia hidrográfica do Córrego Santa Rita permitiu apreender a dinâmica desses sistemas frente a intervenções como a retificação dos canais e a instalação de barragens, que modificam a capacidade de estocagem de água e o transporte de sedimentos.

INTRODUÇÃO

As transformações ocorridas nos sistemas fluviais da região do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul resultam, em escala histórica, do uso e ocupação da terra, marcados pelas atividades agropecuárias desde o século XVIII e, mais recentemente, pelo crescimento urbano industrial. Contudo, estas modificações se dão em um contexto geomorfológico e sedimentar moldado por eventos deposicionais e erosivos ocorridos ao longo do Quaternário, que imprimiram marcas na dinâmica deposicional e na morfologia dos fundos de vale e encostas.

Dentre as feições resultantes da evolução quaternária, destacam-se as superfícies deposicionais relacionadas às rampas de alúvio-colúvio em continuidade com o nível de terraço superior, que vêm sendo entalhadas por canais erosivos (voçorocas) remontantes (Moura, Peixoto e Silva, 1991), de grande expressão espacial nos compartimentos de colinas da região. Estes canais erosivos, após adquirirem certa estabilidade, passam a ser ocupados por vegetação de macrófitas, tornando-se canais embrejados, caracterizados por condições de saturação hídrica em fundos de vale parcial ou totalmente esvaziados (Peixoto et al., 2010).

Apesar de se destacarem por sua ampla ocorrência espacial nas bacias hidrográficas tributárias do rio Paraíba do Sul, os canais embrejados ainda são pouco conhecidos quanto à sua estrutura biofísica e ao papel que desempenham na regulação dos fluxos hidrossedimentares. Tal lacuna se mostra particularmente relevante diante da crescente demanda por estratégias de gestão e recuperação dos recursos hídricos em escala local e regional, especialmente considerando-se que têm sido muito impactados durante as últimas décadas. A urbanização acelerada, conjugada às atividades agrícolas e à pecuária leiteira, têm contribuído para a drenagem e a retificação desses canais visando novas áreas para a construção civil, implantação de pastagens e plantações. Torna-se, assim,



fundamental avançar no seu conhecimento, de modo a fornecer subsídios técnicos e científicos que orientem ações voltadas à conservação e ao uso sustentável das bacias hidrográficas.

A pesquisa aqui apresentada buscou contribuir para a geração destes conhecimentos, abrangendo uma caracterização geomorfológica e sedimentar de canais fluviais embrejados na bacia hidrográfica do Córrego Santa Rita, localizada no município de Volta Redonda (RJ), tributária do médio curso do Rio Paraíba do Sul.

METODOLOGIA

A metodologia adotada fundamenta-se no arcabouço teórico e metodológico desenvolvido para apreensão da evolução quaternária do relevo desenvolvida pelo NEQUAT (Núcleo de Estudos do Quaternário e Tecnógeno / UFRJ), com destaque para o reconhecimento de feições morfoestratigráficas (conforme Meis e Moura, 1984) associadas a fundos de vale e reentrâncias de cabeceiras de drenagem em anfiteatro, bem como na utilização da abordagem dos Estilos de Rio (River Styles®) proposta por Brierley e Fryirs (2000), que tem sido amplamente empregada na caracterização geomorfológica de sistemas fluviais em diferentes escalas. Partindo da análise do contexto geomorfológico na escala dos compartimentos de relevo, da bacia hidrográfica e da configuração do vale, estas abordagens orientam e organizam a identificação da estrutura física do canal (forma, largura, profundidade, unidades geomorfológicas e materiais) e do seu funcionamento (processos hidrológicos, sedimentares e morfodinâmicos), considerando-se também as trajetórias de transformação já identificadas. Para os canais embrejados, foram adicionadas à metodologia as etapas voltadas à caracterização da vegetação macrófita e dos processos de sedimentação associados, bem como de análise das possíveis alterações resultantes do uso da terra.

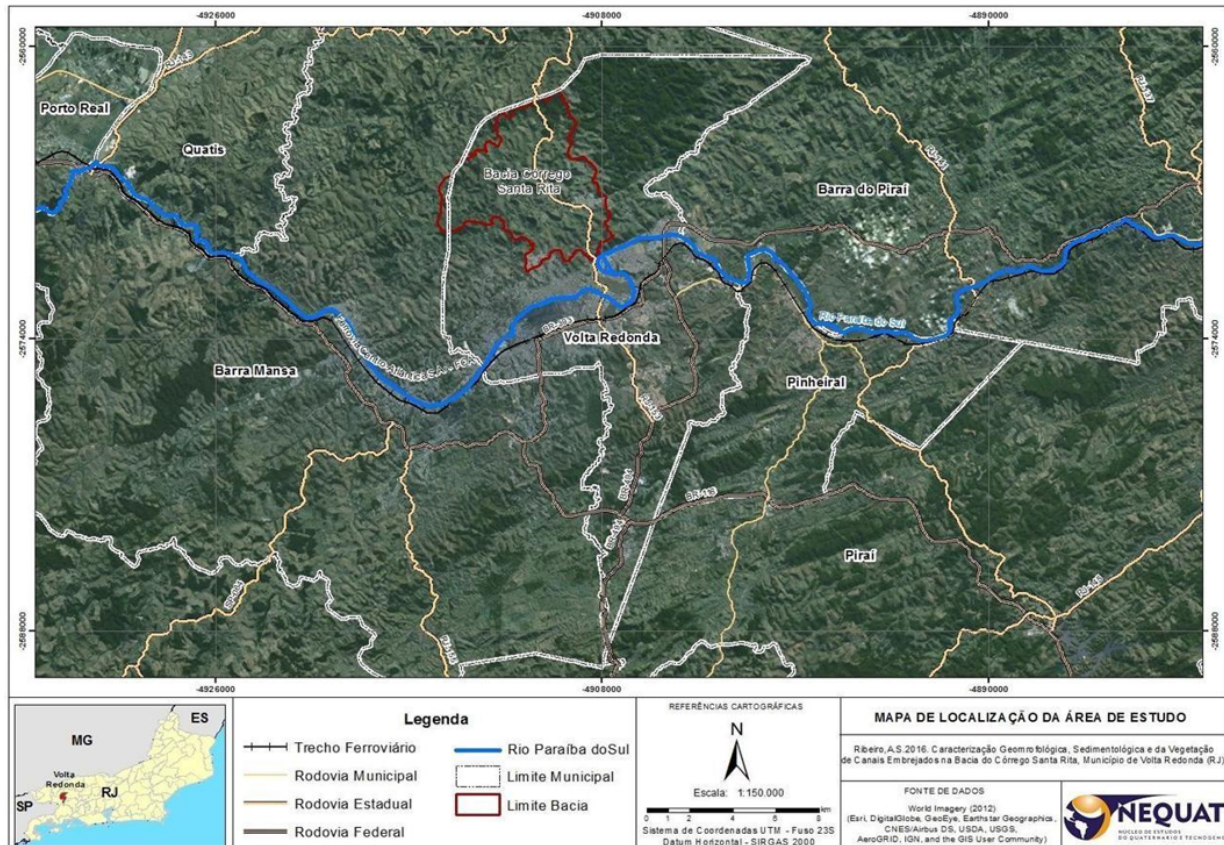
A área de estudo compreende a bacia do Córrego Santa Rita, afluente da margem norte do rio Paraíba do Sul (Figura 1), onde foi realizado, como primeira etapa da investigação, um reconhecimento preliminar dos canais embrejados. Esta etapa envolveu a análise de materiais cartográficos, imagens de satélite e trabalhos de campo com observação direta das condições geomorfológicas locais e coleta da vegetação ripária, que levaram à identificação de diferentes tipos de canais embrejados com base em suas características morfológicas, ecológicas e de uso da terra.

