



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA - UFPB
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA - CCEN
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA – PPGG

INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NA DISTRIBUIÇÃO DE CRIAS DE MURÇOMES EM MATAS CISTERNAS

Camilla Teixeira da Silva Santos

João Pessoa - PB
Fevereiro de 2016

CAMILLA JERSSICA DA SILVA SANTOS

INFLUÊNCIA DA SAZONALIDADE ECO-HIDROLÓGICAS E
BIOGEOMORFOLÓGICA EM RIOS NÃO PERENES

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia (PPGG)- Departamento de Geociências da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutora em Geografia

Área de concentração: Território, Trabalho e Ambiente

Linha de pesquisa: Gestão do Território e Análise Geoambiental.

Orientador: Prof. Dr. Jonas Otaviano Praça De Souza.

João Pessoa – PB
Fevereiro de 2026

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S237i Santos, Camilla Jerssica da Silva.

Influência da sazonalidade eco-hidrológicas e
biogeomorfológica em rios não perenes / Camilla
Jerssica da Silva Santos. - João Pessoa, 2026.
150 f.

Orientação: Jonas Otaviano Praça de Souza.
Tese (Doutorado) - UFPB/CCEN.

1. Vegetação ripária. 2. Semiárido. 3.
Monitoramento. I. Souza, Jonas Otaviano Praça de. II.
Título.

UFPB/BC

CDU 911(813.3)(043)

Universidade Federal da Paraíba
Centro de Ciências Exatas e da Natureza
Programa de Pós-graduação em Geografia
Cursos de Mestrado e Doutorado em Geografia

“Influência da Sazonalidade Eco-Hidrológicas e Biogeomorfológica em Rios Não Perenes.”

por

Camilla Jerssica da Silva Santos

Tese de Doutorado apresentada ao Corpo Docente do Programa de Pós-graduação em Geografia do CCEN-UFPB, como requisito total para obtenção do grau de Doutora em Geografia.

Área de concentração: Território, trabalho e Ambiente.

Aprovado por:

Prof. Dr. Jonas Otaviano Praça de Souza
Orientador



Documento assinado digitalmente
JONAS OTAVIANO PRAÇA DE SOUZA
Data: 02/03/2026 10:52:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Bartolomeu Israel de Souza
Examinador interno



Documento assinado digitalmente
BARTOLOMEU ISRAEL DE SOUZA
Data: 02/03/2026 08:09:29-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Angelina Martinez Yrizar
Examinadora externa

Profa. Dra. Elânia Daniele Silva Araújo
Examinadora externa



Documento assinado digitalmente
ELANIA DANIELE SILVA ARAUJO
Data: 04/03/2026 11:33:23-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Lucas Costa de Souza Cavalcanti
Examinador externo



Documento assinado digitalmente
LUCAS COSTA DE SOUZA CAVALCANTI
Data: 01/03/2026 07:19:03-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Jairo Valdati
Examinador externo



Documento assinado digitalmente
JAIRO VALDATI
Data: 27/02/2026 17:56:39-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Fevereiro/2026.

AGRADECIMENTOS

Ao longo desta jornada, compreendi que nenhuma conquista verdadeira é alcançada individualmente. Esta tese consolida justamente esse entendimento: somos constituídos por relações, dos vínculos mais próximos aos encontros mais passageiros, e cada interação deixa sua marca em quem nos tornamos. Estas palavras de gratidão representam muito mais do que uma formalidade; são o testemunho de todas as pessoas que, direta ou indiretamente, tornaram possível esta realização. Trata-se de um reconhecimento a todos que contribuíram para minha trajetória acadêmica e de vida.

Ao professor Jonas Otaviano Praça de Souza, pela orientação, pelos ensinamentos, conselhos acadêmicos e por toda a paciência, compreensão e disponibilidade ao longo do processo.

À banca examinadora, pelas sugestões e críticas que contribuíram significativamente para a construção e o aprimoramento desta pesquisa.

Aos colegas do GEAFS (Grupo de Estudo de Ambientes Fluviais Semiáridos), por todo o apoio prestado e pela ajuda nos campos de monitoramento, em especial a Felipe, Kenia, Gabriel, Elânia, Adonai, Jefferson, Fábio, André, Stephanie, Daniel, Paula, Micaelle, Ellen Luana e Elen Mayara.

Ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Geografia, em especial àqueles que fizeram parte da minha formação na pós-graduação. Principalmente, agradeço ao professor Barto pela presença e pelas orientações no primeiro campo da pesquisa e também nos corredores da Geografia.

Ao Prof Dr. Rubens Teixeira de Queiroz, do Departamento de Sistemática e Ecologia da UFPB, pelo apoio na identificação das espécies de vegetação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa, fundamental para a concretização desta pesquisa.

Ao projeto PELD Ripa, pela concessão de diárias para os trabalhos de campo.

À Prefeitura do município de São João do Tigre, por todo o apoio fornecido e por disponibilizar o alojamento na casa de apoio da prefeitura.

A toda a equipe da Fazenda Felisberto, por abrir as portas da fazenda e fornecer alojamento à equipe de campo, em especial ao senhor Maurismar e à Daniella.

A todos os moradores da comunidade rural, que sempre se mostraram solícitos e nos receberam com tanta receptividade em suas propriedades, em especial a Dona Cida e Laudenor.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa para a realização de seis meses de doutorado sanduíche na Universidad Nacional Autónoma de México.

Aos professores Dra. Angelina Martínez-Yrizar e Dr. Alberto Búrquez, pela recepção, conversas e orientações no Instituto de Ecologia, Unidade Hermosillo.

A todos do Laboratório de Ecologia de Zonas Áridas e Semiáridas da UNAM, pela acolhida, em especial à Dra. Enriquena Ortega.

Aos professores Prof. Dr. Enrico A. Yépez, Dra. Masuly e Dr. Adrián Bojórquez, pela solicitude e pelo acompanhamento nos trabalhos de campo em Álamos, México.

A todos da Estação de Biologia em Chamela, pelo apoio durante as campanhas de campo.

À Elizabety e a toda a sua família, com quem tive o prazer de conviver durante minha estadia no México. A convivência com vocês me fez muito bem nesse período. ¡Gracias!

À minha tia Erinete Santos e ao Armando, minha chegada ao México foi muito mais tranquila graças a vocês. Muito obrigada!

Às minhas amigas de infância, Gabi e Bia, que, mesmo com a distância imposta pela correria da vida, nunca deixaram de torcer por mim.

Aos colegas dos laboratórios vizinhos e dos cafés, muito obrigada pelas conversas e pelos momentos de descontração.

Às minhas amigas de trabalho, Débora e Islane, por toda a força e incentivo na fase final da escrita da tese.

À minha psicóloga Carla, por me acompanhar ao longo desses cinco anos de tese e por, muitas vezes, ir além do papel de psicóloga, atuando como uma verdadeira coorientadora nos momentos de ansiedade.

A todos os familiares, próximos ou distantes, pela energia positiva e pelo apoio, ainda que silencioso.

Aos meus amigos Alexandro, André, Kenia e Stephanie: vocês não foram apenas meus amigos mais próximos nesses últimos anos. Em muitos momentos, foram meu porto seguro, com quem dividi angústias, medos e desesperos. Foram vocês que, diversas vezes, me impediram de desistir. Vocês sabem, melhor do que qualquer parente, o quanto a finalização desta tese é importante para mim. Sou imensamente grata por tudo.

Aos meus irmãos, Thiago e Paulo, que, cada um à sua maneira, foram apoio em diferentes momentos da minha jornada acadêmica.

Aos meus pais, pela dedicação e pelo apoio incondicional ao longo de toda a minha trajetória acadêmica. À minha mãe, Dona Cleide, que talvez não entenda muito bem as pesquisas que realizo, mas que sempre fala, toda orgulhosa, para todo mundo, que tem dois doutores em casa. Dona Cleide sempre foi apoio para mim e para meus irmãos em nossas escolhas de vida, do jeitinho que sabe fazer: nunca faltou café todas as manhãs, nem suas orações, seus carinhos e a paciência de ouvir todas as nossas histórias do trabalho e da universidade.

Meu pai, Seu Abdias, um pouco diferente da minha mãe, sempre demonstrou curiosidade e compreensão sobre minha pesquisa. Ajudou com os equipamentos de campo, entendeu como funcionava a metodologia, fez tudo o que estava ao seu alcance para viabilizar o monitoramento e ainda se interessava em saber quais “plantinhas” eu encontrava. Poder conversar sobre minha pesquisa com meu pai foi uma das experiências mais bonitas que vivi durante esse processo. Assim como minha mãe, ele também fazia questão de contar a todos que seus filhos, que sempre estudaram em escola pública, se tornaram doutores. Eles talvez não imaginem o quanto eu e meus irmãos os temos como exemplo, o quanto os admiramos e o quanto somos gratos por tê-los como nossos pais.

Gratidão a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Por último, mas não menos significativo, dirijo meus agradecimentos à força criadora que habita nosso mundo. Mantenho minha fé, uma crença que se fortalece a cada dificuldade superada e a cada conquista alcançada. Foi essa fé que me sustentou ao longo de toda esta trajetória, guiando-me em cada aprendizado e permitindo-me encontrar pessoas incríveis, que tornaram esse caminho mais leve e significativo.

RESUMO

Esta tese analisou a influência da sazonalidade eco-hidrológica e biogeomorfológica na morfologia de rios não perenes na bacia do Riacho do Tigre, no semiárido paraibano. O objetivo de analisar como as sazonalidades eco-hidrológicas e biogeomorfológicas controlam a morfologia de rios não perenes, principalmente compreender como as variações hidrológicas sazonais controlam a distribuição e resiliência da vegetação e a evolução morfológica dos canais. A metodologia integrou análises multiescalares: em rede de drenagem, utilizando séries temporais de NDVI do Sentinel-2 (2016-2023) e dados pluviométricos; em trecho, com monitoramento por VANTs para produção de ortomosaicos, MDTs e cálculo do índice VIgreen; e em quadrante, com parcelas permanentes para monitoramento detalhado da sucessão ecológica em diferentes unidades geomórficas (leito, barra, margem). Os resultados demonstraram uma forte correlação positiva entre o NDVI e a precipitação acumulada (60-90 dias), evidenciando a rápida resposta da vegetação aos pulsos de chuva. O monitoramento com VIgreen revelou uma dinâmica sazonal marcante, com aumento da biomassa vegetal nos períodos chuvosos e redução na estiagem. O monitoramento dos quadrantes mostrou que unidades geomórficas como poços e margens sustentam maior diversidade e estabilidade vegetal, enquanto barras e leitos ativos apresentam rotatividade de espécies. A análise morfológica identificou a dinâmica de instabilidade das barras de sedimento sem vegetação, contrastando com a estabilidade das barras vegetadas, que só foram significativamente remodeladas por eventos hidrológicos extremos. Conclui-se que a interação entre hidrologia, geomorfologia e vegetação constitui um sistema não linear, sensível a limiares hidrológicos específicos, sendo a sazonalidade um fator determinante para a morfodinâmica e a organização ecológica dos canais não perenes. Os resultados reforçam a importância da incorporação de abordagens eco-hidrológicas e biogeomorfológicas na compreensão e na gestão de sistemas fluviais em regiões semiáridas.

Palavras-chave: Vegetação ripária; Semiárido; Monitoramento.

ABSTRACT

This thesis analyzed the influence of eco-hydrological and biogeomorphological seasonality on the morphology of non-perennial rivers in the Riacho do Tigre basin, located in the semi-arid region of Paraíba, Brazil. The main objective was to examine how eco-hydrological and biogeomorphological seasonal dynamics control the morphology of non-perennial rivers, particularly by understanding how seasonal hydrological variations influence vegetation distribution and resilience, as well as channel morphological evolution. The methodology integrated multiscale analyses: at the drainage network scale, using Sentinel-2 NDVI time series (2016–2023) and rainfall data; at the reach scale, through UAV-based monitoring for the production of orthomosaics, digital terrain models (DTMs), and calculation of the VIgreen index; and at the quadrat scale, using permanent plots to monitor ecological succession across different geomorphic units (channel bed, bars, and margins). The results demonstrated a strong positive correlation between NDVI and accumulated precipitation (60–90 days), highlighting the rapid response of vegetation to rainfall pulses. Monitoring with VIgreen revealed marked seasonal dynamics, with increased vegetation biomass during the rainy season and reduction during dry periods. Quadrat monitoring showed that geomorphic units such as pools and margins sustain higher vegetation diversity and stability, whereas bars and active channels exhibit greater species turnover. Morphological analysis identified the instability dynamics of unvegetated sediment bars, in contrast to the stability of vegetated bars, which were only significantly reshaped by extreme hydrological events. It is concluded that the interaction among hydrology, geomorphology, and vegetation constitutes a non-linear system, sensitive to specific hydrological thresholds, with seasonality acting as a key driver of morphodynamics and ecological organization in non-perennial channels. These findings highlight the importance of incorporating eco-hydrological and biogeomorphological approaches in the understanding and management of fluvial systems in semi-arid regions.

Keywords: Riparian vegetation; Semi-arid; Monitoring

Lista de Figuras

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo - Bacia Riacho do Tigre-PB	20
Figura 2: Mapa de unidades Geológicas da Bacia Riacho do Tigre.....	21
Figura 3: Modelo digital de elevação da Bacia Riacho do Tigre	23
Figura 4: Mapa de declividade da Bacia Riacho do Tigre.	24
Figura 5: Mapa de interpolação de precipitação.....	25
Figura 6: Balanço Hídrico Normal Mensal- São João do Tigre. Para a Bacia Riacho do Tigre. Evapotranspiração Potencial -ETP e Evapotranspiração Real -ETR.	26
Figura 7: Mapa de Uso e cobertura do Solo	28
Figura 8: Interações entre regime de fluxo, morfologia do canal e vegetação que determinam a dinâmica fluvial	35
Figura 9: Modelo do papel de grandes detritos lenhosos na formação, no crescimento e na incorporação da ilha na planície de inundação ao longo do rio.....	39
Figura 10: Modelo de interações recíprocas entre estrutura da vegetação, fluxo de água e dinâmica dos sedimentos.	40
Figura 11: Fluxograma das etapas metodológicas.....	51
Figura 12 Interface do aplicativo iNaturalist.....	61
Figura 13: passos metodologicas da identificação das espécies.....	62
Figura 14: Fotografia de exemplos de marcas de fluxo.....	63
Figura 15: Modelo de espacialização dos quadrantes ao longo dos trechos monitorado.	64
Figura 16: Fotografia da instalação dos quadrantes	65
Figura 17: Box plot dos valores de estatístico do NDVI para o Riacho do Tigre e Cacimbinha.	70
Figura 18: Gráfico de Correlação de Pearson do Riacho do Tigre e Cacimbinha.....	71
Figura 19: Mapa da média do NDVI para o Riacho do Tigre e Cacimbinha.	72
Figura 20: Gráfico de precipitação antecedente acumulado do posto pluviométrico do São João do Tigre.	76
Figura 21: Gráfico de Precipitação Máxima Diária -PMD do município de São João do Tigre.	76
Figura 22:Gráfico de precipitação acumulado antecedente em relação aos eventos de precipitação.....	79
Figura 23:Relação entre chuva acumulada em 15 dias, PMD em 15 dias e cotas de vazão no trecho RT1, RT2 e RT3	81

Figura 24: Mapa de localização dos trechos monitorados.....	84
Figura 25: a) Ortofotomosaico do RT1; b) Modelo de digital de elevação -RT1; c) Mapa de Unidade geomórfica do canal-RT1; d) Fotografia da vegetação – RT1 canal. Data: 06/2024.	86
Figura 26: a) Ortofotomosaico do RT2; b) Modelo de digital de elevação -RT2; c) Mapa de Unidade geomórfica do canal-RT2; d) Fotografia da vegetação – RT2 canal. Data: 06/2024.	87
Figura 27: a) Ortofotomosaico do RT3; b) Modelo de digital de elevação -RT3; c) Mapa de Unidade geomórfica do canal-RT3; d) Fotografia da vegetação – RT3 canal. Data: 06/2024.	88
Figura 28: Mapa de classificação do índice de VIgreen do trecho RT1.....	90
Figura 29: Mapa de classificação do índice de VIgreen do trecho RT2.....	92
Figura 30: Mapa de classificação do índice de VIgreen do trecho RT3.....	93
Figura 31: Mapa de distribuição da frequência das espécies ripária no Trecho -RT1.	97
Figura 32: Mapa de distribuição da frequência das espécies ripária no Trecho -RT2	98
Figura 33: Mapa de distribuição da frequência das espécies ripária no Trecho -RT3	99
Figura 34:P Mapa da distribuição das unidades geomórficas no Trecho -RT1.....	101
Figura 35: Variação das áreas das unidades geomórficas associada à precipitação acumulada- Trecho RT2.....	102
Figura 36: Mapa da distribuição das unidades geomórficas no Trecho -RT3.....	104
Figura 37: Perfis transversais representativos do Trecho RT1- do período pré-estação chuva, chuvoso e pós chuvoso, do ano hidrológico de 2022, 2023e 2024.	105
Figura 38: Perfis transversais representativos do Trecho RT2- do período pré estação chuva, chuvoso e pós chuvoso, do ano hidrológico de 2022, 2023e 2024.	106
Figura 39: Perfis transversais representativos do Trecho RT3- do período pré-estação chuva, chuvoso e pós chuvoso, do ano hidrológico de 2022, 2023 e 2024.	107
Figura 40: Localização dos quadrantes nos trechos.	111
Figura 41: A) Gráfico de cobertura vegetal nos quadrantes do trecho RT1. B) Fotos de comparação dos quadrantes no período de pré-chuvoso, chuvoso e pós-chuva na direção a montante do rio.....	113
Figura 42: A) Gráfico de cobertura vegetal nos quadrantes do trecho RT2. B) Fotos de comparação dos quadrantes no período de pré-chuvoso, chuvoso e pós-chuva na direção a montante do rio.....	116
Figura 43: A) Gráfico de cobertura vegetal nos quadrantes do trecho RT3. B) Fotos de comparação dos quadrantes no período de pré-chuvoso, chuvoso e pós-chuva, na direção a montante do rio.....	118

Figura 45: Crescimento planta <i>Jatropha mollissima</i> no quadrante do Q2- Barra e Q4- Margem do trecho RT1 em relação a PPA.	122
Figura 46: Mudanças no estado da vegetação (arbustiva, e herbáceas) registradas em cada quadrante nos três trecho de estudo, no período de dezembro de 2021 a novembro de 2022.	124
Figura 47: Espécie de <i>Prosopis juliflora</i> do quadrante Q1 (leito)do RT2.....	126

Lista de Tabelas

Tabela 1: Data e satélite/sensor das imagens.....	52
Tabela 2: Localização dos Postos Pluviométricos.....	54
Tabela 3: Data e objetivo dos campos	55
Tabela 4: Variação da cobertura da vegetação ripária e acumulado de precipitação entre 2016 e 2022.	68
Tabela 5: Distribuição dos eventos de precipitação diário no ano hidrológico de 2021 a 2024.	77
Tabela 6: Eventos de chuva ≥ 50 mm e precipitação acumulado antecedente dos eventos	78
Tabela 7: Valores do VGreen no trecho RT1.....	90
Tabela 8: Valores do VGreen no trecho RT2.....	92
Tabela 9: Valores do VGreen no trecho RT3.....	94
Tabela 10: Número aproximado de indivíduos por espécie nas unidades geomórficas.....	100
Tabela 11: Variação das áreas das unidades geomórficas associada à precipitação acumulada- Trecho RT1.....	101
Tabela 12: Variação das áreas das unidades geomórficas associada à precipitação acumulada- Trecho RT2.....	102
Tabela 13: Variação das áreas das unidades geomórficas associada à precipitação acumulada- Trecho RT3.....	104

Lista de Quadros

Quadro 1: litoestratigrafia das unidades geológicas da bacia do Riacho do Tigre.....	22
Quadro 2: Alguns métodos utilizados nos estudos de vegetação ripária.....	44
Quadro 3: Chaves de interpretação de imagens.....	58
Quadro 4: Resumo das informações dos trechos analisados.	85
Quadro 5: Densidade e frequência das espécies vegetais registradas nos trechos, distribuídas por quadrante	120

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AESA: Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba

APAC: Agência Pernambucana de Águas e Climas

CPRM: Serviço Geológico do Brasil

NDVI: *Normalized Difference Vegetation Index*

FTSS: Florestas Tropicais Sazonalmente Secas

GEAFS: Grupo de Estudo em Ambientes Fluviais Semiáridos

RT: Riacho do Tigre

UFPB: Universidade Federal da Paraíba

RGB: Sistemas de cores (vermelho, verde e azul).

PMD: Precipitações Máxima Diária

PAA: Precipitação Antecedente Acumulado

VANT: Veículo Aéreo Não Tripulado

NIR: infravermelho próximo

VIGREEN: *Visible Atmospherically Resistant Indices Green*

LiDAR: *Light Detection and Ranging*

(MDT: Modelo Digital de Terreno (MDT)).

USGS: United States Geological Survey

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. OBJETIVOS.....	18
2.1. OBJETIVO GERAL	18
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
CAPÍTULO I.....	19
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....	20
CAPÍTULO II.....	29
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	30
4.1. SISTEMAS COMPLEXOS E SISTEMAS FLUVIAIS NÃO PERENES	30
4.2. ECO-HIDROLOGIA E BIOGEOMORFOLOGIA EM ÁREAS RIPÁRIAS DE RIOS NÃO PERENES	33
4.3. TÉCNICAS E METODOLOGIAS DE ANÁLISE E MONITORAMENTO VEGETAÇÃO RIPÁRIA	42
CAPÍTULO III	50
5. METODOLOGIA.....	51
5.1. ANÁLISE NA ESCALA DE REDE DRENAGEM.....	52
5.2. ANÁLISE NA ESCALA DE TRECHO	55
5.3. CLASSIFICAÇÃO DO COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO	62
5.4. MONITORAMENTO DA VEGETAÇÃO – ESCALA QUADRANTE	63
CAPÍTULO IV.....	67
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	68
6.1. RESULTADO DA VARIAÇÃO INTERANUAL DA COBERTURA VEGETAL – ESCALA DE DRENAGEM.....	68
6.2. RESULTADO DO COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO	74
6.3. RESULTADO DO MONITORAMENTO BIOGEOMORFOLÓGICO- ESCALA DE TRECHO	83
6.4. RESULTADOS ECO-HIDROLÓGICAS E BIOGEOMORFOLÓGICAS- ESCALA DE QUADRANTE	110
7. DISCUSSÃO.....	129
CAPÍTULO V	132
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	133
9. REFERÊNCIA.....	135

1. INTRODUÇÃO

Os rios não perenes, também conhecidos como intermitentes ou efêmeros, constituem uma parcela significativa das redes de drenagem globais, representando mais de 50% do comprimento total dos canais fluviais em muitas regiões áridas e semiáridas, seja por diminuição da perenidade de nascentes ou alterações nos regimes de chuva (Datry; Larned; Tockner, 2014). Esses ambientes fluviais são altamente dinâmicos e de comportamento episódico, especialmente em ambientes secos, onde a configuração climática geralmente produz inundações repentinas.

A dinâmica intermitente desses sistemas resulta em uma hidrodinâmica complexa, caracterizada por alternâncias extremas entre períodos de fluxo e estiagem (Jacobson et al., 2021). Durante eventos de chuva, esses rios podem experimentar inundações repentinas com elevada energia de fluxo, capazes de remodelar completamente sua morfologia e impulsionar a maior parte da mudança morfológica e do fluxo de sedimentos. Em contrapartida, os períodos de seca prolongada acarretam a fragmentação do habitat, propiciando o surgimento de padrões distintos na vegetação ripária (Cavalcante; Cunha, 2012; Pandey et al., 2022; Sandercock; Hooke, 2010)

A presença de vegetação em canais tem efeitos importantes na hidráulica, na dinâmica de erosão e deposição, especialmente em canais de terras secas, onde a vegetação pode crescer no seu leito e nas suas margens (Hooke, 2023). Constitui um componente importante do ambiente dos rios não perenes. A vegetação ripária nesses sistemas apresenta adaptações morfológicas e fisiológicas específicas de condições ambientais extremas (Hooke, 2023; Datry et al., 2018). Por suas propriedades de resistência e influência no fluxo e sedimentação, a vegetação é reconhecida por seu potencial para diminuir a conectividade das transferências de sedimentos ao longo do canal (Hooke, 2016).

A vegetação fornece resistência por meio de partes aéreas e raízes e interage com os fluxos para aumentar a sedimentação. Níveis e frequências de fluxo variam acentuadamente em canais de ambientes tropicais secos, e as espécies de plantas comumente demonstram zoneamento distinto relacionado a essas dinâmicas de fluxo, elevação do leito do canal e substrato.

Estudos recentes (Costigan et al., 2017; Gurnell; Bertoldi, 2022; Hooke, 2023) demonstraram que a vegetação atua como um agente geomorfológico ativo, influenciando padrões de erosão e deposição através de mecanismos como: aumento da rugosidade hidráulica; estabilização de sedimentos pelas raízes; criação de microhabitats distintos; e modulação da

energia do fluxo durante eventos extremos. Ou seja, a vegetação ripária em rios não perenes desempenha um papel dual: atua como agente biogeomorfológico (estabilizando sedimentos e aumentando a rugosidade do canal) e como bioindicador de condições hidrológicas (Hooke, 2016). Estudos em ambientes semiáridos, como o Nordeste brasileiro, demonstram que a cobertura vegetal densa pode ser altamente eficaz na gestão de canais, desacelerando o fluxo, reduzindo a erosão e aumentando a sedimentação (Andrade; Maia, 2018; Cavalcante; Cunha, 2012; Santos, 2020).

Uma das características dos canais não perenes é o grau de complexidade e irregularidade na morfologia, juntamente com mudanças abruptas nos padrões da vegetação ripária ao longo de seu curso. Isso está em contraste com os canais mais úmidos, que mostram propensão a uma regularidade na morfologia e na distribuição e sazonalidade da vegetação por toda a sua extensão. A distribuição espacial não homogênea da vegetação reflete diretamente a variabilidade hidrológica e sedimentar desses sistemas, e a irregularidade de riqueza de espécies ao longo de seus cursos pode estar relacionada a irregularidades na disponibilidade de água espacial e temporalmente (Hooke, 2016; Sandercock; Hooke; Mant, 2007).

A variabilidade eco-hidrológica condiciona processos biogeomorfológicos únicos, como a reorganização abrupta de sedimentos e a distribuição irregular da vegetação ripária (Hooke, 2023). À medida que os fluxos dos rios se tornam mais intermitentes, a diversidade e a cobertura de espécies herbáceas, ao longo do canal de baixo fluxo, diminuem. Os períodos prolongados de precipitações suaves permitem uma permanência de umidade no canal, possibilitando a manutenção de estratos herbáceos. No entanto, o fluxo do canal e a disponibilidade de água podem estimular o crescimento, mas grandes eventos de inundação podem danificar ou destruir a vegetação por vários mecanismos, incluindo remoção e soterramento (Hooke, 2016, 2023).

Períodos episódicos de cheias e eventos hidrológicos extremos produzem efeitos adversos sobre a vegetação ripária adaptada a um regime de fluxo sazonal, e ela pode ser removida de algumas unidades geomórficas do canal. Embora as interações entre a vegetação e os processos fluviais nesses canais tenham recebido relativamente pouca atenção (Hooke, 2016; Sandercock; Hooke; Mant, 2007), e esses sistemas sejam importantes para a biodiversidade e os recursos hídricos regionais, as interações entre sazonalidade, hidrologia e biogeomorfologia ainda são pouco compreendidas, especialmente em regiões tropicais secas, onde a imprevisibilidade climática é crescente (Pandey et al., 2022). Apesar dos avanços recentes, persistem importantes lacunas no entendimento dos padrões quantitativos que liguem

a dinâmica da vegetação a limiares hidrológicos específicos (ex.: dias acumulados de chuva) e a unidades geomórficas do canal (ex.: pools, bancos de sedimentos). Entender os limiares críticos para estabelecimento e mortalidade da vegetação, assim como compreender as relações não-lineares entre hidrologia e biogeomorfologia do canal.

Diante dessas lacunas, esta tese avaliou como a sazonalidade eco-hidrológica controla a distribuição e resiliência da vegetação ripária e, consequentemente, a morfologia de rios não perenes. A questão norteadora para esta pesquisa é: qual a resposta eco-hidrológicas e biogeomorfológica em rios não perenes sob as diferentes condições hidrológicas? A hipótese central é que a magnitude e a frequência das vazões determinam a distribuição espacial da vegetação, com respostas diferenciadas por unidade geomórfica. Por exemplo, *pools* (áreas escavadas no leito que retêm água por períodos mais prolongados) sustentam comunidades biológicas mais diversificadas, enquanto as barras de sedimentos estão sujeitas a uma elevada rotatividade de espécies.

Sendo assim, a pesquisa apresentada engloba um arcabouço teórico da eco-hidrologia e da biogeomorfologia, pois a interação desses campos fornece base para a compreensão do padrão de crescimento da vegetação da zona ripária inter-relacionado com as feições geomorfológicas e os atributos hidrológicos. Da mesma forma, a pesquisa pretende analisar como as sazonalidades eco-hidrológicas e biogeomorfológicas controlam a morfologia de rios não perenes, estabelecendo uma ligação entre habitats funcionais e biótipos de fluxo.

Em relação à estrutura da tese, o documento está organizado em seis capítulos/partes principais: Revisão crítica do estado da arte; Metodologia integrada; Resultados da análise da vegetação ripária dos canais; Resultados da análise da vegetação ripária por trecho; Resultados da análise da vegetação ripária por quadrantes; e a Discussão das implicações para gestão.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral da pesquisa é analisar como as sazonalidades eco-hidrológicas e biogeomorfológicas controlam a morfologia de rios não perenes.

2.2. Objetivos Específicos

- 2.2.1. Analisar variação interanual da cobertura vegetal dos canais;
- 2.2.2. Analisar a dinâmica hidrológica dos ambientes fluviais;
- 2.2.3. Monitorar a sucessão ecológica em diferentes unidades geomórficas dos canais;
- 2.2.4. Avaliar a evolução morfológica dos canais sob as diferentes condições eco-hidrológicas e biogeomorfológicas.

CAPÍTULO I

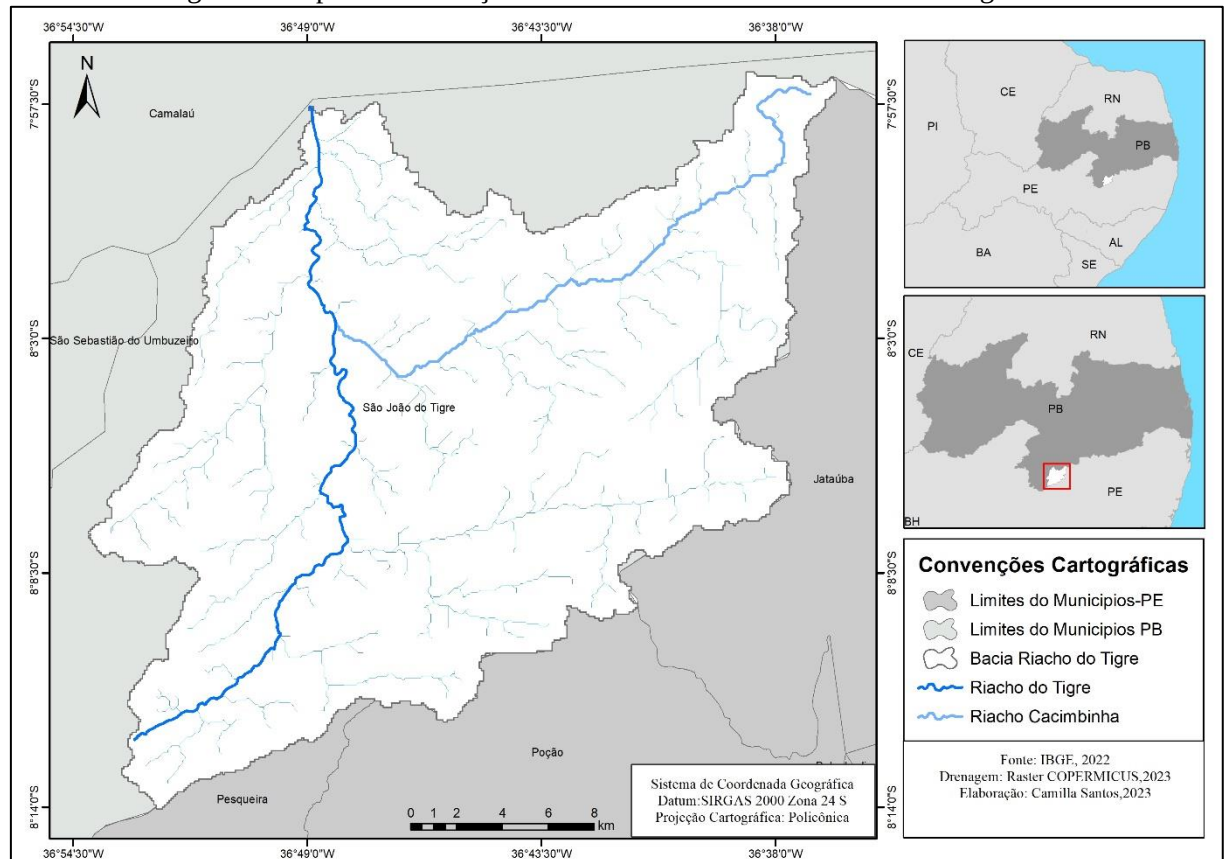
CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA



3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A bacia fluvial em análise, riacho do Tigre, apresenta área de 564 km² e está situada na mesorregião da Borborema, Cariri Ocidental Paraibano. Encontra-se localizada no município de São João do Tigre (PB), que está incluído na área geográfica de abrangência do Semiárido brasileiro (Figura 1). A cidade faz limite com municípios paraibanos (São Sebastião do Umbuzeiro e Camalaú) e pernambucanos (Poção, Pesqueira e Jataúba). Possui a maior unidade de conservação do estado, com 36 mil km², a Área de Proteção Ambiental das Onças, a qual, segundo dados da Superintendência de Administração do Meio Ambiente (Sudema), é berço das nascentes dos rios Capibaribe e Paraíba.

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo - Bacia Riacho do Tigre-PB

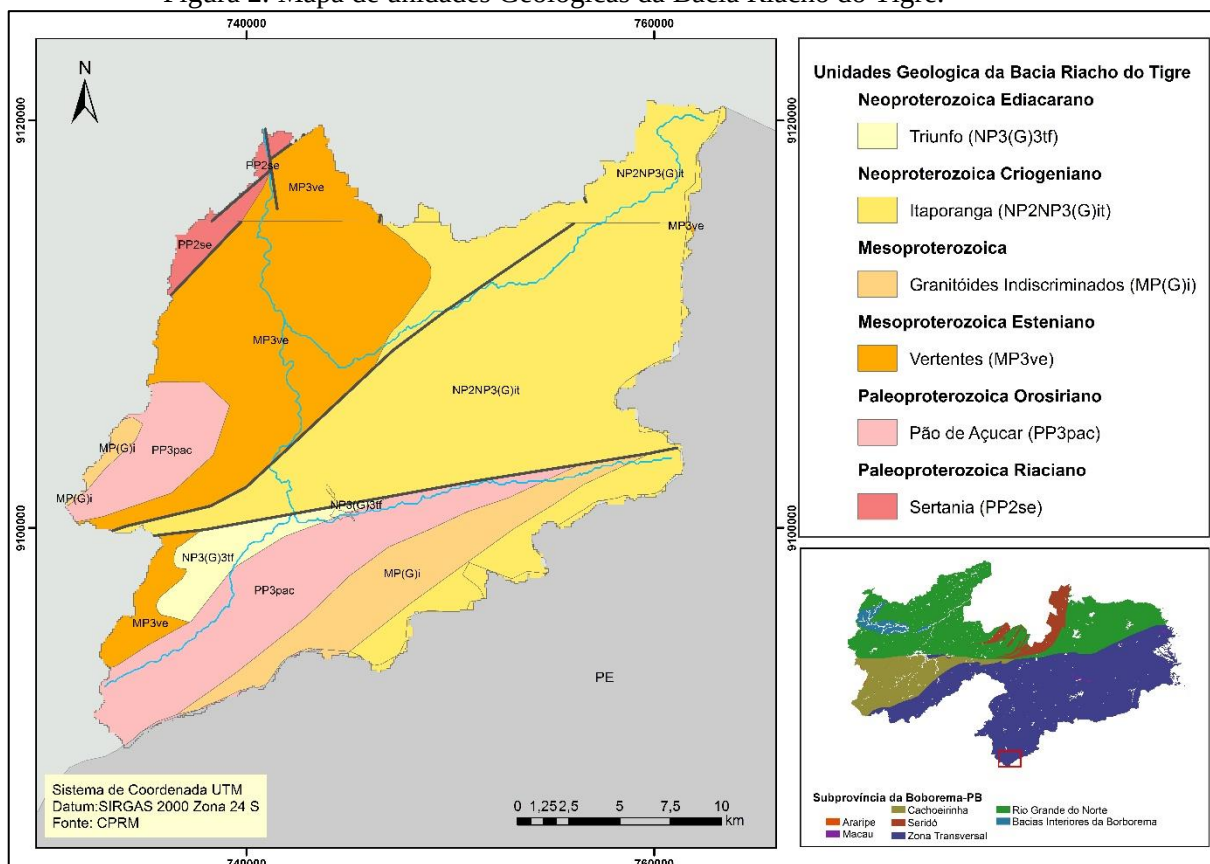


Fonte: Elaborado pelo Autor.

A bacia riacho do Tigre se encontra assentada sobre as rochas cristalinas de origem pré-cambriana da Província Borborema. Essa faixa é uma das principais áreas de dobramento neoproterozoico do país, definida como um extenso cinturão orogênico meso/neoproterozoico que se estende por grande parte do Nordeste brasileiro (Figura 2). As diferentes unidades litoestratigráficas da bacia se encontram inseridas (Figura 2) na Subprovíncia da Zona Transversal (Terreno Rio Capibaribe e Terreno Alto Moxotó).

Na bacia, predominam as unidades litológicas do Terreno Rio Capibaribe, representadas pelas unidades de Complexo Vertentes, Suíte Itaporanga, Complexo Pão de Açúcar e Granitoides Indiscriminados. De modo geral, essas unidades apresentam granitoides constituídos basicamente por quartzo e plagioclásio, além de gnaisses xistosos, ortognaisses, paragneisses, rochas metavulcânicas, metamáficas, ígneas plutônicas e monzograníticas, assim como feições magnéticas, minerais com afinidade ao ferro e peraluminosa, entre outras litologias (Quadro 1).

Figura 2: Mapa de unidades Geológicas da Bacia Riacho do Tigre.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 1: litoestratigrafia das unidades geológicas da bacia do Riacho do Tigre.

Éon	Era	Período	Unidade geológica	Litologia
Proterozoico	Neoproterozoico	Ediacarano	Suíte Triunfo	Alcali feldspato-granito; quartzo-sienito
		Criogeniano	Suíte Itaporanga	Diatexito; diorito; gabro; gnaisse; granito; granodiorito; onzodiorito; sienito
	Mesoproterozoica	-----	Corpo Granitoides Indiscriminados	Ortognaisse
		Esteniano	Complexo Pão de Açúcar	Anfibolito; migmatito; ortognaisse granítico
	Paleoproterozoico	Riáciano	Complexo Sertânia	Mármore; ortognaisse
		Sideriano	Complexo Vertentes	Calcissilicática; metaultramáfica; rocha vulcânica

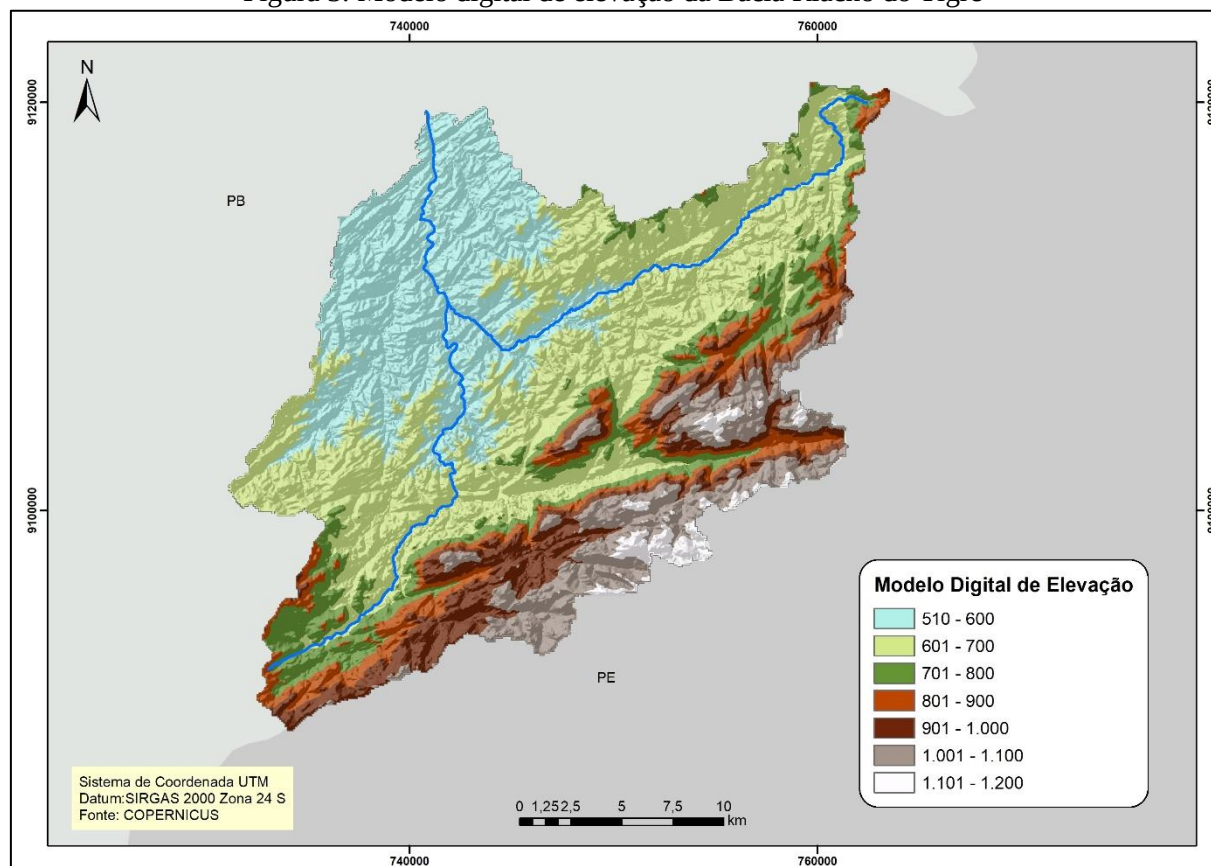
Autoria própria, 2024, base CPRM.

A partir da compreensão da geologia da área, é possível observar a configuração geomorfológica da bacia. Segundo a classificação de Corrêa et al., (2010) a área de estudo está inserida em dois compartimentos principais do planalto da Borborema — a Depressão Interplanáltica Paraibana e os Maciços Remobilizados do Domínio da Zona Transversal —, sendo que a maior parte da bacia está inserida no domínio da depressão interplanáltica, na região central da Borborema. A zona dos maciços remobilizados está situada na parte mais elevada do município, enquanto a depressão intraplanáltica se encontra na parte mais baixa.

Desse modo, pelo fato de não apresentar perturbações tectônicas intensas, esse compartimento da depressão interplanáltica apresenta feições de relevo plano rebaixado no interior do planalto, delimitadas por compartimentos de encosta. Assim, essa área apresenta uma declividade de plana a suave ondulada (Figura 4), com altitudes que vão de 510 m a 600 m (Figura 3) próximo à foz da bacia e de 601 m a 700 m no centro da bacia.

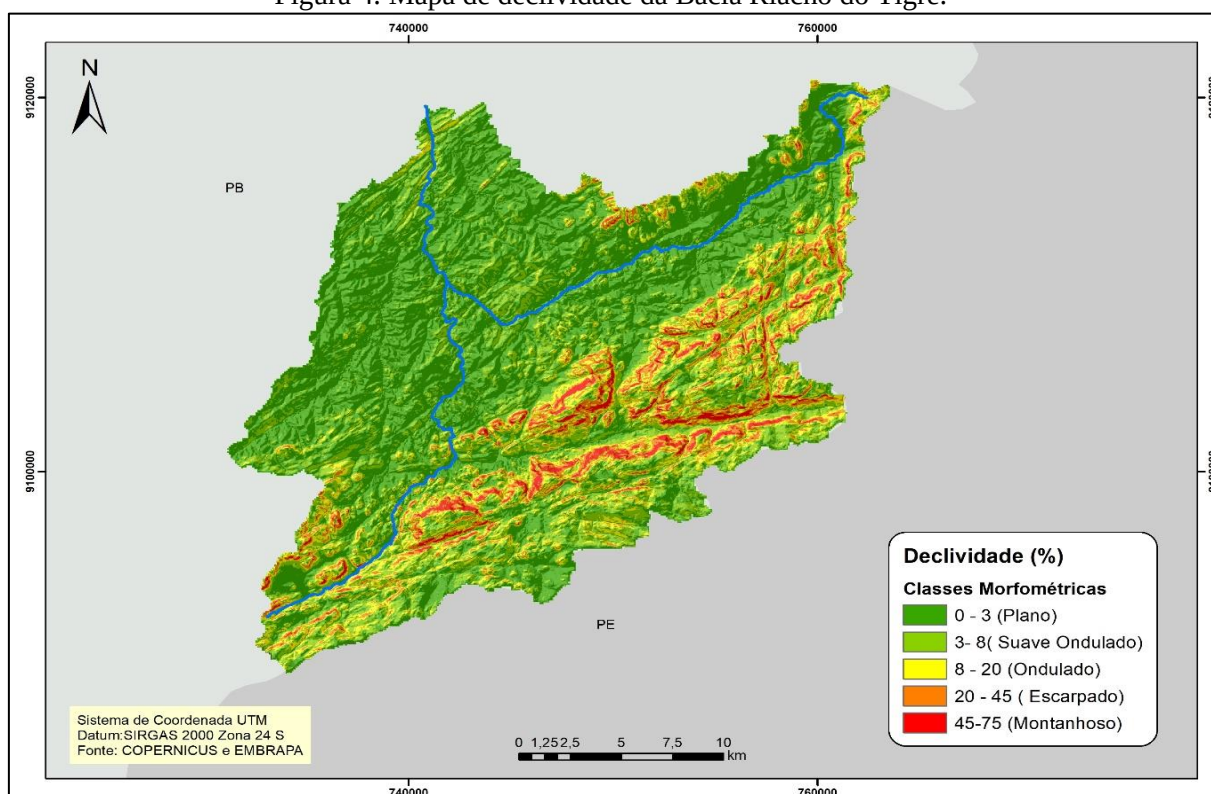
Os setores de sudeste a sudoeste da bacia estão inseridos no domínio dos maciços remobilizados, que corresponde à área do planalto mais afetada pelos arqueamentos, apresentando as cimeiras mais altas, chegando a altitudes superiores a 1.100 m. Vale destacar que a declividade nesse compartimento varia de ondulado a montanhoso (Figura 4) (Corrêa et al., 2010).