Na etapa seguinte, selecionamos sub-bacias representativas da diversidade de ambientes identificados, bem como segmentos de canais embrejados de interesse,



visando definir locais de análise dos diferentes tipos reconhecidos, a partir do detalhamento das características geomorfológicas, da vegetação e da sedimentação nos canais.

FIGURA 1 - Localização da bacia hidrográfica Córrego Santa Rita (delimitada em vermelho), tributária do Rio Paraíba do Sul, no município de Volta Redonda (RJ), com visualização dos municípios vizinhos e das principais vias de acesso.



FONTE: Autores (2025).

A caracterização geomorfológica envolveu o mapeamento de feições deposicionais e a análise de seções transversais ao vale, e a análise da vegetação contemplou a identificação das famílias, a descrição da parte aérea (altura, densidade, diâmetro médio, biomassa seca) e do sistema radicular das plantas (extensão, espessura e densidade das raízes). Para a caracterização dos depósitos sedimentares foram coletados testemunhos nos canais embrejados, e efetuados a descrição de perfis, análises granulométricas e de outros parâmetros sedimentológicos (ver Ribeiro, 2016). Visando avaliar os efeitos da ocupação na bacia do Córrego Santa Rita e nas sub-bacias em análise sobre a dinâmica os canais embrejados, foi executado, em outra etapa, um mapeamento do uso e cobertura da terra, de forma semiautomática, com base no ortofotomosaico de 2009 em escala 1:25.000, disponível para *download* no site do IBGE, escolhido devido ao excelente grau



de detalhamento destas imagens. Os procedimentos adotados em todas as etapas foram conduzidos visando a compreensão integrada do papel dos canais embrejados na conectividade hidrossedimentar e no funcionamento dos sistemas fluviais formadores da rede de drenagem na região.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises realizadas a partir da interpretação de imagens e dos levantamentos de campo permitiram identificar transformações significativas nos canais embrejados da bacia hidrográfica em estudo, resultantes do uso da terra e do manejo dos solos na região. Tais transformações, associadas às práticas agropecuárias e à urbanização, influenciam diretamente a composição da vegetação, a estrutura dos canais fluviais e seu entorno. Identificamos, assim, três tipos distintos de canais embrejados nas áreas rurais (Quadro 1):



- a. Canais embrejados sem intervenções diretas aparentes (tipo 1 - Embrejado), caracterizados pela ausência de modificações como barramentos ou escavações, onde a vegetação predominante é composta por *Typha*, com presença menos expressiva de *Hedychium* e gramíneas; geralmente situados em vales confinados ou parcialmente confinados, possuem calha não definida visualmente;
- b. Canais embrejados modificados por criação de calha artificial no seu interior (tipo 2 - Retificado), devido a intervenções realizadas por pecuaristas para drenar o fundo de vale, e assim aumentar a área disponível para uso com pastagens, cultivos ou edificações; também encontrados predominantemente em vales confinados e parcialmente confinados, apresentam vegetação com menor porte, como *Brachiaria*, *Hedychium* e *Eleocharis*.
- c. Canais embrejados com barragens construídas ao longo do seu curso (tipo 3 - Barragem), formando pequenos reservatórios utilizados para atividades agropecuárias ou para abastecimento doméstico, nos quais é comum a presença de vegetação aquática nas bordas dos corpos d'água, especialmente *Typha*, e também de plantas flutuantes no seu interior; ocorrem em todos os ambientes de vale.

As distintas formas de ocupação, uso da terra e graus de conservação ambiental fundamentaram a seleção de trechos de canal em três sub-bacias escolhidas para análises detalhadas (Figura 2, 4 e 6).

Na sub-bacia Santa Luzia I, localizada na porção norte da bacia do Córrego Santa Rita (Figura 2), destaca-se a expressiva presença de feições deposicionais quaternárias. O canal principal apresenta diferentes configurações de vale ao longo de seu percurso: no alto curso, é largo, estreitando-se no médio curso e voltando a se alargar próximo à confluência com outro tributário.



QUADRO 1 - Tipos de canais embrejados identificados na bacia hidrográfica do Córrego Santa Rita, Volta Redonda (RJ). Fonte: Modificado de Ribeiro (2016).

TIPO	VEGETAÇÃO	AMBIENTE DE VALE	CALHA	INTERVENÇÃO	VISUALIZAÇÃO
1 EMBREJADO	De maior porte; predomínio de <i>Typha</i> e <i>Hedychium coronarium</i> , dentre outros	Vales Confinados e Parcialmente Confinados	Não Definida	Sem intervenções estruturais	
2 RETIFICADO	De menor porte; gramíneas diversas e touceiras de <i>Eleocharis</i> sp	Vales Não Confinados e Parcialmente Confinados	Definida	Escavação de calhas de drenagem para expansão de terrenos secos	
3 COM BARRAGEM	Macrófitas nas bordas da represa (predomínio de <i>Typha</i>) e macrófitas flutuantes no interior da represa	Todos os tipos de Vales	Não Definida	Represamento de canais com barragens visando captação de água	

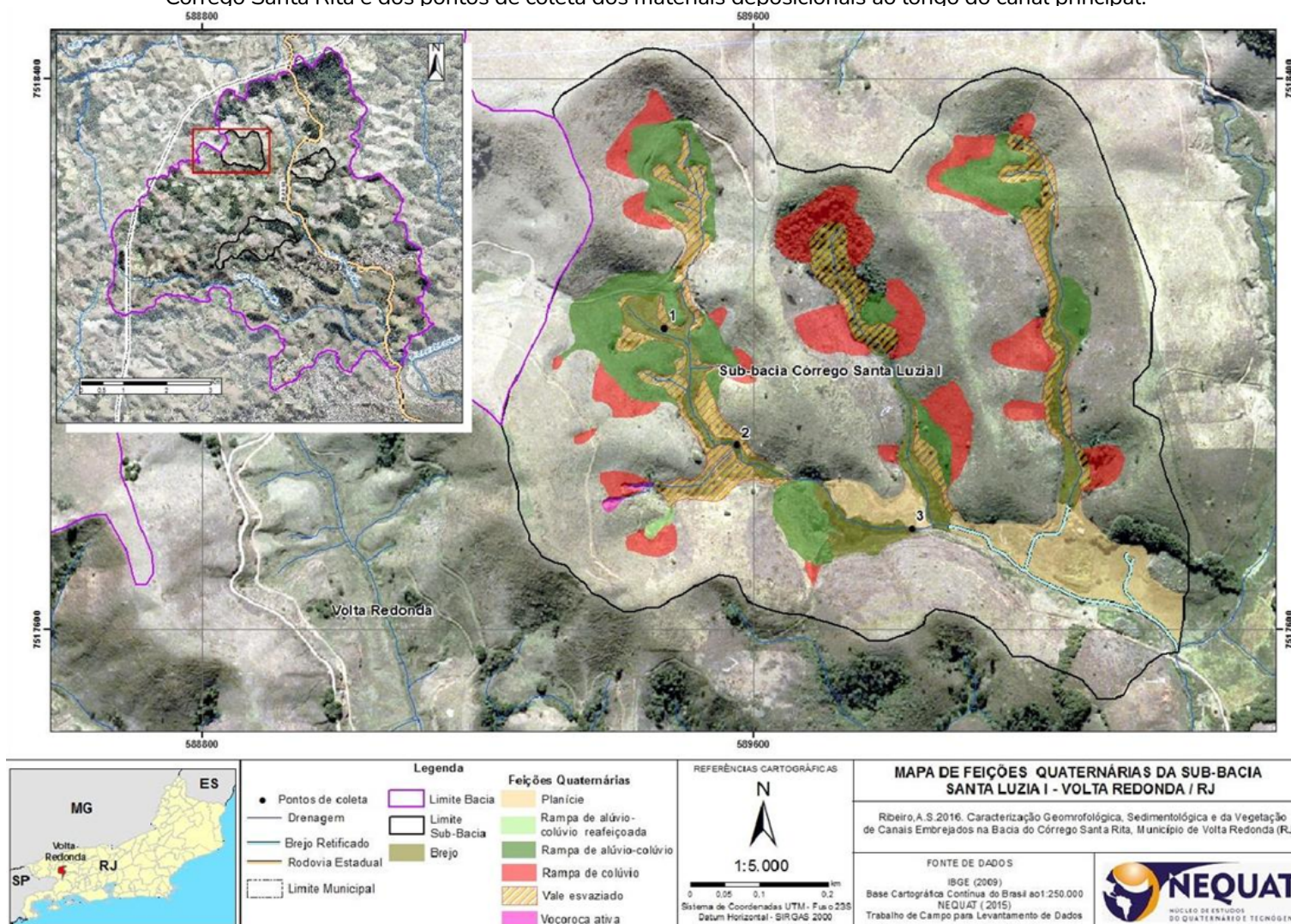
FONTE: Autores (2025)

A variação no perfil longitudinal e na largura do vale influenciam a dinâmica hidrossedimentar e a distribuição da vegetação, observando-se, nas cabeceiras, o predomínio de rampas de alúvio-colúvio preenchendo as reentrâncias dos anfiteatros e fundo de vale, nos trechos confinados de vale a exposição do embasamento cristalino, e a presença de planícies nas áreas parcialmente confinadas. Na rede de drenagem desta sub-bacia observa-se, no alto curso, a ocorrência de trechos em que voçorocas remontantes se conectam com trechos de canal inciso, transicionando no médio curso para canal embrejado (tipo 1) que, no baixo curso, se apresenta retificado (tipo 2).

A vegetação presente nos canais embrejados da sub-bacia Santa Luzia é marcada pelo predomínio de *Typha*, comumente encontrada em ambientes úmidos e reconhecida por sua elevada capacidade de colonização em condições favoráveis (Joly, 1991). Fisicamente, a *Typha* apresenta parte aérea com elevada densidade e biomassa variável, influenciada pelas condições hídricas sazonais. O sistema radicular é composto predominantemente por raízes finas e curtas, com alta densidade de fibras, o que contribui para a retenção de sedimentos e o acúmulo de matéria orgânica, desempenhando um papel importante na regulação dos fluxos de água e sedimentos no fundo do vale (Thomaz et al., 2006; Esteves, 2011). Durante períodos de estiagem, essa vegetação apresenta adaptações, como a redução da densidade da parte aérea, perda de folhas e retração das raízes superficiais, como forma de enfrentar as limitações hídricas (Esteves, 2011).



FIGURA 2 - Mapa de feições deposicionais quaternárias, feições erosivas e canais embrejados na sub-bacia Santa Luzia I, com sua localização na bacia do Córrego Santa Rita e dos pontos de coleta dos materiais deposicionais ao longo do canal principal.

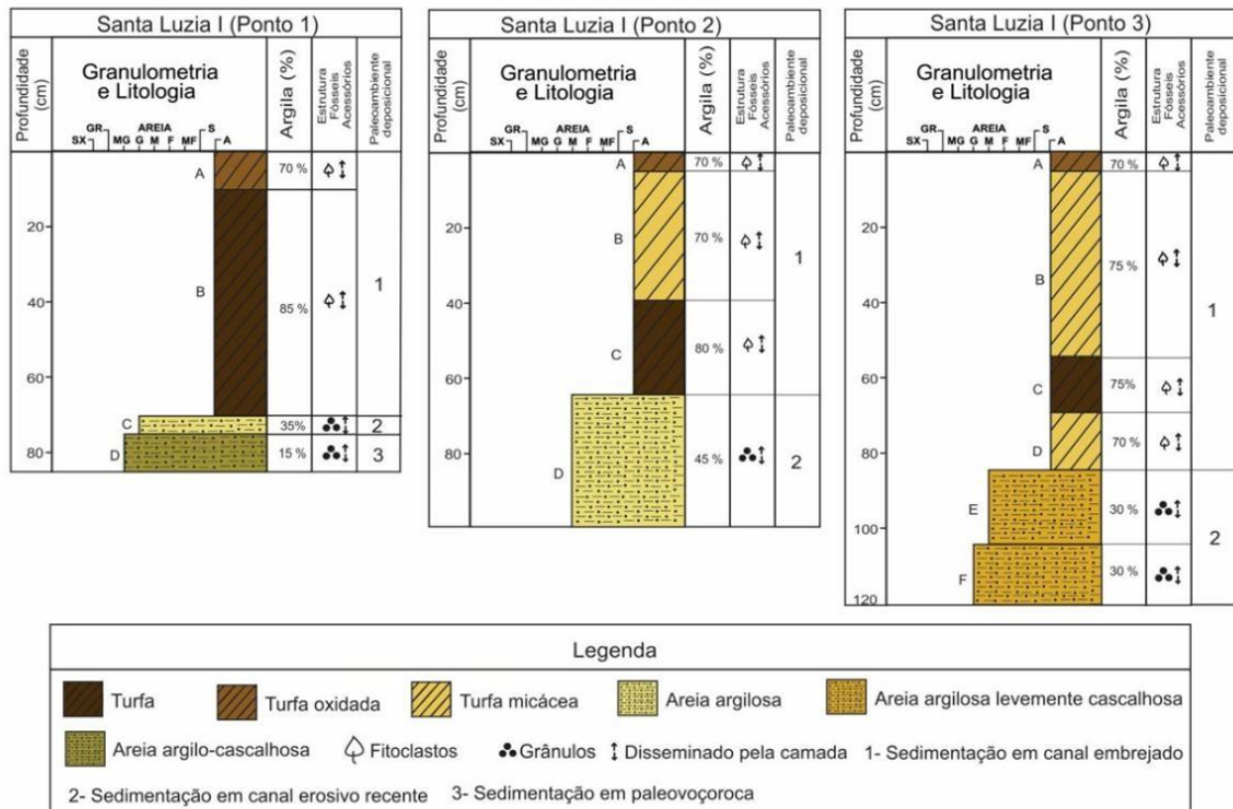


FONTE: Ribeiro (2025).



Os testemunhos obtidos nos canais embrejados da sub-bacia Santa Luzia I (Figura 3) indicam a predominância de camadas de turfa de espessura variável, sobrepostas a sedimentos arenosos e argilosos. Essas turfas são compostas por elevado teor de matéria orgânica, incluindo restos de folhas e raízes em diversos estágios de decomposição, além de minerais como muscovita, quartzo e feldspato na fração mineral.

FIGURA 3 - Perfis sedimentares dos testemunhos coletados ao longo do canal embrejado principal da sub-bacia Santa Luzia I, Volta Redonda (RJ).