Figura 3: Modelo digital de elevação da Bacia Riacho do Tigre



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4: Mapa de declividade da Bacia Riacho do Tigre.

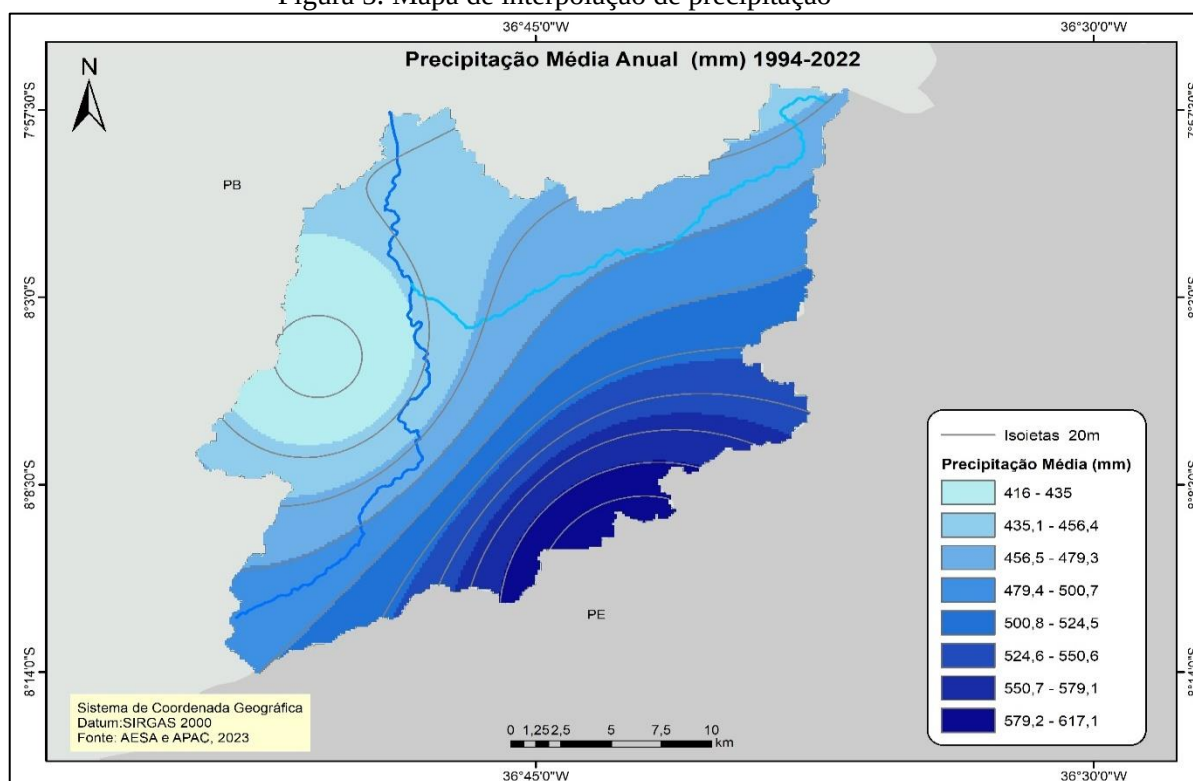


Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

O clima da bacia é tropical semiárido, com chuvas predominantemente entre os meses de março a abril. A partir da análise da precipitação anual de uma série histórica de 28 anos (1994 a 2022), como dados da Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba (AESAs) e da Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC), foi possível calcular a média da precipitação anual dessa série histórica, que corresponde a 428,9 mm. No entanto, nos setores de sudeste a sudoeste da bacia, nas áreas dos maciços remobilizados, onde se localizam as áreas de maior altitude da bacia, a precipitação tende a ser maior, apresentando uma precipitação média anual entre 550,6 mm e 617,5 mm (Figura 5).

Os rios da bacia são efêmeros e intermitentes, com vazão ausente durante a maior parte do ano. Apresentam, em média, menos de 40 dias de fluxo por ano, sendo essa a média padrão para os canais de ordem semelhante na região, visto que ainda não há registro de dados observados sobre a vazão na área.

Figura 5: Mapa de interpolação de precipitação

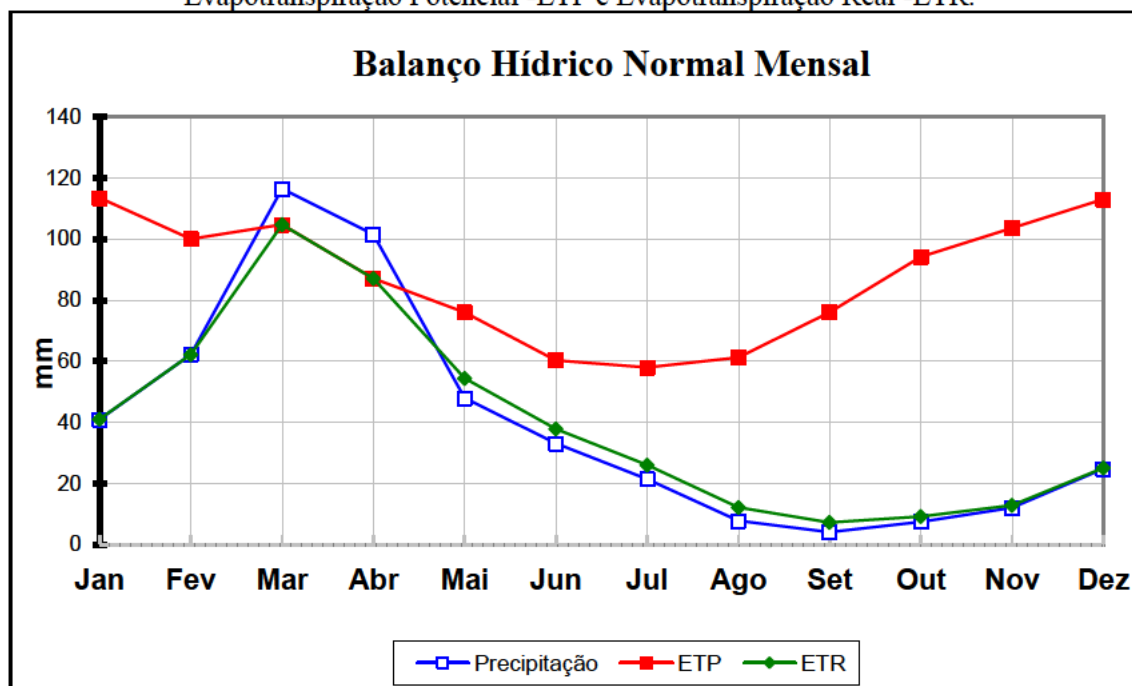


Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 6, apresenta o gráfico das variáveis de precipitação (P), evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração real (ETR), representando o balanço hídrico mensal de São João do Tigre. A precipitação apresenta um pico acentuado entre os meses de março e abril, coincidindo com o período chuvoso típico da região. O volume máximo mensal alcança cerca de 120 mm. Nos demais meses, especialmente de julho a novembro, a precipitação é reduzida, permanecendo abaixo de 40 mm mensais, indicando um período de estiagem.

A evapotranspiração potencial (ETP) mantém-se elevada ao longo de todo o ano, com valores superiores à precipitação em quase todos os meses (Figura 6). Esse padrão reflete as altas temperaturas e a intensa radiação solar características do semiárido. O período de maior ETP ocorre de setembro a dezembro, atingindo cerca de 120 mm, enquanto nos meses mais chuvosos (março e abril), há uma leve redução na ETP. A evapotranspiração real (ETR) acompanha de perto a precipitação, indicando que a disponibilidade de água no solo limita a evapotranspiração. Nos meses secos (junho a novembro), a ETR apresenta valores muito baixos, refletindo o déficit hídrico. Durante os meses mais chuvosos (março e abril), a ETR aumenta significativamente, aproximando-se da ETP, quando as chuvas aliviam temporariamente as condições de seca (Figura 6).

Figura 6: Balanço Hídrico Normal Mensal- São João do Tigre. Para a Bacia Riacho do Tigre. Evapotranspiração Potencial -ETP e Evapotranspiração Real -ETR.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

É importante destacar que essas variações climáticas e de relevo no interior da bacia influenciarão diretamente nos processos pedogenéticos, que, por sua vez, também estão associados às diferentes fisionomias da vegetação. Os solos são divididos em cinco classes na bacia riacho do Tigre (Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico, Neossolo Litólico Eutrófico, Planossolo Nátrico Órtico, Planossolo Háptico Eutrófico e Luvisolo Crômico Órtico), de acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2022).

É importante colocar que uso da terra na bacia, é um processo de ocupação secular que transformou a paisagem, aliando atividades econômicas tradicionais a intervenções estatais significativas, como a recente transposição do Rio São Francisco. Diferentemente do litoral, onde a economia se baseava na cana-de-açúcar com mão de obra escrava, o interior semiárido foi ocupado pela pecuária extensiva. A criação de gado foi a principal atividade econômica que viabilizou a interiorização, ocupando vastas extensões de terra com baixa densidade demográfica (Sampaio, 1995).

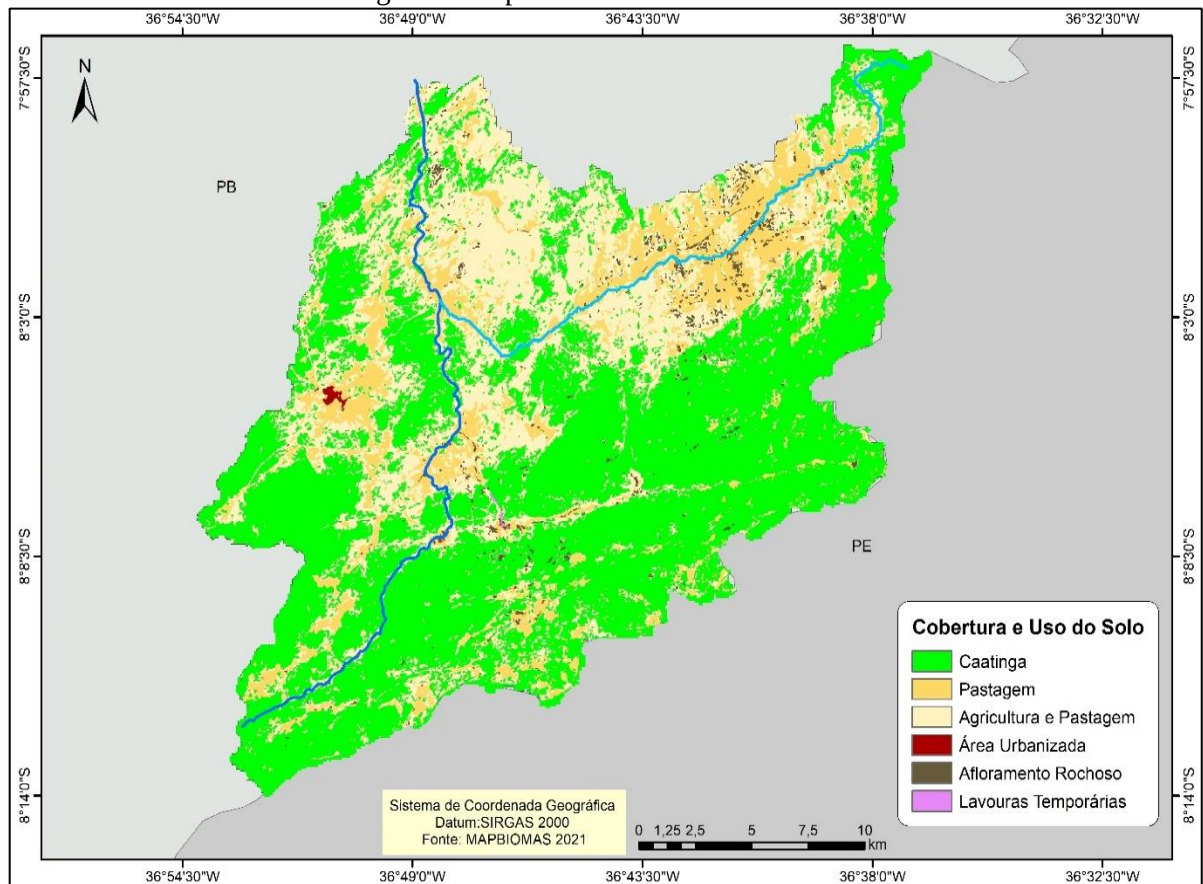
Ao longo dos séculos, o uso da terra na bacia consolidou-se em torno da agropecuária, o que aumentou significativamente, com a substituição da cobertura florestal nativa por áreas agrícolas e pastagens. No século XX, a grande seca de 1877 reposicionou a região na agenda nacional, e o Estado passou a intervir diretamente com a chamada "solução hídrica", construindo uma vasta infraestrutura de açudes para "combater" os efeitos das estiagens. Esta

política, embora tenha garantido a oferta de água, também incentivou novos usos da terra, como a agricultura irrigada e a pecuária mais intensiva (Melo et al., 2021; Sampaio, 1995).

Atualmente, a cobertura vegetal na bacia é um mosaico que inclui áreas de cultivo, solo exposto, gramíneas, plantas herbáceas e pequenos arbustos, em contraste com a vegetação nativa de caatinga que originalmente predominava. A figura 7 mostra o mapa de uso e cobertura do solo, a irregularidade pluviométrica e as temperaturas médias elevadas, que acentuam um déficit hídrico na superfície, condicionam a configuração fitogeográfica de uma Caatinga uma fisionomia e composição florística variável em função do tipo de solo e da pluviosidade. Dominam espécies caducifólias de caráter xerófilo e grande quantidade de plantas espinhosas. Fitofisionomicamente as caatingas podem ser caracterizadas como florestas arbóreas ou arbustivas, compreendendo principalmente árvores e arbustos baixos além da presença de cactáceas e bromeliáceas (Silva; Souza; Bacani, 2019). Desse modo, cobertura vegetal basicamente de espécies arbóreas e arbustivas abertas e adaptadas aos períodos de escassez hídrica, bem como algumas espécies fechadas nos ambientes mais altos onde há maior presença de umidade.

As categorias mapeadas incluem Caatinga, Pastagem, Agricultura e Pastagem, Área Urbanizada, Afloramento Rochoso, e Lavouras Temporárias, evidenciando uma paisagem caracteristicamente semiárida. As áreas de pastagem, que ocupam proporção significativa do território, indicam a relevância da pecuária como uma das principais atividades econômicas da região. As lavouras temporárias destacam a importância da agricultura sazonal, geralmente dependente das chuvas, é uma atividade de relevância para a subsistência das comunidades locais. Os Afloramentos Rochosos (cinza), localizados principalmente em áreas de topografia acidentada, refletem as características geológicas da bacia e influenciam a dinâmica hídrica e a capacidade de infiltração de água no solo.

Figura 7: Mapa de Uso e cobertura do Solo



Fonte: Elaborado pelo autor.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA



4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica da presente tese está direcionada à construção de um arcabouço conceitual da dinâmica fluvial em ambientes tropicais secos, principalmente das interações eco-hidrológicas e biogeomorfológicas em rios não perenes, como também à discussão de modelos teóricos e técnicas de avaliação e monitoramento de vegetação ripária. Desse modo, a fundamentação está organizada na seguinte sequência: sistemas complexos e sistemas fluviais não perenes; eco-hidrologia e biogeomorfologia em áreas ripárias de rios não perenes; e técnicas e metodologias de análise e monitoramento.

4.1. Sistemas complexos e sistemas fluviais não perenes

O equilíbrio dinâmico do sistema fluvial está relacionado com a ideia de o ambiente possuir sua individualidade e sua estabilidade. A estabilidade nos sistemas seria representada por um estado de autoajuste, mantido pela existência de laços de realimentação. O estado de ajuste de um sistema está relacionado à dissipação de energia, em que a mudança na forma pode ser reversível ou não reversível, dependendo do limiar de mudança e da resistência dos elementos (Mattos; Filho, 2004; Phillips; Van Dyke, 2016).

Para Phillips (2015), o comportamento e a dinâmica dos rios não perenes se encontram na perspectiva de não equilíbrio, principalmente em relação ao comportamento do escoamento e da vazão em pulsos. Nos sistemas complexos não lineares, as saídas de energia não serão proporcionais às entradas acima e abaixo de um limite, ou seja, o sistema pode apresentar adaptações complexas, sem quaisquer mudanças nas taxas de entrada de energia (Phillips; Van Dyke, 2016).

Para os ambientes tropicais secos, isso está diretamente vinculado aos longos períodos de estiagem associados a grandes eventos de entrada de energia. Representa a dinâmica ajustada das variáveis e dos elementos, na qual, dependendo da intensidade de perturbação aos respectivos limiares de mudança, pode reagir sensivelmente ou abruptamente com alterações nas formas da paisagem (Phillips; Van Dyke, 2016; Souza; Almeida, 2015).

Nos ambientes tropicais secos, que se caracterizam pela sazonalidade das chuvas e alternam entre períodos secos e chuvosos, a vegetação desenvolveu adaptações que se ajustam a esse período sazonal (Souza; Correa; Brierley, 2016; Vico et al., 2015). O regime hidrológico é muito complexo e com fortes gradientes de sazonalidade, além de uma variabilidade interanual muito acentuada, o que produz períodos extremos de secas e anos muito úmidos (Montenegro; Ragab, 2012; Souza, 2016; Vico et al., 2015).

A duração desses períodos secos também é variável, normalmente entre quatro e seis meses, assim também se caracteriza o regime de precipitação interanual, com áreas particulares que apresentam em torno de 300 mm a 600 mm. A precipitação é concentrada, principalmente, nos meses do verão, resultado da reversão dos padrões de fluxo dos ventos, devido ao aumento da temperatura do continente em relação à temperatura da superfície do mar (De Barros Corrêa et al., 2019; Pérez-García; Meave; Cevallos-Ferriz, 2012).

A dinâmica dos rios não perenes em ambientes tropicais secos apresenta descontinuidades de fluxo temporal e espacialmente, o que implica em vazões concentradas em um curto intervalo de dias ou durante um período chuvoso, respectivamente (Conesa-García et al., 2020; Zipper et al., 2022). Dependendo do regime de fluxo específico, os rios não perenes podem ser classificados, de acordo com as percepções mais comuns, como intermitentes, efêmeros, episódicos ou riachos que alternam entre fluxo efêmero e intermitente (Busch et al., 2020; Costigan et al., 2017). Os rios intermitentes deixam de fluir sazonalmente ou ocasionalmente, geralmente por semanas ou meses. Fluxos efêmeros fluem apenas em resposta a eventos de precipitação (de dias a semanas), transportando água de superfície apenas durante períodos muito curtos (de horas a dias), principalmente após eventos de chuvas fortes (Arthington; Bernardo; Ilhéu, 2014; Busch et al., 2020; Skoulidakis et al., 2017)

É importante destacar que canais fluviais de ambiente tropicais secos apresentam um comportamento-padrão quando estão secos, e os eventos de cheia são considerados como um aumento do fluxo acima do padrão. A frequência dos eventos de cheia é fator-chave para a compreensão dos processos geomorfológicos e a redistribuição de sedimentos em canais não perenes, visto que as enchentes são importantes desencadeadores de mudanças nesses ambientes (Fryirs; Brierley, 2012; Graf; Lecce, 1988; Souza; Almeida, 2015; Tooth, 2000).

Os eventos de cheia podem ser classificados em quatro tipos (rápidas, pico único, picos múltiplos e sazonais), sendo que cada um está sob a influência de diferentes condições de frequência de precipitação e drenagem. Porém a ocorrência de cheia rápida e pico único são geralmente associados a fluxos intermitentes ou efêmeros (Graf; Lecce, 1988; Souza; Almeida, 2015; Tooth, 2000). As cheias rápidas são definidas como eventos estimulados por chuvas convectivas. Nessas cheias, há o aumento rápido do nível da água, apresentando alta turbulência no seu fluxo, o qual chega a zero logo após o evento. De acordo com as condições da bacia e a conectividade dos canais, as cheias rápidas são mais severas. Para cheias de pico único, o fluxo surge, mantém-se, cresce até o pico e, depois, retorna ao nível inicial, tendo uma duração mais prolongada. É um tipo de cheia que apresenta uma progressiva resposta hidrológica de entrada

e saída de energia no canal. Já os eventos de cheias sazonais e de picos múltiplos são comuns aos canais que apresentam uma dinâmica de fluxo perene. Possuindo duração de poucos dias a semanas, os eventos de picos múltiplos são caracterizados por possuírem sucessivos picos de vazão devido a um conjunto de eventos de precipitação de maior intensidade dentro do período de cheia (Graf; Lecce, 1988; Nagler et al., 2016; Skoulikidis et al., 2017; Souza; Almeida, 2015; Tooth, 2000).

A partir das variações de eventos de vazão e fluxo dos canais, das condições das zonas processuais em que se encontram e dos controles estruturais, climáticos e condicionantes erosivos, pode-se compreender as morfologias presentes no ambiente fluvial, além de compreender e identificar o comportamento da dinâmica e o aporte de água e material sedimentar em cada uma das zonas processuais, bem como a quantidade e o tipo de sedimento disponível nele. Desse modo, a condição de vazão é determinada pelas características inerentes ao fluxo, como o tamanho máximo do material que pode ser transportado (competência), o volume a ser transportado (capacidade) e a carga de transporte (suspensa, de fundo ou dissolvida) (Conesa-García et al., 2020; Fryirs; Brierley, 2012; Sutfin et al., 2014).

Em rios não perenes, é comum a presença de canais largos e rasos em áreas de forte variação de descarga, com barras intercaladas no meio do canal e baixa resistência, normalmente instáveis. Os canais que apresentam margens fluviais compostas de material de baixa coesão (areia e cascalho) geram diferenças marcantes nos processos de erosão e tendem a facilitar o processo de migração lateral. Já as margens compostas de material resistente como as rochas não apresentam processo de migração lateral do canal (Fryirs; Brierley, 2012; Santos; Souza, 2020).

Pode-se afirmar que a vegetação ripária é de suma importância na mitigação da erosão e degradação de áreas aluviais. A vegetação fornece um componente de resistência adicional à hidráulica do canal, portanto é importante na redução da erosividade dos fluxos. A resistência gerada por diferentes plantas à erosão e a eficiência de captura de sedimentos variam de acordo com as espécies e seu posicionamento dentro do canal (Brierley; Fryirs, 2000; Picco et al., 2017; Sandercock; Hooke, 2010). Em áreas conservadas, a vegetação tende a se apresentar desenvolvida e rica em espécies, contribuindo para maior coesão dos materiais da margem, enquanto, em áreas mais degradadas ou com baixa cobertura vegetal, pode apresentar maior susceptibilidade à migração lateral (Cavalcante et al., 2021).

4.2. Eco-hidrologia e biogeomorfologia em áreas ripárias de rios não perenes

As interações entre a vegetação ripária e os processos fluviais são importantes impulsionadores do desenvolvimento físico e ecológico dos ecossistemas fluviais (Corenblit et al., 2007; Gilbert; Wilcox, 2021; González del Tánago et al., 2021). A vegetação ripária interage com a morfologia do rio em uma ampla gama de escalas espaciais e temporais, produzindo uma série heterogeneidade e *feedbacks* não lineares complexos, que dificultam estimativas diretas do papel de elementos-chave na evolução morfológicas dos rios, principalmente dos rios não perenes (González del Tánago et al., 2021; Gurnell et al., 2016).

No caso, as florestas tropicais sazonalmente secas (FTSS) apresentam estrutura menor e uma área basal mais baixa do que as florestas tropicais úmidas e com espécies espinhosas mais frequentes. A relação com clima é complexa, desse modo, a sazonalidade irá interferir no crescimento, no processo de floração e na produção de serapilheira (Jaramillo et al., 2003).

Contudo, as FTSS são caracterizadas por seu dossel fechado, o que as distingue das savanas. Ocorrem nas regiões dos trópicos, onde os solos são considerados férteis e que são áreas que sofrem secas sazonais, e, como forma de adaptação, acionam vários mecanismos bioquímicos, fisiológicos e morfológicos integrados. Apresentam vantagens adaptativas, assim como ajustes metabólicos temporários a seu favor para facilitar a economia hídrica (Siyum, 2020; Sun et al., 2015).

As respostas das FTSS ao estresse hídrico incluem o fechamento estomático, o enrolamento e o dobramento foliar, o ajuste osmótico, o espessamento de cera cuticular, a redução da área foliar, a abscisão foliar, o alongamento radicular e a redução nos teores de clorofila, entre outras, ou seja, alterações e adaptações na plasticidade fenotípica das espécies, capacitando-as a enfrentar os estresses ambientais a fim de mitigar seus efeitos (Jaramillo et al., 2003; Souza, 2020; Sun et al., 2015).

A vegetação ripária das FTSS, além de apresentar influência do regime de precipitação, é regida fortemente pela hidrologia e pelos processos fluviais, principalmente o de perturbação (Wohl et al., 2015). Ademais, a composição e a sucessão da vegetação ripária é condicionada pela biogeografia regional e pela conectividade ao longo dos canais fluviais (Merritt, 2013).

A vegetação ripária é responsável por muitas das funções ecológicas desempenhados pelos ecossistemas fluviais. Estrutura recursos alimentares (sementes, frutas, pólen, folhagem e madeira) e propriedades geomórficas estabilizadoras ao longo das margens e planícies de inundação (caules e troncos), facilitando a atenuação de inundações, a recarga de águas subterrâneas e a deposição de sedimentos (Dugdale et al., 2018; Sievers; Hale; Morrongiello,

2017). Além disso, a vegetação desempenha muitas outras funções, como o armazenamento de sedimentos e, indiretamente, a contribuição para o carbono e nutrientes do solo, que sustentam as comunidades microbianas e os processos biogeoquímicos (González del Tánago et al., 2021; Merritt, 2013).

As espécies que crescem ao longo dos rios estão sujeitas a tensões e oportunidades associadas a águas correntes e estagnadas e a lençóis freáticos. Regimes de perturbação associados a processos fluviais, padrões hidrológicos sazonais e interanuais (tempo, magnitude, duração, frequência e taxa de mudança no fluxo), dispersão ao longo do canal e formação sazonal de novos locais causados por inundações são todos característicos de habitats fluviais. As pressões seletivas associadas a perturbação fluvial, inundação, submersão, soterramento e erosão resultaram em espécies adaptadas aos rios e seus habitats fluviais (Corenblit et al., 2009; Lytle; Poff, 2004; Merritt; Nilsson; Jansson, 2010) e em conjuntos de espécies com alta riqueza e diversidade estrutural, altas taxas de renovação e propriedades ecossistêmicas exclusivas de ambientes fluviais (Merritt, 2020).

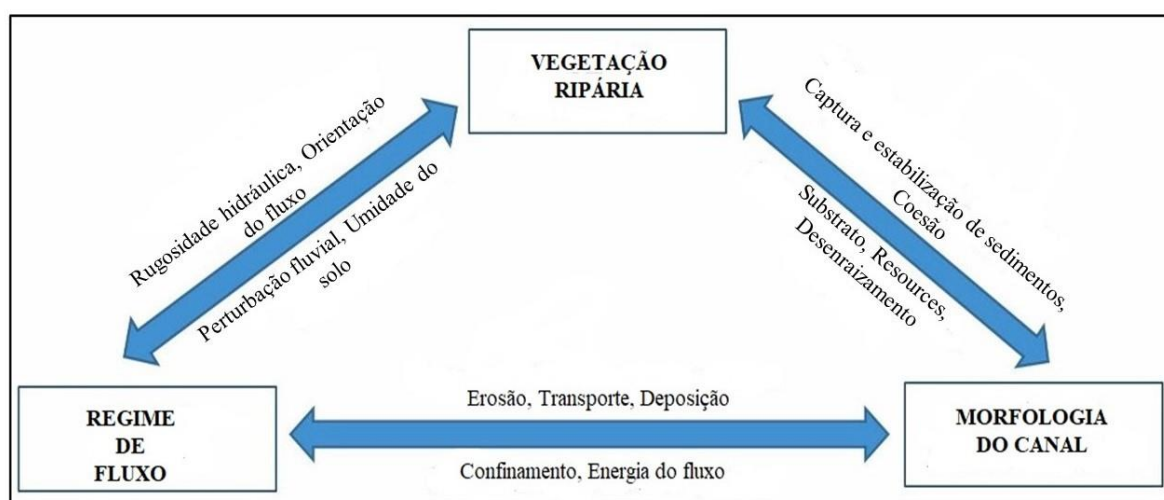
Define-se vegetação ripária como aquela cujo estabelecimento, crescimento e sobrevivência dependem dos processos fluviais (Conesa-García et al., 2020; Dufour; Rodríguez-González; Laslier, 2019; Gilbert; Wilcox, 2021; Naiman; Décamps; McClain, 2005). Uma vez estabelecida, a vegetação ripária interage com esses processos fluviais (principalmente inundações e erosão de sedimentos, transporte e deposição) e se torna um componente-chave da dinâmica do rio, aumentando sua influência ao longo de seu crescimento e desenvolvimento (Corenblit et al., 2011; González del Tánago et al., 2021; Gurnell; Bertoldi; Corenblit, 2012; Tal; Paola, 2010).

A presença de vegetação ripária é frequentemente associada à estabilização das margens, das barras e das planícies. Em uma escala espacial maior, influencia principalmente no estilo de planta e geometria do canal, como o surgimento de unidades geomórficas nele (Bertoldi et al., 2014b; Gurnell et al., 2016). A coesão adicionada reduz a erosão das margens, retardando a migração lateral e longitudinal de características morfológicas e modificando a topografia do leito por deposição de sedimentos e acréscimo de áreas vegetadas (Bertoldi; Gurnell; Drake, 2011; Bertoldi et al., 2014b; Tal; Paola, 2010).

Devido a essas interações entre a vegetação, o fluxo de água e as formas de relevo fluviais (Figura 8), a vegetação ripária tem sido progressivamente considerada nas análises fluviais como um grande influenciador nas mudanças geomórficas nos canais dos rios e nas planícies de inundação (Corenblit et al., 2007; González del Tánago et al., 2021). Estudos de

campo e de laboratório provaram que a morfologia e as alterações do canal estão fortemente ligadas ao crescimento e ao desenvolvimento da vegetação ripária, que controla a erosão das margens e promove a sedimentação (Bertoldi et al., 2015; González del Tánago et al., 2021; Tal; Paola, 2010).

Figura 8: Interações entre regime de fluxo, morfologia do canal e vegetação que determinam a dinâmica fluvial



Fonte: adaptado de Tanago et al., 2021.

A magnitude, a frequência e o momento dos distúrbios fluviais são cruciais para a dispersão, o estabelecimento e a sobrevivência das plantas e para a sucessão da comunidade (Figura 8) (Corenblit et al., 2009; Greet; Angus Webb; Cousens, 2011; Gurnell; Bertoldi, 2020; Steiger et al., 2005; Wilcox; Shafroth, 2013). As propriedades da paisagem (por exemplo, elevação, topografia), juntamente com as características climáticas, hidrológicas e geológicas, determinam a temperatura do ar e a disponibilidade de umidade do solo, que controlam o crescimento da vegetação. Reciprocamente, o crescimento da vegetação, a sucessão de espécies e os processos de rejuvenescimento influenciam a temperatura local e a disponibilidade de umidade do solo (Dugdale et al., 2018). O crescimento e a sucessão da vegetação reforçam gradualmente a estabilidade do solo nas margens do canal e podem modificar a velocidade do fluxo, a frequência das inundações e a forma do rio (Gran; Tal; Wartman, 2015).

A vegetação contribui para a rugosidade do canal e consequentemente para a hidráulica e os padrões de transporte e deposição de sedimentos. Generalizar sobre os efeitos da vegetação é extremamente complicado, pois os efeitos variam de acordo com a espécie, a forma de vida, a idade da planta ou o estágio de desenvolvimento, abundância, distribuição, estação do ano e formas de crescimento (Errico et al., 2018; Simon; Castro, 2003).

A fisionomia das plantas é o atributo mais importante da vegetação que afeta a hidráulica e os processos de canalização. A parte aérea das plantas aumenta a rugosidade hidráulica, o

arrasto, a resistência ao fluxo e a turbulência e reduz a capacidade de transporte dos canais. Os caules das plantas submersas podem diminuir localmente a tensão de cisalhamento no leito e nas margens do canal, aumentando a heterogeneidade espacial no campo de velocidade e promovendo a retenção de partículas e sedimentação (Cucchiaro et al., 2021; Errico et al., 2018; Nicosia; Ferro, 2023).

Os rios não perenes de ambientes tropicais seco apresentam padrões muito irregulares de riqueza de espécies ao longo de seus cursos, o que se acredita estar ligado a irregularidades na disponibilidade de água. Essas irregularidades nos padrões de vegetação podem ser resultado de descontinuidades induzidas por mudanças entre as águas superficiais intermitentes e permanentes durante o ano, que se refletem na distribuição espacial da vegetação (Bendix; Hupp, 2000; Sandercock; Hooke; Mant, 2007; Tabacchi et al., 1996).

A distribuição e a composição da vegetação ripária têm sido associadas a diferentes fatores hidrogeomorfológicos que incluem frequência e magnitude de inundações, profundidade ao lençol freático, forma de canal e vale. Cada um desses fatores apresenta efeitos específicos para cada espécie (Hooke, 2022; Juracek; Fitzpatrick, 2022; Sandercock; Hooke, 2010).

A redução da velocidade do fluxo pode aumentar a sedimentação, muitas vezes produzindo áreas vegetadas no leito do canal (Lightbody et al., 2019; Surian et al., 2015). Eventos de alto fluxo (inundações) também são uma força importante na estruturação de ecossistemas ripários em ambientes tropicais secos (Pandey et al., 2022; Rood et al., 2007; Stromberg et al., 2007). Espécies ripárias diferem em sua capacidade de resistir ou se regenerar rapidamente após a perturbação da inundação (Bendix, 1994; Kui et al., 2014).

As distribuições das zonas de vegetação e as relações com as condições de fluxo foram estudadas extensivamente em canais efêmeros (Reynolds; Shafroth, 2017; Sandercock; Hooke; Mant, 2007; Shaw; Cooper, 2008). Os canais de ambientes secos diferem dos canais úmidos comumente estudados porque as principais espécies lenhosas são freatófitas, com raízes principais muito longas (Hooke, 2023; Sandercock; Hooke; Mant, 2007). Zonamento marcado de vegetação e espécies é comum à maioria dos ambientes fluviais, mas (Tabacchi et al., 1996) descobriram que os padrões de vegetação nos rios não perenes espanhóis são mais influenciados por padrões locais do que outros rios, tendo padrões irregulares de riqueza de espécies ao longo dos canais, pensados para serem amplamente ligados a irregularidades na disponibilidade de água. (Bendix, 1999) mostrou que a vegetação variou ao longo do canal e de um trecho em resposta a variações na potência do fluxo, profundidade do lençol freático, elevação, aspecto,

largura do vale e histórico de incêndios. Muitos estudos no sudoeste dos Estados Unidos da América (EUA) mostraram a estreita relação do tipo de vegetação e distribuição com as condições hidrológicas, em várias escalas (Hooke, 2023; Lite; Bagstad; Stromberg, 2005; Reynolds; Shafroth, 2017; Shaw; Cooper, 2008).

Merritt, (2022b) coloca que, em canais não perenes, a riqueza de espécies da vegetação ripária pode ser maior em áreas periodicamente perturbadas fluvialmente, próximas aos canais, e diminuir exponencialmente em função da superfície fluvial, tornando essas superfícies inundadas frequentemente ricas em espécies e mais vulneráveis à alteração hidrológica (McCoy-Sulentic et al., 2017; Merritt, 2022b; Vesipa; Camporeale; Ridolfi, 2017). Portanto a disponibilidade de água determina, em grande parte, a qualidade dos locais de recrutamento e a germinação das sementes e a sobrevivência das plântulas dependem principalmente da relação entre regime hidrológico, topografia e textura do sedimento (Guilloy-Froget et al., 2002; Pettit; Latterell; Naiman, 2006).

Os eventos extremos de vazão têm a capacidade geomórfica de remobilizar e depositar sedimentos, distribuindo sementes para que essas espécies se estabeleçam sem competição de indivíduos preexistentes. As sementes germinam à medida que os altos fluxos diminuem e expõem a sedimentos úmidos superficiais, também ocorre a rebrotação de espécies a partir de galhos e detritos lenhosos que são depositados em algumas unidades geomórficas do canal (leito e barra) (Stromberg; Lite; Dixon, 2010).

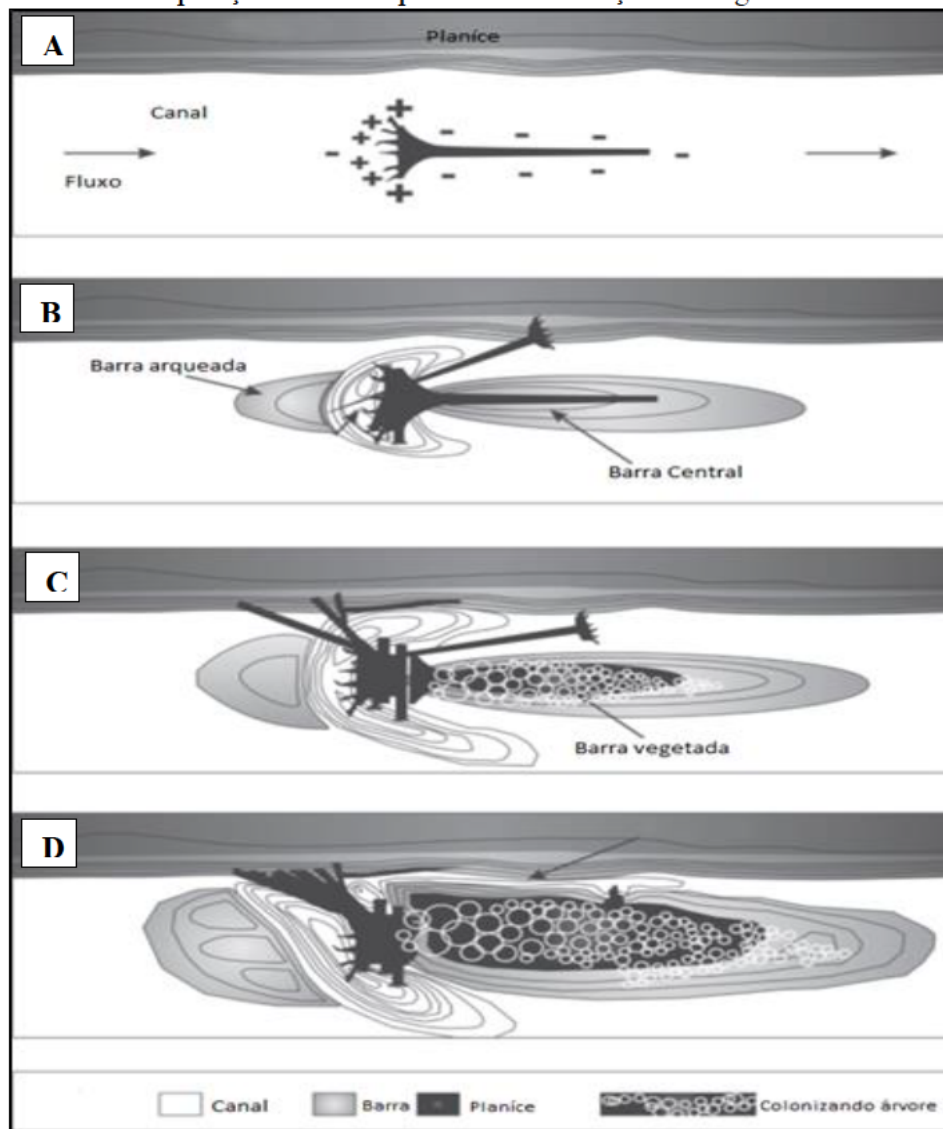
As inundações podem ser vistas como agentes causadores de mortalidade e redução da biodiversidade de alguns indivíduos da vegetação ripária ao mesmo tempo que criam oportunidades para o estabelecimento de espécies pioneiras (Kui et al., 2014; Maxwell et al., 2019; Stromberg; Lite; Dixon, 2010), provocando mudanças geomórficas e alterando a disponibilidade de recursos, incluindo água, luz e nutrientes (Bendix; Hupp, 2000; Datry; Larned; Tockner, 2014; Shen et al., 2019; Stromberg; Lite; Dixon, 2010).

As interações entre o estabelecimento de espécies lenhosas e os processos hidrogeomórficos levam ao surgimento de diversos tipos de unidades biogeomórficas dentro dos canais, como barras arborizadas, ilhas e planícies aluviais (Corenblit et al., 2009; Gurnell, 2014; Osterkamp; Hupp, 2010; Wintenberger et al., 2015). Em particular, em rios energéticos, a construção de relevos fluviais pode ser reforçada por espécies pioneiras lenhosas que são bem adaptadas a restrições hidrogeomórficas. Essas espécies estabilizam o substrato com seus sistemas radiculares e aprisionam sedimentos com suas estruturas aéreas (Pollen-Bankhead; Simon, 2010; Rodrigues et al., 2007).

A influência da vegetação ripária como engenheiros do rio que afetam o contexto físico dos canais dos rios tem sido amplamente documentada (Corenblit et al., 2015; Gurnell, 2014). A vegetação ripária cria e modifica sucessivamente as formas fluviais (Gurnell, 2014; Gurnell; Petts, 2006; Tal; Paola, 2010). A arquitetura do dossel e das raízes e a distribuição espacial dos indivíduos influenciam fortemente a resistência ao fluxo e a direção dos fluxos. Além disso, a altura e a densidade da vegetação (ou seja, “biovolume” dos indivíduos) têm uma grande capacidade de retenção de sedimentos, que pode ser frequentemente reforçada por grandes detritos lenhosos (Corenblit et al., 2009; Gurnell; Petts, 2002; Politti et al., 2018). O papel hidromorfológico da vegetação ripária, fornecendo madeira de grande porte, foi profundamente estudado e demonstrado (Bertoldi et al., 2014a; Gurnell et al., 2005; Piégay; Gurnell, 1997), mostrando o impacto dela na morfologia e na dinâmica em canais fluviais (Bertoldi et al., 2015; Wohl et al., 2015). No rio Tagliamento, na Itália, (Gurnell; Petts, 2006) demonstraram a função das árvores no desenvolvimento da barra e na colonização e na sucessão das plantas, referindo-se às árvores como “engenheiras do ecossistema” (Gurnell; Petts, 2006).

Árvores desenraizadas brotam para formar pontos de acreção sedimentares iniciais característicos, levando à formação de barras estáveis. Essas barras se desenvolvem dentro de limiares definidos pela potência das correntes, taxas de crescimento lenhoso e taxas de sedimentação, e mais rapidamente onde as espécies ripárias são capazes de brotar de troncos. Após a destruição por grandes inundações pouco frequentes, os mesmos tipos de barras e ilhas se desenvolvem novamente no canal porque essas árvores pioneiras reiniciam o ciclo de sua construção (Figura 9) (Gurnell; Petts, 2006; Hooke, 2023). Ao longo do rio Sabie, na África do Sul, no semiárido, os detritos lenhosos depositados contra árvores vivas demonstraram ser uma área importante para a colonização e a estabilização de planícies aluviais após grandes inundações (Pettit; Latterell; Naiman, 2006; Pettit; Naiman, 2006).

Figura 9: Modelo do papel de grandes detritos lenhosos na formação, no crescimento e na incorporação da ilha na planície de inundação ao longo do rio.



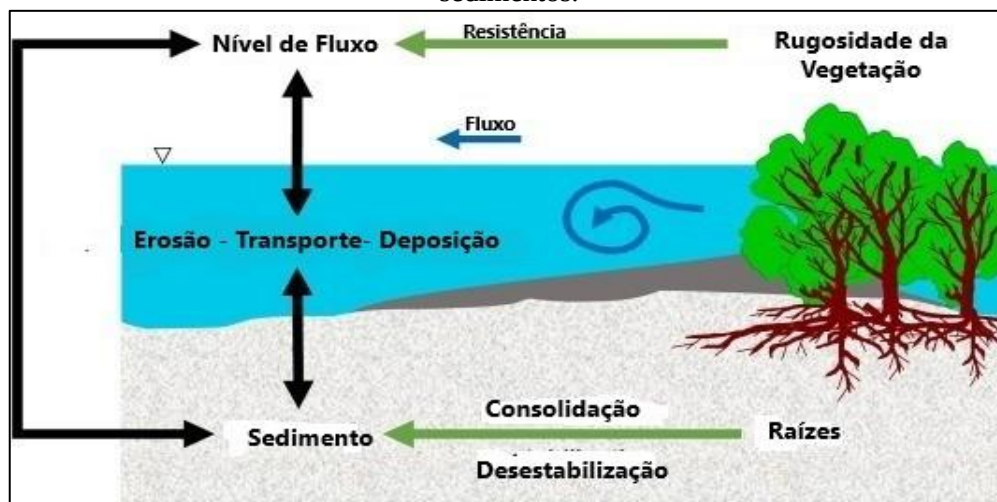
Fonte: adaptado de MERRITT, 2020.

Durante o intervalo entre os distúrbios de inundação, a vegetação pode reforçar a predisposição, biogeomórfica à estabilização, pois modifica os limiares geomórficos e as subsequentes respostas das formas de relevo ao regime de distúrbios. (Bendix; Hupp, 2000) descreveram esse processo de *feedback* biogeomórfico e sugerem que o acréscimo de relevo induzido pela vegetação resulta em mudanças na composição das comunidades, enquanto a frequência e a magnitude reduzidas das inundações resultantes do acréscimo de relevo, combinadas com mudanças sucessionais na vegetação, alteram a contribuição da vegetação para a sedimentação.