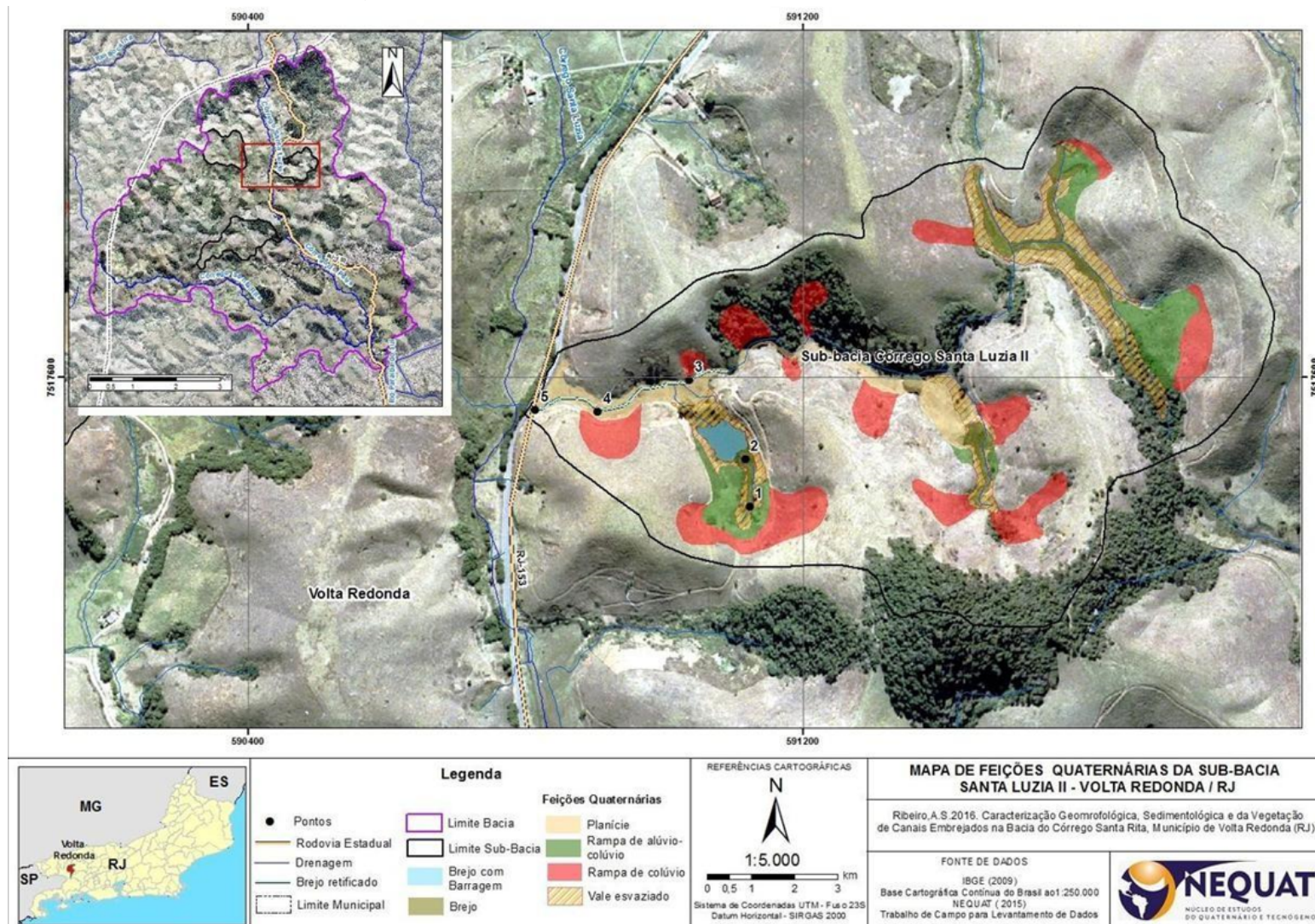
FONTE: Ribeiro (2025).

As camadas inferiores, de maior granulometria e menor teor de matéria orgânica, evidenciam registros de antigos episódios erosivos que antecederam a formação dos brejos atuais. A presença de camadas arenosas mal selecionadas e com grãos angulosos indica fases de maior energia nos fluxos de água, associados a eventos de entalhamento do vale e transporte de material proveniente das encostas. As camadas de turfa micácea, por sua vez, sugerem a contribuição de processos erosivos localizados, como por exemplo de voçorocas presentes nas encostas adjacentes, que atingem o embasamento cristalino alterado.

Na sub-bacia Santa Luzia II, também situada na porção norte da bacia do Córrego Santa Rita (Figura 4), se destacam as feições de fundos de vale esvaziados e rampas de colúvio, enquanto as rampas de alúvio-colúvio, planícies e canais embrejados mostram-se mais restritas.



FIGURA 4 - Mapa de feições deposicionais quaternárias, feições erosivas e canais embrejados na sub-bacia Santa Luzia II, com sua localização na bacia do Córrego Santa Rita e dos pontos de coleta dos materiais deposicionais.



FONTE: Ribeiro (2025).



O canal principal apresenta-se, no alto curso, como um canal embrejado do tipo 1, recebendo fluxos de sedimentos provenientes de canais erosivos localizados nas cabeceiras de drenagem. No médio curso, apresenta morfologia de canal inciso em um vale parcialmente confinado, o que indica maior energia fluvial e processos de entalhamento. No baixo curso, assume as características de um canal embrejado do tipo 2 em uma área de planície aluvial, trecho em que ocorre a confluência com um tributário classificado como do tipo 3. Neste afluente foram selecionados três pontos de análise, distribuídos longitudinalmente ao longo do canal, sendo também escolhidos mais dois pontos situados a jusante da confluência, no canal principal.

A vegetação associada aos canais embrejados na sub-bacia Santa Luzia II é fortemente influenciada pelas atividades humanas. Nas planícies predomina *Hedychium* e nas porções onde o canal é represado, a saturação do solo favorece o desenvolvimento de macrófitas como a *Typha*, que passam a predominar. Essa transição também se reflete em características como biomassa, altura da vegetação e volume radicular, que tendem a aumentar à medida que o ambiente se torna mais úmido e estável. Apesar das diferenças na parte aérea, o sistema radicular das plantas apresenta predomínio de raízes finas e curtas. Nos canais retificados, a vegetação apresenta fisionomia distinta, devido ao domínio de gramíneas após a escavação das calhas.