O modelo elaborado por (Corenblit et al., 2007) e mostra as interações recíprocas entre estrutura da vegetação, fluxo de água e dinâmica dos sedimentos (Figura 10). As setas cinzas indicam a contribuição da vegetação para o processo de morfogênese (erosão, transporte e

deposição de sedimentos). A vegetação modifica a velocidade do fluxo, a profundidade do fluxo e o regime de fluxo e controla a coesão do sedimento pelas raízes (Corenblit et al., 2024).

Figura 10: Modelo de interações recíprocas entre estrutura da vegetação, fluxo de água e dinâmica dos sedimentos.



Fonte: adaptado de CORENBLIT et al, 2007e 2024.

De forma geral, a influência da vegetação no processo fluvial e na forma do canal pode ser categorizada como aquela que ocorre: (1) subterrâneas e afetam as propriedades inerentes do próprio substrato (mecânicas); e (2) aquelas que ocorrem acima do solo e interferem nas características do fluxo (hidráulicas). A influência mecânica inclui raízes e outros tecidos enterrados (Polvi; Wohl; Merritt, 2014). A hidráulica inclui o material acima do solo, como caules, troncos, galhos, copas e serapilheira e detritos lenhosos que influem no fluxo e na mecânica dos sedimentos, bem como na proteção física do substrato contra as ações do cisalhamento. Abaixo do solo, as raízes da vegetação podem reforçar a coesão dele e a resistência das unidades geomórficas. De modo que a vegetação influencia no teor de água do solo por meio de: (1) extração da matriz do solo pela absorção de água pelas raízes; (2) interceptação de água; (3) entradas de água no solo devido a levantamento hidráulico; e (4) efeitos de raiz nas taxas de infiltração (por exemplo, macroporos e fluxo preferencial ao longo de caminhos de raiz). Ao afetar a umidade do solo, as espécies influenciam diretamente as propriedades do solo, como a coesão e a agregação do solo (força inerente) (Corenblit et al., 2007; Polvi; Wohl; Merritt, 2014; Scott; Merritt, 2020).

A vegetação, por suas propriedades de resistência e influência no fluxo e na sedimentação, é reconhecida por seu potencial para diminuir a conectividade das transferências de sedimentos ao longo da rede de canais (Hooke, 2007, 2016). Isto é, havendo uma condição de preservação da vegetação, menor será a erosão e, portanto, menor a conectividade. Do contrário, se não há estrato herbáceo para aumentar o nível de rugosidade do solo, a erosão será

maior e, conseqüentemente, a conectividade também será maior (Bracken; Croke, 2007; Corenblit et al., 2007).

A conectividade pode ser entendida como a capacidade de transmissão entre unidades de paisagem e pode ser usada para entender a dinâmica dos fluxos hidrológicos de água, sedimentos e nutrientes (Marchamalo; Hooke; Sandercock, 2016; Pringle, 2003; Souza; Hooke, 2021; Wohl, 2017). O conceito, originário da ecologia (Ward; Stanford, 1995), é amplamente utilizado em hidrologia, geomorfologia e pesquisa de erosão e sedimentação, em escalas que vão desde trechos até bacias (Bracken; Croke, 2007; Brierley; Fryirs; Jain, 2006; Fryirs et al., 2007). Segundo (Brierley; Fryirs; Jain, 2006), a conectividade pode variar em três dimensões: a dimensão longitudinal, a lateral ou transversal e a vertical. Sendo a conectividade vertical importante para dinâmica ecológica, devido às trocas químicas, biológicas e hidrológicas que ocorrem entre superfície e subsuperfície, controladas pela textura do material da superfície (Zanandrea et al., 2020).

A vegetação tem grande influência na conectividade hidrológica, tem efeito positivo na infiltração, aumentando a matéria orgânica, diminuindo a densidade aparente, reduzindo os impactos dos respingos de chuva na superfície e, principalmente, aumentando a infiltração e a condutividade hidráulica (Bracken; Croke, 2007; Lou et al., 2023; Thornes, 1976). Durante a precipitação intensa, ocorre o escoamento em áreas de solos expostos, contudo ele se infiltra quando atinge uma área com vegetação, limitando a conectividade sedimentológica/lateral e aumentando a conectividade vertical (Bracken; Croke, 2007; Zanandrea et al., 2020).

Desse modo, além da vegetação influenciar na conectividade fluvial, apresenta uma importância na manutenção ou alteração da morfologia dos canais. (Tal; Paola, 2010) demonstraram como a vegetação ripária modificou a morfologia de um canal. A partir da estabilização das margens, o fluxo do canal se reorganizou e um canal que apresentava um estilo entrelaçado teve sua morfologia alterada para canal único, ou seja, a vegetação concentrou o fluxo em um único canal dominante até que a redução na largura total do canal levasse a um novo estado auto-organizado. Assim, a presença de vegetação foi responsável pelo fortalecimento das margens, pela sedimentação e pelo bloqueio do fluxo em um canal de leito aluvial, permitindo que o canal mantivesse suas dimensões enquanto se movia ativamente, em contraste com canais sem vegetação (Braudrick et al., 2009).

Isto foi observado experimentalmente por muitos pesquisadores (por exemplo, Bertoldi et al., 2015; Braudrick et al., 2009; Gran; Paola, 2001; Tal; Paola, 2010; Van Dijk et al., 2013). Kleinhans e Van den Berg, (2011) argumentam, de forma semelhante, que a vegetação afeta

significativamente a mobilidade do canal, observando que a alta sinuosidade é, em parte, causada pela vegetação densa que resiste ao corte pela formação do canal de calha. (Birken; Cooper, 2006) demonstraram a variação na sensibilidade da largura do canal para diferentes formas de vegetação do canal ao longo do baixo Green River, Utah, EUA. Concluíram que a localização, o tipo, a idade e a saúde da vegetação podem exercer diferentes efeitos significativos na morfologia do canal.

De modo geral, a vegetação atua como um parâmetro-chave para controlar o ciclo biogeomórfico por meio de sua capacidade de (1) colonizar e se desenvolver suficientemente rápido entre inundações destrutivas em um substrato sem cobertura; (2) reter sedimentos; (3) resistir à destruição total por escoamento; e (4) aumentar a coesão dos sedimentos.

4.3. Técnicas e metodologias de análise e monitoramento vegetação ripária

A maior parte dos estudos sobre análise e monitoramento da vegetação ripária das florestas tropicais sazonalmente secas (FTSS) utilizam sensoriamento remoto, medição em campo, modelagem e análise estatística. Nas pesquisas que utilizaram o sensoriamento remoto como a metodologia-chave, observou-se o uso de imagens de satélites para a aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), de fotointerpretação e de produtos de levantamento de veículo aéreo não tripulado (VANT) (Assal et al., 2021; Džubáková et al., 2015; Kui et al., 2017; Langhammer; Lendzioch; Šolc, 2023; Pace et al., 2022). Nas pesquisas que utilizaram as medições de campo, observou-se a aplicação da técnica de transectos, parcelas e quadrantes (Beever et al., 2005; Corenblit et al., 2015; Han et al., 2022; Hooke, 2023; Reynolds; Shafroth, 2017; Zen et al., 2017). E as pesquisas que utilizaram modelagem sempre tiveram como base informações obtidas através das técnicas de medição de campo e(ou) sensoriamento remoto (Beever et al., 2005; Han et al., 2022; Hooke, 2023). É importante destacar que muitas pesquisas utilizam mais de uma técnica para realizar análise e monitoramento da vegetação ripária (Quadro 2).

O monitoramento da vegetação ripária pode ser alcançado por uma variedade de sensores e métodos (Carbonneau; Piégay, 2012). Mudanças na cobertura da vegetação ripária em grande escala são comumente quantificadas com dados de sensoriamento remoto, como imagens de satélite (Bertoldi; Gurnell; Drake, 2011; Caruso; Pithie; Edmondson, 2013; Johansen; Phinn; Witte, 2010; Parsons; Thoms, 2013; Verrelst et al., 2008) e fotografia aérea (Bertoldi; Gurnell; Drake, 2011; Mulla, 2013). Principalmente em imagens coletadas por sensores ópticos multiespectrais a bordo de satélites (OLI/Landsat-8, MSI/Sentinel-2, MUX e

WPM/CBERS-4A), podendo também ser realizado a partir de imagens coletadas por VANTs (Džubáková et al., 2015).

Os VANTs estão sendo cada vez mais usados para adquirir dados de resolução espacial para aplicações ecológicas e de conservação (Anderson; Gaston, 2013; Getzin; Wiegand; Schöning, 2012; Jensen et al., 2011; Messinger; Asner; Silman, 2016; Rango et al., 2009). A capacidade dos VANTs de pesquisar trechos longos e estreitos de hábitat com uma boa resolução espacial e custo relativamente baixo torna esta técnica particularmente vantajosa para avaliar o hábitat ribeirinho (Dufour et al., 2013; Dunford et al., 2009).

Quadro 2: Alguns métodos utilizados nos estudos de vegetação ripária

Referências	Localidade	Ambiente	Vegetação	Metodologias
BEEVER, et al., 2005	Bacias hidrográficas no centro-leste de Nevada, EUA	Semiárido	Herbáceas, arbustivas e arbórea	Parcelas, transectos, dados hidrológicos, análise estatística
DŽUBÁKOVÁ, et al., 2015	Rio Maggia, no sudeste da Suíça	Temperado	Herbáceas, arbustivas e arbórea	Dados meteorológicos e hidrológicos, monitoramento por câmera; análise do índice (NDVI)
CORENBLIT et al., 2016	Rio Garonne, França	Temperado	Arbustivas e arbórea	Análises fotogramétricas, parcelas, transectos, análise sedimentológicas, análises estatísticas
ZEN, et al., 2017	Rio Tagliamento, localizado no nordeste da Itália	Mediterrâneo	Árvore caducifólia	Imagens aéreas e medições de campo (quadrante)
REYNOLDS e SHAFROTH, 2017	A bacia do rio Colorado, no norte do Novo México, EUA	Desértico	Vegetação ripária	Transectos de vegetação, análise estatística, dados hidrológicos
KUI, et al., 2017	Rio Bill Williams represado, no Arizona, EUA	Semiárido	Vegetação lenhosa (arbustos e arbórea caducifólios)	Modelagem hidrológica, transectos de vegetação por fotointerpretação (fotografias aéreas)
ASSAL, et al., 2021	Bacia no centro-norte de Wyoming e no sul de Montana, EUA	Clima de estepe	Espécies coníferas e caducifólia (arbustivo e arbórea)	Parcelas, fotointerpretação (fotografias aéreas), modelagem, NDVI, EVI, NDMI, análise de tendências
HAN, et al., 2022	Rio Amarelo, oeste da China	Semiárido	Herbáceas, arbustivas e arbórea	Campo (transectos e parcelas), levantamento de VANT, modelagem
PACE, et al., 2022	Bacias hidrográficas do Noroeste de Portugal	Temperado	Florestas aluviais (arbustivas e arbórea)	Sensoriamento remoto (NDVI, LUI), campo (medições <i>in situ</i>)
LANGHAMMER et al., 2023	Riachos em Praga, República Tcheca	Moderadamente continental	Arbustivas e arbórea	Monitoramento com levantamento de VANT
HOOKE, 2023	Rambla Nogalte, no sudeste da Espanha	Semiárido	Herbáceas, arbustivas	Monitoramento da morfologia, vegetação e fluxo (quadrante, levantamento topográfico); análise estatística

Imagens derivadas de VANTs foram usadas para monitorar pastagens (Rango et al., 2009), terras áridas (Sankey et al., 2018), ambiente ripário (Cornejo-Denman et al., 2018; Dunford et al., 2009; Michez et al., 2016) e ervas marinhas (Nahirnick et al., 2019), analisando a cobertura, a composição, a estrutura e a distribuição da vegetação. Também foram usadas para monitorar a distribuição e a disseminação de plantas invasoras em zonas úmidas (Jensen et al., 2011) e terras áridas (Elkind et al., 2019), monitorar os processos fluviais que controlam a morfologia e o hábitat (Lejot et al., 2007; Woodget et al., 2017) e avaliar o hábitat dos peixes (Jensen et al., 2011; Tamminga et al., 2015).

Langhammer, Lendzioch e Šolc, (2023) realizaram monitoramento com VANTs durante seis anos em três riachos restaurados em Praga, República Tcheca, para identificar os recursos positivos e negativos que afetam sua sustentabilidade. O estudo apontou discrepâncias significativas na geometria do canal entre as restaurações planejadas e as restaurações realizadas em todos os projetos avaliados. O monitoramento com VANT com câmera RGB detectou problemas em aspectos qualitativos que limitam a qualidade da restauração, como uso excessivo de água e eutrofização extensa. Principalmente, o estudo identificou um baixo índice de restauração da vegetação ripária.

Os estudos que utilizaram dados de satélite mostraram um grande potencial para monitorar a cobertura vegetal e a frequência do monitoramento de rios (Huylenbroeck et al., 2020). Por exemplo, imagens de satélite WorldView-2 multiespectrais com resolução de 2 m foram usadas para discriminar espécies exóticas (por exemplo, salgueiros) da vegetação ribeirinha nativa circundante (Doody et al., 2014). Dados aéreo do LiDAR (*Light Detection and Ranging*) foram usados para analisar as condições da floresta (altura, continuidade longitudinal, acessibilidade à água) do *buffer* ribeirinho para destacar sua variabilidade regional e explorar os fatores que a controlam (Michez et al., 2016)

Entre o alto número de índices de vegetação, o NDVI tem sido frequentemente usado para avaliar tendências de vegetação de grande escala e de longo prazo (Peng et al., 2012). O NDVI pode ser usado para monitorar a produtividade primária ao longo do tempo (Pace et al., 2021), para investigar as relações produtividade-diversidade (Torresani et al., 2019; Wang et al., 2016) e para determinar a vegetação e a estrutura da paisagem (Álvarez-Martínez et al., 2018; Rocchini et al., 2018). Além disso, índices de vegetação multi-temporais podem ser usados para detectar mudanças na vegetação ripária e na morfologia do canal devido a processos hidrológicos e bioclimáticos (por exemplo, inundações e secas) (Nagler et al., 2020) ou a

atividades antropogênicas (por exemplo, barragens e alteração dos regimes hidrológicos e sedimentares) (Nagler et al., 2016; Zaimes; Gounaridis; Symeonakis, 2019).

No entanto ainda há incerteza associada ao uso de métricas NDVI em ecossistemas fluviais. A alta heterogeneidade espacial da paisagem fluvial e a alta dinâmica temporal dos habitats dos canais fluviais podem levar a resultados contrastantes entre NDVI e abordagens baseadas em campo, exigindo uma calibração local com medições *in situ* (Bizzi et al., 2016; Dias-Silva et al., 2021; Fonseca et al., 2021; Knehtl; Petkovska; Urbanič, 2018).

Pace et al., (2022) avaliaram a vegetação ripária em 50 locais de riachos de quatro bacias hidrográficas no Noroeste de Portugal, utilizando o NDVI da vegetação ciliar (100 m), e índices de intensificação do uso da terra (LUI), e descobriram que a combinação de variáveis de sensoriamento remoto (largura do *buffer* da floresta ciliar e LUI) se correlaciona com a qualidade da vegetação ciliar e as concentrações de nitrogênio inorgânico dissolvido. Também descobriram que a densidade da vegetação ripária foi capaz de prever mudanças na biomassa vegetal vascular, exceto para briófitas.

O Assal et al., (2021), além de utilizar imagens de satélites e calcular índice de vegetação em sua pesquisa, utilizaram várias técnicas (parcelas, fotointerpretação, modelagem e análise de tendências) com objetivo de mapear e monitorar dois tipos de cobertura decídua, planalto e ribeirinho, e avaliaram uma série temporal Landsat de 35 anos (1985-2019) usando o teste Mann-Kendall para identificar tendências significativas na condição da vegetação decídua. Os resultados de tendências mostraram padrões consistentes que operam na escala da paisagem tanto na vegetação decidual das terras altas quanto na vegetação ripária. Uma tendência predominante de esverdeamento foi observada por 12 anos, seguida por uma tendência de escurecimento de nove anos, antes de retornar a uma tendência de esverdeamento nos últimos 13 anos do estudo. Os resultados indicaram que as tendências são impulsionadas pelo clima do período e por distúrbios locais ou intervenção de gerenciamento.

Outra técnica para a análise local detalhada da vegetação ripária é a fotografia terrestre, para monitoramento de condições e fenologia da planta (Nijland et al., 2014; Petach et al., 2014; Sakamoto et al., 2012; Sonnentag et al., 2012). Da mesma forma que os sistemas VANT, a fotografia terrestre tem a vantagem de uma alta resolução espacial e uma definição de usuário com taxa de amostragem regular. Além disso, a fotografia terrestre por sistemas totalmente automáticos tem custos operacionais mínimos após a instalação. As desvantagens são uma cobertura de área restrita (Crouzy et al., 2013).

Džubáková et al., (2015) usaram um sistema de câmera terrestre de alta resolução com sensibilidade de infravermelho para quantificar a resposta imediata da vegetação ripária à perturbação das cheias com a utilização de índices de vegetação. A análise foi realizada por cinco inundações em um período de quatro anos (2008-2011) em uma barra de cascalho de um rio trançado alpino (rio Maggia, Suíça). Os relativamente numerosos eventos de inundação nos quatro anos de estudo permitiram avaliar a resposta da vegetação da mesma composição de espécies a diferentes estágios de inundação e condições. Os resultados mostram resposta positiva (aumento) da vegetação em uma semana após as cheias, com um impacto seletivo determinado pela resistência da vegetação aos eventos. E uma imagem coerente da distribuição espacial da vegetação e resposta da planície de inundação nas três unidades de canal.

Outras técnicas para monitorar e avaliar a composição, a cobertura e a saúde da vegetação ripária são as medições diretas em campo: como aplicações de parcelas, transectos e quadrantes. É comumente usada para avaliar a integridade e a qualidade do hábitat ribeirinho para espécies alvo de conservação (Han et al., 2022; Michez et al., 2016; Reynolds; Shafroth, 2017). Para conhecer a dinâmica de uma comunidade vegetal em médio prazo, uma técnica para considerar seriam parcelas permanentes. Elas permitem avaliar a sucessão ecológica ou como a comunidade vegetal reage a eventos extremos e catastróficos, como incêndios e furacões. A localização das parcelas deve ser estabelecida com precisão para que possam ser monitorados por vários anos (Zen et al., 2017).

Parcelas permanentes têm sido utilizadas e recomendadas (nesse caso, parcelas quadradas de 10 × 10 m) como a melhor aproximação para detectar mudanças na saúde do mangue (Menéndez, L. y J. M. Guzmán, 2006; Merritt, 2013). Além disso, ter uma visão da biodiversidade na área, dentro das parcelas permanentes, monitorar populações animais e espécies focais de plantas, bem como registrar variáveis abióticas. A utilidade dos dados de monitoramento para detectar mudanças ao longo do tempo e contribuir para o manejo adaptativo varia de acordo com o tamanho da amostra, o viés do observador, o uso de métodos repetíveis ou publicados e a precisão das medições, entre outros fatores (González-Oliva, et al, 2017).

Beever *et al.* (2005) realizaram uma pesquisa em quatro bacias hidrográficas no ambiente semiárido de Nevada, utilizando o método de parcelas de 10 m × 100 m e transectos de 100 m, para monitorar o comportamento da vegetação ripária em relação a efeitos climáticos e influências antrópicas entre o período de 1992 a 2001. A constatação de uma cobertura significativamente menor de gramíneas, arbustos e arbustos dentro das parcelas em 2001 em

comparação com 1992 não foi consistente com a decisão de manejo de remover o pasto de gado das bacias hidrográficas em 1999. Os resultados mostram que o método de amostragem parece produzir estimativas de cobertura consistentemente. A cobertura vegetal de todos os arbustos, exceto *Artemisia tridentata*, foi notavelmente menor em 2001 do que em 1992. As menores reduções aparentes na cobertura de gramíneas em 2001 (relativas às reduções em forbs e arbustos) podem significar que algum aumento de gramíneas pode ter ocorrido entre 1992 e 2001.

Hooke (2023) realizou um monitoramento por décadas em canais efêmeros no sudeste da Espanha, procurando analisar os impactos dos eventos de inundação extrema na vegetação ripária, como também identificar limites para danos e destruição de plantas, para avaliar as taxas de recuperação e para quantificar os efeitos da variação da densidade e da altura da vegetação na hidráulica do canal. Através de medições em campo, utilizando a técnica de quadrantes, levantamentos topográficos de seção transversal, medição de estágio de fluxo, registro de fotografias do canal e análise estatísticas. Obteve alguns dados sobre os impactos de eventos de inundação, incluindo a destruição e a remoção de algumas espécies. As taxas de recuperação variaram espacialmente, com pouca rebrotação nos canais principais ou nas planícies de inundação elevadas, mas um forte crescimento ocorrendo nas barras.

O monitoramento é essencial em programas de conservação de bacias hidrográficas. Aplicado corretamente, os resultados do monitoramento permitem mensurar e acompanhar o desenvolvimento de espécies ameaçadas, podem fornecer informações a respeito da cobertura vegetal ou da condição biogeomorfológica e da saúde das espécies, bem como fornecer respostas para saber por que mudanças estão ocorrendo. O monitoramento também permite mensurar o sucesso das ações de conservação e fornecer informações para orientar o gerenciamento.

De modo geral, as pesquisas que utilizam as técnicas de levantamentos em campos e dados amostrais da vegetação apresentam uma utilidade além de compreender as modificações na cobertura vegetal, são meios de obtenção de dados para construção incorporação de modelos e criação de cenários para aprimorar pesquisas futuras.

A técnica da modelagem também vem sendo utilizada pelos pesquisadores para as investigações do comportamento da vegetação ripária. Modelos de distribuição de espécies de plantas e características de plantas ao longo de gradientes hidrológicos na extensão das margens do canal e planícies aluviais podem facilitar compreensão da composição da vegetação ripária em cenários de mudanças climáticas futuras projetadas, bem como regimes de fluxo

gerenciados a jusante do desenvolvimento humano da água (McCoy-Sulentic et al., 2017; Merritt; Nilsson; Jansson, 2010; Scott; Merritt, 2020; Ström; Jansson; Nilsson, 2012; Vesipa; Camporeale; Ridolfi, 2017).

Com o objetivo de compreender a possível influência da mudança de clima e uso da terra na mudança de canal na região mediterrânea e provável tendência a maior desertificação, (Brookes; Hooke; Mant, 2000)construíram um modelo de simulação que incorporou efeitos da vegetação e *feedbacks* produzidos por variações no regime hidrológico. O modelo incorporou processos de crescimento, envelhecimento, morte, germinação, propagação e estresse da vegetação devido às condições de umidade e(ou) temperatura, bem como efeitos diretos de fluxo e mudança morfológica. Três tipos funcionais de vegetação, ervas, arbustos e freatófitas, cada um com quatro estágios de maturidade, foram modelados, e várias condições foram simuladas.

O modelo de fase de Sucessão Bigeomórfica Fluvial (modelo FBS) de Han *et al.* (2022) diferencia as fases Geomórfica (G), Pioneira (P), Bigeomórfica (B) e Ecológica (E) das interações hidrogeofísicas-biológicas em sistemas fluviais. As aplicações quantitativas desse modelo têm sido restritas a levantamentos de campo de análise da composição da vegetação em escala de áreas. Uma abordagem de mapeamento bigeomórfico de relevo foi desenvolvida para determinar a fase de sucessão bigeomórfica dominante na escala de alcance. A morfologia do rio categorizada em quatro tipos bigeomórficos de relevo (G-, P-, B- e E-*landforms*) que possuem características geomórficas, substrato e cobertura vegetal particulares. As proporções dessas formas de relevo são usadas para calcular a fase de sucessão dominante em um determinado trecho do rio. Um teste do método foi realizado para dois trechos e indica que as proporções do relevo fornecem uma abordagem eficiente e confiável para avaliar a fase de sucessão bigeomórfica do rio. A abordagem pode ser adaptada para suportar análises transescalares sistemáticas em toda a gama de ambientes fluviais (Han et al., 2022).

Por fim, é preciso destacar que realizar análise da vegetação ripária das FTSS, a partir de qualquer técnica e método, não se configura como uma tarefa fácil, devido a sua complexidade e a sua dinâmica sazonal. Além de a vegetação ripária das FTSS apresentar influência do regime de precipitação, é regida fortemente pela hidrologia e pelos processos fluviais. Sabendo disso, um grande desafio é compreender a dinâmica da vegetação ripária e analisar seu comportamento considerando as interações de precipitação e fluxo.

CAPÍTULO III

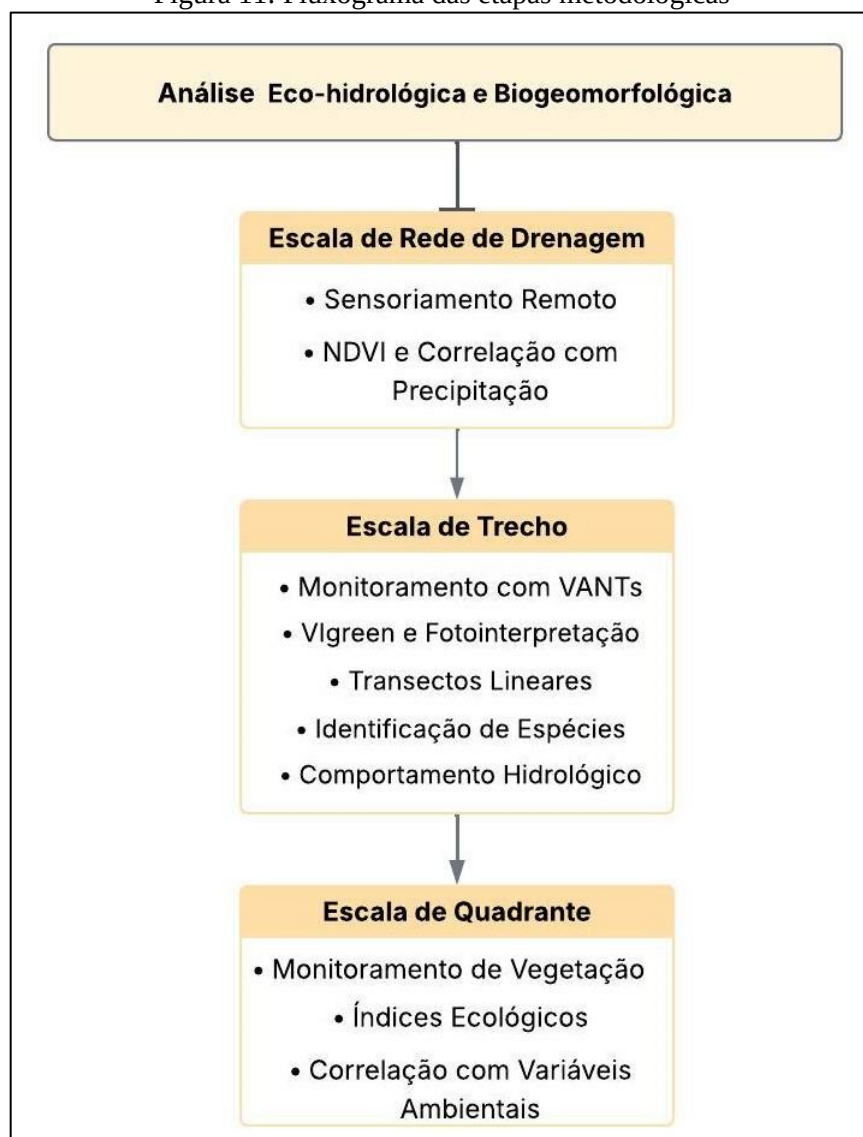
METODOLOGIA



5. METODOLOGIA

Para alcançar o objetivo proposto para esta pesquisa, foram definidas algumas etapas metodológicas visando compreender a dinâmica eco-hidrológica e biogeomorfológica em canais não perenes. Estas etapas estão organizadas em três escalas análises (Figura 11): rede de drenagem, trecho e quadrante. E foram produzidos a partir de Sensoriamento Remoto, monitoramento de vegetação, campo de coleta de matérias, análise dos dados de precipitação e dos dados estatísticos visando a análise das condições eco-hidrológicas e biogeomorfológicas.

Figura 11: Fluxograma das etapas metodológicas



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

5.1. Análise na escala de Rede Drenagem

Nesta etapa da pesquisa foi analisado o comportamento da vegetação ripária do riacho do Tigre e Cacimbinha correlacionado com acumulado da precipitação. A análise nessa escala permite analisar a interação entre o ambiente fluvial, as condições ecológicas e das respostas vegetativas às mudanças hidrológicas.

Com o intuito de avaliar a vegetação primária arbórea e arbustiva, e excluir as áreas de solo exposto e agricultura, foram utilizados os dados da variação da cobertura vegetal nativa da Caatinga da coleção do BETA do MapBiomas de 10m. Foram adquiridos imagem para o período de 2016 a 2023 (período de disponibilidade de imagens do satélite Sentinel-2). Assim, para cada ano disponível foi extraído do *buffer de* 100m, para ambos os lados da drenagem, tendo em vista a necessidade de entender o comportamento da vegetação no riacho do Tigre e Cacimbinha.

Desse modo, foi calculado o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) para as áreas delimitadas. Adquirimos imagens de satélite Sentinel-2 (S2A MSI L1C) para o período de 2016 a 2023 (Tabela 1), pois ele oferece imagens de alta resolução espacial (10m) disponíveis gratuitamente e cobertura global multiespectral com alta resolução temporal. Selecionamos imagens menos obscurecidas pela cobertura de nuvens e neblina para análise da cobertura vegetal. Para reduzir o erro, as imagens de sensoriamento remoto foram selecionadas apenas nos meses de crescimento da vegetação com cobertura de nuvens inferior a 20%, para garantir a qualidade e precisão na análise da cobertura vegetal. Isso resultou em 68 produtos válidos, adquiridas da interface de usuário do *EarthExplorer* (EE) (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) desenvolvida pelo United States Geological Survey (USGS).

Tabela 1: Data e satélite/sensor das imagens

Data da Imagem	Satélite /Sensor	Data da Imagem	Satélite /Sensor
07/12/2016	S2A MSI L1C	19/02/2021	S2A MSI L1C
06/01/2017	S2A MSI L1C	06/03/2021	S2A MSI L1C
25/02/2017	S2A MSI L1C	25/04/2021	S2A MSI L1C
06/04/2017	S2A MSI L1C	25/05/2021	S2A MSI L1C
10/07/2017	S2A MSI L1C	14/06/2021	S2A MSI L1C
04/08/2017	S2A MSI L1C	14/07/2021	S2A MSI L1C
27/12/2017	S2A MSI L1C	18/08/2021	S2A MSI L1C
16/01/2018	S2A MSI L1C	06/12/2021	S2A MSI L1C
05/02/2018	S2A MSI L1C	15/01/2022	S2A MSI L1C
02/03/2018	S2A MSI L1C	09/02/2022	S2A MSI L1C
26/04/2018	S2A MSI L1C	26/03/2022	S2A MSI L1C
16/05/2018	S2A MSI L1C	15/04/2022	S2A MSI L1C
05/06/2018	S2A MSI L1C	15/05/2022	S2A MSI L1C

Data da Imagem	Satélite /Sensor	Data da Imagem	Satélite /Sensor
05/07/2018	S2A MSI L1C	09/06/2022	S2A MSI L1C
14/08/2018	S2A MSI L1C	09/07/2022	S2A MSI L1C
22/12/2018	S2A MSI L1C	08/08/2022	S2A MSI L1C
01/01/2019	S2A MSI L1C	11/12/2022	S2A MSI L1C
20/02/2019	S2A MSI L1C	20/01/2023	S2A MSI L1C
27/03/2019	S2A MSI L1C	14/02/2023	S2A MSI L1C
21/04/2019	S2A MSI L1C	31/03/2023	S2A MSI L1C
31/05/2019	S2A MSI L1C	10/04/2023	S2A MSI L1C
25/06/2019	S2A MSI L1C	10/05/2023	S2A MSI L1C
05/07/2019	S2A MSI L1C	24/06/2023	S2A MSI L1C
29/08/2019	S2A MSI L1C	14/07/2023	S2A MSI L1C
12/12/2019	S2A MSI L1C	23/08/2023	S2A MSI L1C
11/01/2020	S2A MSI L1C	06/12/2023	S2A MSI L1C
15/02/2020	S2A MSI L1C	05/01/2024	S2A MSI L1C
06/03/2020	S2A MSI L1C	14/02/2024	S2A MSI L1C
05/04/2020	S2A MSI L1C	20/03/2024	S2A MSI L1C
05/05/2020	S2A MSI L1C	19/04/2024	S2A MSI L1C
24/06/2020	S2A MSI L1C	10/05/2024	S2A MSI L1C
24/07/2020	S2A MSI L1C	24/06/2024	S2A MSI L1C
23/08/2020	S2A MSI L1C	14/07/2024	S2A MSI L1C
21/12/2020	S2A MSI L1C	28/08/2024	S2A MSI L1C

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

Em seguida, foram feitos o pré-processamento, o processamento, o recorte da área e gerado o NDVI conforme a Equação 1, utilizando as bandas 4 e 8 do Sentinel-2, que foram calibradas para detectar radiação nas regiões visível (vermelho) e infravermelho próximo (NIR) do espectro, respectivamente.

Equação 1

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (1)$$

Os valores de NDVI variam entre -1,0 e 1,0, sendo que valores próximos ou inferiores a zero indicam características não vegetadas, como água, nuvens e superfícies áridas. A partir dos *rasters* de NDVI derivados (com resolução de 10 m), foram extraídos os valores médios para cada buffer de cobertura vegetal do ano representativo, os quais representam o NDVI em relação à variação da vegetação primária no ambiente ripário.

A existência da precipitação influencia no comportamento da vegetação com o ganho de folhas, mas a ausência dela também influencia em seu ciclo fenológico, fazendo com que ela vá perdendo suas folhas em uma das formas de adaptação. A análise da precipitação é imprescindível pois a vegetação, respondem a eventos de chuva em diferentes velocidades e

taxas, muitas vezes de forma rápida. Dependendo da precipitação antecedente, uma mesma área de vegetação pode variar o seu valor de IVDN desde 0,2 o que a classificaria como savana ou vegetação esparsa, até 0,6 resposta de floresta tropical, em alguns locais esse valor pode chegar a 0,8 (Araujo, 2024; Souza; Hooke, 2021). Para a identificação dos acumulados pluviométricos para cada imagem, foram utilizados dados de chuva de duas estações (tabela 2) da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), quatro estações da Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba (AESA), e quatro estações do Laboratório de Estudos do Semiárido (LAESA UFPB).

Tabela 2: Localização dos Postos Pluviométricos.

Fonte de Dados	Municípios	Localização dos postos	
AESA	Camalaú	-7,89	-36,8256
AESA	São João do Tigre	-8,08	-36,8472
AESA	Congo	-7,89	-36,66
AESA	São Sebastião do Umbuzeiro	-8,15	-37,0097
APAC	Poção	-8,1894	-36,7069
APAC	Jataúba	-7,9864	-36,5006
LAESA-UFPB	São João do Tigre	-8,0853	-36,6713
LAESA-UFPB	Camalaú	-7,9671	-36,8634
LAESA-UFPB	Congo	-7,7468	-36,6602
LAESA-UFPB	São Sebastião do Umbuzeiro	-8,166	-37,0496

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Sendo assim, foi realizado a separação e a análise dos dados para que fosse efetuada a correlação com a vegetação, dentro do determinado recorte temporal. Desse modo, foram analisados os dados de precipitação, calculados e tabulados em *Excel*, a partir das funções de soma e concatenação, assim foi possível chegar aos acumulados de chuva 30, 60, 90 e 120 antes do imageamento por satélite.

Em seguida foi realizada as correlações para o entendimento do grau de relação entre as duas variáveis, utilizou-se o método de Pearson. O coeficiente de correlação pode variar de -1 a +1. Quanto maior for o valor absoluto do coeficiente, mais forte é a relação entre as variáveis. Um valor absoluto de 1 indica uma relação linear perfeita, se for mais próxima de 0 indicará que não há relação linear entre as variáveis (ROGERSON, 2022). Assim gerou-se então as correlações entre os acumulados de chuva e os valores do IVDN e os gráficos de dispersão para cada *buffer* dos riachos, no *software* estatístico R, avaliou-se também a melhor correlação para cada riacho.

5.2. Análise na escala de Trecho

5.2.1. Monitoramento com VANTs

Para a escolha dos trechos, foram realizados três campos exploratórios (tabela 3), visitados 36 trechos nos principais canais da bacia, riacho do Tigre, Cacimbinha e Santa Maria, para reconhecimento da área e definição estratégica dos trechos de monitoramento. Foram observados alguns critérios. O primeiro deles é que os trechos estejam próximos ao ponto de monitoramento de cota de vazão do Grupo de Estudo em Ambientes Fluviais Semiáridos da Universidade Federal da Paraíba (GEAFS-UEPB). O segundo é que haja unidades geomórficas com arranjos vegetacionais com densidades e portes variados nos trechos. O terceiro é que sejam trechos que estejam em áreas que apresentem um comportamento hidrológico diferenciado entre si, para se diagnosticar se há uma diferença de comportamento eco-hidrológico e biogeomorfológico. Por fim, o último critério é que haja a viabilidade do acesso aos trechos e segurança para a instalação dos quadrantes de monitoramento.

A partir dos campos exploratórios (tabela 3) foram estabelecidos três trechos ao longo da área de estudo que apresentam um comportamento hidrológico diferenciado, características representativas na cobertura da vegetação ripária e unidades geomórficas do canal. Com os trechos de análise já selecionados, foram executadas as campanhas de campos para monitoramento na escala de trecho e de quadrante. A tabela 5 mostra as datas dos campos de monitoramento realizado durante a pesquisa, assim como objetivo de cada campo.

Tabela 3: Data e objetivo dos campos

Data de campo	Objetivo do campo
10/09/2021 a 12/09/2021	Exploratório
24/09/2021 a 26/09/2021	Exploratório
11/10/2021 a 13/10/2021	Exploratório
29/10/2021 a 31/10/2021	Monitoramento e instalação de equipamento
21/11/2021 a 22/11/2021	Monitoramento
04/12/2021 a 05/12/2021	Monitoramento
18/12/2021 a 19/12/2021	Monitoramento
07/01/2022 a 09/01/2022	Monitoramento
21/01/2022 a 23/01/2022	Monitoramento
05/02/2022 a 06/02/2022	Monitoramento
19/02/2022 a 20/02/2022	Monitoramento
05/03/2022 a 06/03/2022	Monitoramento
19/03/2022 a 20/03/2022	Monitoramento
09/04/2022 a 10/04/2022	Monitoramento
22/04/2022 a 23/04/2022	Monitoramento
09/05/2022 a 10/05/2022	Monitoramento

Data de campo	Objetivo do campo
30/05/2022 a 31/05/2022	Monitoramento
30/05/2022 a 31/05/2022	Monitoramento
27/06/2022 a 28/06/2022	Monitoramento
11/07/2022 a 12/07/2022	Monitoramento
22/11/2022 a 23/11/2023	Monitoramento
11/12/2022 a 12/12/2022	Monitoramento/ Manutenção
10/03/2023 a 11/03/2023	Monitoramento
12/04/2023 a 12/04/2023	Monitoramento
02/12/2023 a 03/12/2023	Monitoramento
27/01/2024 a 28/01/2024	Monitoramento/ Manutenção
21/02/2024 a 22/02/2024	Monitoramento
16/03/2024 a 17/03/2024	Monitoramento
11/04/2024 a 12/04/2024	Monitoramento
16/06/2024 a 17/06/2024	Monitoramento
12/08/2024 a 14/08/2024	Manutenção / Identificação de Espécies
26/07/2024 a 27/07/2024	Monitoramento
08/09/2024 a 09/09/2024	Monitoramento

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Em relação ao monitoramento na escala de trecho, foi realizado através do levantamento de imagem com VANT. À medida que a tecnologia de sensoriamento remoto se tornou mais avançada o uso tecnologia para conduzir pesquisas sobre vegetação ripária tem aumentado expressivamente. Assim, foi utilizado um *drone*, produzido pela empresa Jiāng Innovations Science and Technology Co. Ltd. – DJI, de modelo Phantom 3, de origem chinesa, pertencente ao departamento de geociências da UFPB. Esse aparelho se apresenta enquadrado em uma categoria de multirrotor leve, possui uma câmera com resolução de 12 megapixels. O planejamento dos voos foi efetuado no aplicativo Drone Deploy, em que o cálculo dos parâmetros de voo se baseia nas informações do sensor e na resolução espacial final pretendida.

Realizou-se o imageamento aerofotográfico à uma altitude programada de 60m a partir do nível do solo, com resolução adotada de aproximadamente 1,5 cm por pixel. Os processamentos das imagens foram executados no *software* Agisoft Photoscan, sendo gerados os ortomosaico georreferenciado e Modelo Digital de Terreno (MDT). A geração do MDT no Agisoft Photoscan foi realizada através da edição, incluindo classificação semiautomática para eliminação de vegetação, edificações e ruídos da nuvem de pontos produzida através de correlação automática de imagens. A nuvem de pontos resultante foi interpolada para uma grade regular, obtendo-se como produto o arquivo matricial do MDT com resolução espacial de 90 cm por *pixel*.

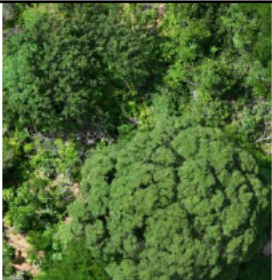
De posse dos MDT dos trechos monitorados a próxima etapa foi analisar evolução da morfologia do canal. Assim, foi utilizando o ArcMap 10.8 e produzidos os perfis laterais de cada trecho através da ferramenta Stack Profile, permitindo, assim, a criação de uma tabela com os dados que serão exportados para o *software* Excel, e elaborados os perfis laterais dos trechos em análise.

5.2.2. VGreen

Os ortomosaicos foram fundamentais para analisar o comportamento da vegetação e da morfologia do canal. Principalmente para identificar as mudanças nas unidades geomórficas e na vegetação ripária influência da variação do fluxo e da precipitação, podendo indicar como o fluxo alterou as formações de deposição/erosão no canal, demonstrando a evolução desse ambiente; como também identificar o quanto a vegetação ripária teve o seu padrão de crescimento modificado, ou seja, será possível detectar a densidade e cobertura da vegetação ripária em seus diferentes portes (herbácea, arbustiva e arbórea).

Desse modo, utilizando os ortomosaicos associando com uso de técnicas de fotointerpretação por imagens, temos informações que iniciam uma análise integrada da paisagem e o monitoramento das mudanças ocorridas ao longo do período de monitoramento (Quadro 3). A técnica de fotointerpretação consiste em examinar as imagens orbitais e identificar feições dos objetos, e a partir disso, inferir seu significado. Esse processo produz enquanto resultado, a elaboração de mapas temáticos mediante o uso de dados de sensoriamento remoto (Lillesand; Kiefer; Chipman, 2015). Para isso, alguns elementos visuais são utilizados para reconhecimento e identificação dos alvos na superfície, são eles: Tonalidade e cor; Forma e tamanho; Padrão, textura, associação e sombra. Abaixo estão os elementos utilizados para interpretação das imagens de satélite para o bioma da Caatinga, levando em consideração suas especificidades. Após a fotointerpretação foram elaborados os mapas de uso e cobertura para os diferentes períodos monitoramento.

Quadro 3: Chaves de interpretação de imagens.

DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS	IMAGEM
Vegetação arbórea densa – Preservada Cor: Verde – (indica período ou área com mais umidade) Textura: Rugosa Sombra: Sombra feita pela copa das árvores de diferentes tamanhos.	
Vegetação arbórea/arbustiva densa – Preservada Cor: Marrom – (indica período ou área com menos umidade) Textura: Rugosa Padrão: Não homogêneo	
Vegetação arbórea/arbustiva densa – Cor: Verde – (indica período com mais umidade) Textura: Rugosa Padrão: Não homogêneo	
Vegetação herbácea densa Cor: Verde e cinza (indica período mais úmido) Textura: Rugosa/Lisa Padrão: Não homogêneo	
Vegetação arbustiva esparsa Cor: Marrom e amarelo (vegetação e solo exposto) Textura: Rugosa/Lisa Padrão: Não homogêneo	
Vegetação herbácea esparsa Cor: Verde e cinza (indica período mais úmido) Textura: Rugosa/Lisa Padrão: Não homogêneo	

DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS	IMAGEM
Agricultura – Área degradada Cor: Marrom e amarelo (solo exposto) Textura: Lisa Padrão: Linear – indicando movimento de plantio	
Solo exposto – Área degradada Cor: Cinza (solo exposto) Textura: Lisa Padrão: Homogêneo Considerando o contexto em que está inserido pode indicar agricultura ou pastagem	
Unidade de canal – Barra estabilizada Cor: cinza (com vegetação arbustiva) Textura: Rugosa Padrão: Homogêneo	
Unidade de canal – Barra arenosa Cor: Bege (textura arenosa) Textura: Lisa Padrão: Homogêneo Associação: com variações altimétricas e cor discrepante do entrono do leito.	
Afloramento em leito Cor: Cinza (litologia) Textura: rugosa/áspera Associação: Objeto localizando no leito do canal, com variações altimétricas as margens e cor discrepante do entrono, porém compatível com coloração comumente encontrada em rochas cristalinas.	
Canal fluvial sem vazão Cor: Bege (leito arenoso) Textura: Lisa Tonalidade: A cor do leito arenoso reflete mais luz, se destacando do marrom do solo exposto as margens do canal	

DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS	IMAGEM
Canal fluvial com vazão Cor: Marrom (leito com água) Textura: Lisa Tonalidade: A cor da água com sedimento reflete mais luz, se destacando solo exposto as margens do canal	
Estrada vicinal associada a passagem molhada Cor: marrom (solo exposto) Textura: Lisa Padrão: Retilíneo Associação: Estradas vicinais, ou pavimentadas, estão em um contexto de mobilidade, ou seja, levam algum lugar, nesse caso, a travessia do rio por passagem molhada.	
Poço amazonas Cor: cinza (construção) Textura: Lisa Padrão: circular Associação: A parede do poço amazonas é construída com tijolos ou anéis de cimento. É arredondado, de 4 até 10 metros profundidade e 3 metros de largura.	

Fonte: Adaptado de. Cruz (2023)

Em seguida, a partir das imagens RGB foram aplicando o índice VIgreen (Green Normalized Difference Vegetation Index), que se trata de uma medida que utiliza as bandas Verde (Green) e Vermelha (Red) de imagens RGB para avaliar a quantidade e a densidade de vegetação em uma área. Esse índice é especialmente útil quando apenas imagens RGB estão disponíveis, oferecendo uma alternativa ao NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) (Motohka et al., 2010). As imagens foram processadas no software, ArcGIS10.8 para calcular (Equação 2) o VIgreen para cada pixel do ortomosaico.

Equação 2

$$VIgreen = \frac{Green - Red}{Green + Red} \quad (2)$$

5.2.3. Transectos lineares

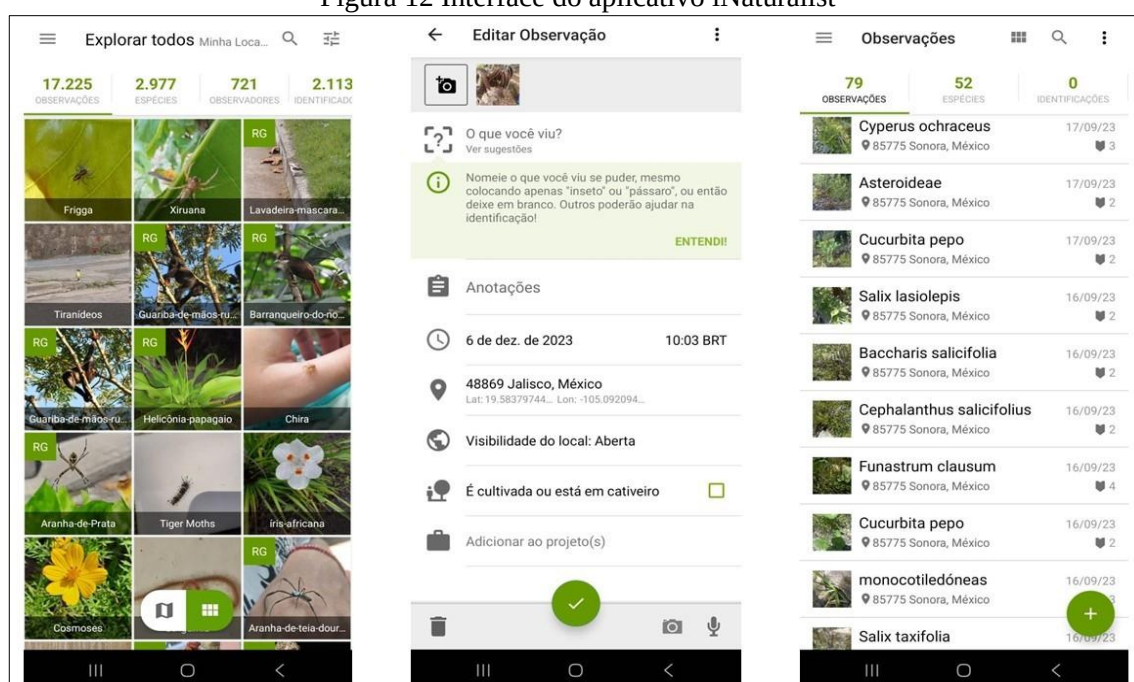
Outro passo metodológico importante foi a identificação de espécies dos ambientes ripários, focando nas espécies de maior ocorrência, envolve uma série de passos estruturados para garantir a precisão da identificação e a representatividade das espécies dominantes. Esses ambientes, que correspondem às margens apresentam uma vegetação influenciada tanto por

condições hidrológicas quanto geomorfológicas, o que torna a identificação das espécies um processo importante para entender a ecologia local e as dinâmicas biogeomorfológicas.

Desse modo, foi considerada como área de interesse toda a área de monitoramento do plano de voo dos trechos. E foi utilizado o método de transectos lineares, que é uma abordagem comum é o uso que se estendem perpendicularmente ao curso d'água, atravessando a zona ripária. Isso permite identificar como a composição de espécies varia em função da distância do canal. E assim foi realizado um inventário durante o campo, no qual era registrado por meio de fotografias de alta resolução das plantas em seu ambiente natural, como também a estruturas das espécies como as folhas, flores e frutos (quando presentes), para facilitar o processo de identificação.

Nessa etapa foi importante fazer uso da ciência cidadã por meio da plataforma iNaturalist, amplamente utilizada como ferramenta metodológica para identificação de espécies, combinando tecnologia, colaboração comunitária e dados científicos. Desse modo, foi realizado caminhada lineares na área de interesse realizando levantamento dos indivíduos, coletando fotografias a partir de uma câmera profissional, smartphone com aplicativo iNaturalist instalado (Figura 12) e GPS ativado. Assim como também foi utilizado GPS portátil para maior precisão. A validação de espécies no iNaturalist é realizada primeiro pelo IA, algoritmo de visão computacional, analisa a imagem e sugere possíveis espécies com base em dados de registros existentes. Outros usuários (especialistas) podem adicionar ou refinar identificações, cada nova identificação deve ser compatível com as anteriores.

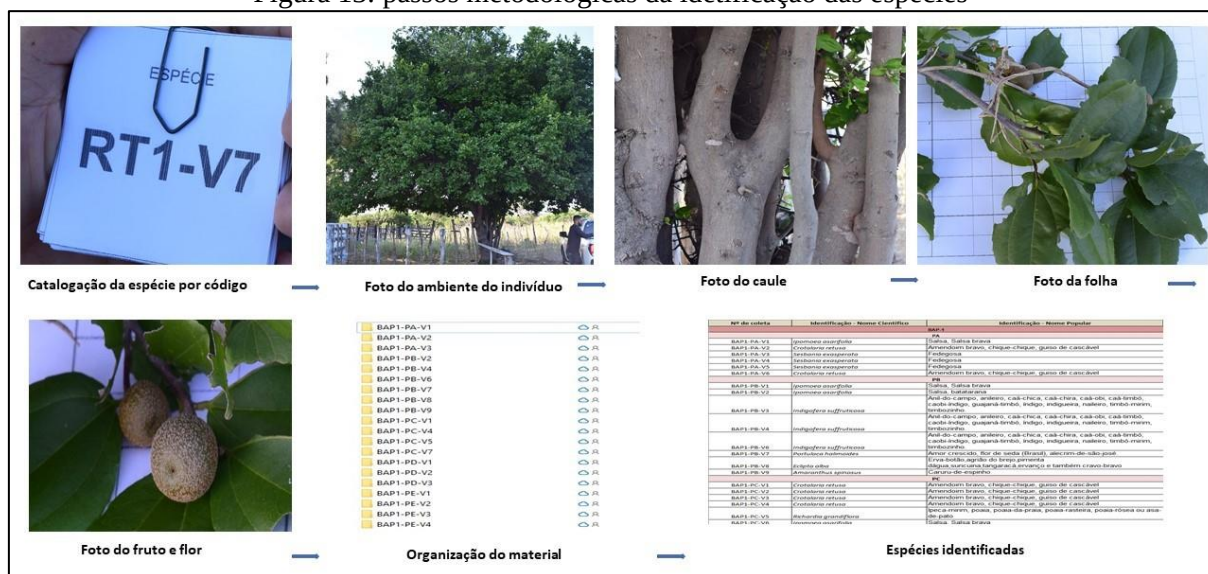
Figura 12 Interface do aplicativo iNaturalist



Fonte: Acervo do autor, 2024, 2025.

Também foi realizada identificação das espécies pelo botânico prof. dr. Rubens Teixeira de Queiroz, do Departamento de Sistemática e Ecologia da UFPB. A partir de um tutorial disponibilizado pelo professor, foi registrada a fotografia de cada espécie, considerando os pontos-chave para identificação. Em seguida, foram catalogadas e enviadas para o professor realizar a identificação (Figura 13). A partir desse levantamento foi possível realizar o mapeamento das diferentes espécies presente nos trechos estudados, como também identificar a recorrência das mesmas em diferentes unidades de canal (barra/leito, margem e leito).

Figura 13: passos metodologicas da identificação das espécies



Fonte: Acervo do autor, 2024, 2025.

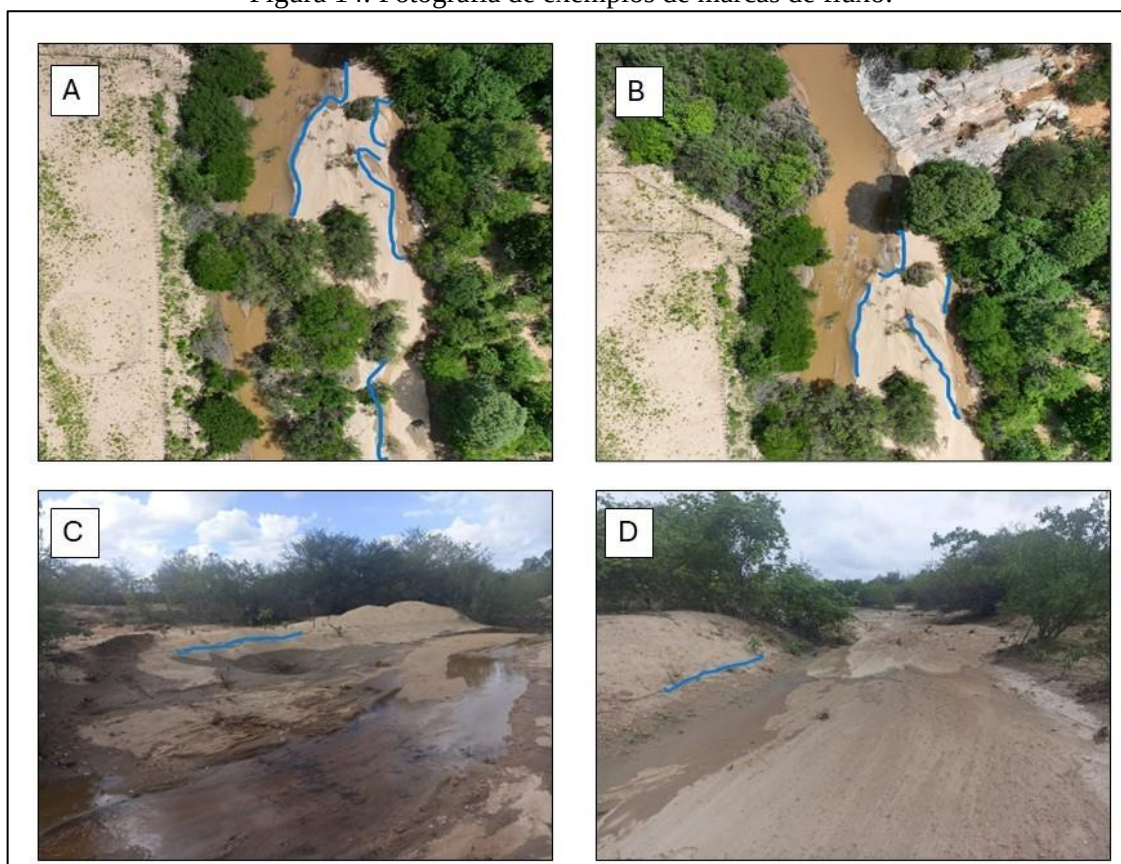
5.3. Classificação do comportamento hidrológico

Visando compreender o comportamento hidrológico dos trechos, foram calculados o acumulado de precipitação antecedente das datas dos campos (Tabela 3) a partir dos postos pluviométricos (Tabela 2). Os dados foram organizados em tabelas e importados para o *ArcGIS*, e partir da ferramenta do *Spatial Analyst* foi utilizado o método de interpolação de *IDW* (Ponderação de Distância Inversa). Desse modo, foi gerando um *raster* da superfície contínua de ocorrência de precipitação a partir de dados pontuais. E por fim, foram obtidos apenas o acumulado de precipitação dos trechos monitorado.

Os eventos de vazão também é outra informação que foi necessária analisar. Porém devido à ausência de dados oficiais de vazão na bacia estudada, foi necessário analisar os eventos de vazão por meio das marcas de fluxo em campo, como também utilizar informação de cota de vazão do banco de dados do monitoramento do Laboratório de Estudos Fluviais da UFPB, método utilizado por (Hooke, 2007).

A classificação dos eventos de vazão com base nas cotas e marcas de fluxo é uma técnica utilizada para identificar e caracterizar diferentes regimes hidrológicos e eventos de escoamento em uma bacia hidrográfica. Esse processo é essencial para compreender a dinâmica fluvial e a resposta da bacia a eventos como chuvas intensas, secas, entre outros fatores (Hooke, 2007). O método envolve a coleta de dados sobre as alturas ou cotas do nível d'água, que correspondem a diferentes condições hidrológicas: ausência de vazão (zero fluxo superficial), baixa vazão (fluxo ao nível do talvegue), alta vazão (nível das margens plenas) e extravasamento de vazão (acima do nível das margens plenas). Durante os monitoramentos de campo (Figura 14), foram observados indicadores como marcas de nível d'água nas margens, evidências na vegetação (acúmulo de material orgânico), registros de imagens de drones e dados de cotas de fluxo, quando disponíveis. Assim, para cada monitoramento de campo, foi classificado o evento de vazão mais significativo observado.

Figura 14: Fotografia de exemplos de marcas de fluxo.



Fonte: Acervo do autor, 2024, 2025.

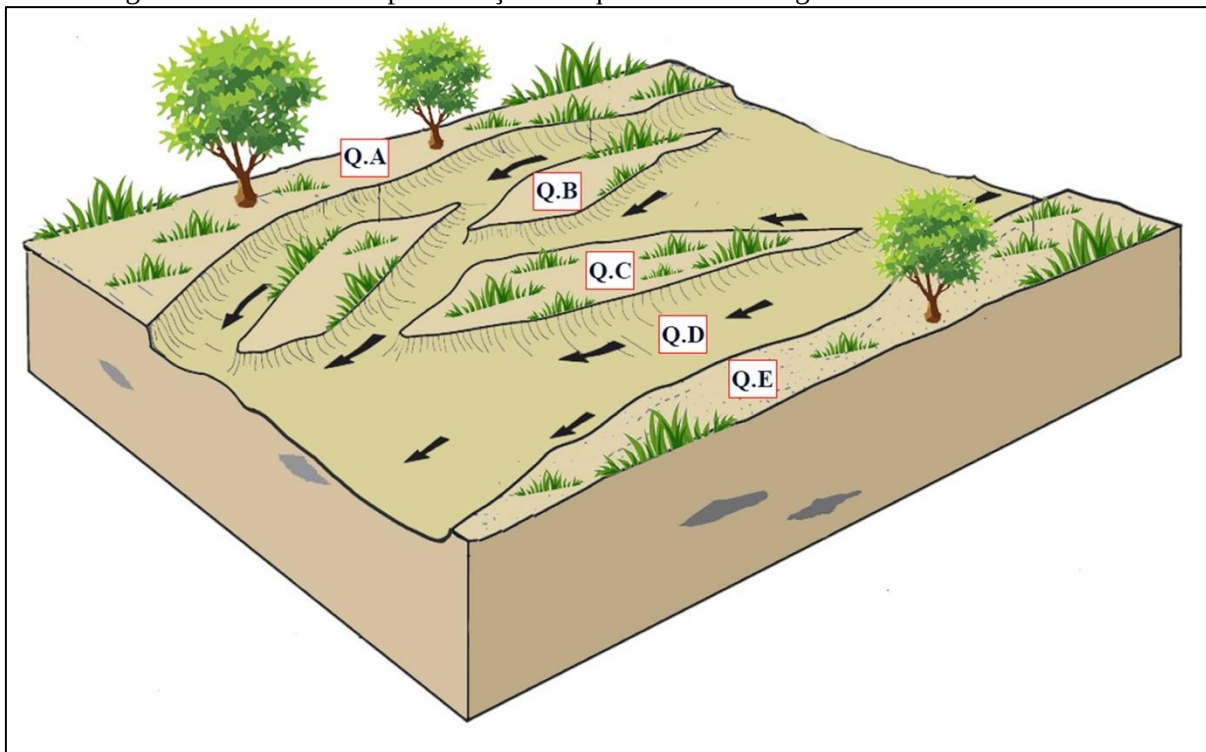
5.4. Monitoramento da vegetação – escala quadrante

A próxima etapa metodológica foi o monitoramento da sucessão ecológica em diferentes unidades geomórficas dos canais. O foco é entender como esses processos de sucessão

ecológica são influenciados por fatores como a dinâmica fluvial, a disponibilidade de água, a sedimentação e os eventos hidrológicos, especialmente em rios sujeitos a variações sazonais, como nos rios não ´perenes. Para isso foi considerado a escala de análise mais detalhada, assim foi executado o monitoramento da vegetação por quadrante, uma técnica de Hooke (2007) aplicada em canais de rio semiárido no sudeste da Espanha. Essa metodologia permite analisar o comportamento da vegetação com base na variação hidrológica do canal, como também detectar os efeitos erosivos e deposicionais associados as plantas.

Nas áreas de monitoramento, foram levantados dados a partir de: classificação dos eventos de vazão, identificação das espécies ripária, instalação de quadrantes, levantamento fotográfico por meio de VANT, coleta de amostras de sedimentos das unidades geomórficas e registros fotográficos das unidades geomórficas do canal. Foi realizado trabalho de campo para identificação das espécies e instalação dos quadrantes para medir e monitorar a vegetação. Desse modo, foram distribuídos, ao longo de cada trecho, até cinco quadrantes representativos em diferentes unidades geomórficas (barra, ilha, leito, planície e margem) existentes no canal (Figura 15), para avaliar efeitos variados em zonas com diferentes frequências de fluxo (Hooke, 2023).

Figura 15: Modelo de espacialização dos quadrantes ao longo dos trechos monitorado.



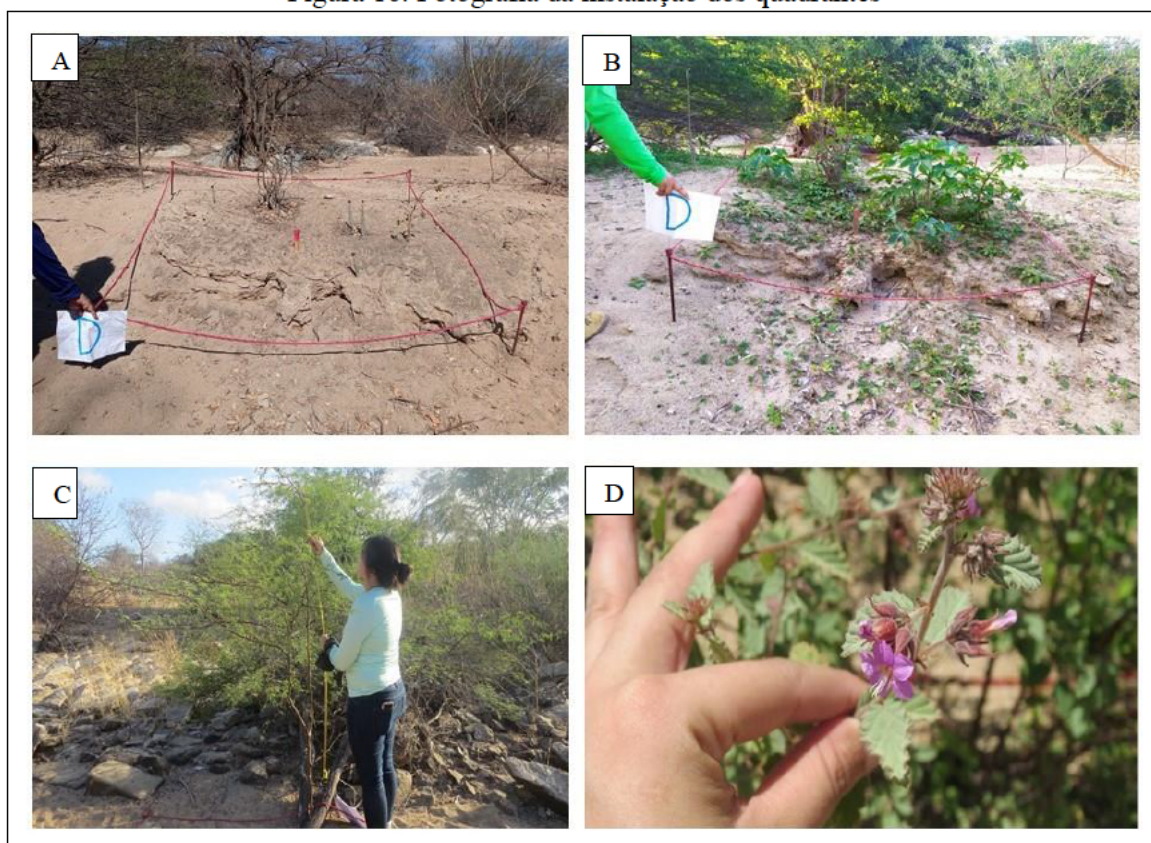
Fonte: Adaptado de. Brieley e Fryirs (2005).

Os quadrantes apresentam uma dimensão de 3 m por 3 m, pois foi considerado adequado para os tipos de vegetação encontrados, principalmente arbustos de baixa densidade (Figura

16A e B). Os quadrantes foram estabelecidos colocando piquetes em cada centro, examinando sua posição e marcando um ponto no GPS com finalidade de serem detectados. Cada área do quadrante foi mapeada em detalhes e fotografada em quatro direções (a montante, a jusante, à esquerda e à direita) da direção de fluxo. Nos mapas de quadrantes, cada planta foi marcada individualmente. As espécies foram identificadas e as alturas das plantas foram medidas, como também a circunferência de alguns arbustos grandes (Figura 16C e D). O estado das plantas também sempre foi anotado, se existem flores e frutos, o estado das folhas e se há sinais de efeitos de fluxo na área do quadrante. Esse procedimento de registro fotográfico e medição das espécies foi realizado a cada 15 dias, nos meses chuvosos.

A identificação das espécies dos quadrantes também foi realizada pelo prof. Dr. Rubens Teixeira de Queiroz. Como mencionando no tópico anterior, a partir de um tutorial disponibilizado pelo professor, foi registrada a fotografia de cada espécie, considerando os pontos-chave para identificação. Em seguida, foram catalogadas e enviadas para o professor realizar a identificação.

Figura 16: Fotografia da instalação dos quadrantes



A) Quadrante em uma barra, vista da margem direita, em dezembro de 2021; B) Quadrante em uma barra, vista da margem direita, em janeiro de 2022. C) Medição da altura dos indivíduos D) Registro da espécie para identificação. Fonte: Autor, janeiro de 2022.

Após o levantamento da vegetação por meio de quadrantes no ambiente ripário, os procedimentos metodológicos seguintes envolvem a organização e a análise detalhada dos dados coletados. Desse modo, os dados obtidos em campos foram organizados para facilitar sua posterior análise. Isso inclui o registro de dados de espécies, como o nome científico, o número de indivíduos por espécie, a altura das plantas, o diâmetro do caule (quando aplicável), e outras características relevantes (folhas e frutas), em planilha no *Excel*. Cada quadrante deve ter suas coordenadas registradas, permitindo correlacionar a distribuição espacial da vegetação com fatores ambientais, como proximidade do rio ou nível de inundação.

Com os dados organizados, foram calculados índices ecológicos (Índice de Riqueza de Espécies e Índice de Densidade Relativa) que permitem quantificar a diversidade e a estrutura da vegetação ripária. Também realizada a análise de similaridade que permite comparar a composição florística dos diferentes quadrantes, determinando se há agrupamentos de vegetação com características semelhantes ao longo do ambiente ripário. Esses índices fornecem uma visão mais detalhada sobre a composição florística e sua distribuição nos diferentes quadrantes.

Por fim, os resultados do monitoramento de vegetação foram cruzados com outras variáveis ambientais (precipitação, eventos de vazão e unidade geomórfica do canal) para identificar possíveis padrões de comportamento e influências sobre a distribuição das espécies.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÕES



6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. Resultado da variação interanual da cobertura vegetal – Escala de Drenagem

As variações na cobertura de vegetação ripária entre 2016 e 2022 nos riachos Cacimbinha e Tigre permitiram uma análise detalhada das mudanças na área ocupada por essa vegetação ao longo do tempo. O *buffer* do riacho Tigre abrange uma área de 7,76 km², enquanto o riacho Cacimbinha cobre 6,37 km². No riacho Tigre, ao longo dos anos analisados, foram identificadas, de acordo com a classificação do MapBiomias, áreas de floresta de formação savânica, formação campestre, pastagens, mosaico de usos e outras áreas não vegetadas. Já no riacho Cacimbinha, além dessas classes, a partir de 2020, 0,45% da área classificada como "outras áreas não vegetadas" passou a ser identificada como área urbana. Em 2021, 0,01% dessa área foi reclassificada como corpo d'água. Foram consideradas, para análise, apenas as áreas de floresta de formação savânica e formação campestre.

Do total da área analisada, segundo o MapBiomias, 2,41 km² no riacho do Tigre e 1,35 km² no riacho Cacimbinha correspondem à floresta de formação savânica e formação campestre. É importante destacar que essas formações serão referidas como vegetação ripária, devido à sua relevância para a dinâmica e função ecológica ao longo das margens dos cursos d'água. Essas áreas executam um papel importante na manutenção da estabilidade do ambiente ripário e na preservação dos ecossistemas fluviais.

A Tabela 4 apresenta a área, em km², e a porcentagem da cobertura vegetal presentes no ambiente ripário durante o período analisado. Ao observar os dados, nota-se que ambos os riachos exibiram variações na cobertura de vegetação ripária ao longo do tempo. Essas variações podem estar associadas a fatores climáticos e hidrológicos que afetam a dinâmica da vegetação nas áreas ripárias dos riachos estudados. Considerando que o MapBiomias utiliza a média das imagens de satélite para classificar a refletância das diferentes classes de uso do solo, também foi levado em conta o acúmulo anual de precipitação para ambos os riachos. Em anos mais secos, é possível que os pixels das áreas de transição da vegetação apresentem características de refletância semelhantes às áreas de pastagem ou mosaicos de outros usos. Dessa forma, durante o período analisado, a classe de vegetação pode oscilar entre as classificações de áreas de pastagem e mosaicos de outros usos.

Tabela 4: Variação da cobertura da vegetação ripária e acumulado de precipitação entre 2016 e 2022.

Riacho Cacimbinha				Riacho do Tigre			
Ano	Área (km ²)	(%)	Precipitação (mm)	Ano	Área (km ²)	(%)	Precipitação (mm)
2016	1,1839	18,57%	166,4,0	2016	2,1476	27,67%	140,60
2017	1,11	17,41%	273,30	2017	2,0248	26,08%	188,5

Riacho Cacimbinha				Riacho do Tigre			
Ano	Área (km²)	(%)	Precipitação (mm)	Ano	Área (km²)	(%)	Precipitação (mm)
2018	1,1892	31,10%	421,50	2018	2,1471	27,66%	373,2
2019	1,3879	21,77%	410,55	2019	2,2435	28,90%	399,50
2020	1,5272	23,96%	506,7	2020	2,4751	31,88%	538,30
2021	1,6273	25,53%	231,50	2021	2,5596	32,97%	251,60
2022	1,3565	21,28%	546	2022	2,4164	31,13%	537,7

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

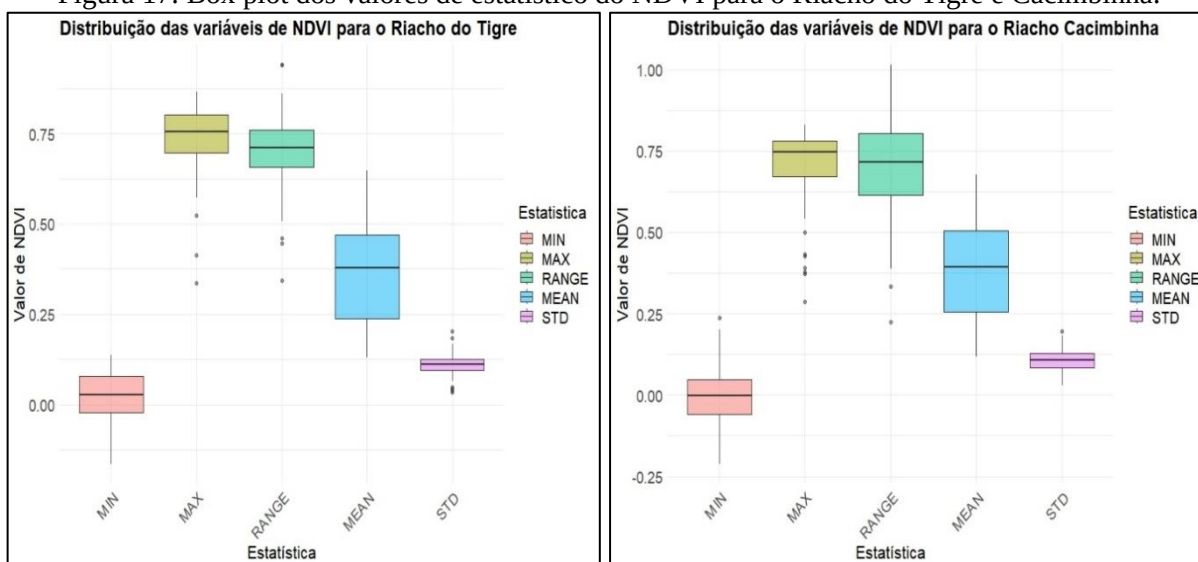
A partir dessas áreas de cobertura vegetal foi calculado os NDVI para todo período da análise. Em seguida foram analisados os dados estatísticos do NDVI para ambos os rios. Desse modo, a Figura 17 apresenta dois gráficos de box plot comparando a distribuição das variáveis de NDVI para dois riachos: o Riacho do Tigre (à esquerda) e o Riacho Cacimbinha (à direita). Ambos os gráficos, utilizam as mesmas cinco categorias de estatísticas (MIN, MAX, RANGE, MEAN e STD) para cada riacho, mas há algumas diferenças e semelhanças entre eles:

Em ambos os gráficos, podemos observar que o valor máximo (MAX) e o valor mínimo (MIN) são relativamente semelhantes, sendo que ambos os locais apresentam um valor mínimo próximo de zero e um valor máximo em torno de 0.75 a 1. A variabilidade (RANGE) dos valores de NDVI parece ser ligeiramente maior no Riacho Cacimbinha, indicando uma maior diferença entre os valores mínimos e máximos no riacho. Isso é visualizado pelo fato de o boxplot de RANGE para o Riacho Cacimbinha está mais expandido que o do Riacho do Tigre. A média dos valores de NDVI para o Riacho Cacimbinha parece estar um pouco mais concentrada em valores mais altos 0,3823, enquanto no Riacho do Tigre a média está mais espalhada, apresentando uma média de 0,3697. Isso não indica necessariamente que o Riacho Cacimbinha possuía uma vegetação nativa mais densa ou saudável. A maior cobertura vegetal pode ser atribuída à presença de espécies exóticas, como a *Prosopis juliflora*, que é mais predominantemente na área. O desvio padrão para ambos os riachos têm um comportamento bastante semelhante, com valores concentrados abaixo de 0.25, mas o Riacho do Tigre apresenta um maior número de outliers, como no período de 05/04/2020 e 10/04/2023 as médias estão acima 0,612, no período 06/01/2017 e 25/02/2017 as médias estão abaixo de 0,157, o desvio padrão de 0,1108, o que pode indicar maior dispersão em sua distribuição de dados.

De modo geral o gráfico mostra que o Riacho do Tigre apresenta uma maior variabilidade nos valores médios (MEAN), como pode ser observado pela maior dispersão do box plot da média (MEAN). Além disso, o desvio padrão (STD) está mais disperso, sugerindo que os dados do Riacho do Tigre são mais heterogêneos em termos de distribuição dos valores de NDVI. Por outro lado, no Riacho Cacimbinha, os dados parecem ser mais uniformes,

especialmente nos valores máximos, mínimos e no intervalo (RANGE). Isso pode sugerir uma distribuição mais uniforme da vegetação, com menos variabilidade. Ambos os gráficos mostram a presença de alguns pontos atípicos (outliers), mas o Riacho do Tigre apresenta mais outliers no desvio padrão (STD) e na média (MEAN), o que reforça a ideia de que a distribuição dos dados de NDVI neste local é mais variável.

Figura 17: Box plot dos valores de estatístico do NDVI para o Riacho do Tigre e Cacimbinha.

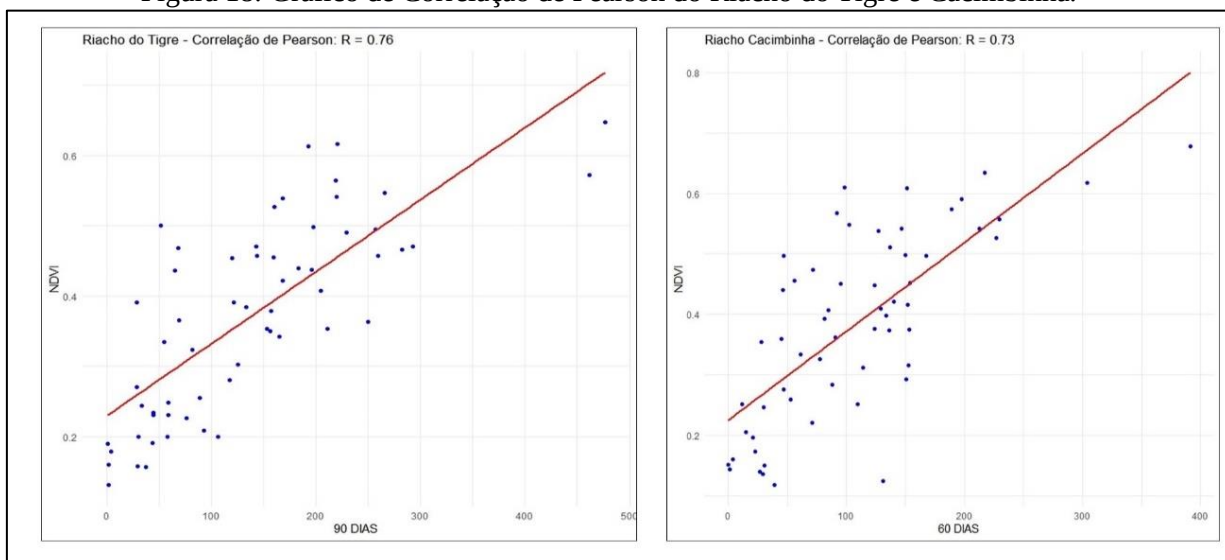


Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

O resultado da correlação de *Pearson*, mostrou adequado para os valores de chuvas acumulado antecedente para 90 dias para Riacho do Tigre e de 60 dias para Riacho do Cacimbinha (Figura 18). Desse modo, para o Riacho do Tigre, a correlação de 60 dias foi de 0,748 e de 90 dias foi 0,763, para o Riacho Cacimbinha foi de 0,728 e 0,721 respectivamente, indicando uma forte correlação positiva em ambos os riachos. Isso pode ser observado pela dispersão dos pontos ao longo do trajeto acompanhando a linha de tendência. Este resultado indica que os índices têm uma relação conveniente, onde na medida em que um índice aumenta, o outro também se eleva positivamente, o que assinala que os índices são proporcionais. Sendo assim, houve a identificação de que este foi período em que a correlação da vegetação com a precipitação foi mais intensa.

De modo geral, em relação a dispersão dos dados entre os dois riachos, o gráfico do Riacho do Tigre apresenta uma menor dispersão, o que sugere que os valores de NDVI seguem mais de perto a tendência linear aos dias antecedente de precipitação. Já no Riacho Cacimbinha, há uma dispersão maior, indicando maior variação nos valores de NDVI. Já para a linha tendência o embora ambos os riachos mostrem um aumento do NDVI, o Riacho do Tigre parece ter um crescimento vegetativo mais consistente e uniforme. No Riacho Cacimbinha, o crescimento parece mais irregular, com mais variabilidade nos valores de NDVI.

Figura 18: Gráfico de Correlação de Pearson do Riacho do Tigre e Cacimbinha.

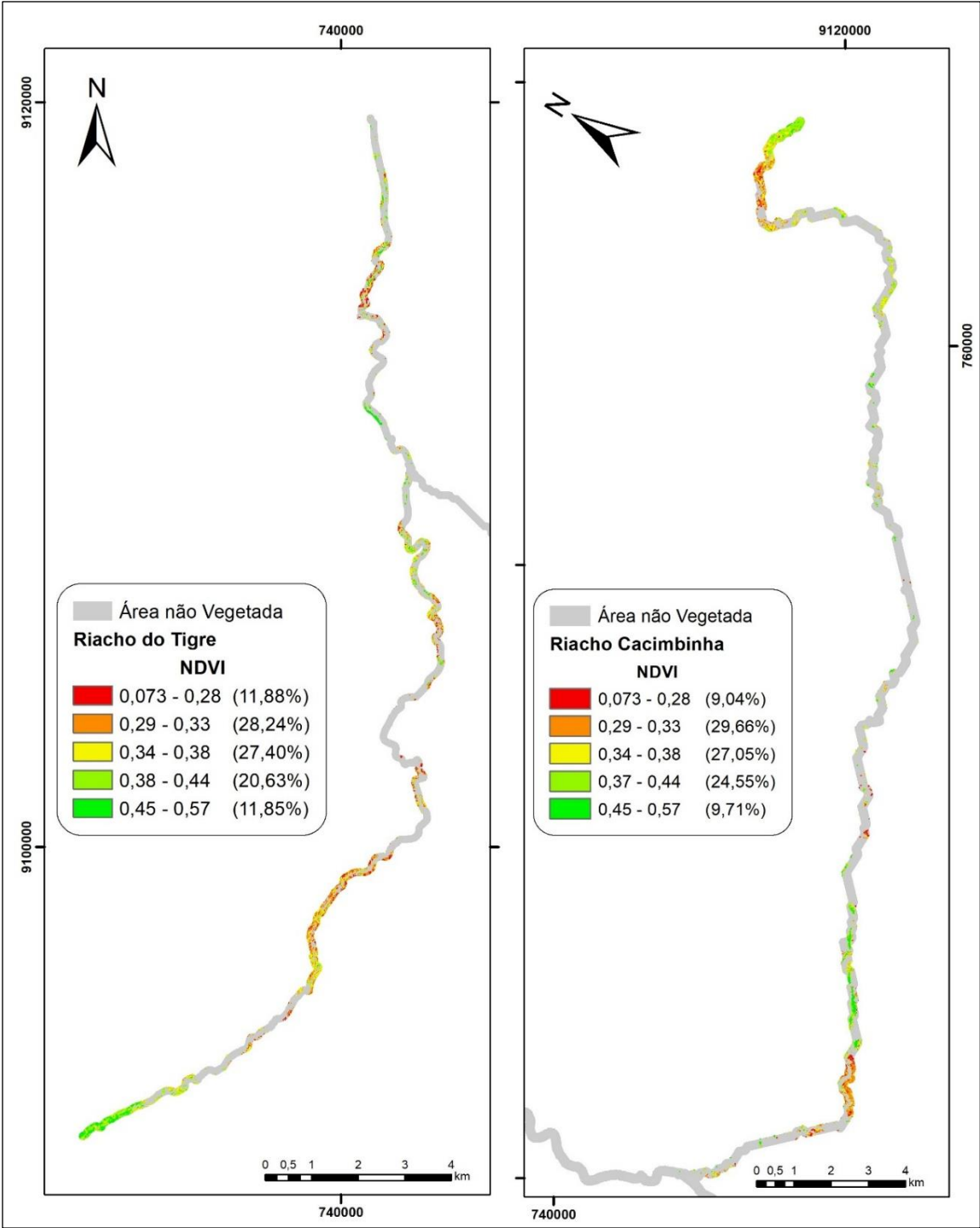


Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

A partir dos resultados do NDVI também foi analisado a espacialidade da média do NDVI dos Riachos do Tigre e Cacimbinha (Figura 19). Assim, o mapa mostra as classes de NDVI espacializada para dois riachos: o Riacho do Tigre (à esquerda) e o Riacho Cacimbinha (à direita). As classes com índice de NDVI variando de 0,073 – 0,28 (vermelho) que representam áreas de vegetação mais esparsa ou degradada; faixa 0,29 e 0,33 (laranja) e faixa 0,34 a 0,38 (amarelo) que representam a vegetação de densidade moderada; a faixa 0,37 a 0,44 (verde claro) e faixa de 0,45 – 0,57 (verde escuro) representam vegetação mais densa e saudável. As áreas não vegetadas representam as classes de agricultura, pastagem e outros usos, que foram desconsideradas para aplicação do índice.

Para a classe de índice de NDVI mais baixo ambos os riachos possuem porcentagens próximas. No riacho do Tigre corresponde 11,88 % da área e o riacho do Cacimbinha apresenta 9,04% inserindo nessa faixa do NDVI. Para classes de vegetação moderada ambos os riachos apresentam uma distribuição semelhante de resultados, com a maioria das áreas acima de 50%. As áreas com índice de NDVI variando em verde, e estão distribuídas de maneira menos frequente ao longo do riacho, essa cobertura vegetal ripária mais vigorosa é limitada, encontrada especificamente nas áreas mais íngremes do canal, como a área de cabeceira. Outro fator, é que nas áreas de médio curso dos riachos onde é possível observar, áreas do NDVI elevado, essa maior cobertura vegetal pode ser atribuída à presença de espécies perenes, incluindo espécies exóticas, como a *Prosopis juliflora*, que é predominantemente na área.

Figura 19: Mapa da média do NDVI para o Riacho do Tigre e Cacimbinha.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

6.1.1. Discussão da Análise Variação Interanual da Cobertura Vegetal

A flutuação interanual da área de vegetação ripária em ambos os riachos apresenta uma correlação forte com o regime de precipitação. Observa-se que anos com maior acumulado pluviométrico geralmente coincidem com um aumento na porcentagem de cobertura vegetal. Este comportamento está alinhado com a literatura, que frequentemente associa a produtividade e a expansão da vegetação semiárida a pulsos de chuva (Li; Zhao; Liu, 2015).

A forte correlação positiva entre o NDVI e o precipitação acumulada (60 e 90 dias) observada neste estudo (Figura 18) é um resultado frequentemente reportado em ambientes sazonalmente secos. Pesquisas como (Araújo, 2024) no semiárido brasileiro, e (Li et al., 2025; Yu et al., 2020), em regiões áridas da Ásia, também identificaram que a vegetação ripária apresenta uma resposta rápida e positiva aos pulsos de chuva, com um tempo de resposta similar. No entanto, a diferença no período de maior correlação (90 dias para o Tigre e 60 dias para o Cacimbinha), sugere que a vegetação do Cacimbinha, dominada por *Prosopis juliflora*, responde mais rapidamente à água disponível no solo, mais diversa e nativa do Tigre depende de um período mais prolongado de recarga hídrica.

A maior variabilidade (desvio padrão) e a presença de mais *outliers* nos valores de NDVI no Riacho do Tigre (Figura 17) são indicativos de uma maior heterogeneidade paisagística. Este padrão é consistente com estudos que associam maior variabilidade espacial e temporal do NDVI a ecossistemas mais diversos e menos perturbados. Em contrapartida, a relativa homogeneidade e a média ligeiramente superior do NDVI no Cacimbinha alertam para um processo de homogeneização da paisagem.

Este resultado corrobora com os achados de (Izadi; Chamani; Zamani-Ahmadmahmoodi, 2022), que associaram a invasão por *P. juliflora* a uma resposta espectral mais uniforme e constantemente alta no NDVI, mascarando a perda de diversidade biológica sob uma aparente vegetativo detectado espectralmente. Esta espécie, conhecida por sua alta resiliência e capacidade de formar dossel fechado, produz uma reposta espectral consistentemente alta, elevando o valor médio do NDVI da área. Portanto, a aparente "vitalidade" detectada pelo sensor pode mascarar uma substituição da biodiversidade nativa por um monocultivo exótico. No Tigre, a maior variabilidade pode refletir uma comunidade vegetal mais diversa e naturalmente heterogênea.

Enquanto a literatura tradicional frequentemente associa NDVI alto a ecossistemas saudáveis e biodiversos (Bawa et al., 2002), nossos resultados, como também os resultados de (Izadi; Chamani; Zamani-Ahmadmahmoodi, 2022; Paliwal et al., 2024) observara às mudanças na quantidade e nos tipos de vegetação (Martinez; Labib, 2022), aliados a outras técnicas, como a observações de campo, apresentam um contraexemplo. A provável dominância de espécies *invasoras* no eleva artificialmente o índice médio da resposta espectral. Portanto, é importante reforça a necessidade de se ir além do NDVI médio e incorporar análises de variabilidade e, idealmente, dados de composição florística, para uma interpretação correta. Como no caso do estudo de (Paliwal et al., 2024), que além do uso NDVI, utilizou a inteligência artificial (IA),

para analisar dados sobre a presença e ausência de *Prosopis juliflora*, juntamente com conjuntos de dados sobre clima, cobertura do solo e elevação, identificar os principais fatores que facilitam sua detecção.

Em relação a distribuição espacial do NDVI médio (Figura 19), com as áreas de vegetação mais densa (valores mais altos) restritas às cabeceiras e encostas mais íngremes, é um padrão recorrente em estudos de paisagens fragmentadas. Jardim et al., (2022) observaram padrão similar em riachos intermitentes na Caatinga, atribuindo-o à maior pressão antrópica nas áreas onde o terreno é mais plano e acessível. A presença de manchas isoladas de NDVI alto no médio curso do Cacimbinha, associada à *P. juliflora*, exemplifica como espécies invasoras aproveitam-se dessas áreas perturbadas para se estabelecer, alterando sucessão ecológica natural.

6.2. Resultado do Comportamento Hidrológico

Como exposto anteriormente, a bacia do Riacho Tigre apresenta clima é tropical semiárido, com chuvas predominantemente entre os meses de março a abril. Dessa forma durante o monitoramento do comportamento hidrológico foi focando nos meses (janeiro a julho) do ano hidrológico (setembro a agosto) momento no qual se concentra os eventos de precipitação.

As Figura 20 e

Figura 21 apresenta a distribuição do acumulado de precipitação e o valor máximo diário de precipitação, em diferentes intervalos, no posto pluviométrico de São João do Tigre. Sendo segmentado em quatro intervalos temporais distintos: 5 dias, 15 dias, 30 dias e 60 dias anteriores à data de levantamento, ao longo de três anos hidrológicos consecutivos, permitindo uma análise comparativa dos regimes pluviométricos na bacia.