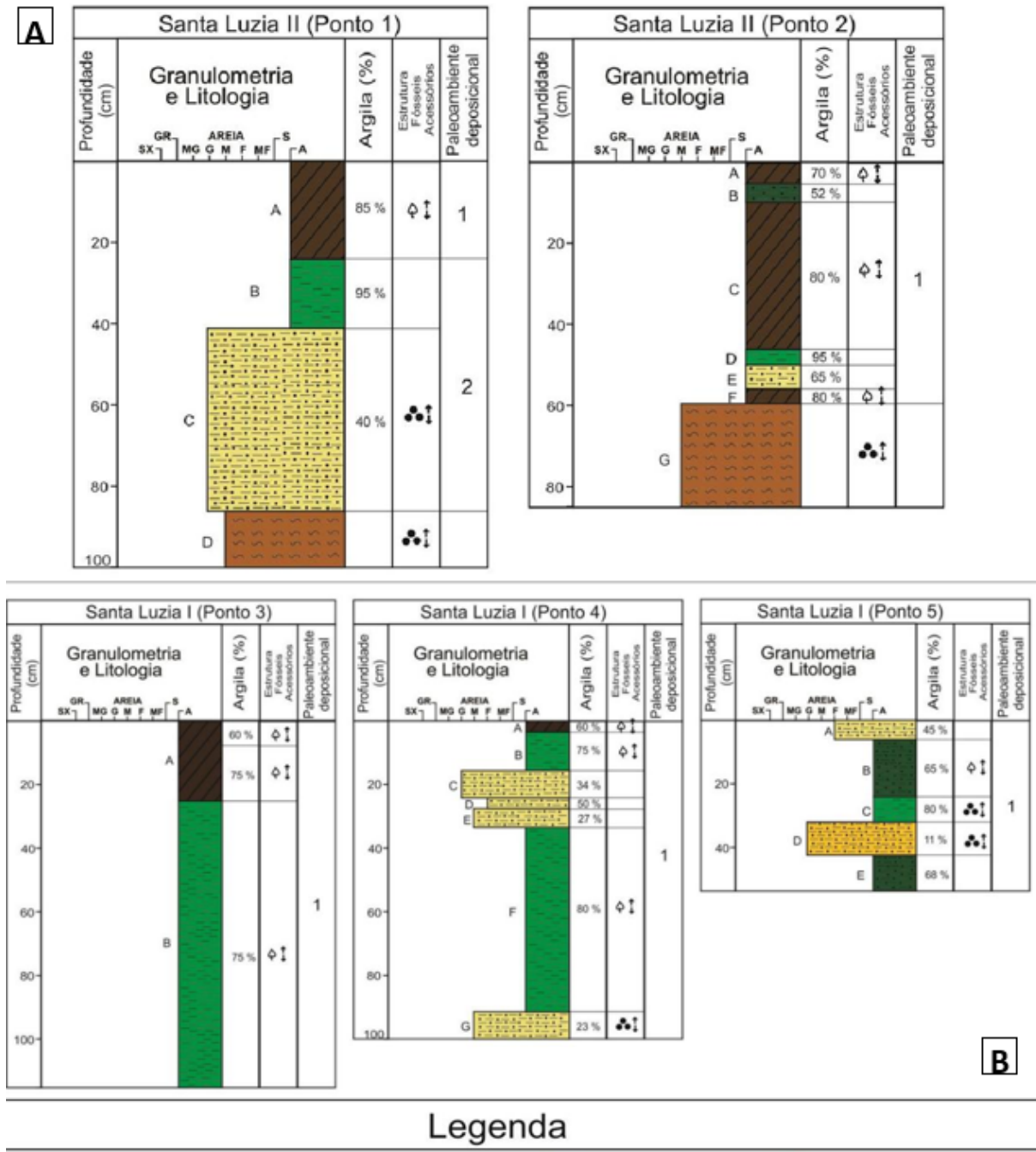
Os testemunhos sedimentares (Figura 5) revelam a presença de materiais que refletem tanto a história evolutiva quaternária da paisagem como as intervenções humanas recentes. Observa-se, nos perfis sedimentares apresentados, que nos canais com barragem (Figura 5A) ocorrem camadas de turfa ricas em matéria orgânica sobrepostas a sedimentos arenosos e argilosos com presença de mica, quartzo e feldspato. Essas camadas indicam períodos de baixa energia associados à deposição de material orgânico, seguidos por fases de maior velocidade dos fluxos, com transporte de sedimentos grosseiros provenientes das encostas e do fundo de vale. A presença de embasamento cristalino alterado na base dos perfis confirma a proximidade do substrato rochoso indicada pelos minerais presentes nos depósitos arenosos e argilosos.

Já nos canais retificados (Figura 5B), o padrão sedimentar é distinto. As camadas orgânicas são mais escassas e intercaladas com materiais de granulometrias variadas, indicando maior variabilidade no regime de fluxos e menor acúmulo de matéria orgânica. Isso é interpretado como resultado da escavação e manejo recorrente das calhas, que reduzem a vegetação aquática e aumentam a mobilização de sedimentos arenosos

Com a estabilização do canal e o retorno gradual das macrófitas, observa-se uma tendência à deposição de sedimentos mais finos e de matéria orgânica, o que favorece a reconstrução das condições típicas de um canal embrejado do tipo 1.



FIGURA 5 - (A) Perfis sedimentares dos testemunhos coletados em canal embrejado com barragem (tipo 3) e (B) em trecho de canal embrejado retificado (tipo 2) na sub-bacia Córrego de Santa Luzia II, Volta Redonda (RJ).



FONTE: Ribeiro (2025).

Na terceira sub-bacia analisada, denominada Córrego do Peixe, localizada na porção centro-oeste da bacia do Córrego Santa Rita (Figura 6), identificou-se considerável diversidade de feições deposicionais quaternárias, evidenciando a atuação de processos deposicionais e erosivos ao longo do tempo. Os canais embrejados também



ocupam uma porção relevante da paisagem, com destaque para o canal principal, que se mantém embrejado ao longo de parte significativa do seu percurso, especialmente no segmento das cabeceiras até o médio curso, onde se observa a preservação de feições associadas a rampas e terraços.

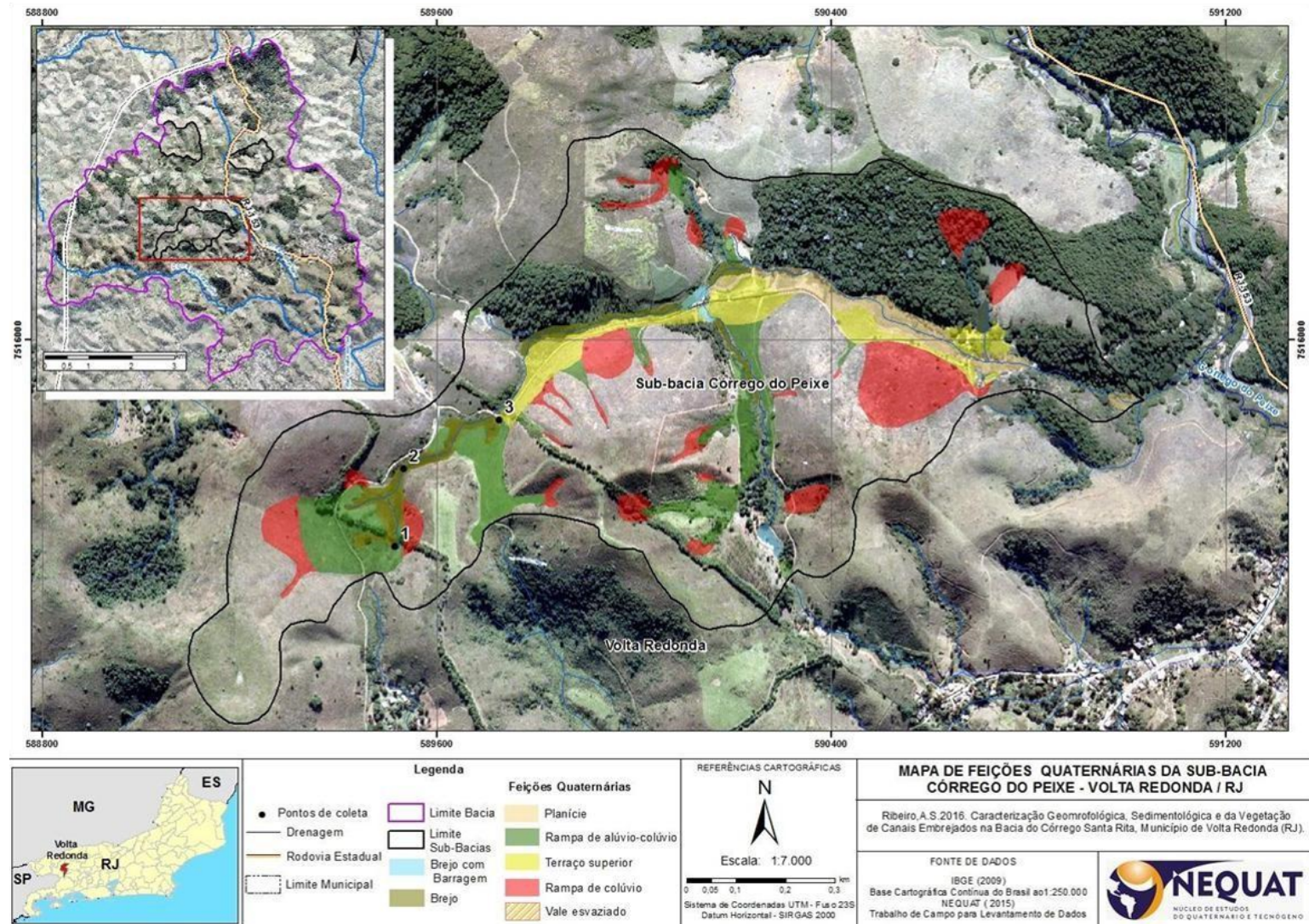
O canal principal apresenta variações em seu perfil longitudinal e mudanças no padrão de confinamento do vale. No trecho a montante voçorocas remontantes contribuem para o fornecimento de sedimentos e para a conformação da morfologia do fundo de vale. Em direção ao médio curso, observa-se a estabilização das margens, com rampas de alúvio-colúvio preservadas, indicando uma condição de equilíbrio entre processos erosivos e deposicionais. Em todos os trechos predomina, na vegetação, o gênero *Typha*, apresentando, na sua parte aérea, variações sazonais de densidade, biomassa e altura das plantas.