No acumulado de 5 dias é possível observar episódios pontuais de precipitação, revelando eventos extremos de curta duração que ocasionalmente ultrapassaram os 100 mm. Já os acumulados de 60 dias capturaram períodos chuvosos prolongados e apontam para maior persistência de chuva em determinados meses, um fator importante para estudos de recarga hídrica e potencial para eventos hidrológicos críticos.

No primeiro ano hidrológico (2021–2022), as dinâmicas variaram de forma regular, com 41 dias de chuva e um total de 470,20mm registrados (Tabela 5). O período apresentou uma curva de acumulação variável, próxima à média histórica, alternando entre eventos de chuvas e períodos de seca durante a estação chuvosa. As precipitações máximas diárias (PMD) tiveram

três eventos com valores iguais ou superiores a 50 mm em 24 horas, com máximas diárias entre 50 e 72 mm, especialmente durante o período chuvoso, de janeiro a março de 2022(tabela 6). Com base na literatura e nas recomendações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), esses episódios podem ser classificados como eventos extremos de chuva, devido à relevância dos impactos associados a chuvas intensas

No segundo ano hidrológico (2022 –2023) ocorreu chuvas concentradas durante a estação chuvosa, porém a curva de acumulação significativamente abaixo dos demais anos analisado. Período chuvoso foi mais curto e menos intenso, com 42 dias de chuvas com um total de 448,20 mm de chuva no ano, com um acumulado final aproximadamente 30% inferior ao ano anterior, é possível observar maiores intervalos sem precipitação significativa e acumulados reduzidos em todas as janelas temporais (tabela 5). Em relação as precipitações máximas diárias (PMD), há redução nas máximas: poucos períodos ultrapassam 30 mm, com o maior valor próximo de 45 mm em abril de 2023.

No último ano hidrológico (2023-2024) apresenta picos consideravelmente mais elevados, com um total de 48 dias chegando a aproximadamente 583,20 mm, destacando eventos de chuva excepcional (tabela 5), com três eventos de máximas diárias entre 57,20 e 80,70 mm, durante o período chuvoso (fevereiro e a abril de 2024) (tabela 6). Acumulados superiores a 150 mm em períodos de 5 a 15 dias sugerem potenciais para saturação do solo. Ou seja, neste ano observou-se uma combinação de acumulados elevados e PMD excepcionais (80,7mm em fevereiro de 2024) resultou em uma condição hidrológica, com elevado potencial para cheias prolongadas e inundações.

Figura 20: Gráfico de precipitação antecedente acumulada do posto pluviométrico do São João do Tigre.

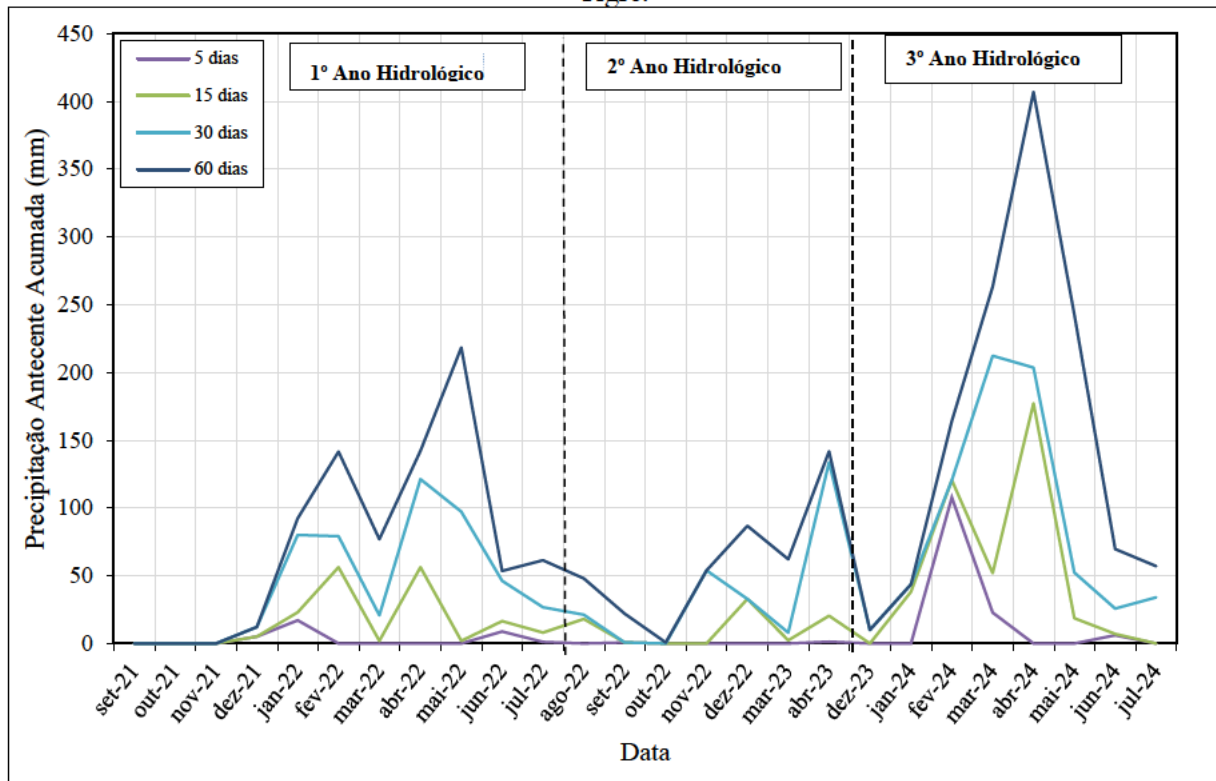
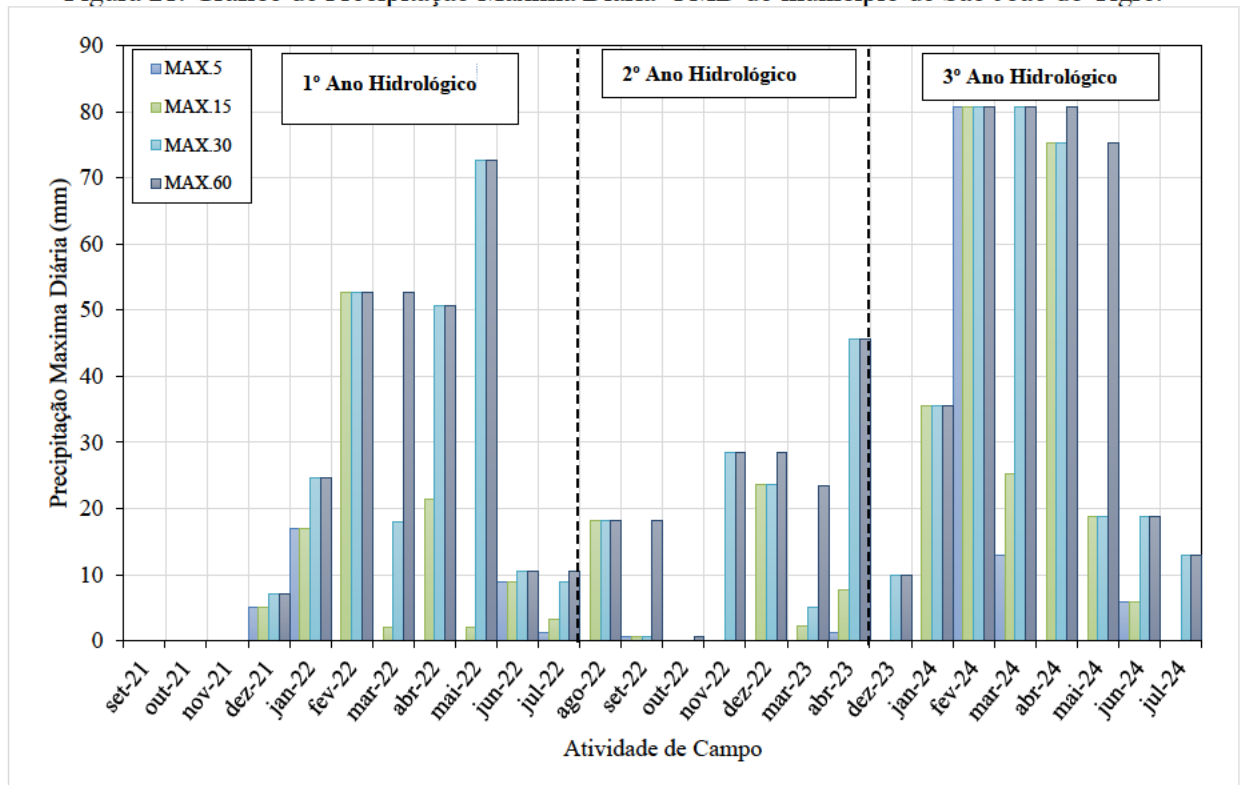


Figura 21: Gráfico de Precipitação Máxima Diária -PMD do município de São João do Tigre.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 5 apresenta a distribuição dos eventos de precipitação diária ao longo dos anos hidrológicos de 2021 a 2024, permitindo uma análise comparativa da variabilidade interanual da chuva na área de estudo. O volume total de precipitação acumulada apresentou variação entre os anos, com o menor valor registrado em 2022–2023 (448,20 mm) e o maior em 2023–2024 (583,10 mm), representando um aumento de cerca de 30% em relação ao ano anterior. Quanto à frequência de dias com chuva, observa-se uma leve tendência de aumento: 41 dias (2021–2022), 42 dias (2022–2023) e 48 dias (2023–2024). A análise por faixas de intensidade revela que a maior parte dos dias chuvosos ocorre com precipitação entre 1 e 10 mm/dia, correspondendo a aproximadamente 68–70% do total de dias com chuva nos dois primeiros anos e 58% no último. Eventos moderados (11 a 30 mm/dia) mantiveram-se relativamente estáveis, com 9 a 11 dias anuais.

Em 2021–2022 e 2023–2024 ocorreram 3 dias com precipitação acima de 51 mm/dia, enquanto em 2022–2023 não houve registros nessa faixa. Já os dias com chuva entre 31 e 50 mm/dia ocorreram apenas em 2022–2023 (3 dias) e 2023–2024 (2 dias), estando ausentes em 2021–2022. O aumento do volume total em 2023–2024, associado ao maior número de dias chuvosos e à recorrência de eventos acima de 51 mm/dia, pode refletir padrões sazonais ou alterações na variabilidade climática regional.

Tabela 5: Distribuição dos eventos de precipitação diário no ano hidrológico de 2021 a 2024.

ANO HIDROLOGICO	2021-2022	2022-2023	2023-2024
Volume acumulado(mm)	470,20	448,20	583,10
Número de dias com chuva	41	42	48
Número de dias com precipitação entre 1 e 10 mm/dia	28	26	28
Número de dias com precipitação entre 11 e 30 mm/dia	9	11	9
Número de dias com precipitação entre 31 e 50 mm/dia	0	3	2
Número de dias com precipitação acima de 51mm/dia	3	0	3

Fonte: Elaborado pelo autor

A Tabela 6 detalha os eventos de precipitação diária igual ou superior a 50 mm ocorridos nos anos hidrológicos analisados, concomitantemente com a Precipitação Antecedente Acumulada (PAA) para janelas de 15 e 30 dias. Esta análise é fundamental para compreender não apenas a intensidade do evento extremo, mas também as condições de umidade do solo preexistentes, fator crítico para a geração de escoamento superficial e possíveis processos hidrogeomorfológicos. Foram registrados seis eventos extremos no período, sendo três no ano 2021–2022 (concentrados entre janeiro e abril) e três no ano 2023–2024 (entre fevereiro e abril), confirmando a ausência deste tipo de evento no ano 2022–2023, conforme indicado na Tabela 6. Os eventos variaram de 50,7 mm a 80,7 mm, com o maior deles ocorrendo em 19/02/2024.

Tabela 6:
Tabela 6: Eventos de chuva ≥ 50 mm e precipitação acumulado antecedente dos eventos

Data	Chuva ≥ 50 mm	PAA 15 dias	PAA 30 dias
29/01/2022	52,60	22,90	39,20
22/03/2022	50,70	0,00	2,90
17/04/2022	72,60	36,5	136,4
19/02/2024	80,70	12,7	50,9
01/04/2024	57,20	13,2	65,1
02/04/2024	75,20	70,4	118,5

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A precipitação Antecedente Acumulada (PAA) revela uma grande variabilidade nas condições antecedentes a cada evento. O evento de 22/03/2022, destaca-se pela PAA 15 dias nula (0,0 mm) e PAA 30 dias muito baixa (2,9 mm), indicando um período prolongado de seca antecedente. Neste cenário, parte significativa da chuva intensa pode ter sido absorvida pela capacidade de infiltração do solo, atenuando potencialmente o escoamento direto.

O evento de 17/04/2022 e 02/04/2024, representam a situação oposta, com altos volumes de PAA (PAA 15 dias de 36,5 mm e 70,4 mm; PAA 30 dias de 136,4 mm e 118,5 mm, respectivamente). Estes eventos ocorreram sobre solos já muito úmidos ou saturados, condição que reduz a capacidade de infiltração.

A análise dos eventos extremos complementa e esclarece os dados da Tabela 5. Evidência que resposta hidrológica de um evento de chuva extrema não é definida apenas pela sua magnitude, mas pela conjugação com a condição de umidade antecedente do canal. Os anos com maior volume total (como 2023–2024) não apenas apresentaram mais dias com chuva extrema, mas também pelo menos um evento (02/04/2024) sob condições de alta PAA, configurando o cenário de maior potencial para respostas hidrológicas extremas, como cheias rápidas.

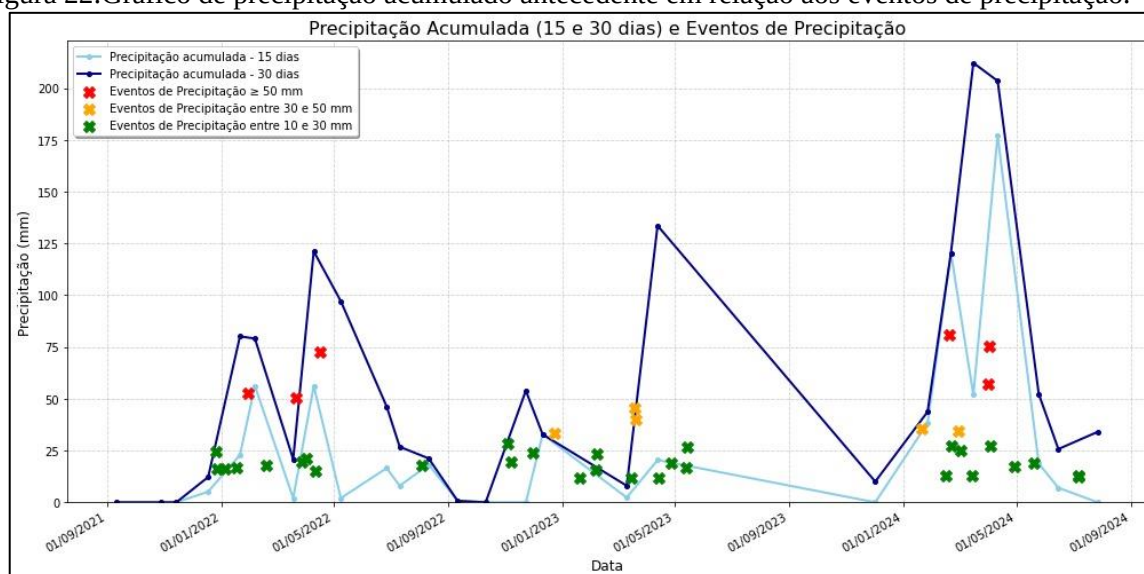
O gráfico de séries temporais (figura 22) permite visualizar a interação entre a precipitação acumulada antecedente (em janelas de 15 e 30 dias) e a ocorrência de eventos de chuva de diferentes magnitudes ao longo do período de estudo. Observa-se que a precipitação acumulada em 30 dias (PAA-30) apresenta uma curva mais suave e com amplitude maior que a de 15 dias (PAA-15), refletindo uma memória hidrológica de mais longo prazo. Ambos os indicadores mostram uma variabilidade sazonal marcante, com períodos de acúmulo (estação chuvosa) bem definidos e intercalados por fases de declínio ou estabilidade em patamares baixos (estação seca).

A ocorrência dos eventos de precipitação ≥ 50 mm (eventos extremos) não se distribui de forma homogênea ao longo do tempo. Eles se concentram predominantemente nos períodos

em que a PAA-30 já se encontra em patamares médios a elevados. Essa relação visual corrobora quantitativamente a análise da Tabela 6, confirmando que os eventos extremos mais expressivos (como os de 17/04/2022 e 02/04/2024) ocorreram sobre solos com umidade antecedente já significativamente recuperada. Esse cenário favorece a saturação superficial e, consequentemente, uma maior taxa de conversão de chuva em escoamento superficial.

Por outro lado, eventos extremos isolados que ocorrem após períodos mais secos (como o de 22/03/2022, identificado na Tabela 6 são visualmente coincidentes com picos pontuais na PAA-15, mas com a PAA-30 ainda em valores baixos. Isso ressalta a importância de analisar ambas as janelas temporais: a PAA-15 reflete a umidade mais superficial e imediata, enquanto a PAA-30 indica a condição de umidade mais profunda e integrada da bacia.

Figura 22: Gráfico de precipitação acumulada antecedente em relação aos eventos de precipitação.



Fonte: Elaborado pelo autor

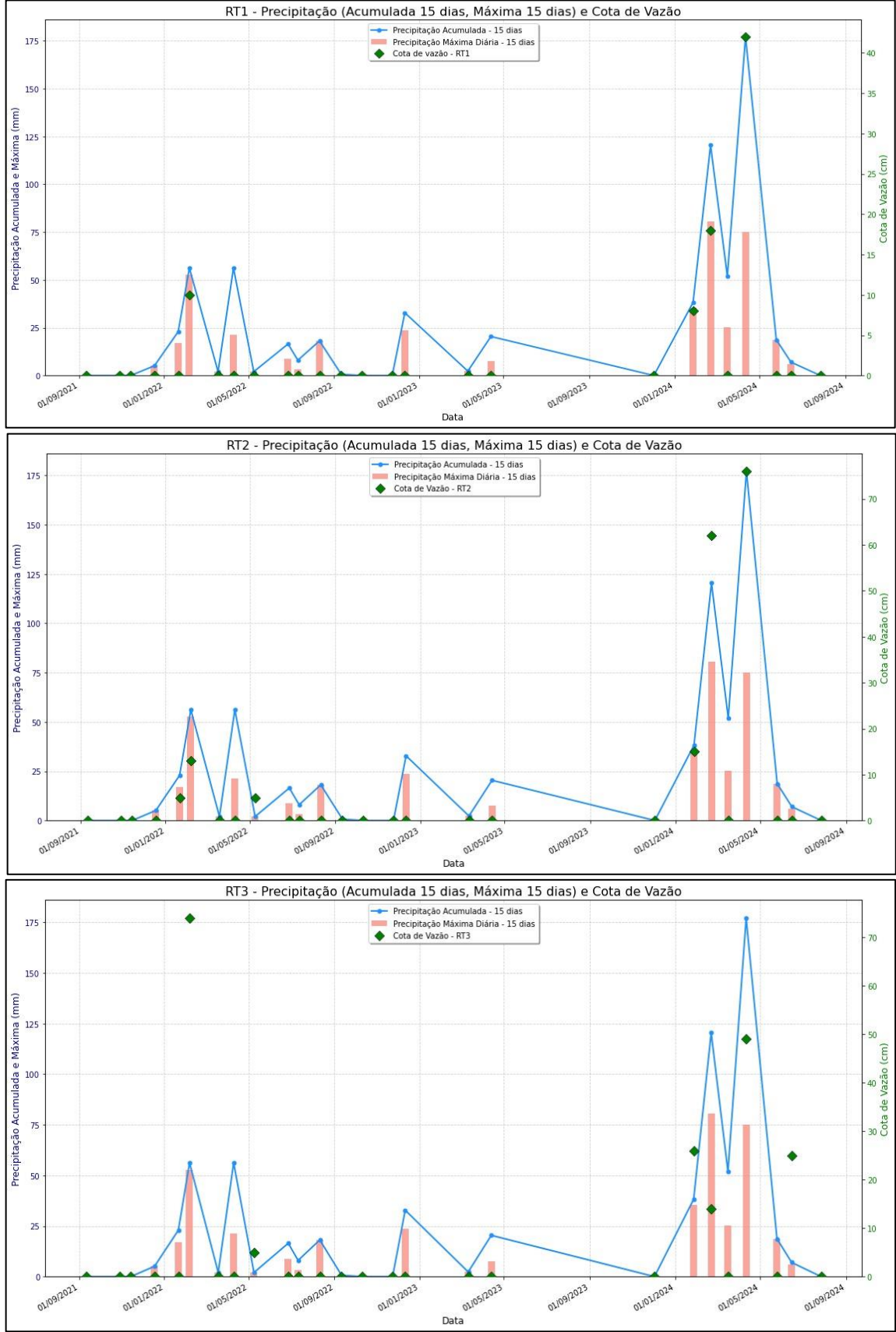
Os gráficos da figura, 23 apresenta a evolução temporal da chuva acumulada (linha azul) e dos eventos de PMD (barras rosas), em paralelo à resposta hidrológica do sistema expresso pela cota de vazão (diamantes verdes) para os trechos monitorados de setembro de 2021 a setembro de 2024. Foi realizado a correlação entre a cota de vazão e a PAA-5, PAA-15, PAA-30 e PAA-60, o resultado indicou uma correlação adequada para os valores de chuvas acumuladas antecedente para 15 dias para todos os trechos.

De modo geral, observa-se que os eventos de maior precipitação acumulada e de máximas diárias mais intensas estão associados a aumentos significativos na cota de vazão, evidenciando uma resposta hidrológica coerente dos sistemas fluviais às chuvas. Observa-se que os maiores picos de PAA-15, (220 mm no início de 2024) coincidem com aumentos acentuados na cota de vazão, revelando forte resposta do sistema hídrico local à ocorrência acumulada. Os eventos de

precipitação máxima diária (PMD) também influenciam as cotas, principalmente quando ocorrem em períodos de acumulação elevada, como em fevereiro e abril de 2024, ampliando rapidamente os níveis de vazão no trecho monitorado. Em períodos de baixa ocorrência acumulada (julho a novembro), as cotas de vazão permanecem próximas de zero. É importante ressaltar que os PMD resultam em aumentos significativos nas cotas de vazão somente quando ocorrem eventos extremos de chuvas sobre uma base já úmida ou na sequência de dias chuvosos, como observado em abril de 2022 e fevereiro e abril de 2024, períodos nos quais houve PAA-15 superior a 70 mm (tabela 5).

Ao analisar as semelhanças, nota-se que os três trechos apresentam um padrão temporal semelhante: picos de precipitação acumulada em 15 dias coincidem com elevações na cota de vazão, especialmente durante os eventos mais intensos. Outro aspecto comum é a presença de respostas rápidas da vazão após episódios de chuva intensa, sugerindo sistemas sensíveis às entradas pluviométricas. Quanto às diferenças, no RT3, observa-se uma maior dispersão dos valores de cota de vazão, sugerindo um comportamento hidrológico mais complexo ou influenciado por características geomorfológicas e de drenagem distintas. O trecho RT3 apresenta um regime de precipitação ainda mais restritivo que o observado em RT1 e RT2 no ano de 2024, devido ao fator da sua localização na bacia (cabeceiras) onde a contribuição superficial é mínima ou inexistente sem chuva direta e significativa. Diferente de RT1 e RT2, que mostrou pulsos de vazão associados a chuvas, RT3 pode representar um trecho com menor conectividade, onde a recarga necessária para gerar escoamento é mais demorada ou requer eventos de chuva mais intensos e prolongados. Já o RT2 apresenta uma resposta mais consistente e proporcional entre precipitação e vazão, com picos bem definidos e alinhados temporalmente aos maiores volumes de chuva.

Figura 23:Relação entre chuva acumulada em 15 dias, PMD em 15 dias e cotas de vazão no trecho RT1, RT2 e RT3



Fonte: Elaborado pelo autor.

6.2.1. Discussão dos Resultados Comportamento Hidrológico

Os resultados do comportamento hidrológico da bacia do Riacho do Tigre reforçam a elevada variabilidade temporal das chuvas e a natureza episódica da geração de escoamento superficial, características típicas de sistemas fluviais não perenes em ambientes semiáridos. Esse padrão é coerente com o observado por Monteiro, (2023), que ao analisar diferentes anos hidrológicos na mesma bacia identificou forte dependência da resposta hidrológica em relação à distribuição temporal das chuvas, mais do que aos totais anuais precipitados.

A predominância de eventos de baixa intensidade ao longo dos anos monitorados, intercalados por episódios pontuais de alta magnitude, evidencia um regime hidrológico controlado por limiares. Conforme discutido por (Graf; Lecce, 1988; Hooke, 2007; Stromberg; Lite; Dixon, 2010) em ecossistemas semiáridos as chuvas frequentes de baixa intensidade contribuem pouco para a geração de vazão, sendo majoritariamente absorvidas pelo solo. Entretanto, eventos extremos concentrados em curtos intervalos temporais, especialmente quando associados a condições de umidade antecedente elevada, são responsáveis pela ativação dos canais e pelo desencadeamento de processos hidrológicos e hidrogeomorfológicos significativos.

Monteiro, (2023) observa padrão semelhante, destacando que os principais episódios de resposta fluvial na bacia do Riacho do Tigre estiveram associados a eventos de chuva superiores a 40–50 mm em 24 horas. O ano hidrológico 2022–2023, caracterizado por menor concentração de eventos extremos e maior espaçamento entre episódios chuvosos, apresentou menor eficiência na geração de escoamento, padrão também identificado por Monteiro, (2023) ao analisar períodos marcados por chuvas mais dispersas e de menor magnitude. Esse comportamento reforça a não linearidade da resposta hidrológica em sistemas semiáridos, conforme amplamente discutido por (Stromberg; Lite; Dixon, 2010; Tooth, 2000).

A análise da precipitação antecedente acumulada (PAA) evidencia a importância das condições iniciais de umidade do solo na definição da resposta hidrológica. Os resultados indicam que janelas temporais intermediárias, especialmente o acumulado de 15 dias, apresentaram melhor correspondência com os picos de vazão observados. Monteiro, (2023) também identificou correlações significativas entre acumulados pluviométricos e níveis de cota nos canais monitorados, destacando que a saturação progressiva dos depósitos arenosos exerce papel importante na ativação do escoamento superficial e subsuperficial.

As diferenças observadas entre os trechos monitorados refletem a posição na bacia e da conectividade hidrológica no controle da resposta fluvial. Trechos localizados em setores mais

a jusante tende a apresentar respostas mais consistentes e proporcionais à precipitação acumulada, enquanto trechos de cabeceira exibem maior variabilidade e dependência de eventos extremos. Esse padrão está de acordo com o observado por Monteiro, (2023), que identificou maior eficiência hidrológica em trechos com maior área de contribuição e maior conectividade entre vertentes e canal, conforme também discutido por Bracken e Croke (2007), Naglettini (2016) e Souza e Almeida, (2015).

De modo geral, os resultados deste estudo corroboram as conclusões de (Monteiro, 2023), ao evidenciar que a dinâmica hidrológica da bacia do Riacho do Tigre é controlada por eventos extremos de precipitação, pela umidade antecedente do solo e pela conectividade hidrológica do sistema. A resposta hidrológica apresenta comportamento limiar e não linear, no qual pequenas variações na sequência ou na magnitude das chuvas podem resultar em respostas hidrológicas significativamente distintas.

6.3. Resultado do monitoramento biogeomorfológico- escala de trecho

6.3.1. Apresentação e caracterização dos trechos monitorados

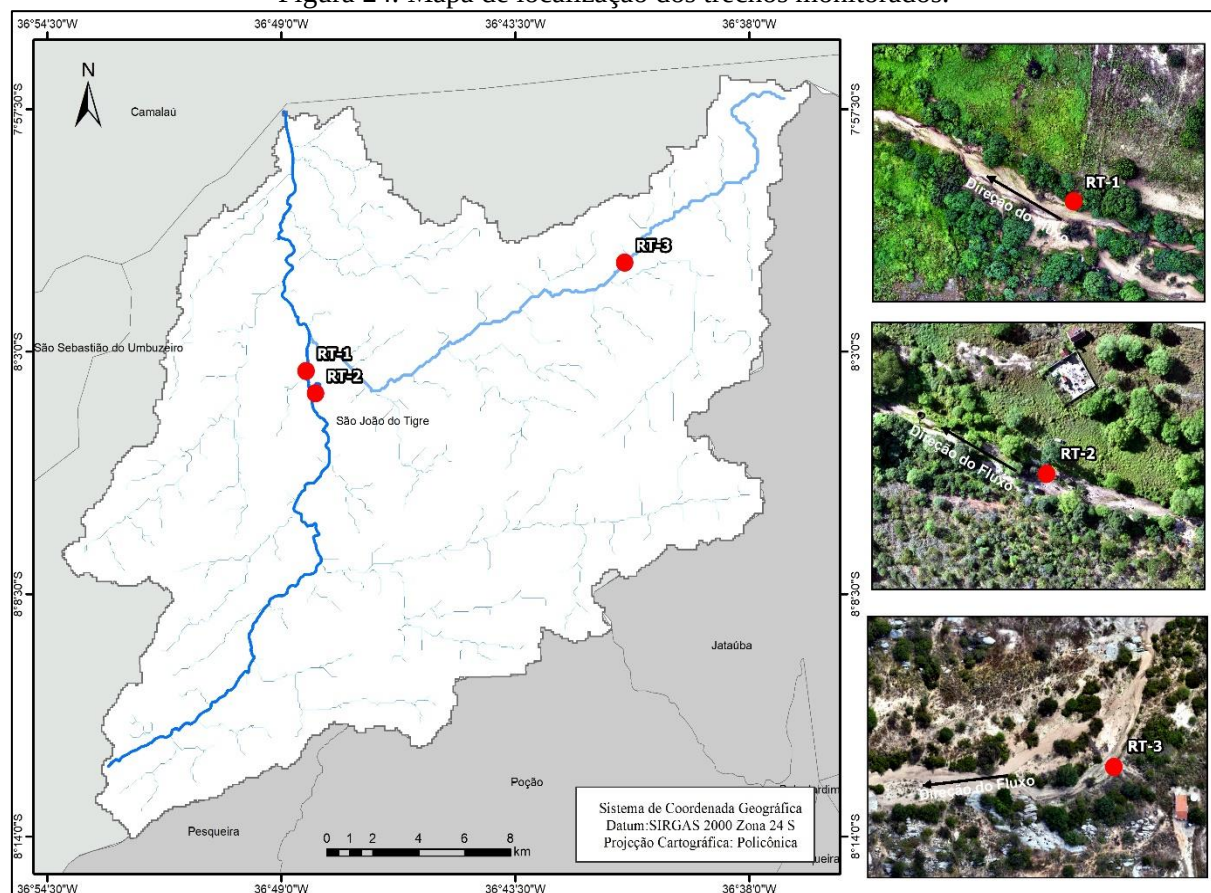
Os trechos selecionados para monitoramento da vegetação ripária estão localizados no Riacho do Tigre e seu afluente, o Riacho Cacimbinha (Figura 24). Ambos apresentam características distintas nos eventos de precipitação, o que influencia nas condições eco-hidrológicas e biogeomorfológicas. O Riacho do Tigre possui uma extensão de 41 km, com altitude máxima de 785 m e mínima de 510 m, enquanto o Riacho Cacimbinha tem 32 km de extensão, com altitude máxima de 742 m e mínima de 553 m. A vazão do Riacho Cacimbinha é influenciada principalmente pelas precipitações que vêm do setor sudeste, em direção ao estado de Pernambuco, nas áreas dos maciços remobilizados, onde se localizam as regiões de maior altitude da bacia. Diferentemente, no Riacho do Tigre, a precipitação predominante vem da porção noroeste da bacia.

A nomenclatura dos trechos foi estabelecida com base em sua localização dentro da bacia e na facilidade de acesso, mas, de maneira geral, segue um sentido jusante a montante. Assim, a sigla RT1 refere-se à nomenclatura 'Riacho do Tigre 1' e assim sucessivamente. Dos três trechos selecionados, dois (RT1 e RT2) estão localizados no Riacho do Tigre, com uma distância de 2 km entre eles. O RT1 foi escolhido devido a algumas especificidades como: a presença de unidades geomórficas de canal como ilhas e barras com presença de vegetação arboree/arbustiva de espécies nativa, e por trata de trecho com fácil acessibilidade e pôr está próximo ao RT2, que vem sendo monitorado pelo GEAFS há mais de três anos. O RT3 foi

selecionado por estar localizado no Riacho Cacimbinha, que apresenta uma dinâmica hidrológica diferente do Riacho do Tigre.

A análise da vegetação ripária desses trechos foi realizada em dois momentos. Inicialmente, foi avaliada em escala de trecho, com os resultados do monitoramento das imagens de VANTs. Em seguida, será realizada uma análise mais detalhada, com os resultados dos monitoramentos da vegetação por quadrante, em diferentes unidades geomórficas dos trechos, que serão expostos no tópico seguinte dos resultados.

Figura 24: Mapa de localização dos trechos monitorados.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

O quadro a seguir (Quadro 4) exhibe o resumo das informações referentes a todos os trechos analisados. Os três trechos analisados (RT1, RT2 e RT3) possuem algumas semelhanças, como o uso predominante de agropecuária e intervenções relacionadas construção de alvenaria. Além disso, as geometrias dos canais de RT1 e RT3 são simétricas, enquanto o RT2 apresenta um canal de geometria irregular e assimétrica. Todos os trechos também mostram gradientes relativamente baixos, com RT1 e RT3 apresentando valores ligeiramente mais elevados (0,012 m/m e 0,006 m/m, respectivamente) comparados ao RT2 (0,004 m/m). Por outro lado, as diferenças entre os trechos são mais marcantes em relação à largura do canal, à profundidade do talvegue, e à cobertura vegetal. RT1 tem a maior largura de canal (33 m),

enquanto RT3 também tem uma largura significativa (38 m), mas RT2 tem o canal mais estreito (17 m). Além disso, as altitudes e áreas de captação diferem, com RT3 tendo a menor área de captação (39,12 km²) por se tratar de um trecho próximo à área de cabeceira, o RT1 e RT2, têm áreas de captação com valores próximo (228,62 km² e 221,77 km²).

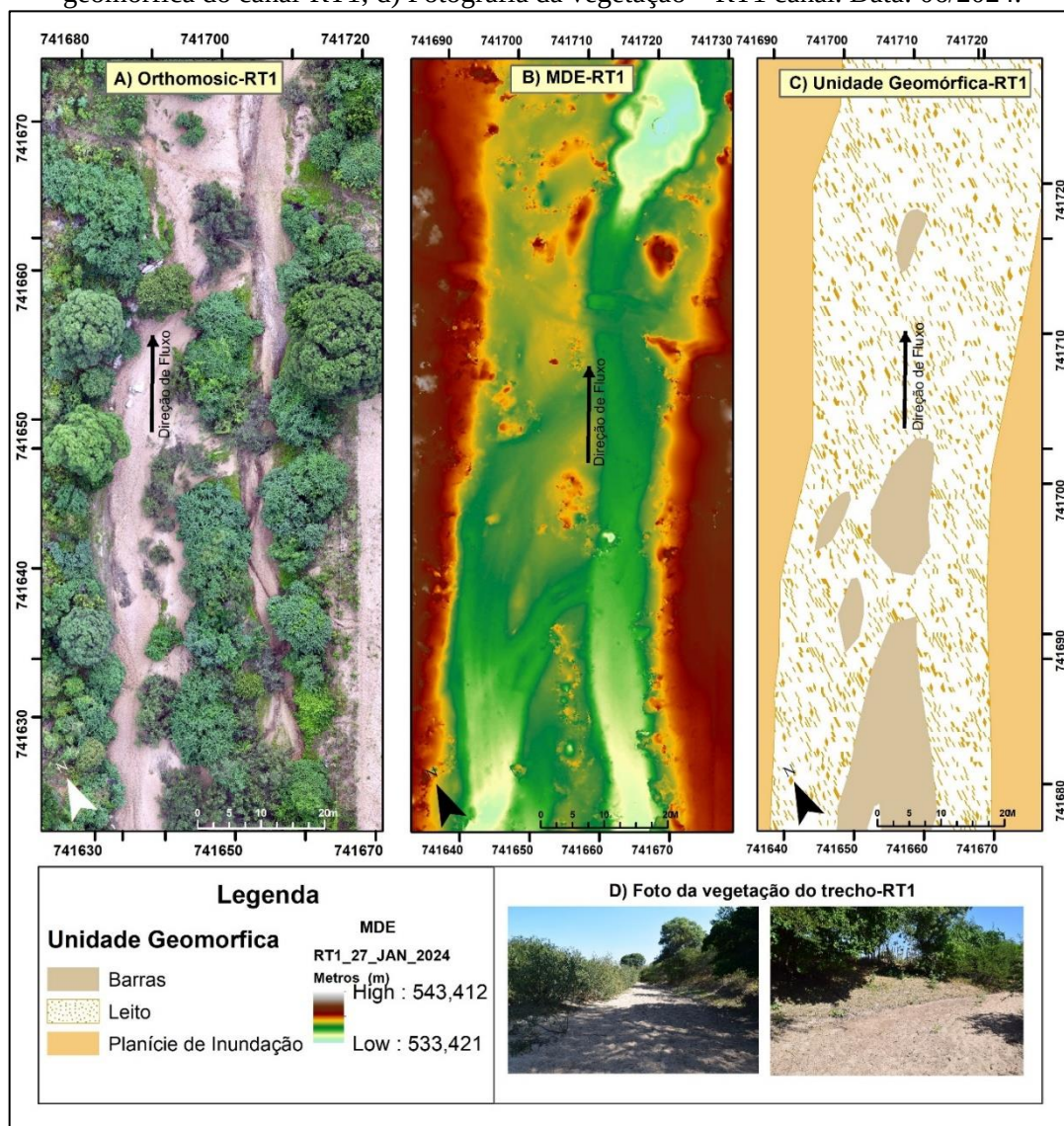
Quadro 4: Resumo das informações dos trechos analisados.

	RT1	RT2	RT3
Configuração do Vale	Não confinado	Parcialmente confinado	Não confinado
Altitude (m)	552m a 536	560m a 541	608m a 595
Largura do canal (m)	33	17	38
Prof. do talvegue	2m	2,1m	3,20m
Geometria do canal	Simétrico	Irregular/Assimétrico	Simétrico
Gradiente (m/m)	0,012	0,004	0,006
Área de captação (km²)	228,62	221,77	39,12
Usos e Intervenções	Agropecuária	Agropecuária e construção alvenaria	Agropecuária e construção alvenaria

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

O trecho RT1 apresenta uma configuração de vale não confinado, com altitudes variando entre 543m e 533m. Possui um leito arenoso com aproximadamente 33m de largura e uma planície de inundação contínua. A profundidade máxima do talvegue é de 2m, com um gradiente de 0,012m/m. Foram identificadas barras arenosas no meio do canal e barras longitudinais ao longo do canal (Figura 25). Em relação à cobertura vegetal, é esparsa, com espécies arbóreas e arbustivas, predominando o solo exposto utilizado para atividades agropecuárias. Durante o período chuvoso, há predomínio de vegetação herbácea. Em algumas áreas, observa-se a presença de intervenções humanas, como pecuária, arena de vaquejada, cercas e poços tipo Amazonas (poços rasos). Tais intervenções foram identificadas ao longo do trecho, destacando a utilização dos depósitos aluviais nas planícies de inundação para abastecimento alternativo de água.

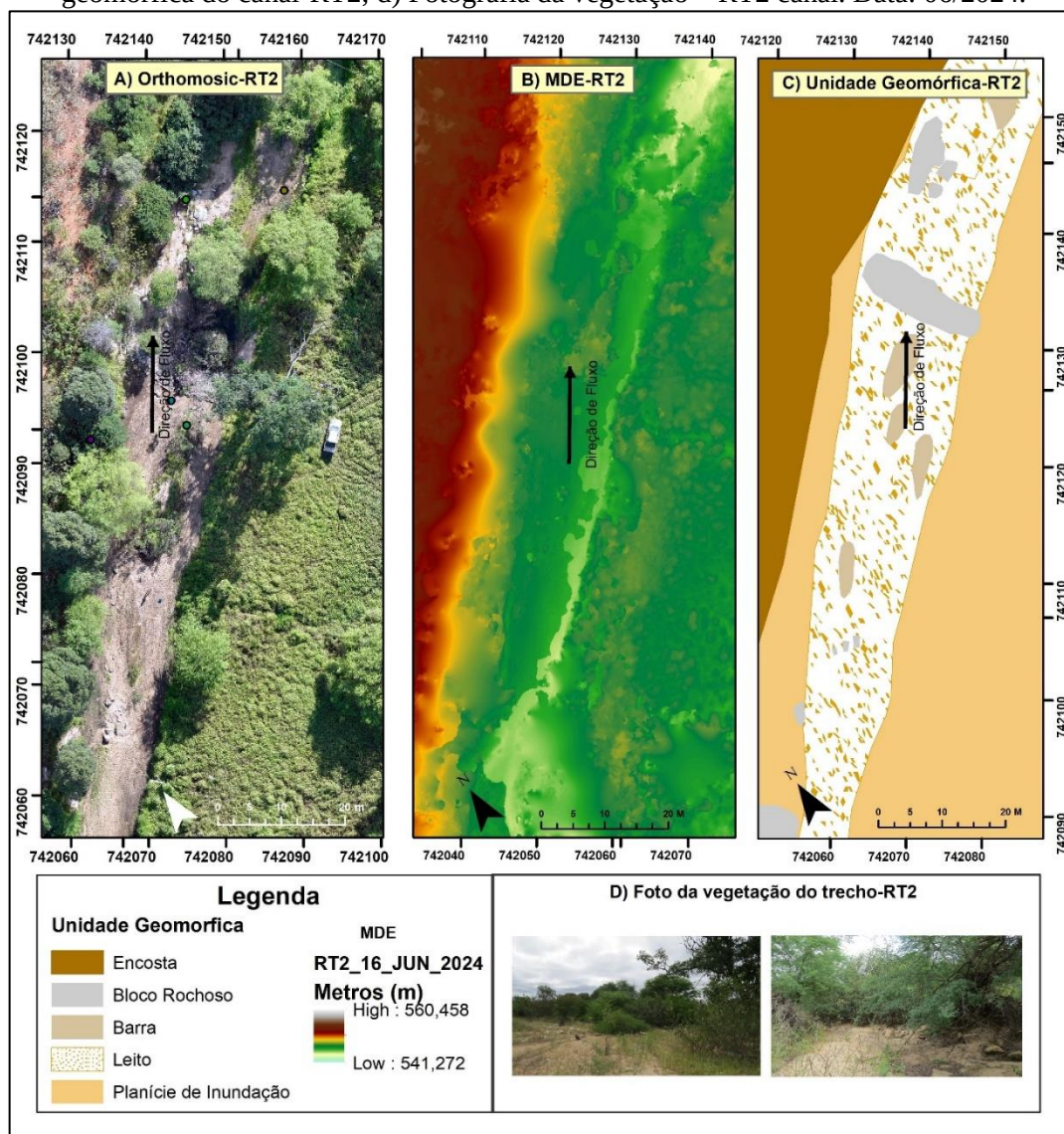
Figura 25: a) Ortofotomosaico do RT1; b) Modelo de digital de elevação -RT1; c) Mapa de Unidade geomórfica do canal-RT1; d) Fotografia da vegetação – RT1 canal. Data: 06/2024.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

O trecho RT2 está localizado a 2 km a jusante do RT1, apresentando uma configuração de vale parcialmente confinado na margem esquerda, com planície de inundação contínua na margem direita, e altimetria variando entre 560m e 541m (Figura 26). A geometria do canal é irregular em alguns trechos devido à presença de blocos e afloramentos rochosos no leito do canal. No entanto, o leito possui textura arenosa e apresenta barras longitudinais. O canal tem aproximadamente 17m de largura e profundidade máxima do talvegue de 2,1m, com um gradiente de 0,004 m/m e uma área de captação de 221,77 km². Em relação às intervenções e práticas humanas, observa-se a presença de pecuária, cercas e agricultura de sequeiro. A cobertura vegetal do trecho considerando as espécies arbóreas e arbustivas. No período chuvoso se tem a presença da vegetação herbácea nas áreas de solo exposto.