Os depósitos sedimentares identificados pelos testemunhos realizados nesta sub-bacia (Figura 7) são compostos por camadas de turfa sobrepostas a sedimentos arenosos e argilosos, com variações nos teores de matéria orgânica e granulometria. As turfás localizadas nas camadas superiores apresentam fragmentos vegetais em diferentes estágios de decomposição, indicando sua formação a partir do acúmulo e decomposição de folhas e raízes em ambiente brejoso. Abaixo das turfás há ocorrência de sedimentos mais grosseiros, como areias argilosas com fragmentos minerais e orgânicos, indicando fases anteriores de maior energia fluvial, e também a presença de materiais associados a paleocanais erosivos, que antecederam a formação dos brejos atuais. Estes depósitos arenosos, mal selecionados, com grânulos angulosos, indicam episódios de maior velocidade de fluxo e retrabalhamento de materiais oriundos das encostas e do próprio fundo de vale.

Em maiores profundidades encontramos camadas compostas por argilas maciças ricas em matéria orgânica, que estão associadas ao preenchimento de reentrâncias e fundos de vale durante o Evento Manso (Mello, 1992). Análises mineralógicas realizadas (Ribeiro, 2016) indicaram a presença de caulinita, gibbsita, muscovita, anortita e albita, composição mineralógica que sugere múltiplas origens.



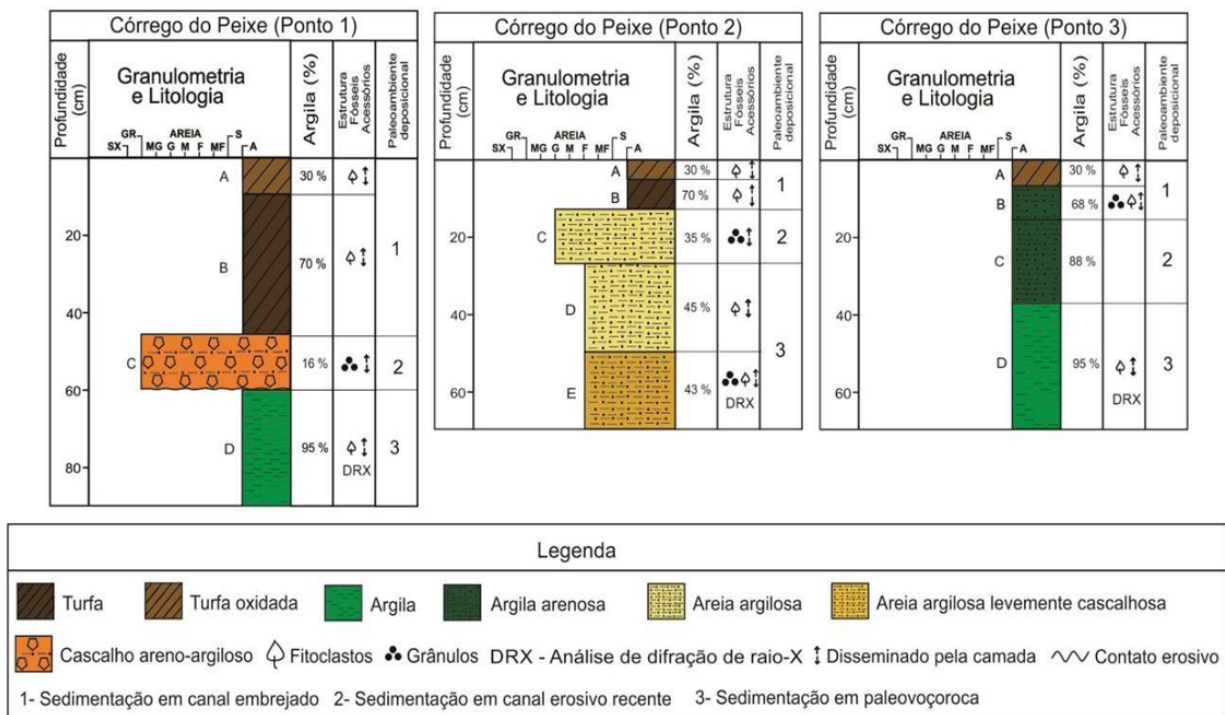
FIGURA 6 - Mapa de feições deposicionais quaternárias, feições erosivas e canais embrejados na sub-bacia Córrego do Peixe, com sua localização na bacia do Córrego Santa Rita e dos pontos de coleta dos materiais deposicionais.



FONTE: Ribeiro (2025).



FIGURA 7 - Perfis sedimentares dos testemunhos coletados em canais embrejados (tipo 1) na sub-bacia Córrego do Peixe, Volta Redonda (RJ).



FONTE: Ribeiro (2025)

A proveniência de materiais tanto do intemperismo de rochas cristalinas quanto da mobilização de depósitos coluviais mais antigos que compõem as coberturas sedimentares presentes nas encostas revela a complexidade do ambiente sedimentar e os distintos processos que atuaram na formação do substrato atual dos canais embrejados.

Outro aspecto marcante observado na sub-bacia Córrego do Peixe é a variação na espessura das camadas de turfa ao longo do canal embrejado, sendo mais espessas nas áreas de cabeceira e afinando em direção ao médio e baixo curso. Esta redução para jusante pode estar relacionada à maior declividade em alguns trechos do vale e a intervenções como retificação de calhas com remoção da vegetação, que restringem o acúmulo de matéria orgânica, além de reduzirem a área disponível para a deposição.

As características geomorfológicas e os perfis sedimentares analisados evidenciam que os brejos estão concentrados nos fundos de vale esvaziados e em reentrâncias de cabeceiras de drenagem com baixa declividade. Estas áreas úmidas estão intrinsecamente ligadas, assim, aos depósitos e morfologias associados à Aloformação Manso, que preenchem antigas linhas de drenagem entulhadas, atualmente sendo entalhadas por canais erosivos remontantes (voçorocas conectadas à rede de drenagem, conforme Moura, Peixoto e Silva, 1991) que tendem a atingir o lençol freático.



Os registros sedimentares documentam, também, a ocorrência de processos deposicionais e erosivos recentes que, junto com as práticas de drenar os ambientes de brejo, impactam significativamente o seu equilíbrio ecológico e geomorfológico.