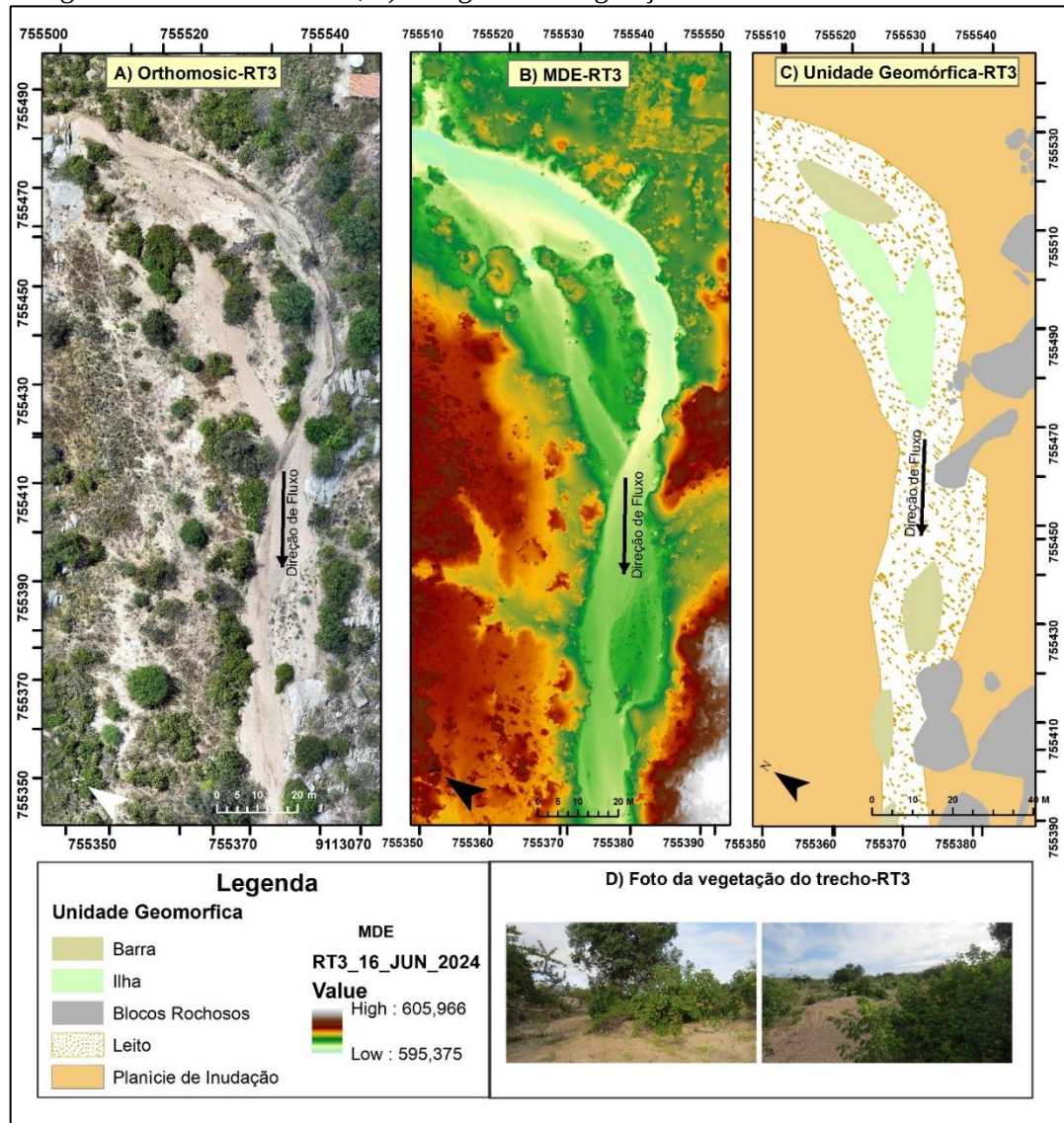
Figura 26: a) Ortofotomosaico do RT2; b) Modelo de digital de elevação -RT2; c) Mapa de Unidade geomórfica do canal-RT2; d) Fotografia da vegetação – RT2 canal. Data: 06/2024.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

O último trecho monitorado foi denominado RT3, localizado no médio curso do Riacho Cacimbinha, correspondendo à área do distrito de Cacimbinha (figura 27). O canal apresenta uma configuração de vale não confinado e simétrico, com descontinuidade a jusante, no qual algumas áreas do canal parcialmente confinado. A largura do canal é de aproximadamente 38m de largura, profundidade máxima do talvegue de 3,20m, com um gradiente de 0,006 m/m, e uma área de captação de 39 km², a altimetria varia entre 605m e 595m.

Figura 27: a) Ortofotomosaico do RT3; b) Modelo de digital de elevação -RT3; c) Mapa de Unidade geomórfica do canal-RT3; d) Fotografia da vegetação – RT3 canal. Data: 06/2024.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Nas margens, especialmente na margem esquerda, são observados processos erosivos bem desenvolvidos, com raízes expostas e tombamento de árvores. Os fluxos superficiais e subsuperficiais removem as camadas de sedimento, influenciando o desenvolvimento da vegetação herbácea nas margens e fornecendo material para o leito, resultando na formação de barras e ilhas (.

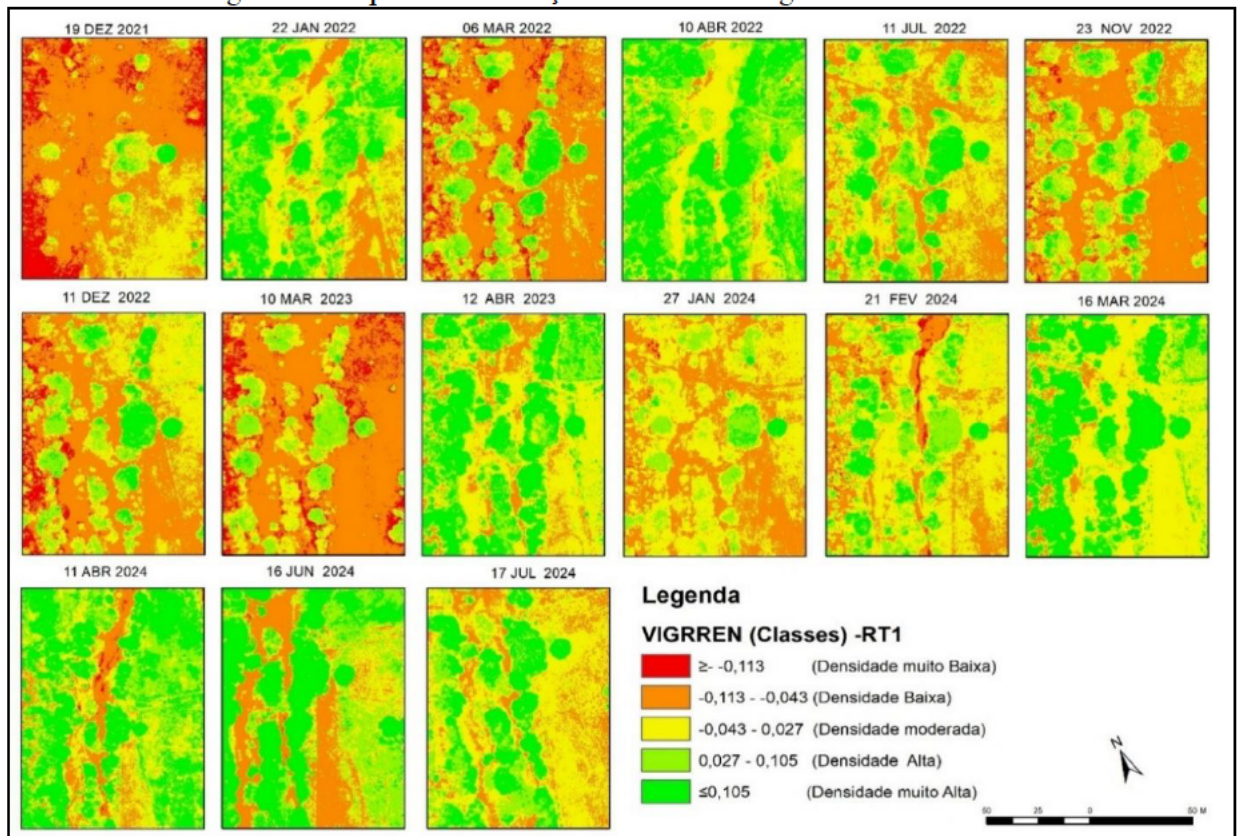
Figura 27). Assim, as feições geomórficas no leito são bem ativas, com processos atuantes que favorecem o potencial erosivo. A área também apresenta intervenções humanas, como cercas, pecuária e residências na planície da margem direita. A espécies arbóreas e arbustivas, com cobertura espaçada e predominância de solo exposto, e no período chuvoso a predominância da vegetação herbácea espaçada.

6.3.2. Resultado do Índice do VIGREEN

O resultado do índice de VIGREEN realizados nos trechos a partir dos ortofotomosaico dos campos de monitoramento, permite observar a variação da biomassa vegetação ao longo dos trechos de rio em várias datas, relacionado com a acumulação de precipitação. A Figura 28, mostra a variação do índice VIGREEN do trecho RT1 em 19 de dezembro de 2021, observa-se uma predominância das áreas classificadas como "densidade moderada" (45,3%) e "densidade baixa" (26,4%), com algumas manchas de densidade muito baixa e alta.

A precipitação acumulada de 30 dias foi de apenas 4,26 mm (Tabela 7), sugerindo uma condição de seca. Com o aumento significativo da precipitação acumulada em janeiro de 2022 (77,02 mm), há uma elevação nos valores do índice, a "densidade moderada" (52,62%) e "densidade alta" (17,41%). Em 6 de março de 2022, os dados mostram uma leve redução na cobertura de "densidade muito alta" (23,48%), sugerindo que, embora ainda alta, houve uma variação nas condições ambientais, possivelmente secas ocasionais. Em 10 de abril de 2022, a "densidade moderada" domina (54,26%), com uma leve recuperação na área de vegetação alta. De 11 de julho a 23 de novembro de 2022, observa-se uma redução nas áreas de "densidade alta" e "muito alta", substituídas por "moderada" e "baixa" em julho e novembro. Isso é corroborado pelos baixos valores de precipitação acumulada, com apenas 68,41 mm em julho e 54,86 mm em novembro. Em abril de 2023 a precipitação acumulada em 12 de abril atinge 139,8 mm, onde houve o aumento da classe de "densidade muito alta" (22,55%), assim como no ano anterior.

Figura 28: Mapa de classificação do índice de Vigreen do trecho RT1



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Diferente dos anos anteriores, em 2024 destaca-se os meses de março a junho com classe de “densidade muito alta” acima de 22%, o mês de março atinge 25, 16% da área classificada com a “densidade muito alta”. Esses valores mostram a adaptação da vegetação as condições climáticas, tendo vista que o acumulado de precipitação no mês de março e abril atingiu 209,63mm e 191,8mm respectivamente. Ou seja, como releva a 7 os dados sugerem uma sazonalidade clara, onde períodos de chuva influenciam diretamente o índice Vigreen, aumentando a cobertura vegetal nos meses chuvosos e reduzindo durante a estiagem.

Tabela 7: Valores do Vigreen no trecho RT1

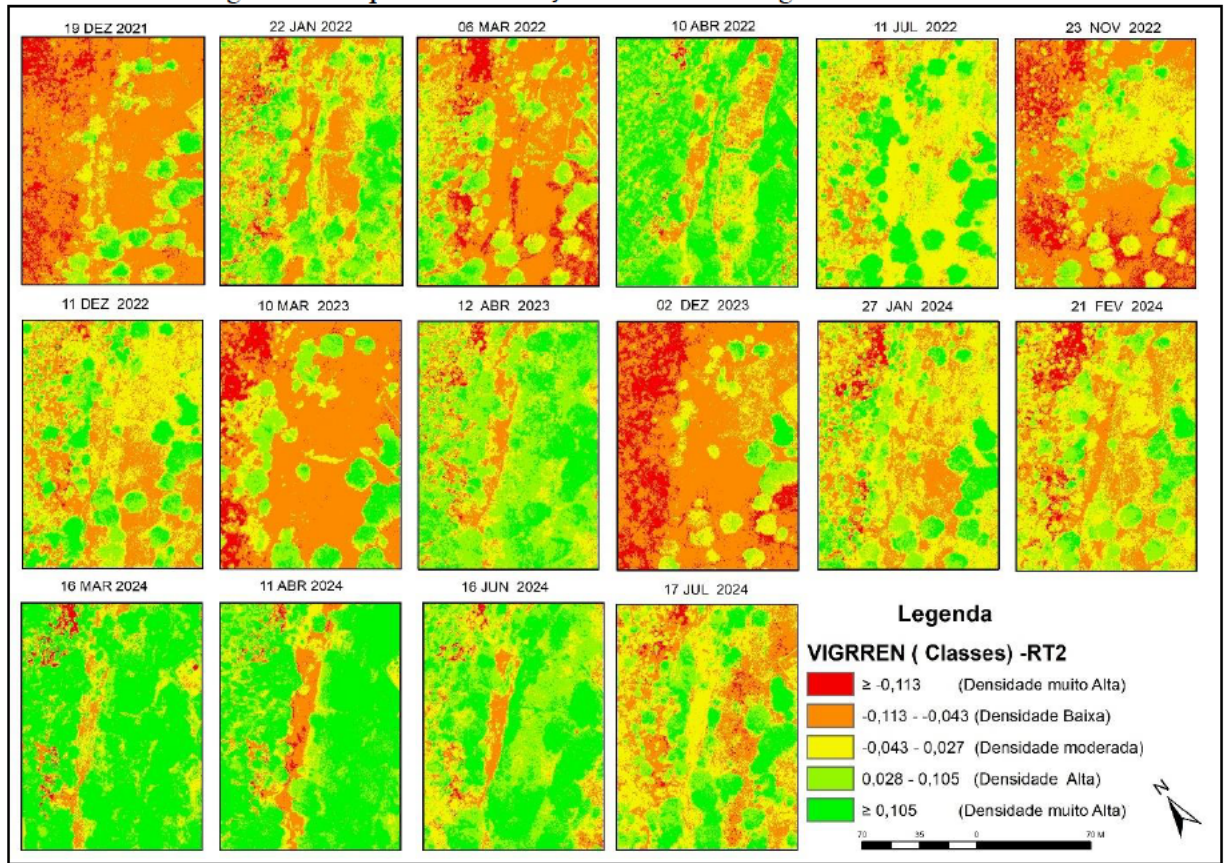
Data	Acum.Precip. (mm)	VIGREEN			CLASSES DE VEGETAÇÃO				
		Média	Máximo	Dsv P	% Muito Baixo	% Baixo	% Moderado	% Alto	% Muito Alto
19/12/2021	4,26	-0,06	0,31	0,07	26,15	26,4	45,3	1,47	0,67
22/01/2022	77,02	0,05	0,46	0,08	0,22	6,27	52,62	17,41	23,48
06/03/2022	17,18	-0,04	0,28	0,06	10,87	33,91	46,1	6,79	2,33
10/04/2022	117,42	0,06	0,47	0,08	0,1	1,93	54,26	19,29	24,42
11/07/2022	68,41	-0,01	0,36	0,05	0,5	15,21	70,69	8,52	5,08
23/11/2022	54,86	-0,02	0,37	0,05	2,03	30,06	55,71	8,28	3,12
11/12/2022	43,05	-0,01	0,42	0,06	3,09	20,09	63,05	8,76	5,01
10/03/2023	12,4	-0,05	0,31	0,06	13,74	35,48	45,05	4,9	0,84
12/04/2023	139,8	0,04	0,58	0,07	0,08	4,85	56,57	15,94	22,55

Data	Acum.Precip. (mm)	VIGREEN			CLASSES DE VEGETAÇÃO				
		Média	Máximo	Dsv P	% Muito Baixo	% Baixo	% Moderado	% Alto	% Muito Alto
27/01/2024	46,4	-0,02	0,46	0,03	0,39	20,61	74,04	3,59	1,39
21/02/2024	87,4	-0,01	0,49	0,04	0,37	18,39	71,66	6,75	2,83
16/03/2024	209,63	0,05	0,51	0,09	0,06	3,41	62,73	9,94	23,86
11/04/2024	191,8	0,04	0,69	0,08	0,66	6,66	53,99	15,98	22,71
16/06/2024	39,53	0,05	0,61	0,09	0,51	9,28	51,23	13,82	25,16
17/07/2024	50,69	0,01	0,57	0,06	1,05	14,79	65,58	10,64	7,93

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Seguindo a mesma classificação índice do Vigreen do trecho anterior, o RT2 (Figura 29) durante meses secos, como em 02/12/2023, os mapas evidenciam as classes moderada (51,39%) e baixa (32,72%) de biomassa, enquanto a proporção da classe “muito alta” é quase inexistente. Após eventos chuvosos, como em 16/06/2024, a densidade de biomassa da vegetação “muito alta” atinge 16,40%. Em 19/12/2021, com apenas 4,26 mm (Tabela 8**Erro! Fonte de referência não encontrada.**) de precipitação acumulada, observa-se uma predominância das classes “moderada” (45,88%) e “baixa” (34,40%). Isso reflete a escassez de água disponível para a manutenção da biomassa da vegetação. Em 10/04/2022, após um período de maior precipitação (118,39 mm), a proporção da biomassa de “alta densidade” aumenta significativamente (19,52% na “classe alta” e 23,73% na “muito alta”), indicando uma resposta da biomassa da vegetação. O efeito das chuvas intensas é ainda mais evidente em 16/03/2024, com 208,67 mm, quando mais de 62% da área apresenta densidade “alta” ou “muito alta” de biomassa da vegetação.

Figura 29: Mapa de classificação do índice de Vgreen do trecho RT2



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Tabela 8: Valores do Vgreen no trecho RT2

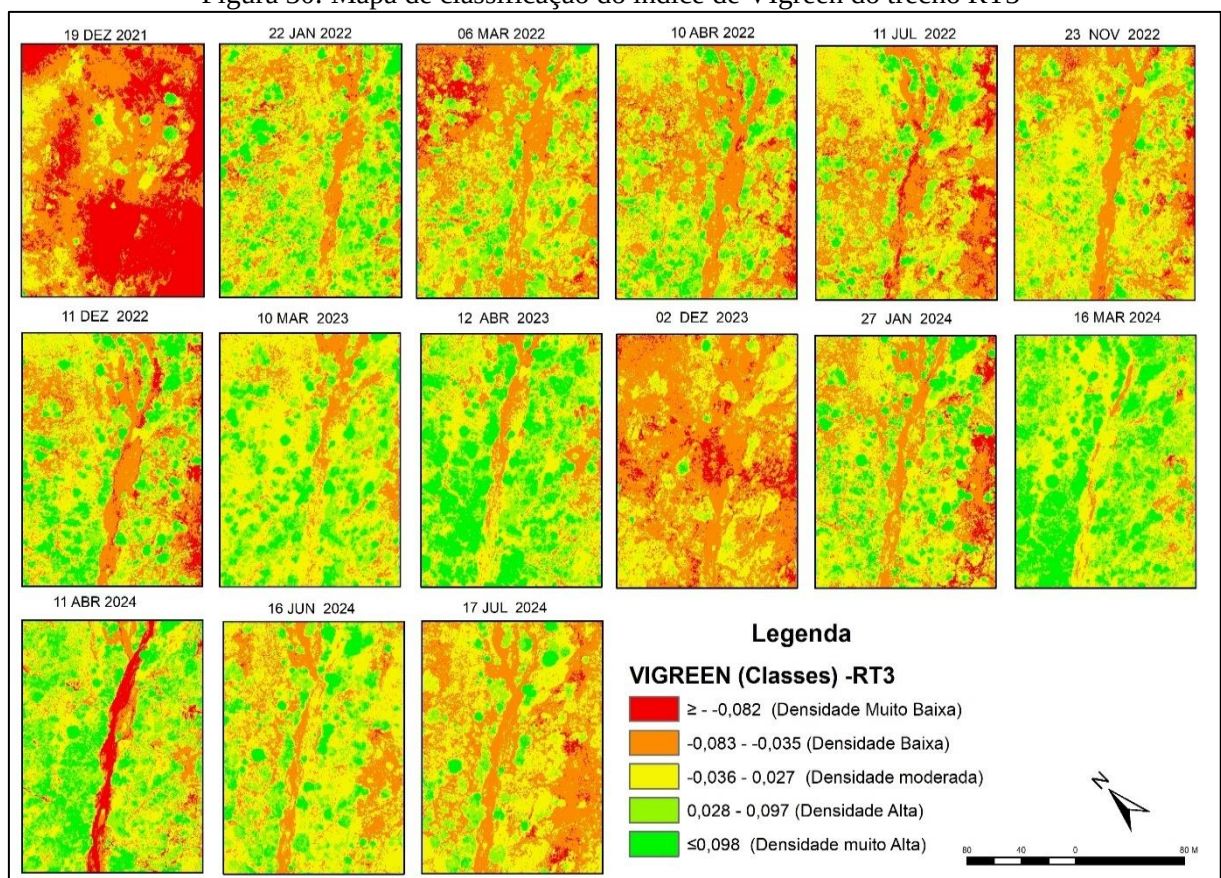
Data	Acum. Precip. (mm)	VIGREEN			CLASSES DE VEGETAÇÃO				
		Média	Máximo	Dsv P	% Muito Baixo	% Baixo	% Moderado	% Alto	% Muito Alto
19/12/2021	4,26	-0,05	0,27	0,06	16,00	34,40	45,88	2,69	1,03
22/01/2022	76,08	0	0,35	0,06	3,01	17,85	60,17	12,89	6,08
06/03/2022	17,84	-0,02	0,33	0,06	9,32	24,64	54,66	8,07	3,31
10/04/2022	118,39	0,05	0,68	0,08	0,59	4,86	51,30	19,52	23,73
11/07/2022	69,78	0,01	0,33	0,05	0,23	12,07	71,72	8,51	7,48
23/11/2022	54,86	-0,05	0,27	0,06	14,55	30,52	50,44	3,63	0,86
11/12/2022	43,05	0	0,31	0,06	1,37	21,05	8,58	62,91	6,08
10/03/2023	12,4	-0,04	0,2	0,06	13,00	29,78	51,76	4,95	0,50
12/04/2023	139,8	0,02	0,43	0,06	1,76	9,55	56,58	22,35	9,76
02/12/2023	14,11	-0,05	0,25	0,05	14,28	32,72	51,39	1,33	0,27
27/01/2024	46,13	0	0,34	0,04	1,27	14,92	70,87	8,44	4,50
21/02/2024	87,69	-0,02	0,37	0,05	1,37	5,40	62,70	14,13	16,40
16/03/2024	208,67	0,07	0,54	0,1	0,76	4,13	55,00	7,94	32,16
11/04/2024	190,75	0,06	0,83	0,08	0,99	4,64	48,76	17,10	28,50
16/06/2024	40,43	0,04	1	0,1	1,37	5,40	62,70	14,13	16,40
17/07/2024	51,5	0	0,85	0,06	2,12	15,63	66,38	8,75	7,12

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Os valores médios e o desvio padrão (Dsv P) do índice VIGREEN também apresentam relações importantes. Períodos secos, como 19/12/2021 o acumulado antecedente de 4,26mm (Média = -0,05, Dsv P = 0,06), apresentam pouca variabilidade espacial, sugerindo homogeneidade na condição de estresse hídrico da vegetação. Períodos de alta precipitação, como 16/03/2024 que a chuva antessente foi de 208,67mm (Média = 0,07, Dsv P = 0,54), exibem maior variabilidade no índice, refletindo diferenças na capacidade de resposta de diferentes espécies da vegetação ou em diferentes áreas do trecho.

Assim como nos outros trechos, no RT3 segue o mesmo padrão, a precipitação antecedente é um fator chave para a compreensão da variação da biomassa da vegetação. Mesmo com a precipitação menos uniforme (Tabela 9) em relação aos outros trechos, os eventos significativos geram uma resposta perceptível da biomassa da vegetação (Figura 30). Períodos secos (dezembro e janeiro) são marcados pela predominância das classes “moderada” e “baixa”. Períodos úmidos (março e abril) apresentam maior presença de biomassa da vegetação em classes “alta” e “muito alta”, destacando a dependência hídrica na dinâmica da vegetação.

Figura 30: Mapa de classificação do índice de Vigreen do trecho RT3



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Em 19/12/2021, com apenas 1,20 mm de precipitação acumulada (Tabela 9), a classe “moderada” domina a área (51,67%), enquanto as classes “alta” e “muito alta” juntas representam menos de 1%. Em 12/04/2023, após um pico de 176,86 mm de precipitação, observa-se um aumento substancial das classes “alta” (13,36%) e “muito alta” (10,33%), evidenciando a resposta positiva da vegetação a eventos de chuvas significativos. De modo geral, nos meses de abril, observa-se uma maior proporção de áreas verdes (classes alta e muito alta) em torno do leito do rio, onde a vegetação tende a se beneficiar da maior disponibilidade hídrica.

Tabela 9: Valores do VÍgreen no trecho RT3

Data	Acum. Precip. (mm)	VIGREEN			CLASSES DE VEGETAÇÃO				
		Média	Máximo	Dsv P	% Muito Baixo	% Baixo	% Moderado	% Alto	% Muito Alto
19/12/2021	1,20	-0,05	0,22	0,07	31,29	16,46	51,67	0,47	0,10
22/01/2022	72,01	0	0,35	0,05	1,68	17,28	65,36	9,03	6,65
06/03/2022	10,13	-0,01	0,29	0,04	5,79	20,43	65,88	5,30	2,60
10/04/2022	89,73	-0,01	0,3	0,04	4,18	19,22	65,95	7,29	3,36
11/07/2022	107,49	-0,01	0,35	0,04	3,14	18,06	67,54	7,87	3,39
23/11/2022	55,04	-0,01	0,28	0,04	5,18	17,14	68,43	6,45	2,80
11/12/2022	72,93	0	0,38	0,05	4,04	16,46	64,63	9,05	5,82
10/03/2023	31,6	0	0,3	0,04	1,68	12,89	71,85	9,31	4,26
12/04/2023	176,86	0,02	0,34	0,06	0,32	7,84	65,49	13,36	13,00
02/12/2023	19,16	-0,03	0,23	0,04	8,89	29,76	60,36	0,87	0,12
27/01/2024	68,58	0	0,34	0,04	1,95	14,97	70,39	6,8	5,89
16/03/2024	157,21	0,03	0,56	0,06	0,12	1,72	66,92	16,22	15,02
11/04/2024	158,09	0,02	0,51	0,05	5,18	17,14	68,43	6,45	2,80
16/06/2024	81,69	0	1	0,04	0,61	11,10	74,59	8,49	5,21
17/07/2024	64,67	-0,01	0,3	0,03	1,52	21,43	71,11	4,43	1,51

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Em todos os trechos analisados, foi possível identificar o evento de veranico durante o primeiro ano de monitoramento (dezembro de 2021 a julho de 2022). Conforme demonstrado nas Tabelas 7, 8 e 9 e nas Figuras 20, 21 e 22, observou-se que, entre janeiro e abril (período chuvoso), ocorreram eventos de estiagem com duração superior a 15 dias. O mês de janeiro registrou um acumulado de precipitação acima de 70 mm, enquanto entre fevereiro e março houve uma redução significativa, com acumulado abaixo de 18 mm. Em abril, as precipitações voltaram a aumentar, com os trechos RT1 e RT2 atingindo um acumulado superior a 100 mm.

Os valores do VÍgreen mostraram-se consistentes com os dados de precipitação, apresentando os maiores índices de refletância da vegetação nos meses de janeiro e abril (**Erro! Fonte de referência não encontrada.** e **Erro! Fonte de referência não encontrada.**). A

exceção foi o trecho RT3, que registrou o maior índice em julho (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Diversos estudos destacam os impactos dos veranicos na vegetação nativa e cultivos (Campos; Andrade, 2021; Fernandes et al., 2015; Rocha et al., 2020). Esses eventos podem comprometer a germinação e o estabelecimento de novos indivíduos, pois envolvem mais de cinco dias consecutivos de seca durante a estação chuvosa (Fernandes et al., 2015).

Em rios não perenes, os veranicos têm impactos significativos na vegetação ripária, especialmente sobre as espécies herbáceas efêmeras, que brotam exclusivamente no período chuvoso. Essas plantas possuem um ciclo de vida rápido, sincronizado com a estação úmida, e geralmente apresentam folhas pequenas e raízes superficiais para absorver água rapidamente (Souza, 2020).

Os mapas (Figura 31, Figura 32 e Figura 33) apresentados destacam a frequência de diferentes espécies de vegetação nos trechos RT1, RT2 e RT3, respectivamente. Esse levantamento representa uma importante contribuição para o entendimento da composição florística da área e do papel ecológico de cada espécie no ecossistema ripário, principalmente nas unidades geomórfica do canal (Tabela 10).

No trecho RT1 foram identificadas as espécies de *Jatropha mollissima* (Pohl) Baill., *Cenostigma nordestinum* Gagnon & G. P. Lewis, *Prosopis juliflora*, *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir., *Vitex gardneriana* Schauer, *Sarcomphalus joazeiro* (Mart.) Hauenschild, *Erythrina velutina* Willd. e *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook.f.ex S. Moore. Assim como observado no trecho RT1 no RT2 foram identificadas também as espécies *V. gardneriana*, *J. mollissima*, *T. aurea*, e a *M. tenuiflora* e *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. No trecho RT3, destaca-se as espécies *V. gardneriana*, *P. juliflora*, *J. mollissima*, *E. velutina*, *M. tenuiflora*, *T. aurea*, *S. joazeiro*, *Sideroxylon obtusifolium* (Roem. & Schult.) T. D. Penn., *Cenostigma pyramidale* (Tul.) Gagnon & G. P. Lewis, *Cnidoscolus quercifolius* Pohl e *Serjania glabrata* Kunth.

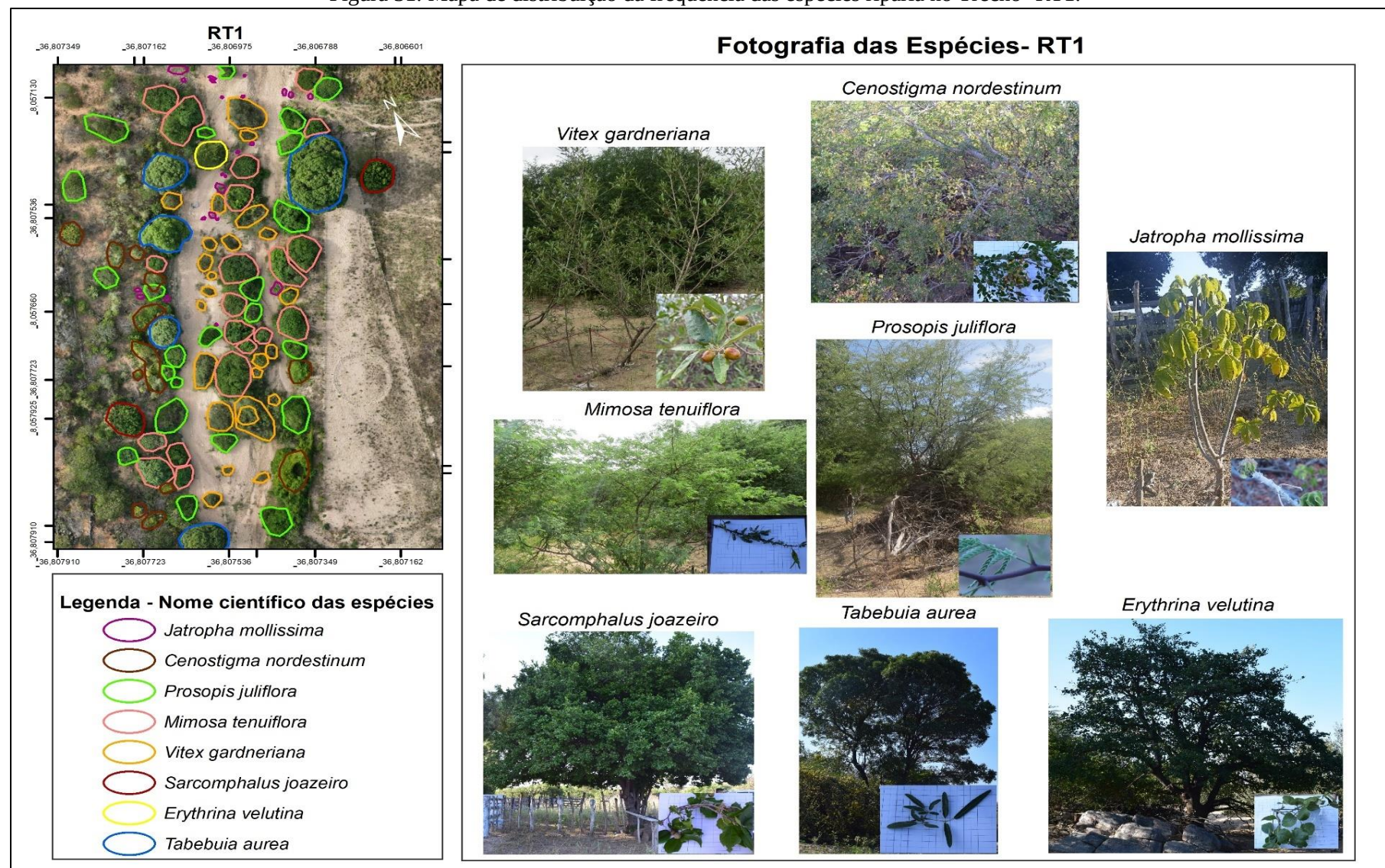
É importante observar áreas que essas espécies estão presente no canal, com uma maior ocorrência de indivíduos de *V. gardneriana* e *J. mollissima* nas barras arenosas e no leito dos canais. Ressalta-se ambas as espécies são comumente associadas a ambientes ripários (Macelli Pinto et al., 2023) possui um papel importante na estabilização de unidades geomórficas fluviais, oferece suporte alimentar para a fauna, possui capacidade de resistir às flutuações hídricas e contribuir para a estabilização do solo, reduzindo assim os processos erosivos, em especial nas margens (Souza, 2020). As espécies da família Euphorbiaceae são suculentas como a *C. quercifolius* e *J. mollissima*, que apresentam armazenamento de água no caule. Essa

característica é importante atributo para essas espécies se estabelecerem em áreas arenosas, cuja capacidade de retenção de água é baixa (Souza, 2020).

Também foi observada a ocorrência de *P. juliflora* nas barras e leito dos trechos. Embora seja uma espécie introduzida, é amplamente distribuída em regiões semiáridas devido à sua resistência e capacidade de colonizar áreas degradadas, margens de rios, áreas de baixa pluviosidade. (Andrade; Fabricante; Oliveira, 2009). No entanto, sua presença pode representar um desafio ecológico, dado seu caráter invasor, que pode impactar negativamente as espécies nativas. A espécie possui uma capacidade hidrológica, que influencia significativamente a disponibilidade de água em ecossistemas semiáridos. *P. juliflora* consome mais água por área do que a vegetação nativa da Caatinga devido à sua alta densidade populacional (em alguns casos, 90% da densidade relativa em áreas invadidas (competição hídrica). Estudos na Etiópia indicam que *P. juliflora* consome em média 7 L de água por dia por árvore, com variações entre 1 e 36 L/dia, dependendo das condições do solo e clima (Shiferaw et al., 2021). Os resultados deste estudo fornecem evidências de que, na Região de Afar, *P. juliflora* não apenas consome água durante todo o ano, mas também consome mais água durante a estação seca do que durante a estação chuvosa. Suas raízes pivotantes atingem lençóis freáticos profundos, permitindo acesso a água mesmo em períodos de seca. Isso impacta recarga de aquíferos, como também na disponibilidade hídrica para as espécies nativas (Andrade; Fabricante; Oliveira, 2009; Shiferaw et al., 2021).

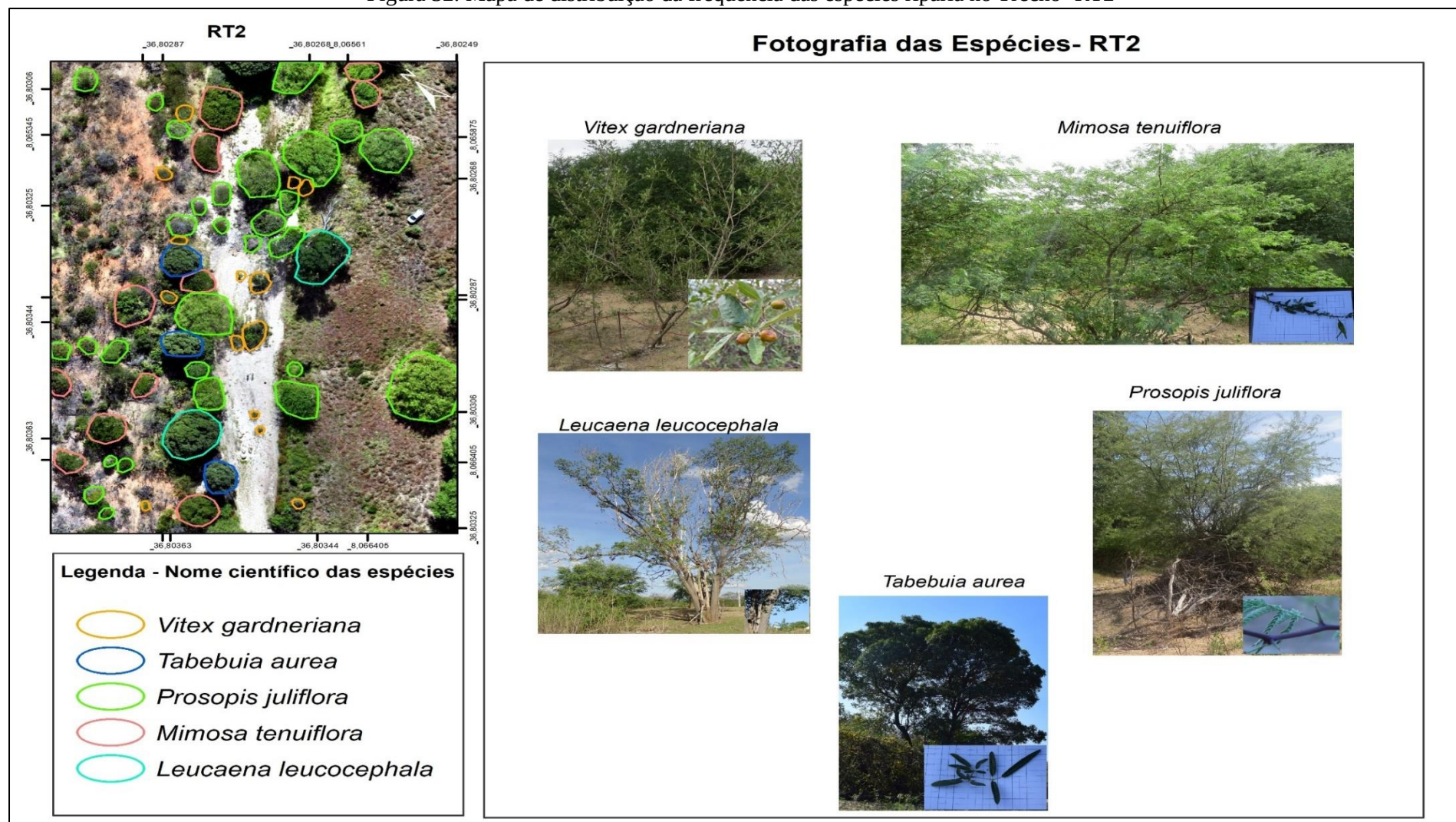
Nas margens e nas áreas de planície de inundação foram observadas as predominâncias espécies arbóreas como a *S. joazeiro*, *T. aurea* e *C. quercifolius*. Porém é importante ressaltar a presença das espécies arbórea também no leito do canal, como no trecho RT1 e RT3. A *S. joazeiro*, uma das poucas perenifólias da Caatinga, destaca-se por apresentar uma copa que mantém quase toda sua folhagem durante a estiagem, isso se deve ao alongamento radicular, mecanismo adaptativo peculiar a essa espécie. (Souza, 2020). Essa característica do sistema radicular da *S. joazeiro* é de fundamental importância para atender as demandas de fluxos de vapor pelas folhas, de modo a suprir a alta demanda transpiratória da Caatinga (Souza, 2020).

Figura 31: Mapa de distribuição da frequência das espécies ripária no Trecho -RT1.



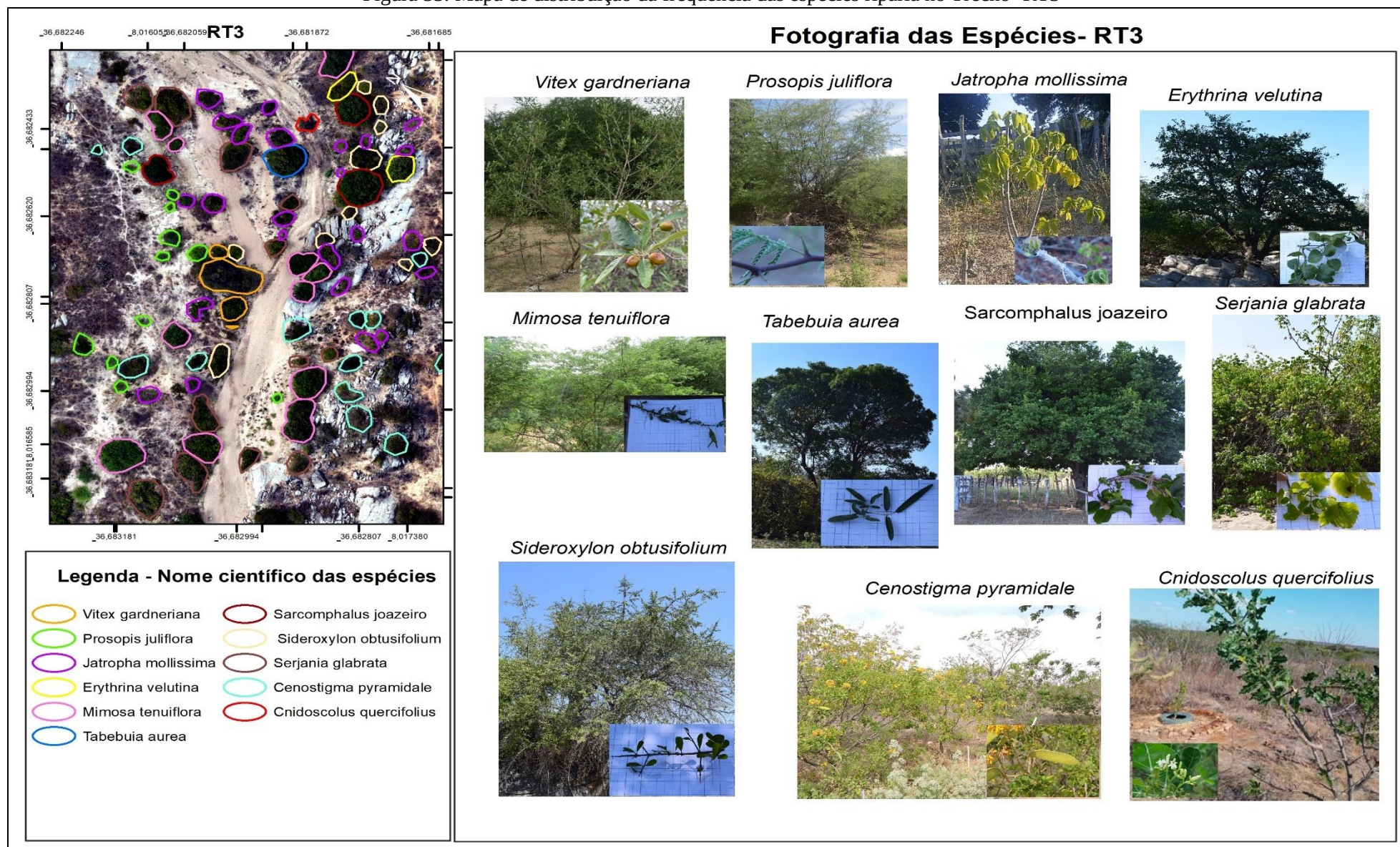
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 32: Mapa de distribuição da frequência das espécies ripária no Trecho -RT2



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 33: Mapa de distribuição da frequência das espécies ripária no Trecho -RT3



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Tabela 10: Número aproximado de indivíduos por espécie nas unidades geomórficas

Espécies	RT1			RT2			RT3		
	Leito	Margem	Barra	Leito	Margem	Barra	Leito	Margem	Barra
<i>Jatropha molissima</i>	10	9	12	0	0	0	1	15	7
<i>Prosopis juliflora</i>	3	17	4	3	21	4	2	10	0
<i>Mimosa tenuiflora</i>	0	12	8	0	12	0	0	11	0
<i>Sarcomphalus joazeiro</i>	0	2	0	0	0	0	0	3	0
<i>Cenostigma nordestinum</i>	0	14	0	0	0	0	0	0	0
<i>Vitex gardneriana</i>	5	2	11	4	8	0	0	3	0
<i>Erythrina velutina</i>	1	0	0	0	0	0	0	2	0
<i>Tabebuia aurea</i>	0	5	0	0	3	0	0	0	1
<i>Lecaena leucocephala</i>	0	0	0	0	2	0	0	0	0
<i>Sideroxylon obtusifolium</i>	0	0	0	0	0	0	0	10	0
<i>Serjania glabrata</i>	0	0	0	0	0	0	0	8	5
<i>Cenostigma pyramidale</i>	0	0	0	0	0	0	0	13	0
<i>Cnidoscolus quercifolius</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

6.3.3. Resultado da Morfologia do Canal

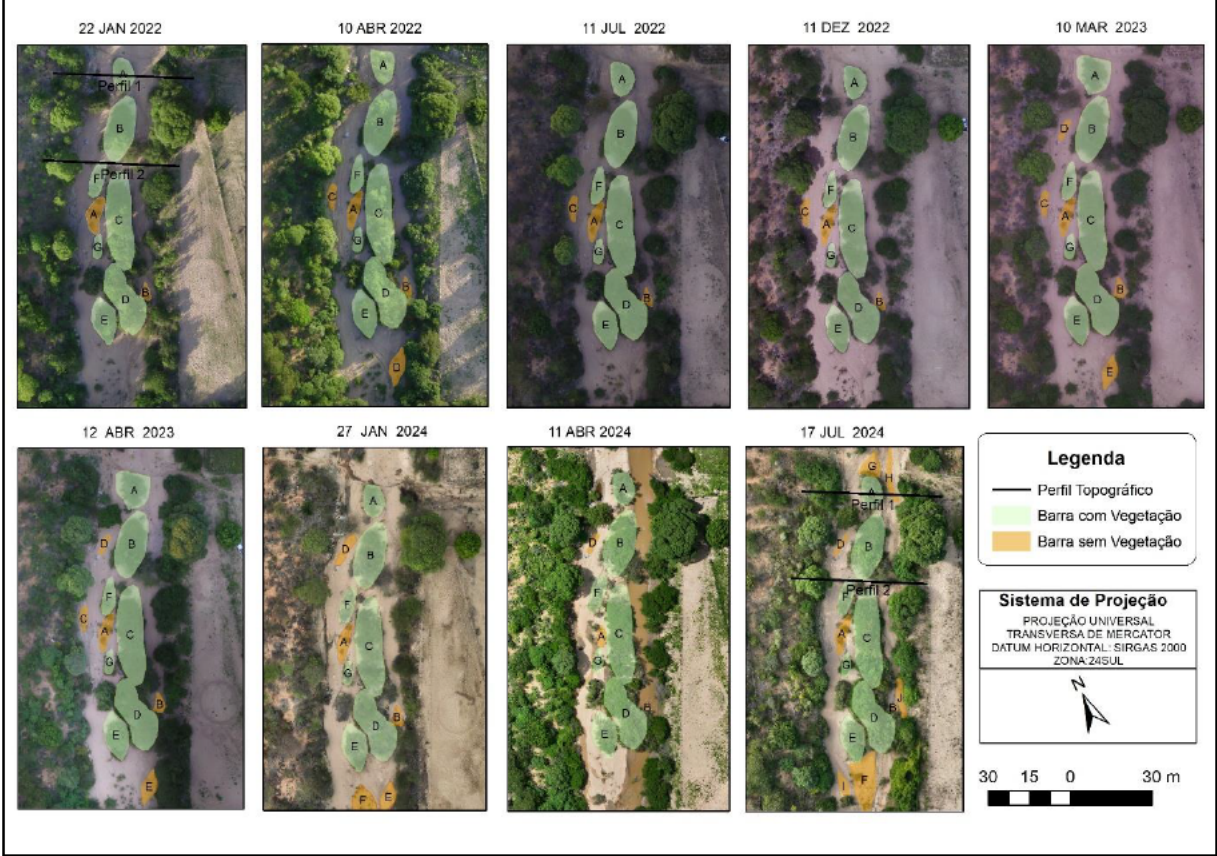
Analisando as unidades geomórficas do canal, a Figura 34 apresenta um mapeamento em série temporal do trecho RT1, evidenciando a interação entre a dinâmica das barras arenosas e a vegetação ripária. As barras com sedimento exposto, representadas em cor laranja, correspondem a áreas de maior mobilidade sedimentar, o que inibe o estabelecimento e a manutenção de cobertura vegetal. Por outro lado, as barras com vegetação refletem unidades geomórficas mais estabilizadas, que permitem a colonização e perpetuação de espécies arbustivas ripárias.

A Tabela 11 quantifica essa dinâmica sazonal. A barra com vegetação manteve-se notavelmente estável em quantidade (Quat = 7), com variações moderadas de área (entre 1028,37 m² e 1081,69 m²), especialmente entre março e abril de 2023. Essa constância sugere que se trata de formas consolidadas, suscetíveis a remodelações significativas apenas durante eventos hidrológicos extremos, como cheias expressivas. Em contrapartida, as barras sem vegetação exibiram elevada variabilidade tanto em quantidade (de 2 a 8 unidades) quanto em área (variando de 39,35 m² a 355,82 m²), aumento de 89%, refletindo diretamente a influência da dinâmica hidrológica local.

Nota-se que alterações nas barras desprovidas de vegetação são particularmente pronunciadas após períodos de elevada precipitação, com mudanças na disposição espacial e expressivas flutuações de área. Um exemplo marcante ocorreu em abril de 2024, quando a área total dessas barras se reduziu 88,73% (39,35 m²), imediatamente após um pico de precipitação

75,2mm e acumulado de 191,8 mm. Este evento provavelmente resultou em um fluxo hidrológico capaz de retrabalhar e, em grande parte, cobrir as barras expostas, demonstrando a sensibilidade dessas feições às variações hidroclimáticas.

Figura 34: Mapa da distribuição das unidades geomórficas no Trecho -RT1



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Tabela 11: Variação das áreas das unidades geomórficas associada à precipitação acumulada- Trecho RT1

Data	Barra c/ Vegetação		Barra s/Vegetação		Acum Prec (mm)	Cota Max.
	Quant.	Área (m²)	Quant.	Área (m²)		
22/01/2022	7	1028,37	2	71,654	77,02	24,6
10/04/2022	7	1033,03	4	135,64	117,42	50,7
11/07/2022	7	1029,2	3	84,11	68,41	8,9
11/12/2022	7	1029,2	3	84,11	43,05	23,70
10/03/2023	7	1081,69	5	149,06	12,4	5
12/04/2023	7	1081,69	5	149,06	139,8	45,7
27/01/2024	7	1028,41	5	349,09	46,4	35,5
11/04/2024	7	1028,34	3	39,35	191,8	75,2
17/07/2024	7	1028,34	8	355,82	50,69	13

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Analisando as unidades geomórficas do canal no trecho RT2, a Figura 35 apresenta um mapeamento em série temporal que evidencia a dinâmica distinta de barras arenosas sem

cobertura vegetal. A ausência de barras estabilizadas com vegetação ripária neste trecho é um indicativo de que as condições hidrodinâmicas ou a disponibilidade de sedimentos finos são menores das observadas no RT1, resultando em um ambiente mais dinâmico onde o estabelecimento de vegetação é inviabilizado.

A Tabela 12 quantifica essa dinâmica, destacando a considerável variabilidade tanto na quantidade (de 3 a 6 unidades) quanto na área total (flutuando entre 19,73 m² e 198,31 m²) das barras sem vegetação ao longo do período monitorado. Essa instabilidade morfológica é um reflexo direto da alta sensibilidade do trecho aos eventos hidrológicos, com as barras sendo constantemente retrabalhadas pelo fluxo.

Figura 35: Variação das áreas das unidades geomórficas associada à precipitação acumulada- Trecho RT2

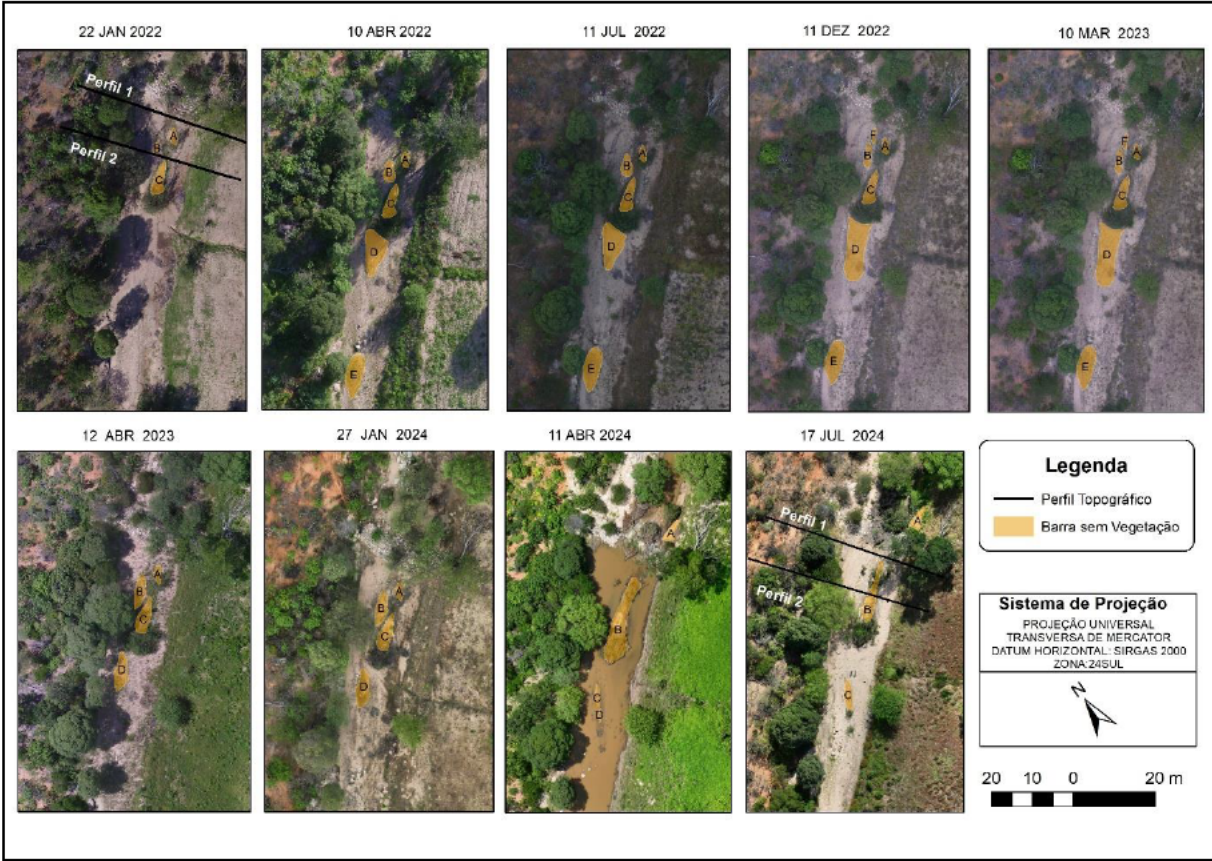


Tabela 12:
Tabela 12: Variação das áreas das unidades geomórficas associada à precipitação acumulada- Trecho RT2.

Data	Barra S/ Vegetação		Acum. Prec. (mm)	Cota Max.
	Quant	Área (m ²)		
22/01/2022	3	26,062	76,08	24,6
10/04/2022	5	111,991	118,39	50,7
11/07/2022	5	127,353	69,78	8,9
11/12/2022	6	135,054	43,05	23,70
10/03/2023	6	135,03	12,4	5

Data	Barra S/ Vegetação		Acum. Prec. (mm)	Cota Max.
	Quant	Área (m ²)		
12/04/2023	4	67,246	139,8	45,7
27/01/2024	3	19,729	46,13	35,5
11/04/2024	5	198,312	190,75	75,2
17/07/2024	4	82,147	51,5	13

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

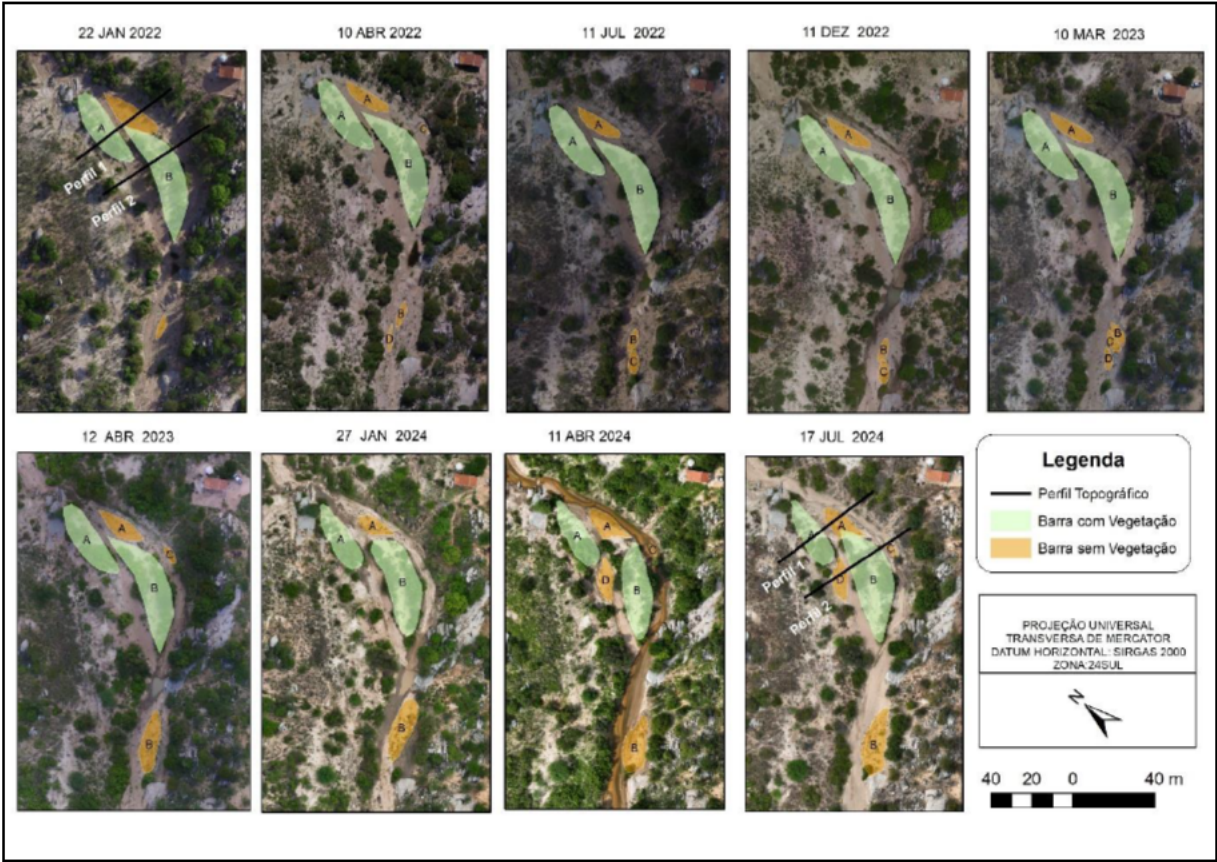
Observa-se uma relação entre os picos de precipitação e as rápidas mudanças na configuração dessas barras. Em abril de 2022, um acumulado de 118,39 mm e máxima de 50,7mm de precipitação precede um aumento significativo na área total das barras (111,99 m²), sugerindo possíveis processos de deposição durante o evento. Padrão semelhante ocorre em abril de 2024, onde o maior pico de precipitação registrado 75, 2mm e acumulado antecedente de 20 dias de 190,75 mm coincide com a maior área total de barras expostas do período (198,31 m²). No período de menor precipitação, como janeiro de 2024 (46,13 mm e cota máxima de 35,5mm), estão associados às menores áreas registradas (19,73 m²), indicando possível erosão ou transporte de sedimentos para jusante.

A Figura 36 apresenta o mapeamento em série temporal das unidades geomórficas do canal no trecho RT3, com presença de barras arenosas com vegetação e sem vegetação. A Tabela 13 quantifica essa dinâmica, revelando um padrão distinto em relação aos trechos anteriores. As barras com vegetação exibiram uma notável estabilidade em quantidade (mantendo-se constantes em 2 unidades na maior parte do período), porém com flutuações significativas em sua área, que variou de 819,52 m² a 1091,81 m². A redução da área observada em abril de 2024 (819,52 m²), seguida por uma recuperação em julho do mesmo ano (1091,81 m²), sugere que estas unidades consolidadas podem sofrer erosão parcial durante eventos hidrológicos mais extremos.

Em contrapartida, as barras sem vegetação apresentaram maior variabilidade, tanto em quantidade (2 a 4 unidades) quanto em área (183,46 m² a 562,58 m²), atuando como o elemento mais dinâmico do canal. Apresenta uma expansão progressiva da área total dessas barras ao longo da série temporal, culminando na maior área registrada em julho de 2024 (562,58 m²). Em relação à precipitação, o maior pico pluviométrico (45,7 mm em abril/2023) coincidiu com uma área considerável de barras expostas (372,62 m²), porém é importante considerar uma combinação complexa de fatores, que incluem não apenas a magnitude dos eventos hidrológicos, mas também a disponibilidade de sedimentos, a competência do fluxo e alterações antrópicas a montante ou no próprio trecho. A expansão das áreas de barra sem vegetação, mesmo em períodos de menor precipitação (julho de 2024 com 13 mm), aponta para um

possível trecho, onde processos de instabilidade morfológica parecem estar predominantemente ativos.

Figura 36: Mapa da distribuição das unidades geomórficas no Trecho -RT3.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Tabela 13: Variação das áreas das unidades geomórficas associada à precipitação acumulada- Trecho RT3

Data	Barra c/ Vegetação		Barra s/Vegetação		Acum. Prec. (mm)	Cota Max.
	Quant.	Área (m²)	Quant.	Área (m²)		
22/01/2022	2	1080,058	2	265,373	72,01	24,6
10/04/2022	2	1080,058	3	183,464	89,73	50,7
11/07/2022	2	1080,058	3	218,976	107,49	8,9
11/12/2022	2	1080,058	3	207,996	72,93	23,70
10/03/2023	2	1080,058	4	237,189	31,6	5
12/04/2023	2	1080,058	3	372,62	176,86	45,7
27/01/2024	2	975,197	2	347,093	68,58	35,5
11/04/2024	2	819,523	4	506,259	158,09	75,2
17/07/2024	2	1091,806	4	562,581	64,67	13

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

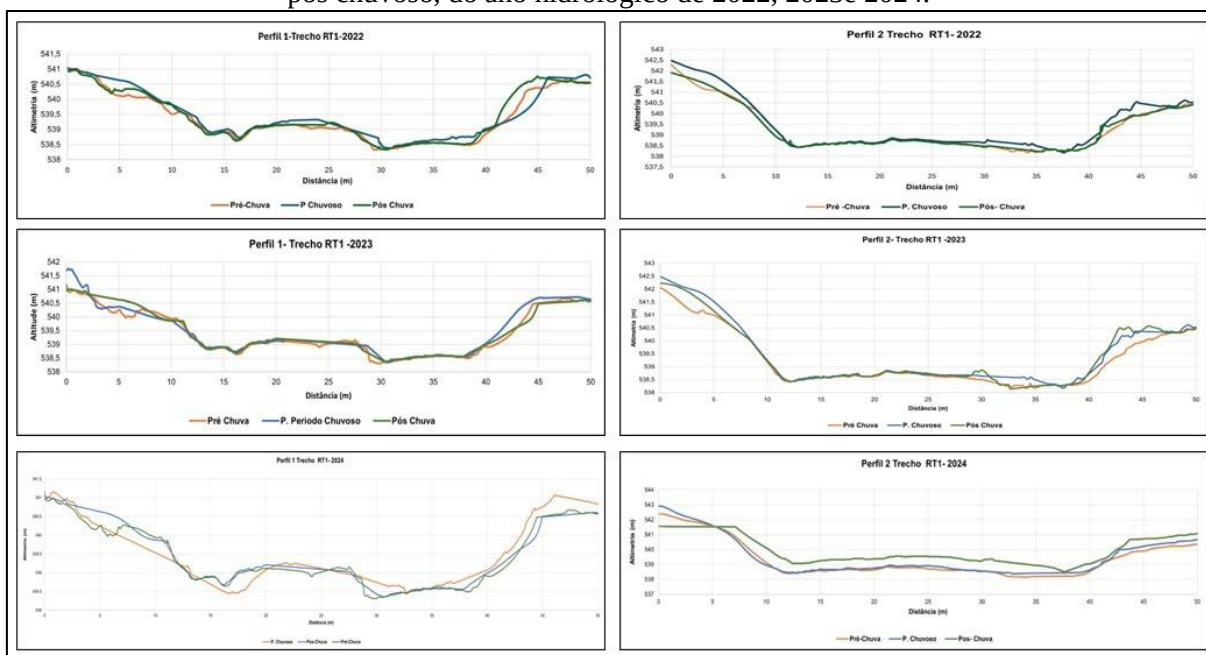
A partir dos perfis transversais do canal é possível observar as a flutuação morfológica associada às sazonalidades anuais, evidenciando como a hidrodinâmica episódica de rios é fortemente modulada por eventos pluviométricos e interações com a vegetação. O conjunto de gráficos (figura 37,38 e 39) mostra perfis topográficos transversal comparando variações de

altitude ao longo de dois perfis em cada trecho (Perfil 1 e Perfil 2 do RT1, RT2 e RT3) em três anos consecutivos (2022, 2023 e 2024) e em diferentes períodos sazonais: pré-chuva, período chuvoso e pós-chuva.

Para o trecho RT1 o perfil 1 trata-se uma área de canal que apresenta uma barra arenosa com vegetação, uma área mais estável. O perfil 2 é uma área do canal que possui barras arenosa, como visto no mapa de unidade geomórfico da (Figura 37) possui uma maior mobilidade.

Em todos os anos para os dois perfis (Figura 37), o maior rebaixamento do canal ocorreu após o período chuvoso, apontando para erosão mais acentuada durante as chuvas, seguido de alguma estabilização ou deposição. Em 2024, observa-se uma grande diferença entre as linhas representando os períodos, diminuindo um possível aumento nos processos erosivos ou deposicionais, relacionados a chuvas mais intensas que ocorreu no período chuvoso de 2024, até mesmo no perfil 1, onde apresenta barra com vegetação.

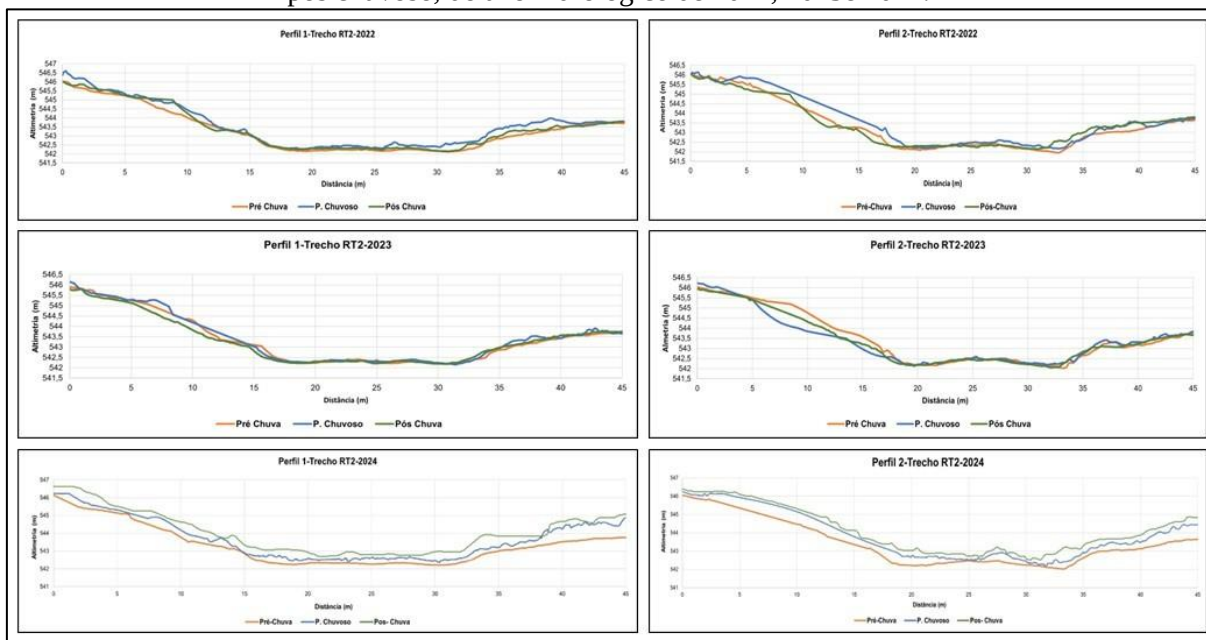
Figura 37: Perfis transversais representativos do Trecho RT1- do período pré-estação chuva, chuvoso e pós chuvoso, do ano hidrológico de 2022, 2023e 2024.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Para os perfis do RT2 (Figura 38) são em áreas de barra arenosa sem vegetação. As linhas referentes aos períodos pré-chuva, chuvoso e pós-chuva permanecem próximas, principalmente em 2022 e 2023, diminuindo que as mudanças topográficas entre os períodos não são significativas para esta área, tanto do perfil 1 como no perfil 2. Em 2024, nota-se um afastamento um pouco entre as linhas dos diferentes períodos no perfil 1. Esse comportamento é resultado aos eventos de chuva que foram intensos, neste ano, acentuaram os processos de erosão e deposição.

Figura 38: Perfis transversais representativos do Trecho RT2- do período pré estação chuva, chuvoso e pós chuvoso, do ano hidrológico de 2022, 2023e 2024.

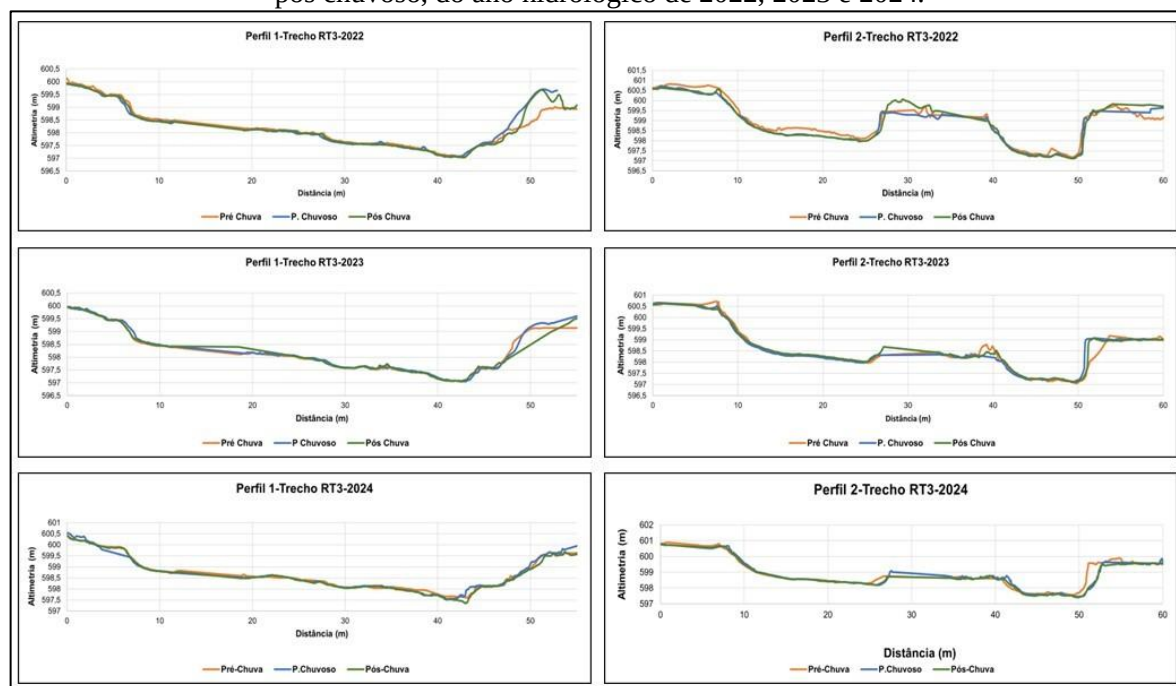


Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

O perfil 2 mostra uma variação de altitude semelhante ao Perfil 1, no entanto, em todos os anos, a distância entre as linhas dos intervalos é maior que no Perfil 1, principalmente na área do talvegue do canal. Área do perfil 2 é mais sensível a mudanças morfológicas, principalmente por tratar de uma área de baixa cobertura vegetal no canal. A predisposição de maior diferença em 2024, já observada no perfil 1, também se repete no perfil 2, reforçando as hipóteses dos eventos de alta magnitude de chuva atrelado a ausência da vegetação.

Para o trecho RT3(Figura 39), segue o mesmo padrão dos períodos de modificação dos RT1 e RT2, o perfil 1 é referente a uma área de barras arenosas e o perfil 2 apresenta barra/ Ilha vegetada, para ambos os processos erosivo estão acentuados na margem direita erosiva. Como (Santos; Souza, 2020) coloca, este é trecho do canal que apresenta uma baixa resistência lateral, devido ao material sedimentar ser de areia, e apresentar raziasses expostas das espécies riparia nas margens, que acentua os processos erosivos. Área da barra/ Ilha vegetada é onde apresenta menos alteração devido a presença da vegetação.

Figura 39: Perfis transversais representativos do Trecho RT3- do período pré-estação chuva, chuvoso e pós chuvoso, do ano hidrológico de 2022, 2023 e 2024.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

6.3.4. Discussão dos resultados do Monitoramento Biogeomorfológico

A análise dos trechos RT1 (Riacho do Tigre), RT2 (Riacho do Tigre, a jusante) e RT3 (Riacho Cacimbinha) revela uma dinâmica eco-hidrogeomorfológica complexa, fortemente modulada pela sazonalidade pluviométrica, características geomorfológicas locais e a interação com a vegetação ripária. A resposta do índice VGreen aos eventos de precipitação acumulada confirma a função da água como fator limitante para o crescimento e manutenção da biomassa vegetal em rios intermitentes, conforme amplamente discutido na literatura (Campos; Andrade, 2021; Souza, 2020). O aumento das classes de densidade “alta” e “muito alta” nos períodos chuvosos e sua redução durante a estiagem refletem um padrão típico de ecossistemas da Caatinga, onde a vegetação apresenta forte sazonalidade fenológica associada ao regime hídrico (Fernandes et al., 2015; Rocha et al., 2020).

Em todos os trechos, períodos secos (ex.: dezembro/2021) são marcados pela dominância das classes de vegetação “baixa” e “moderada”, enquanto eventos chuvosos significativos (ex.: abril/2022, março/2024) promovem um aumento expressivo das classes “alta” e “muito alta”. A resposta sazonal de acordo com os resultados de (FEITOSA, R. C., 2017; Pereira Júnior et al., 2016), que descrevem a rápida resposta fenológica da Caatinga e da vegetação ripária aos pulsos de chuva. A exceção notável foi o RT3, que registrou seu pico de VIGREEN em julho/2022, um padrão possivelmente atribuído à sua dinâmica hidrológica

distinta, influenciada por chuvas provenientes dos setores nordeste e sudeste, conforme descrito, e a uma possível maior capacidade de retenção de umidade no solo ou respostas diferenciadas das espécies locais.

Os eventos de veranico identificados durante o período de monitoramento exerceram impactos significativos sobre a vegetação ripária, foi identificado nos dados de 2022, com redução brusca da precipitação e do VIGREEN entre janeiro e março, seguida de recuperação em abril. A redução da biomassa vegetal observada nesses períodos confirma que interrupções prolongadas das chuvas comprometem o desenvolvimento da vegetação, especialmente das espécies herbáceas efêmeras, que possuem ciclos de vida curtos e elevada dependência da umidade superficial do solo. Este fenômeno, conforme discutido por

Rocha et al. (2020) e Campos e Andrade (2021), exerce estresse significativo sobre a vegetação, podendo comprometer a germinação e o estabelecimento de plântulas, especialmente de espécies herbáceas efêmeras que caracterizam a ripária de rios intermitentes (Souza, 2020).

A composição florística observada nos trechos analisados reflete estratégias adaptativas típicas da vegetação ripária. Espécies como *Jatropha mollissima* e *Vitex gardneriana* apresentaram elevada ocorrência em barras arenosas e no leito do canal, indicando alta tolerância a solos instáveis e baixa retenção de água. Estas espécies, com sistemas radiculares adaptados e, no caso das euforbiáceas (*J. mollissima*, *Cnidoscolus quercifolius*), capacidade de armazenamento de água, são fundamentais para a fixação de sedimentos e redução da erosão marginal. A *Sarcomphalus joazeiro*, com seu hábito perenifólio e sistema radicular profundo (Souza, 2020), é outro exemplo de adaptação crítica para a manutenção da cobertura vegetal durante a estiagem.

A ocorrência de *Prosopis juliflora* nos trechos estudados, especialmente em barras e leito do canal, merece atenção do ponto de vista eco-hidrológico. Conforme evidenciado por Andrade, Fabricante e Oliveira (2009) e Shiferaw et al. (2021), embora apresente elevada resistência à seca e capacidade de colonizar áreas degradadas, sua alta eficiência no uso de água, com raízes que acessam lençóis freáticos profundos, confere-lhe vantagem competitiva sobre as espécies nativas, especialmente durante a seca, podendo alterar a disponibilidade hídrica do ecossistema e comprometer a composição e resiliência do ecossistema ripário.

Em relação a configuração e estilo do canal, os trechos demonstram que a configuração geomorfológica do vale e do canal exerce influência sobre a resposta da vegetação. Trechos com vales não confinados e canais mais largos, como RT1 e RT3, apresentaram maior

desenvolvimento de barras arenosas e maior ocorrência de unidades geomórficas com vegetação, favorecendo a estabilização do canal. Esse padrão está de acordo com o proposto por Corenblit et al. (2011), que destacam a importância da vegetação como agente biogeomorfológico capaz de modificar a hidrodinâmica local, reduzir a energia do fluxo e promover a retenção de sedimentos finos. Em contrapartida, o RT2, caracterizado por vale parcialmente confinado e maior controle estrutural do leito, apresentou ausência de barras vegetadas e elevada mobilidade sedimentar, indicando condições menos favoráveis à colonização vegetal, conforme observado em outros estudos em canais mais energéticos (Gurnell, 2014).

A análise da dinâmica das unidades geomórficas (barras, ilhas) proporcionou compreensão em relação à interação entre hidrologia, sedimentos e vegetação. O RT1 apresentou um equilíbrio notável, com barras vegetadas estáveis (7 unidades, área -1028-1081 m²) e barras sem vegetação variáveis. Esta estabilidade das barras vegetadas, que persistiram mesmo em eventos de cheia (abril/2024), evidencia a importância da vegetação na consolidação da morfologia do canal, atuando como agentes de resistência ao transporte de sedimentos. Em contraste, o RT2, caracterizado por um canal mais estreito, irregular e sem barras vegetadas, exibiu uma dinâmica morfológica mais alta, com barras sem vegetação variando significativamente em número e área em resposta aos eventos pluviométricos. Isso sugere um ambiente com maior competência de fluxo ou menor disponibilidade de sedimentos finos para estabilização, impedindo o estabelecimento da vegetação.

O RT3 apresentou um padrão intermediário, com barras vegetadas estáveis em número (2) mas com flutuações de área, e barras sem vegetação em expansão progressiva ao longo da série temporal. Isto, associado aos processos erosivos marginais bem desenvolvidos observados, indica um trecho com alta atividade geomorfológica, onde a vegetação exerce um controle chave, porém localizado, na estabilização. A expansão das barras sem vegetação mesmo em períodos de baixa precipitação (julho-2024) aponta para a influência de outros fatores, como aporte sedimentar a montante ou alterações antrópicas.

A distinção entre barras com e sem vegetação reforça a importância das relações entre processos hidrológicos, sedimentares e biológicos. As barras vegetadas mostraram-se mais estáveis ao longo do tempo, com variações moderadas de área mesmo após eventos pluviométricos intensos (abril-2025), sugerindo que a vegetação atua como elemento de resistência morfológica. Esse comportamento já foi descrito por (Corenblit et al., 2007; Gurnell; Bertoldi; Corenblit, 2012), que apontam que a presença de raízes e estruturas aéreas aumenta a

coesão do sedimento e dificulta sua remobilização durante cheias. Por outro lado, as barras sem vegetação apresentaram elevada variabilidade espacial e temporal, sendo rapidamente retrabalhadas após eventos de precipitação significativos (abril-2024), o que evidencia sua sensibilidade à dinâmica hidrológica episódica.

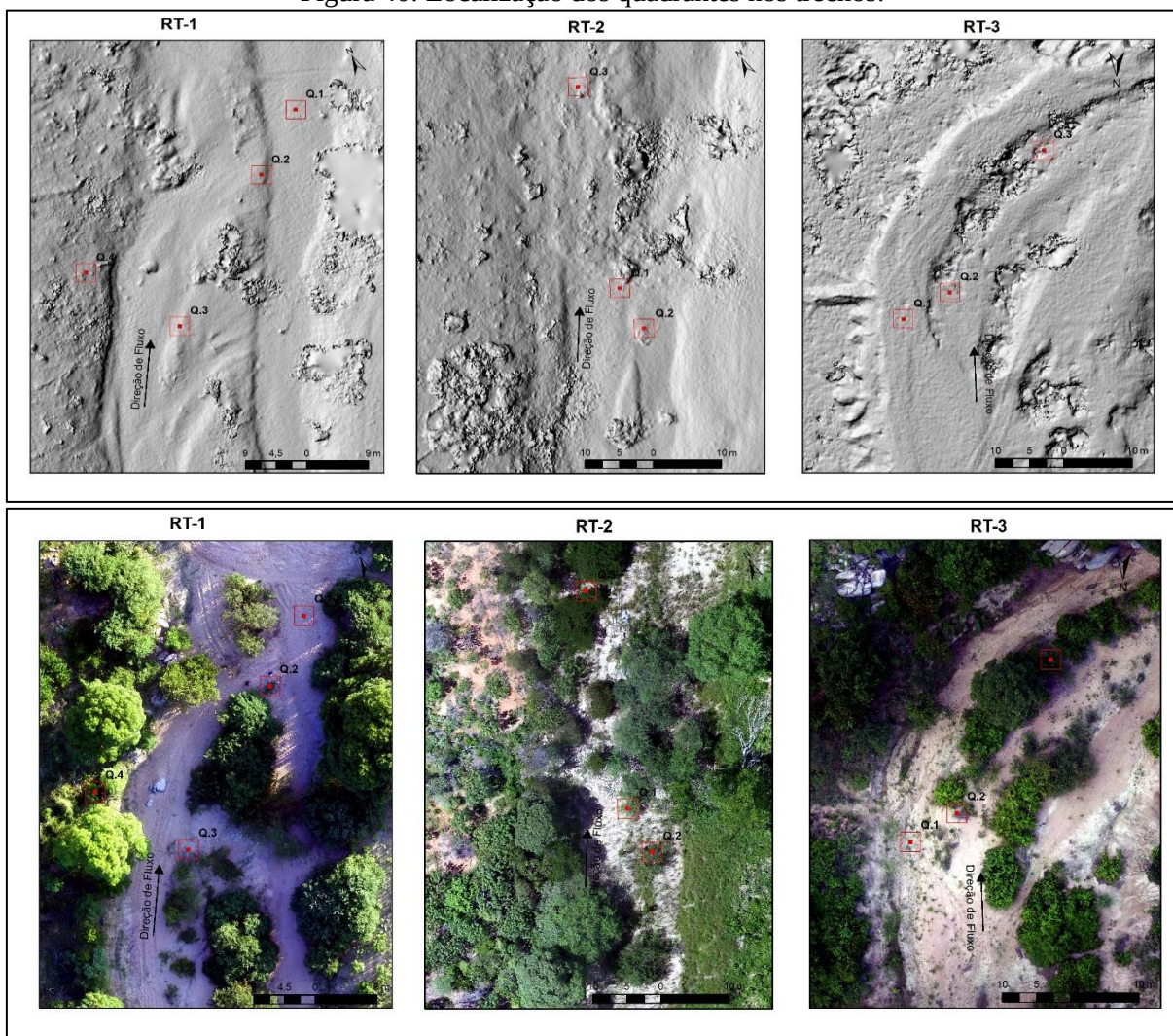
Os perfis topográficos transversais complementam essa análise, demonstrando que as mudanças morfológicas são mais acentuadas nas áreas sem cobertura vegetal (barras sem vegetação do RT1, talvegue do RT2) e durante anos com eventos pluviométricos mais intensos (2024). A estabilidade relativa nos perfis sobre barras vegetadas (RT1 e RT3) reforça a tese do papel estabilizador da vegetação ripária. A sensibilidade do RT3 a processos erosivos laterais, como mencionado por (Santos; Souza, 2020), foi confirmada pelos perfis, que mostram alterações significativas nas margens, especialmente onde a vegetação é esparsa e as raízes estão expostas.

6.4. Resultados eco-hidrológicas e biogeomorfológicas- escala de quadrante

O mapa apresenta a localização (figura 40) dos diferentes quadrantes utilizados para o monitoramento da vegetação ao longo dos trechos RT-1, RT-2 e RT-3. Esses trechos correspondem a setores distintos da área de estudo, nos quais foram definidos quadrantes amostrais estrategicamente posicionados para representar as variações espaciais associadas à dinâmica eco-hidrológica e geomorfológica do ambiente. As imagens de fundo em tons de cinza correspondem ao modelo de relevo sombreado, permitindo a visualização detalhada das formas do terreno, enquanto as setas indicam a direção predominante do fluxo superficial. Em seguida a imagem sem ortofotomosaico para visualizar a vegetação presentes nos quadrantes.

No trecho RT-1, os quadrantes (Q.1, Q.2, Q.3 e Q.4) estão distribuídos ao longo de uma feição linear associada ao canal de escoamento, abrangendo áreas com diferentes posições topográficas em relação ao fluxo. Essa disposição permite avaliar como a proximidade do canal e a influência direta do escoamento superficial interferem na estrutura e no desenvolvimento da cobertura vegetal. Observa-se que os quadrantes contemplam tanto áreas mais rebaixadas quanto setores adjacentes, possibilitando a comparação entre ambientes com diferentes condições de umidade e deposição de sedimentos.

Figura 40: Localização dos quadrantes nos trechos.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

No trecho RT-2, segue o mesmo padrão do RT1, os quadrantes (Q.1, Q.2 e Q.3) foram posicionados acompanhando o eixo principal do fluxo, em uma área marcada por maior heterogeneidade do relevo. Permitindo analisar a resposta da vegetação em relação as mudanças nas condições de drenagem, estabilidade das unidades geomórficas e aporte de materiais. Esse arranjo espacial favorece a identificação de padrões de adaptação da vegetação em função dos processos hidrodinâmicos atuantes.

Já no trecho RT-3, os quadrantes (Q.1, Q.2 e Q.3) encontram-se distribuídos em uma área com feições condicionadas pela direção do fluxo superficial. Permitido avaliar a influência do escoamento e da dinâmica sedimentar sobre a vegetal riparia, destacando possíveis diferenças na densidade, composição da vegetação em função da posição relativa ao fluxo.

A Figura 41, 42 e 43 apresenta as informações gráficas e registros fotográficos dos trechos RT1, RT2 e RT3, mostrando a dinâmica da vegetação em diferentes quadrantes de monitoramento, nos períodos pré-chuvoso, chuvoso e pós-chuva, relacionando as variações

com o regime pluviométrico observado no intervalo de outubro de 2021 a junho de 2022. Na parte superior, o gráfico apresenta a cobertura vegetal (%) dos quadrantes, associada à precipitação acumulada mensal (mm), evidenciando a resposta da vegetação aos pulsos de precipitação. A análise mostra a relação entre o regime pluviométrico e a variação da cobertura vegetal ao longo dos diferentes quadrantes geomorfológicos, revelando padrões sazonais bem definidos e respostas diferenciadas da vegetação em relação a posição no canal.

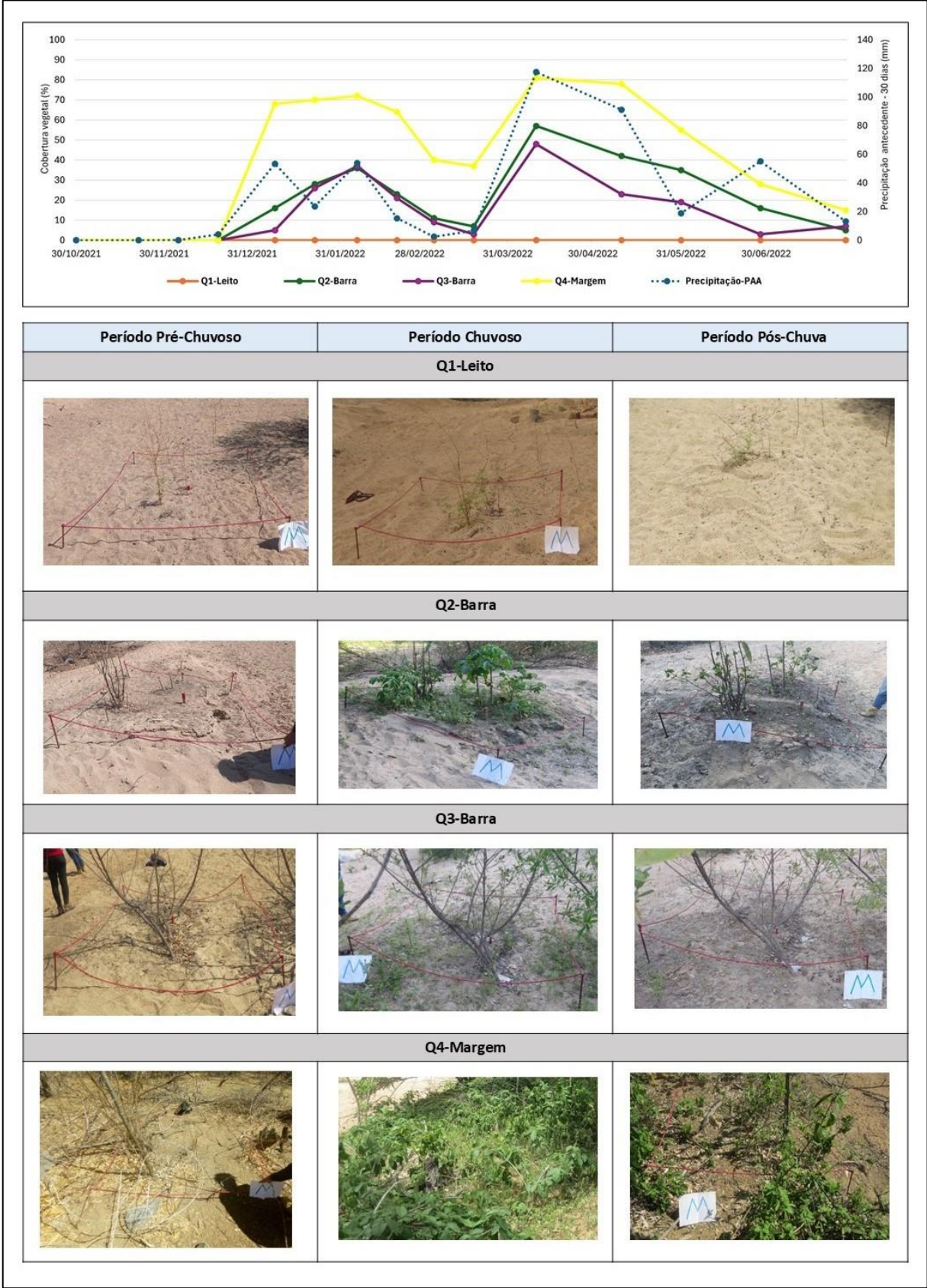
O trecho RT1 (figura 41) foram monitorados quatro quadrantes (Q1-Leito, Q2-Barra, Q3-Barra e Q4-Margem), refletindo a interação entre precipitação, estabilidade geomorfológica e disponibilidade hídrica.

Durante o período pré-chuvoso, os valores de cobertura vegetal permanecem reduzidos em todos os quadrantes, com percentuais próximos de 0%, indicando condições de estresse hídrico, elevada exposição do solo e limitação ao desenvolvimento da vegetação. Com o início do período chuvoso, observa-se uma resposta progressiva da vegetação, acompanhando o aumento da precipitação, que atinge valores entre 40 e 60 mm eventos pluviométricos mais expressivos. Os quadrantes Q2-Barra e Q3-Barra apresentam incremento mais evidente da cobertura vegetal, com valores variando aproximadamente entre 20% e 35%, enquanto o Q4-Margem apresenta resposta mais intensa, alcançando valores entre 60% e 70%. O Q1-Leito, por sua vez, mantém comportamento restrito, com valores próximos de 0% a 5%, evidenciando a instabilidade do substrato e a influência direta da dinâmica hidráulica.

No período chuvoso, associado aos maiores volumes de precipitação registrados no gráfico, que atingem PAA DE 30 dias aproximadamente entre 100 a 120 mm, observa-se o máximo desenvolvimento da cobertura vegetal no trecho RT1. Nesse momento, o Q4-Margem atinge valores próximos de 80% a 85%, configurando-se como o quadrante de maior resposta da cobertura vegetal. Os quadrantes Q2-Barra e Q3-Barra apresentam valores máximos em de 50% a 60%, enquanto o Q1-Leito permanece com valores inferiores a 10%, reforçando as limitações impostas pela maior energia do escoamento e pelo transporte de sedimentos.

No período pós-chuvoso, com a redução gradual da precipitação para valores inferiores de PAA a 40 mm, observa-se uma diminuição progressiva da cobertura vegetal em todos os quadrantes. Ainda assim, os valores permanecem superiores aos registrados no período pré-chuvoso. O Q4-Margem apresenta redução menos acentuada, mantendo valores entre 30% e 40%, enquanto os quadrantes Q2-Barra e Q3-Barra passam a apresentar valores entre 15% e 25%. O Q1-Leito retorna rapidamente a valores próximos de 0%, evidenciando a baixa capacidade de manutenção da vegetação nesse ambiente.