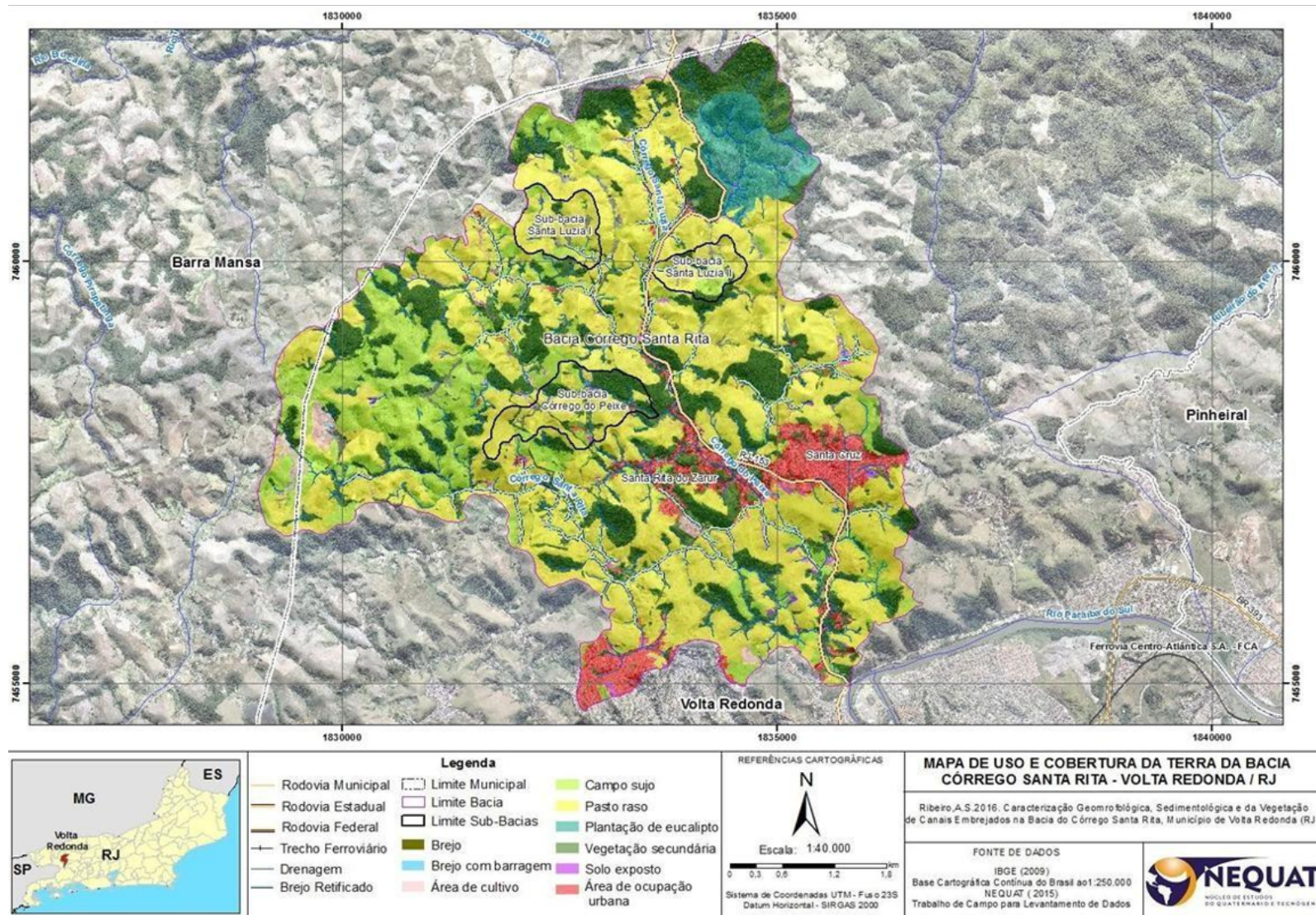
Os ambientes de brejo correspondem a uma feição significativa no contexto da bacia hidrográfica do Córrego Santa Rita (Figura 8, Tabela 1), tendo maior concentração espacial nas porções norte e oeste desta bacia, onde também predominam as áreas de campo sujo e a atividade agropecuária é menos atuante. Este comportamento evidencia a pressão exercida por práticas agropecuárias sobre o desenvolvimento e manutenção dos brejos, uma vez que onde não ocorre um manejo constante das pastagens há um restabelecimento gradual de formações vegetais mais diversas, tendência observada inclusive ao longo do período de execução dos levantamentos de campo.

Dois núcleos urbanos se destacam na bacia, constituindo outro importante vetor de pressão sobre os brejos. O que está localizado nas porções central e leste articula-se com a expansão urbana associada à rodovia BR 494, e abriga bairros mais consolidados e interligados ao tecido urbano da cidade. O que está situado na porção sudoeste da bacia representa uma expansão recente da malha urbana, marcada pela implantação de conjuntos habitacionais populares. Ambos apresentam ocupação majoritariamente residencial e exercem pressão crescente sobre as áreas úmidas. A distribuição espacial mais esparsa dos brejos nos setores sul e leste da bacia é atribuída, assim, à urbanização, às intervenções para drená-los e à substituição da vegetação arbustiva ou arbórea por pastagens e cultivos.

Apesar de a área total ocupada por brejos com barragens ser relativamente pequena (Tabela 1), sua ocorrência disseminada por toda a bacia reflete as múltiplas demandas pelo uso dos recursos hídricos locais. O cultivo de hortaliças em pequenas lavouras concentra-se no sul e no oeste da bacia, ocupando principalmente planícies aluviais e encostas de menor declividade, mais acessíveis e favoráveis à agricultura familiar. As áreas de solo exposto distribuem-se de forma fragmentada por toda a bacia, correspondendo a estradas sem pavimentação, áreas com terraplanagem, obras e cicatrizes de escorregamentos e de feições erosivas aceleradas, indicando dinâmicas de transformação no uso da terra e na cobertura vegetal.



FIGURA 8 - Mapa de uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do Córrego Santa Rita, elaborado com base em ortofotos do ano de 2009.



FOONTE: Ribeiro (2025).



TABELA 1 - Classes de cobertura e uso da terra identificadas na bacia hidrográfica Córrego Santa Rita, Volta Redonda (RJ), com base em ortofotos do ano de 2009.

CLASSE DE USO	ÁREA (KM ²)	ÁREA (%)
ÁREA DE CULTIVO	0,25	0,77
CAMPO SUJO	5,14	15,59
FLORESTA SECUNDÁRIA	7,56	22,94
PASTO RASO	15,18	46,07
PLANTAÇÃO DE EUCALIPTO	1,23	3,73
SOLO EXPOSTO	0,34	1,02
URBANO	2,02	6,12
BREJO	1,19	3,61
BREJO COM BARRAGEM	0,05	0,15
ÁREA TOTAL DA BACIA	32,96	100,00

FONTE: Ribeiro (2025).

Nas sub-bacias analisadas, o uso predominante da terra é o pasto raso, que ocupa quase a metade da área total da bacia do Córrego Santa Rita. Na sub-bacia Santa Luzia I há predomínio acentuado dessa classe, seguido por áreas de campo sujo e de brejo. A presença de floresta secundária e solo exposto é reduzida, refletindo o manejo contínuo dos pastos e a baixa incidência de processos erosivos visíveis.

Nas demais sub-bacias ocorrem variações nas composições de uso e cobertura, sendo na sub-bacia Santa Luzia II evidente a combinação de pastagens, áreas em regeneração e trechos de brejo, enquanto na sub-bacia do Córrego do Peixe observamos uma maior proporção de canais embrejados e um menor grau de intervenções humanas. Nesse último caso, a ausência de canais retificados está associada à descontinuidade do uso agropecuário e ao maior isolamento da área.

Considerando que as áreas de plantio de eucalipto se mostram até o momento concentradas no setor norte da bacia do Córrego Santa Rita, em sub-bacias com vales estreitos e encaixados, identifica-se que as práticas empregadas atualmente no manejo agrícola e na pecuária têm contribuído para a redução das áreas embrejadas, e impedido a recuperação dos brejos.

De modo inverso, observamos a existência de trechos de canal e sub-bacias com condições propícias à manutenção ou regeneração da vegetação e ao desenvolvimento de ecossistemas brejosos em fundos de vale e reentrâncias de cabeceiras de drenagem, como no oeste da bacia. Essas áreas têm papel fundamental na manutenção na regulação hídrica da bacia hidrográfica, devido à capacidade de estocar sedimentos, reter água e mediar a conectividade lateral entre encostas e canais (Mello, 2006; Del Pozo, 2011).



Conforme apontam Guimarães e Felipe (2021) a hidrogeografia das áreas úmidas em domínios colinosos é de grande complexidade por integrar aspectos do meio físico-natural e socio-econômico-cultural que engendram esses sistemas. Assim, é necessário compreender também o relevo tecnogênico na sua dinâmica de transformações.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises efetuadas na bacia do Córrego Santa Rita possibilitaram individualizar três tipos de canais embrejados, cujas características refletem as condições ambientais e os diferentes graus de intervenções humanas. O tipo 1 é marcado pelo predomínio de vegetação do gênero *Typha*, característica de ambientes de alta umidade, propiciando a formação e conservação de depósitos orgânicos (turfa), e apresentam maior capacidade de estocagem de água e de redução no transporte de sedimentos para os canais coletores, contribuindo para a manutenção do equilíbrio ambiental, sendo mais frequente em áreas de campo sujo. O tipo 2 é um padrão frequente em áreas de pastagem, sendo caracterizado pela retificação dos canais fluviais embrejados, com remoção parcial ou total da vegetação original, instalando-se vegetação composta predominantemente por *Brachiaria*, *Hedychium* e *Eleocharis*. Os depósitos de turfa se mostram menos conservados, intercalados com camadas de argila e areia devido à intensificação do fluxo do canal, que impacta o equilíbrio sedimentar da bacia. O tipo 3 corresponde a canais com presença de barragem, com o desenvolvimento de *Typha* favorecido nas áreas úmidas próximas às águas represadas e predomínio de *Hedychium* nos trechos mais afastados. Caracterizam-se pela deposição simultânea de turfa, argila e areia, refletindo as variações nas condições ambientais impostas pela estrutura da barragem, bem como pelo uso agrícola e pecuário.

Os registros sedimentares analisados indicam que os brejos se configuram como importantes arquivos da evolução ambiental na região do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul, armazenando materiais orgânicos e minerais em diferentes estágios de decomposição e intemperismo. O uso e cobertura da terra influenciam diretamente a configuração e o funcionamento desses ambientes, com destaque para o avanço da regeneração natural em áreas de abandono das atividades agropecuárias.

Considerando estes aspectos, a conservação e recuperação dos canais embrejados devem ser priorizadas em políticas públicas voltadas à conservação dos recursos hídricos, visto que desempenham papel essencial na regulação do escoamento superficial, estocagem de sedimentos, manutenção da biodiversidade e da qualidade da água. A vegetação associada a esses canais apresenta importante capacidade adaptativa às variações sazonais, favorecendo a recuperação de áreas degradadas.



Um maior conhecimento sobre a funcionalidade hidro sedimentar e ecológica e o desenvolvimento de técnicas de mapeamento automático das áreas embrejadas mostram-se, assim, caminhos importantes para subsidiar a elaboração de estratégias de manejo sustentável de bacias hidrográficas no contexto dos domínios colinosos do Sudeste brasileiro. A manutenção dos ambientes brejosos poderá contribuir para o sequestro de carbono, o aumento da biodiversidade e a resiliência dos sistemas fluviais frente aos eventos extremos climáticos, tornando-se elementos estratégicos no planejamento ambiental.

Agradecimentos:

A equipe do Núcleo de Estudos em Quaternário & Tecnógeno (NEQUAT)-IGEO/UFRJ, pelo apoio técnico e científico essencial para o desenvolvimento das atividades de campo e gabinete; ao Laboratório de Geologia Sedimentar (LAGESED)-IGEO/UFRJ pelo suporte e colaboração na descrição sedimentológica e nas análises laboratoriais, em especial aos geólogos Thiago Carelli, Josiane Plantz e Douglas Rosa e aos técnicos Roberto Lima e Romildo Nascimento; ao Laboratório Espaço de Sensoriamento Remoto e Estudos Ambientais pelo apoio nas etapas de mapeamento do uso e cobertura da terra; à CAPES pela bolsa concedida durante a realização da pesquisa de Mestrado no PPGG/UFRJ.



REFERÊNCIAS

- BRIERLEY, G. J. & FRYIRS, K. River Styles, a Geomorphic Approach to Catchment Characterization: Implications for River Rehabilitation in Bega Catchment, New South Wales, Australia. **Environmental Management**, 25(6): 661- 679, 2000.
- BRIERLEY, G. J.; FRYIRS, K. A. **Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework**. Malden, MA; Oxford, UK: Blackwell Publishing, 2005, 398 p.
- DEL POZO, I.F.S. **Modelagem de conectividade da paisagem com base na análise espacial de variáveis geomorfológicas e cobertura da terra em bacias hidrográficas – Municípios de Volta Redonda e Pinheiral (RJ)**. Dissertação (Mestrado em Geografia), Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 133p., 2011.
- ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.
- GUIMARÃES, I.P.M.B.; FELIPPE, M.F. Abordagem Hidrogeográfica da Ocorrência e Formação de Áreas Úmidas no Domínio dos “Mares de Morro”. **Espaço & Geografia**, vol.24, n.1, p. 109-131, 2021.
- JOLY, C. A. Fundamentos de ecologia. In: **Biologia Vegetal**. São Paulo: Edgard Blücher. 1991. p. 387–411.
- MEIS, M.R.M.; MOURA, J.R.S. Upper Quaternary Sedimentation and Hillslope Evolution: Southeastern Brazilian Plateau. **Amer. Journ Sci**, v. 284, p. 241-254, 1984.
- MELLO, E.V. **Alterações Tecnogênicas em Sistemas Fluviais no município de Volta Redonda, Médio Vale do Rio Paraíba do Sul Fluminense**. Dissertação (Mestrado em Geografia), Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Rio de Janeiro, 161p., 2006.
- MELLO, C.L. **Fácies Sedimentares, Arquitetura Depositional e Relações Morfoestratigráficas em um Sistema de Leques Aluviais Holocênicos: Aloformação Manso- Médio vale do rio Paraíba do Sul (SP/RJ)**. Dissertação (Mestrado em Geologia) Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 188p., 1992.
- MOURA, J. R. S.; PEIXOTO, M. N. O.; SILVA, T. M. Geometria do relevo e estratigrafia do Quaternário como base à tipologia de cabeceiras de drenagem em anfiteatro – médio vale do rio Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 21, n. 3, p. 255-265, set. 1991.
- PEIXOTO, M.N.O.; CESÁRIO, F.V; PIMENTEL, M.L.; MELLO, E.V.; OLIVEIRA, D.F.P. Identificação de Estilos de Rios em bacias de Drenagem Inseridas em Compartimentos de Colinas - Médio Vale do Rio Paraíba do Sul (RJ). **Revista de Geografia**, 27(3): 347-362 (Edição especial do VII SINAGEO), 2010.
- RIBEIRO, A.S. **Caracterização geomorfológica, sedimentológica e da vegetação de canais embrejados na bacia Córrego Santa Rita, Município de Volta Redonda (RJ)**. Dissertação (Mestrado em Geografia) Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 162p., 2016.
- THOMAZ, S. M.; BINI, L. M.; BOZELLI, R. L. **Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas**. Maringá: Eduem, 2006.