Figura 41: A) Gráfico de cobertura vegetal nos quadrantes do trecho RT1. B) Fotos de comparação dos quadrantes no período de pré-chuvoso, chuvoso e pós-chuva na direção a montante do rio.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

No período chuvoso, associado aos maiores volumes de precipitação registrados no gráfico, que atingem aproximadamente 100 a 120 mm, observa-se o máximo desenvolvimento da vegetação no trecho RT1. O Q4-Margem atinge valores próximos de 80% a 85%, configurando-se como o quadrante de maior resposta da cobertura vegetal. Os quadrantes Q2-Barra e Q3-Barra apresentam valores máximos em torno de 50% a 60%, enquanto o Q1-Leito permanece com valores inferiores a 10%, reforçando as limitações impostas pela maior energia do escoamento e pelo transporte de sedimentos.

As fotografias de campo reforçam e complementam os padrões observados nos gráficos, as placas com a letra M nas fotos, indicam que foram registradas em direção a montante do rio. No período pré-chuvoso, as imagens do Q1-Leito mostram predominância de solo arenoso exposto, com ausência da vegetação. Nos quadrantes Q2-Barra e Q3-Barra, observa-se vegetação arbustiva esparsada, com indivíduos isolados e baixa densidade foliar. No Q4-Margem, embora a cobertura ainda seja reduzida, nota-se a presença de vegetação lenhosa remanescente, indicando maior estabilidade ambiental. Durante o período chuvoso, as fotografias mostram mudanças significativas na paisagem. No Q1-Leito, surgem manchas pontuais de vegetação herbácea, ainda de forma descontínua. Nos quadrantes Q2-Barra e Q3-Barra, observa-se aumento expressivo da densidade vegetal, com maior cobertura do solo, compatível com os valores intermediários de cobertura registrados no gráfico. No Q4-Margem, a vegetação apresenta-se densa e bem desenvolvida, corroborando os altos percentuais de cobertura vegetal observados durante esse período. No período pós-chuvoso, as fotografias indicam início de senescência e redução da densidade foliar, sobretudo nos quadrantes de barra e leito. Ainda assim, o Q4-Margem mantém vegetação relativamente contínua e estruturada, evidenciando capacidade de retenção de umidade no solo e resiliência ecológica.

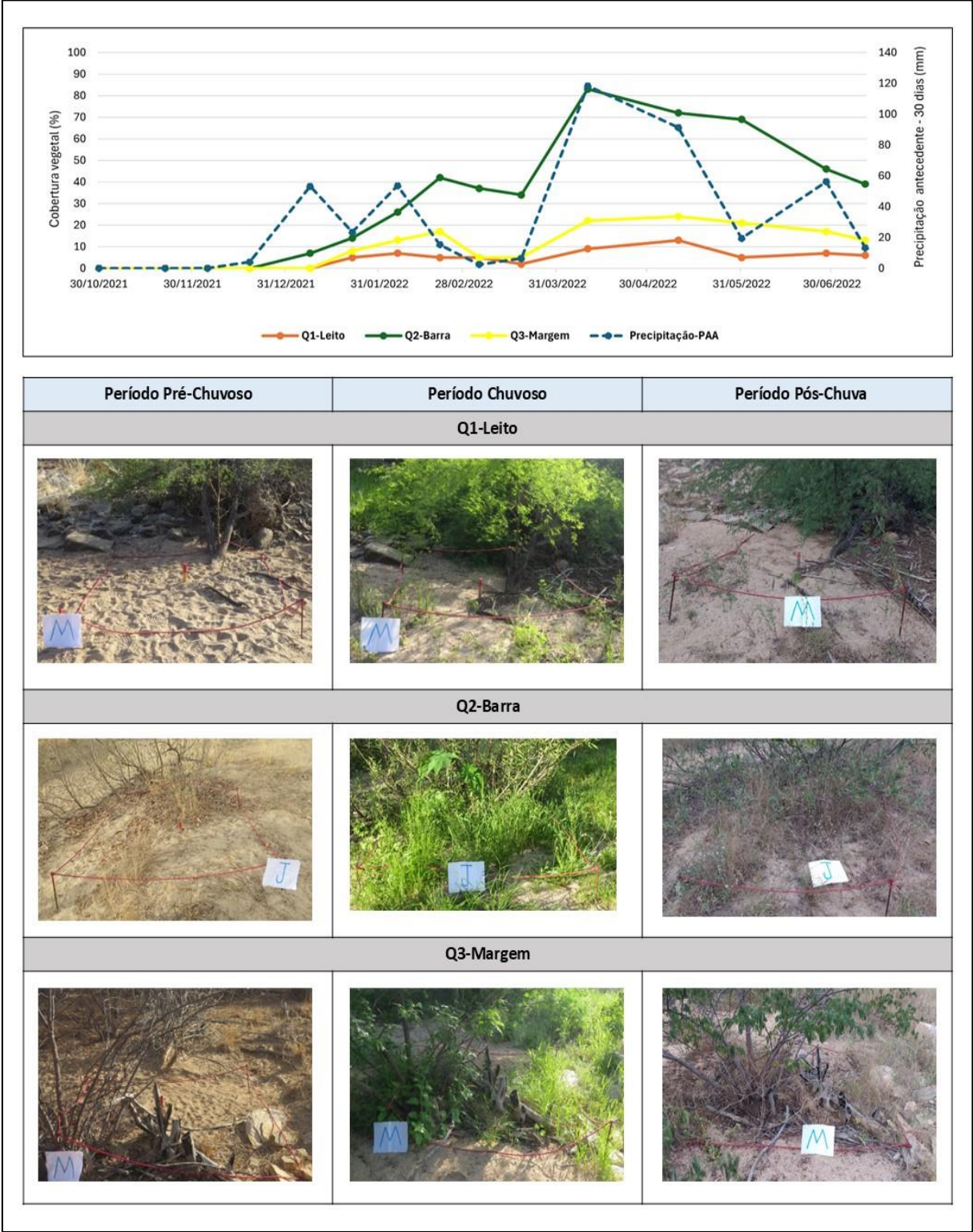
No trecho RT2 (Figura 42), observa-se que a cobertura vegetal nos quadrantes Q1-Leito, Q2-Barra e Q3-Margem se mantém praticamente nula até o início do período chuvoso, quando os primeiros eventos pluviométricos mais expressivos passam a ser registrados. A partir de dezembro, com precipitações superiores a 40 mm, inicia-se uma resposta da vegetação, evidente nos quadrantes de barra e margem. O quadrante Q2-Barra passa a apresentar incremento da cobertura vegetal, atingindo valores entre 10% a 15%, enquanto o Q3-Margem apresenta resposta expressiva, alcançando aproximadamente 15% a 20%. O Q1-Leito mantém valores baixos, variando entre 0% e 5%.

Durante o pico do período chuvoso, associado a volumes de precipitação que alcançam aproximadamente 80 a 100 mm, observa-se o máximo desenvolvimento da cobertura vegetal

no trecho RT2. O quadrante Q3-Margem alcança valores próximos de 30% a 35%, configurando-se como o setor de maior resposta da cobertura vegetal. O Q2-Barra apresenta valores, de 20% a 25%, o Q1-Leito atinge valores máximos próximos de 10%, permanecendo como o quadrante com menor cobertura vegetal.

No período pós-chuva, com a redução da precipitação para valores inferiores a 40 mm, observa-se uma queda gradual da cobertura vegetal em todos os quadrantes. O Q3-Margem apresenta redução, mantendo valores entre 20% e 25%, o Q2-Barra passa a apresentar valores em torno de 10% a 15%. O Q1-Leito retorna rapidamente a valores próximos de 0%, evidenciando a baixa capacidade de manutenção da vegetação nesse ambiente.

Figura 42: A) Gráfico de cobertura vegetal nos quadrantes do trecho RT2. B) Fotos de comparação dos quadrantes no período de pré-chuvoso, chuvoso e pós-chuva na direção a montante do rio.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

O trecho RT3 (Figura 43) foram monitorados três quadrantes (Q1-Leito, Q2-Barra e Q3-Barra). No período pré-chuvoso, os valores de cobertura vegetal permanecem reduzidos em

todos os quadrantes, com percentuais próximos de 0%, indicando condições de estresse hídrico, elevada exposição do solo e limitação ao estabelecimento da vegetação.

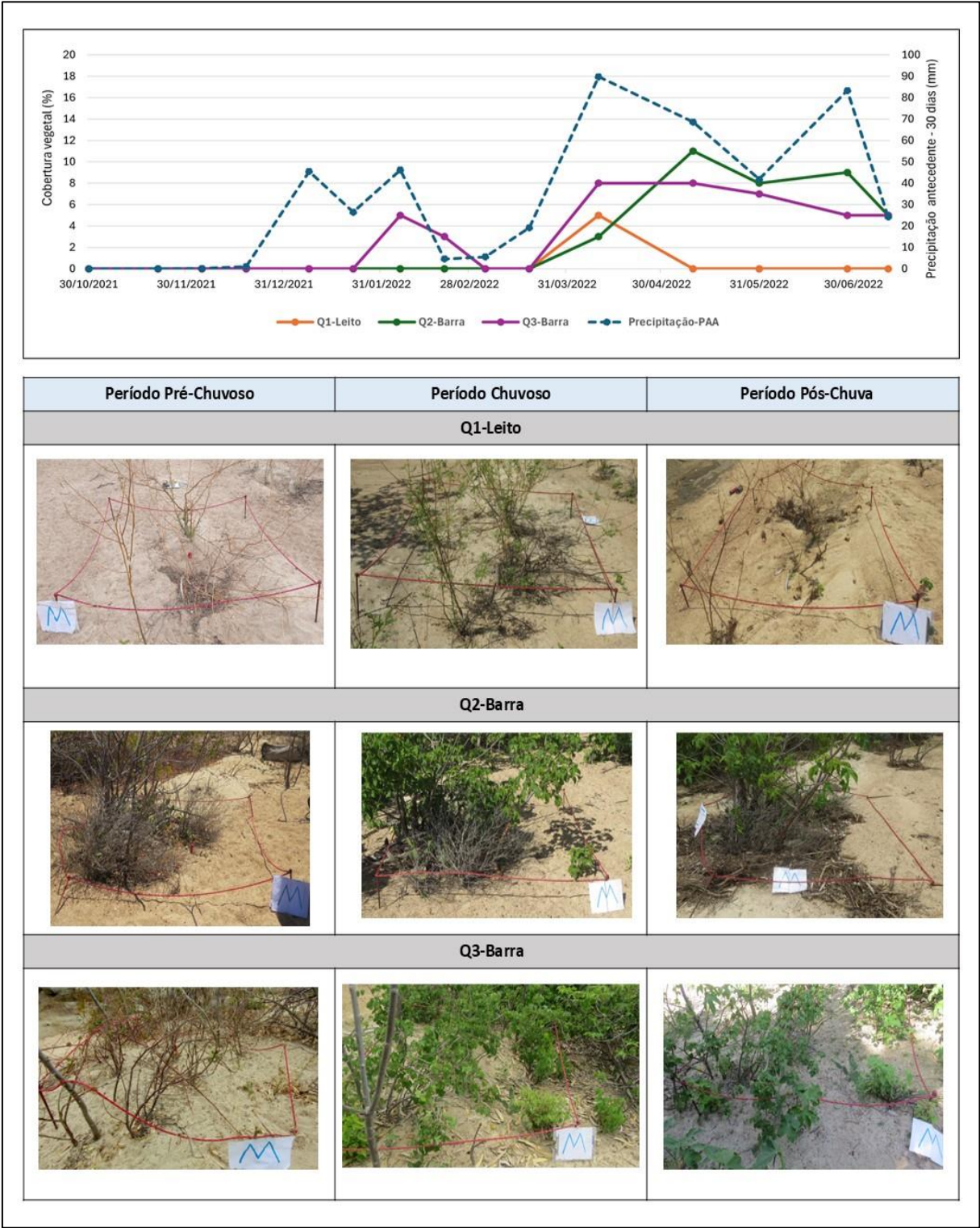
Com o início do período chuvoso, observa-se um aumento gradual da precipitação, com eventos que atingem valores próximos de 40 a 60 mm, desencadeando uma resposta inicial da vegetação. Nesse momento, o quadrante Q2-Barra passa a apresentar incremento da cobertura vegetal, atingindo valores de 5% a 8%, o Q3-Barra apresenta resposta alcançando aproximadamente 8% a 12%. O Q1-Leito mantém comportamento restrito, com valores inferiores a 3%.

No período chuvoso (março e abril), associado aos maiores volumes de precipitação registrados no gráfico, que atingem aproximadamente 90 a 100 mm, observa-se o máximo desenvolvimento da cobertura vegetal no trecho RT3. O quadrante Q3-Barra alcança valores próximos de 15% a 18%, configurando-se como o setor de maior resposta da vegetação riparia. O Q2-Barra apresenta valores, em torno de 8% a 10%, enquanto o Q1-Leito atinge valores máximos próximos de 4%.

No período pós-chuvoso, com a redução da precipitação para valores inferiores a 40 mm, ocorre uma diminuição gradual da cobertura vegetal em todos os quadrantes. O Q3-Barra apresenta redução menos acentuada, mantendo valores entre 6% e 10%, enquanto o Q2-Barra passa a apresentar valores em torno de 5% a 7%. O Q1-Leito retorna rapidamente a valores próximos de 0%, evidenciando a baixa capacidade de manutenção da vegetação.

Nas fotografias é possível observar essas mudanças na cobertura vegetal explicita no gráfico. As imagens de todos os quadrantes mostram predominância de solo arenoso exposto, com presença muito esparsa de vegetação herbácea, com aumento das chuvas surgem manchas pontuais de vegetação herbácea, com diminuição das chuvas a vegetação riparia vai reduzir da densidade foliar e a presenças das herbáceas. Contudo é importante reforça que nos quadrantes das barras a vegetação contínua e estruturada, principalmente os indivíduos lenhosos remanescentes, evidenciando maior capacidade de retenção de umidade no solo e maior resiliência ecológica.

Figura 43: A) Gráfico de cobertura vegetal nos quadrantes do trecho RT3. B) Fotos de comparação dos quadrantes no período de pré-chuvoso, chuvoso e pós-chuva, na direção a montante do rio.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

O Quadro 5 apresenta a distribuição da densidade de espécies vegetais nos trechos RT1, RT2 e RT3, considerando os diferentes quadrantes geomorfológicos (Leito, Barra e Margem) e os períodos pré-chuvoso, chuvoso e pós-chuva, permitindo avaliar a resposta florística à sazonalidade climática e às condições ambientais locais. No trecho RT1, o Q1-Leito apresenta

baixa densidade de espécies e elevada instabilidade temporal. *Tarenaya longicarpa* registra densidade de 8 indivíduos nos períodos pré-chuvoso e chuvoso, reduzindo para 0 no pós-chuva, *Cnidoscolus urens* decresce de 3 para 0 indivíduos. Esse comportamento está em consonância com o gráfico de cobertura vegetal (figura 41), no qual o Q1-Leito apresenta valores inferiores a 2% durante o período pré-chuvoso e um aumento discreto no período chuvoso, seguido de redução no pós-chuva, indicando colonização temporária e baixa consolidação da vegetação no leito.

Nos quadrantes de Barra (Q2 e Q3) do RT1, observa-se maior estabilidade florística. *Jatropha mollissima* mantém densidade constante entre 5 e 6 indivíduos, enquanto *Jatropha ribifolia* e *Vitex gardneriana* apresentam valores entre 1 e 2 indivíduos ao longo dos períodos. Essa maior densidade e permanência refletem-se no gráfico de cobertura vegetal, com aumento progressivo da cobertura durante o período chuvoso, alcançando valores próximos a 6–8%, e manutenção parcial no pós-chuva, evidenciando maior capacidade de retenção da vegetação nas barras sedimentares. No Q4-Margem do RT1, espécies como *Fridericia dichotoma* apresentam densidade constante de 7 indivíduos nos três períodos, enquanto *Jatropha mollissima* aumenta de 1 para 2 indivíduos no pós-chuva. Esses valores justificam os maiores percentuais de cobertura vegetal observados no gráfico para as margens, que permanecem elevados mesmo após o período chuvoso, indicando ambientes mais estáveis e menos sujeitos à remoção dos sedimentos.

No trecho RT2, a densidade de espécies é, de modo geral, mais baixa quando comparada ao RT1, refletindo condições ambientais mais restritivas. No Q1-Barra, *Vitex gardneriana* aumenta de 1 para 2 indivíduos no pós-chuva, enquanto *Cnidoscolus urens* mantém densidade constante (1 indivíduo). O gráfico de cobertura vegetal para o RT2 reflete essa limitação estrutural, com percentuais que raramente ultrapassam 4–5%, mesmo durante o período chuvoso, indicando resposta vegetal menos expressiva às chuvas, possivelmente associada a maior degradação ou restrições edáficas. No Q2-Leito, espécies como *Prosopis juliflora* e *Jatropha mollissima* mantêm densidades baixas (1 a 2 indivíduos), o que se traduz em valores reduzidos de cobertura vegetal no gráfico, com pequenas oscilações sazonais. Já no Q3-Margem, *Mimosa tenuiflora* apresenta densidade constante de 1 indivíduo em todos os períodos, contribuindo para uma cobertura vegetal mais estável em relação aos demais quadrantes do trecho.

Quadro 5: Densidade e frequência das espécies vegetais registradas nos trechos, distribuídas por quadrante

Trecho	Quadrante	Espécie	Pré- Chuva	P. Chuvoso	Pós- Chuva
			Densidade		
RT1	Q1 Leito	<i>Tarenaya longicarpa</i>	8	8	0
		<i>Cnidoscolus urens</i>	3	2	0
		<i>Jatropha ribifolia</i>	0	2	0
	Q2 Barra	<i>Jatropha mollissima</i>	5	6	6
		<i>Jatropha ribifolia</i>	2	2	2
		<i>Vitex gardneriana</i>	1	1	1
	Q3 Barra	<i>Vitex gardneriana</i>	1	1	1
	Q4 Margem	<i>Fridericia dichotoma</i>	7	7	7
		<i>Cenostigma nordestinum</i>	1	1	1
		<i>Jatropha mollissima</i>	1	1	2
	Frequência	<i>Jatropha mollissima-ribifolia</i>	2	3	3
RT2	Q1 Leito	<i>Prosopis juliflora</i>	1	1	1
		<i>Cnidoscolus urens</i>	1	0	0
		<i>Jatropha mollissima</i>	1	1	2
	Q2 Barra	<i>Vitex gardneriana</i>	1	1	2
		<i>Cnidoscolus urens</i>	1	1	1
		<i>Jatropha ribifolia</i>	0	2	2
	Q3 Margem	<i>Mimosa tenuiflora</i>	1	1	1
	Frequência	<i>Jatropha mollissima-ribifolia</i>	1	2	2
RT3	Q1 Leito	<i>Tarenaya longicarpa</i>	2	2	3
		<i>Jatropha ribifolia</i>	0	2	2
	Q2 Barra	<i>Jatropha mollissima</i>	3	3	3
		<i>Serjania marginata</i>	1	1	1
		<i>Tacinga inamoema</i>	1	1	1
		<i>Cnidoscolus urens</i>	1	1	2
		<i>Sida galheirensis</i>	1	1	1
		<i>Jatropha mollissima</i>	6	6	6
	Q3 Barra	<i>Cnidoscolus urens</i>	2	2	4
		<i>Tacinga inamoema</i>	3	3	3
		<i>Jatropha gossypifolia</i>	10	10	10
		<i>Mesosphaerum suaveolens</i>	1	1	1
	Frequência	<i>Jatropha mollissima</i>	2	2	2

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

O trecho RT3 apresenta os maiores valores de densidade e frequência. Nos quadrantes de Barra (Q2 e Q3), *Jatropha mollissima* atinge densidades elevadas e constantes de 6 a 10 indivíduos, enquanto *Tacinga inamoena* mantém 3 indivíduos ao longo dos três períodos. Esses valores explicam os picos de cobertura vegetal no período chuvoso, que chegam a 10-12%, com manutenção significativa no pós-chuva. No Q1-Leito do RT3, *Tarenaya longicarpa* apresenta aumento progressivo de densidade de 2 para 3 indivíduos, enquanto *Jatropha ribifolia* surge apenas nos períodos chuvoso e pós-chuva (2 indivíduos), indicando resposta positiva à disponibilidade hídrica.

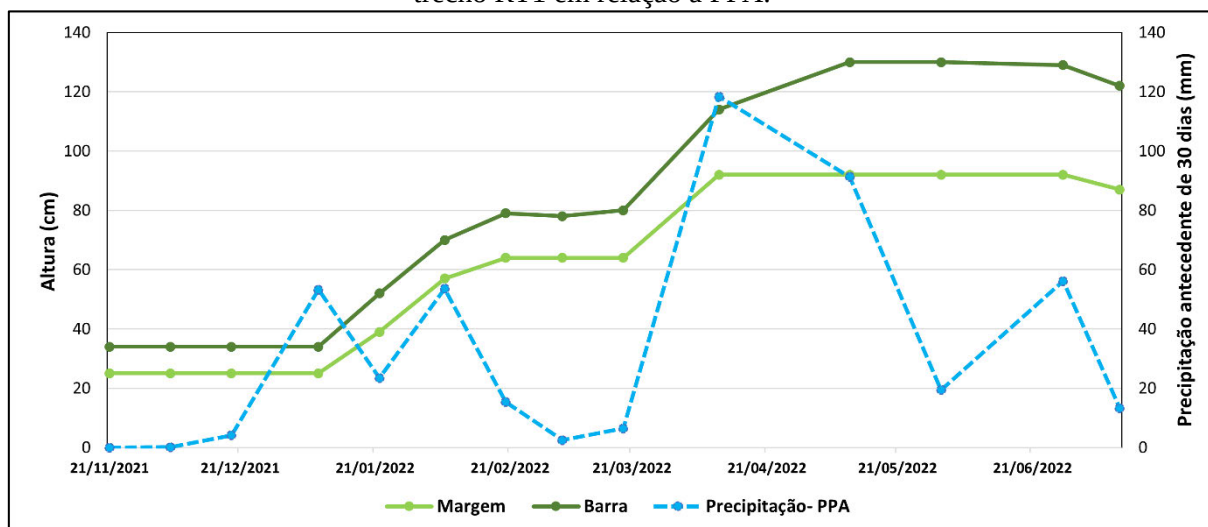
De modo geral, a análise da frequência das espécies indica que *Jatropha mollissima* se destaca como a espécie mais frequente nos três trechos, mantendo valores constantes ou crescentes entre os períodos, o que evidencia seu papel dominante e sua elevada plasticidade ecológica. As diferenças observadas entre os trechos e quadrantes reforçam a influência combinada da posição geomorfológica, da dinâmica hidrossedimentar e da sazonalidade pluviométrica na estrutura e composição da vegetação.

Procurando entender a dinâmica de crescimento da *Jatropha mollissima*, foi analisado como exemplos os dados coletados em campo dos indivíduos da *Jatropha mollissima* nos quadrantes Q2-Barra e Q4-Margem do trecho RT1, relacionando a altura das plantas ao acumulado de precipitação antecedente de 30 dias (PPA), no período entre novembro de 2021 e junho de 2022 (figura 45).

O gráfico da figura 45 mostra que o crescimento da *Jatropha mollissima* acompanhou a variação do regime pluviométrico, indicando uma relação positiva entre o aumento da precipitação e o crescimento plantas. Nos meses iniciais (novembro e dezembro de 2021), a precipitação foi baixa, refletindo em valores reduzidos e estáveis de altura, tanto no quadrante da barra quanto da margem, com leve superioridade da barra, que apresentou alturas em torno de 33-35 cm, enquanto a margem manteve valores próximos a 25 cm.

Em janeiro de 2022, com o aumento da precipitação, nota-se uma resposta mais evidente no crescimento das plantas. Esse comportamento é notável no quadrante Q2-Barra, que apresenta um crescimento contínuo em comparação ao quadrante Q4-Margem. Em fevereiro e março, mesmo com oscilações na precipitação, o indivíduo do quadrante da barra mantém o crescimento, atingindo cerca de 80 cm, enquanto a margem apresenta crescimento mais moderado, alcançando aproximadamente 64 cm.

Figura 44: Crescimento planta *Jatropha mollissima* no quadrante do Q2- Barra e Q4- Margem do trecho RT1 em relação a PPA.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

O período de maior precipitação acumulada, quando o PPA atinge valores máximos (120mm), observa-se um salto expressivo no crescimento em ambos os quadrantes, evidenciando a influência direta da disponibilidade hídrica no desenvolvimento da espécie. O indivíduo da barra alcança alturas superiores a 110 cm, enquanto da margem atinge cerca de 90 cm.

Nos meses subsequentes (maio e junho de 2022), mesmo com a redução da precipitação, as plantas mantêm alturas elevadas, principalmente no quadrante da barra, que se estabiliza próximo a 130 cm. Esse comportamento sugere um efeito residual da umidade do solo acumulada nos meses anteriores, além de uma possível maior adaptação das plantas às condições locais da Barra. Já no quadrante da Margem, observa-se uma leve estabilização e posterior redução da altura, indicando maior sensibilidade às variações pluviométricas.

De forma comparativa, o quadrante Q2-Barra apresentou crescimento superior ao Q4-Margem durante o período analisado. Essa diferença pode estar associada a múltiplos fatores ambientais. Um aspecto relevante diz respeito às condições de luminosidade: o indivíduo do quadrante da margem encontrava-se sob sombreamento de caraiibeiras (*Terminalia catappa*), o que pode ter limitado sua capacidade fotossintética e, consequentemente, seu crescimento, especialmente após o grande evento de 120 mm, quando o incremento observado foi menor em relação ao quadrante da barra.

Além do sombreamento, outros fatores podem estar influenciando os padrões observados. A textura e a composição do solo, por exemplo, afetam diretamente a retenção de água e a disponibilidade de nutrientes. Diferenças na dinâmica hidrológica local, como o aporte de água superficial e subsuperficial, também podem explicar variações no desenvolvimento das

plantas. Adicionalmente, processos de alelopatia, comuns em ambientes ripários, podem ocorrer pela presença de espécies vizinhas que liberam substâncias capazes de inibir o crescimento de outras.

Assim, os dados indicam que, embora a precipitação seja um fator determinante para o crescimento da *Jatropha mollissima*, as características ambientais específicas de cada quadrante, incluindo luminosidade, condições edáficas, dinâmica hídrica e interações bióticas, influenciam de modo significativo a resposta da vegetação. O crescimento em altura não deve, portanto, ser interpretado como um processo contínuo e linear, mas sim como resultado de uma combinação complexa entre disponibilidade de recursos hídricos e estratégias ecológicas de alocação de biomassa e reprodução.

A figura 46, mostra o quadro da relação entre a dinâmica pluviométrica, a variação da cota de vazão e as respostas da vegetação (arbustiva, arbórea e herbácea) e da morfologia fluvial nos trechos monitorados (RT1, RT2 e RT3), ao longo do período de dezembro de 2021 a novembro de 2022.

No trecho RT1, os maiores acumulados de precipitação ocorreram em janeiro (77,02 mm), fevereiro (69,24 mm) e abril (117,42 mm), com elevação pontual da cota de vazão em fevereiro (10 cm). Esses pulsos hídricos refletiram-se principalmente na dinâmica da vegetação arbustiva nos quadrantes associados às barras e à margem. No quadrante Q2 (barra), a vegetação arbustiva apresentou transição de condições escassas ou residuais em dezembro para classes densas e muito densas entre janeiro e junho, acompanhando o período de maior disponibilidade hídrica. A vegetação arbórea, encontra no quadrante trata-se da espécie *Vitex gardneriana*, na altura entre 98cm, indicando que condições ambientais ou a estabilidade do substrato favorecem o estabelecimento de indivíduos lenhosos de maior porte. Também foi observado pontos de erosão no período de janeiro e abril, principalmente no mês de janeiro, quando ocorre eventos de chuva acima de 30mm e a vegetação herbácea do quadrante é espaçada, favorecendo assim os processos erosivos.

No quadrante Q1 (leito) do RT1, observa-se uma restrição ecológica. A vegetação arbustiva apresentou apenas estágios residuais ou escassos nos meses iniciais, tornando-se ausente a partir de abril, enquanto as vegetações arbórea e herbácea permaneceram ausentes durante todo o período analisado. Mesmo nos meses de maior precipitação, a ausência de resposta vegetal indica que a elevada instabilidade hidrodinâmica do leito limita o estabelecimento de qualquer porte de vegetação. As mudanças morfológicas mantiveram-se

predominantemente estáveis, porém a frequência de perturbações hidráulicas é suficiente para impedir a colonização vegetal.

Figura 45: Mudanças no estado da vegetação (arbustiva, e herbáceas) registradas em cada quadrante nos três trechos de estudo, no período de dezembro de 2021 a novembro de 2022.

Trecho	Quadrante	dez/21	jan/22	fev/22	mar/22	abr/22	mai/22	jun/22	jul/22	nov/22
RT1	PAA. 30(mm)	5,26	77,02	69,24	17,18	117,42	18,87	55,14	13,27	54,46
	Cota de Vazão (cm)	0	0	10	0	0	0	0	0	0
	Q1 Leito	Abustiva	↓↓↓	↓	↓↓	↓↓↓	0	0	0	0
	Arbórea	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Herbácea	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mudanças morfológica	=	=	=	=	=	=	=	=	=
	Q2 Barra	Abustiva	↓↓↓	↑↑	↑↑	↑	↑↑↑	↑↑	↓	↓↓
	Arbórea	↓↓↓	↑	↑	↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↓
	Herbácea	↓↓↓	↓	↑↑	↑	↑↑	↑	↓↓↓	0	0
	Mudanças morfológica	=	↓	=	=	↓	=	=	=	=
	Q3 Barra	Abustiva	↓↓	↑↑	↑↑	↑	↑↑	↑↑	↓	↓↓
	Arbórea	↓↓	↑↑	↑↑	↑	↑↑	↑	↓	↓	↓
	Herbácea	0	↓	↓	↑	↓↓↓	↑	0	0	0
	Mudanças morfológica	=	=	=	=	=	=	=	=	=
	Q4 Margem	Abustiva	↓↓	↑↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑	↓	↑↑
	Arbórea	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Herbácea	↓↓↓	↑↑↑	↑↑	↑	↑↑↑	↑↑	↓	↓↓	↑
	Mudanças morfológica	=	=	=	=	=	=	=	=	=
RT2	PAA. 30(mm)	5,28	76,08	68,89	17,84	118,39	19,4	56,11	13,67	54,86
	Cota de Vazão (cm)	0	0	13	0	0	5	0	0	0
	Q1 Leito	Abustiva	↑↑↑	↑	↑↑	↓↓	↑↑	↑	↑	↑↑↑
	Arbórea	↑↑	↑↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
	Herbácea	0	↑	↑↑	↓↓	↑↑	↓	↑	↑	↓↓↓
	Mudanças morfológica	=	=	↓	=	↑	=	=	=	=
	Q2 Barra	Abustiva	↓↓↓	↑	↑↑	↑↑	↑↑↑	↑↑	↓	↑↑
	Arbórea	↑	↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
	Herbácea	0	↑	↑↑	↓	↑↑	↑↑	↓	↓↓	↑
	Mudanças morfológica	=	=	=	↑↓	=	=	=	=	=
	Q3 Margem	Abustiva	0	0	0	0	0	0	0	0
	Arbórea	↑	↑↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
	Herbácea	0	↑	↑↑	↓↓	↑↑	↓	↓↓	↓↓↓	↓↓↓
	Mudanças morfológica	=	=	=	=	=	=	=	=	=
	Q1 Leito	Abustiva	↓↓↓	↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑	↓↓↓
	Arbórea	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Herbácea	0	0	0	0	↑	↑	↓	↑	↓↓
	Mudanças morfológica	=	=	=	=	=	=	=	=	=
RT3	PAA. 30(mm)	1,2	72,01	50,75	24,76	89,73	41,85	83,3	107,49	55,04
	Cota de Vazão (cm)	0	0	74	0	0	5	0	0	0
	Q1 Leito	Abustiva	↓↓↓	↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑	↓↓↓
	Arbórea	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Herbácea	0	0	0	0	↑	↑	↓	↑	↓↓
	Mudanças morfológica	=	=	=	=	=	=	=	=	=
	Q2 Barra	Abustiva	↓↓↓	↑↑	↑↑	↑	↑↑	↑	↓	↑
	Arbórea	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Herbácea	0	0	↑	0	0	↑	↓	0	↑
	Mudanças morfológica	=	=	↑↓	=	↑↓	↑↓	=	=	=
	Q3 Barra	Abustiva	↓↓↓	↑↑	↑↑	↑	↑↑	↑↑	↑	↑
	Arbórea	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Herbácea	0	0	↑	↓↓	↑	↑	↓	↓↓	↓↓↓
	Mudanças morfológica	=	=	=	=	=	=	=	=	=

Mudança Foliar/ Vegetação

Muito Densa	↑↑↑↑
Densa	↑↑
Presente	↑
Espaçada	↓
Escassa	↓↓
Residual	↓↓↓
Ausente	0

Mudança Morfológica

Erosão	↓
Deposição	↑
Estabilidade	=

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

O quadrante Q4 (margem) do RT1 destacou-se como a unidade geomorfológica mais favorável ao desenvolvimento da vegetação. A vegetação arbustiva apresentou classes densas e muito densas ao longo de quase todo o período, com intensificação entre fevereiro e junho. A vegetação herbácea também apresentou crescimento expressivo nos meses de maior precipitação (Figura 41), alcançando classes densas em abril e maio, e redução parcial nos meses subsequentes. A vegetação arbórea, por sua vez, permaneceu ausente, indicando que, embora as condições sejam favoráveis à manutenção de arbustos e herbáceas, o estabelecimento de indivíduos arbóreos não foi monitorado na área desse quadrante.

Um aspecto marcante do RT2 é a presença consistente da vegetação arbórea nos quadrantes de barra e margem, especialmente no Q3 (margem), onde esse a resposta desse porte de vegetação apresentou classes densas e muito densas durante quase todo o período analisado. Esse padrão indica condições geomorfológicas mais estáveis e menor frequência de distúrbios capazes de remover indivíduos lenhosos de maior porte. A vegetação herbácea, embora variável, mostrou resposta positiva aos períodos de maior precipitação, com incrementos significativos entre janeiro e junho, e redução progressiva nos meses mais secos.

No quadrante Q1 (leito) do RT2, diferentemente do observado no RT1, registrou-se a presença contínua de vegetação arbustiva e, de forma expressiva, do estrato arbóreo, que se manteve ao longo de todo o período. Esse indivíduo do estrato arbóreo tratar-se de uma *Prosopis juliflora*, que foi removido em algum evento extremo e rebrotou no leito (Figura 46), e permitiu o estabelecimento de vegetação de espécies arbustiva e herbáceas. apresentou capacidade de rebrota diretamente no leito ativo, favorecendo subsequentemente o estabelecimento de espécies arbustivas e herbáceas associadas. Esse padrão sugere que, apesar da ocorrência de distúrbios de alta magnitude, o leito do RT2 apresenta condições que permitem a retenção biológica e a rápida reorganização da vegetação.

Figura 46: Espécie de *Prosopis juliflora* do quadrante Q1 (leito) do RT2



Fonte: Acervo do autor, abril de 2022.

Além disso, a vegetação arbórea reestabelecida atua como um elemento de retroalimentação positiva, aumentando a rugosidade hidráulica e contribuindo para a estabilização local do leito, processo também descrito por (Triantafyllou; Wohl, 2026) como fundamental para a manutenção de domínios de armazenamento ao longo da rede fluvial. Assim, o quadrante Q1 do RT2 pode ser interpretado como um setor funcionalmente resiliente, no qual a interação entre hidrodinâmica, morfologia do canal e capacidade de rebrota da vegetação lenhosa permite a persistência da cobertura vegetal mesmo sob condições de forte variabilidade hidrológica.

Nos quadrantes Q2-barra e Q3-margem do RT2, a vegetação arbustiva e arbórea apresentou classes densas e muito densas de forma persistente, com apenas pequenas oscilações associadas à sazonalidade pluviométrica. A vegetação herbácea respondeu de maneira sensível aos pulsos hídricos, com incrementos nos meses mais úmidos e redução nos períodos secos, mas sem desaparecer completamente. As mudanças morfológicas nesse trecho foram predominantemente estáveis nos quadrantes Q2 e Q3, com registros pontuais de deposição erosão na Q2-barra, coincidentes com períodos de maior precipitação, e processos erosivos na Q1-leito.

O trecho RT3 apresentou o comportamento mais instável entre os trechos analisados, refletindo a elevada variabilidade dos valores de precipitação e da cota de vazão, com destaque para o aumento expressivo da vazão em fevereiro (74 cm). No quadrante Q1 (leito), a vegetação arbustiva apresentou resposta limitada e temporária, com incrementos pontuais nos meses mais

chuvosos e retorno a condições residuais ou escassas em novembro. Os estratos arbóreo e herbáceo permaneceram ausentes ou com ocorrência muito pontual.

Nos quadrantes de barra do RT3 (Q2 e Q3), a vegetação arbustiva respondeu positivamente aos pulsos de precipitação entre janeiro e julho, atingindo classes densas em alguns períodos. No entanto, essa resposta foi marcada por grande variabilidade temporal, com alternância entre crescimento e retração, indicando baixa resiliência frente às oscilações hidrológicas. A vegetação herbácea apresentou comportamento oportunista, surgindo nos meses de maior precipitação e sendo rapidamente reduzida nos períodos subsequentes. O estrato arbóreo esteve ausente em todos os quadrantes do RT3, reforçando a interpretação de que a instabilidade hidrodinâmica e as mudanças morfológicas pontuais limitam o avanço sucessional.

As mudanças morfológicas no RT3, embora predominantemente classificadas como estáveis, apresentaram maior frequência de registros pontuais de deposição e erosão, especialmente nos quadrantes de barra, associados aos eventos de maior vazão. Esses ajustes morfológicos, mesmo de pequena magnitude, parecem ser suficientes para influenciar a persistência da vegetação.

6.4.1. Discussão Resultados Eco-hidrológicas e Biogeomorfológicas- Quadrante

Os resultados obtidos em escala de quadrante evidenciam que a dinâmica da vegetação ao longo dos trechos RT1, RT2 e RT3 é fortemente condicionada pela interação entre o regime pluviométrico sazonal, a posição geomorfológica e a intensidade das perturbações hidrossedimentares. A distribuição espacial da cobertura vegetal revelou padrões consistentes de diferenciação entre leito, barras e margens, refletindo gradientes de estabilidade ambiental amplamente descritos na literatura sobre sistemas fluviais não perenes (Noy-Meir, 1973; Tooth, 2000; Hooke, 2015).

A baixa cobertura vegetal observada nos quadrantes de leito, mesmo durante os períodos de maiores precipitação, indica que a elevada energia do escoamento e a recorrência de eventos de remobilização sedimentar limitam o estabelecimento e a permanência da vegetação. Segundo Hooke (2015), cheias em canais efêmeros tendem a provocar intensa remodelação do leito, removendo biomassa vegetal e reiniciando sucessivamente os estágios iniciais de colonização. Esse comportamento também foi descrito por Tooth (2000) e Corenblit et al. (2011), que destacam o leito ativo como uma zona de perturbação crônica, na qual apenas espécies oportunistas, com rápido crescimento e elevada tolerância ao estresse, conseguem se estabelecer temporariamente, como as: *Stylosanthes spp.*, *Alternanthera tenella*, *Amaranthus*

spinosus, *Euphorbia heterophylla*, *Croton glandulosus*, *Cenchrus echinatus*, *Sida rhombifolia*, *Bidens pilosa* e entre outras.

Nos quadrantes de barra, os resultados indicaram uma resposta intermediária da vegetação, com aumento significativo da cobertura durante o período chuvoso e manutenção parcial no pós-chuva. Esse padrão está de acordo com o modelo proposto por Hooke (2023), no qual as barras funcionam como unidades morfodinâmicas de energia moderada, menos frequentemente afetadas pelos picos de vazão em comparação ao leito. Estudos de Gurnell et al. (2012) e Stanley e Doyle (2003) também apontam que barras sedimentares oferecem condições favoráveis à retenção de umidade e à deposição de sedimentos finos, favorecendo o estabelecimento de vegetação herbácea e arbustiva e promovendo estabilidade.

As margens fluviais apresentaram os maiores percentuais de cobertura vegetal e maior estabilidade florística ao longo do ciclo hidrológico, configurando-se como os ambientes mais resilientes entre os quadrantes analisados. Esse comportamento é amplamente documentado na literatura, que reconhece as margens como zonas de menor frequência de distúrbios hidráulicos, maior concentração de sedimento e capacidade de armazenamento de água (Naiman & Décamps, 1997; Bendix & Hupp, 2000). Hooke (2015) ressalta que, em canais efêmeros, as margens atuam como refúgios ecológicos, permitindo a persistência de espécies lenhosas mesmo em contextos de elevada variabilidade hidrológica.

A análise da composição florística e da densidade de espécies reforça a importância das estratégias funcionais na resposta da vegetação aos pulsos hidrológicos. A elevada frequência de *J. mollissima* nos diferentes trechos e quadrantes evidencia sua plasticidade ecológica e capacidade de tolerar tanto períodos de estresse hídrico quanto episódios de perturbação fluvial. Espécies com essas características são frequentemente descritas como dominantes em ambientes semiáridos, atuando como facilitadoras do estabelecimento de outras espécies ao modificar as condições microambientais (Queiroz et al., 2013). O estudo fitossociológico de Almeida Neto, J. X. de et al. (2009) na Caatinga paraibana destaca *J. mollissima* como uma das seis espécies de maior densidade relativa (2,84%), frequência relativa (7,18%) e valor de importância (3,69%), evidenciando sua presença frequente e adaptação ao semiárido.

As diferenças observadas entre os trechos RT1, RT2 e RT3 indicam que, além da precipitação, fatores locais como a estabilidade geomorfológica, a frequência de eventos extremos e o histórico de perturbações exercem papel decisivo na resposta da vegetação. O comportamento relativamente mais estável do RT2, com presença persistente do estrato arbóreo, sugere períodos mais longos de estabilidade morfodinâmica, favorecendo estágios

sucessionais mais avançados. Em contraste, o RT3 apresentou maior variabilidade temporal e menor persistência da vegetação, padrão compatível com sistemas submetidos a cheias mais frequentes ou de maior magnitude, conforme discutido por Tooth e Nanson (2000) e Hooke (2015).

A relação positiva entre o crescimento da *J. mollissima* e a precipitação antecedente reforça a importância da disponibilidade hídrica acumulada como fator determinante do desenvolvimento vegetação em ambientes semiáridos. O trabalho de (Queiroz et al., 2013;) avalia o crescimento de *J. mollissima* em condições de campo com precipitação acumulada de 782,5 mm, destacando seu superior desempenho em altura de plantas comparado a outras espécies durante o crescimento vegetativo. Aponta também que, a resposta da vegetação à chuva é modulada por condição de umidade do solo e por condições edáficas locais, o que explica as diferenças observadas entre os quadrantes de barra e margem, mesmo sob regimes pluviométricos semelhantes.

Os resultados deste estudo corroboram a interpretação de Hooke (2023) de que a dinâmica da vegetação em canais não perenes resulta de um equilíbrio dinâmico entre perturbação e recuperação, no qual a posição geomorfológica controla tanto a intensidade das cheias quanto o potencial de resiliência ecológica, associado também à presença de espécies com estratégias adaptativas ao estresse hidrológico. Essa abordagem, alinhada aos modelos eco-hidrológicos e biogeomorfológicos propostos por Hooke (2015), Corenblit et al. (2011) e Gurnell et al. (2012), reforça a importância da análise em escala de quadrante para a compreensão dos processos que governam a estrutura e a persistência da vegetação em sistemas fluviais intermitentes de regiões semiáridas.

7. DISCUSSÃO

A presente tese buscou analisar como as sazonalidades eco-hidrológica e biogeomorfológica controlam a morfologia de rios não perenes na bacia do Riacho do Tigre, Nordeste do Brasil. Os resultados obtidos nas diferentes escalas de análise (rede de drenagem, trecho e quadrante) convergem para evidenciar um sistema fluvial cuja dinâmica morfológica e ecológica é modulada por uma interação não linear entre a variabilidade hidroclimática extrema e a resposta da vegetação ripária. O comportamento limiar e a dependência da memória hídrica do sistema emergem como características fundamentais que definem a organização biogeomorfológica desses canais efêmeros.

A análise na escala da rede de drenagem, através do NDVI, revelou que a cobertura e a vitalidade aparente da vegetação ripária respondem rapidamente (60 a 90 dias) aos pulsos de

chuva, corroborando a natureza resiliente e adaptada a pulsos destes ecossistemas. No entanto, os resultados vão além de uma simples relação linear precipitação-vegetação. A maior variabilidade espacial e temporal do NDVI no Riacho do Tigre, em contraste com a relativa homogeneidade e valores médios mais elevados no Riacho Cacimbinha, expõe um fenômeno crítico: a aparente "saúde" da vegetação, indicada por índices espectrais, pode mascarar processos ecológicos subjacentes. A provável dominância da espécie exótica invasora *Prosopis juliflora* no Cacimbinha gera um sinal espectral uniforme e persistentemente alto, que ofusca a perda de diversidade nativa e a homogeneização da paisagem. Este achado alerta para a necessidade de complementar o sensoriamento remoto com dados de composição florística em estudos eco-hidrológicos, sob o risco de interpretações equivocadas sobre a integridade do ecossistema.

Na escala do trecho, o monitoramento com VANTs e o índice VIgreen demonstrou com clareza o controle exercido pela sazonalidade hídrica sobre a biomassa da vegetação. Períodos secos são marcados pela dominância de classes de vegetação esparsa a moderada, enquanto os pulsos pluviométricos, especialmente quando acumulados em períodos de 15 a 30 dias, desencadeiam respostas rápidas, aumentando significativamente a proporção de áreas com vegetação densa. Esta dinâmica é particularmente sensível a eventos extremos (precipitação diária ≥ 50 mm) e à condição de umidade antecedente do solo. Eventos extremos sobre solos previamente saturados (elevada Precipitação Antecedente Acumulada - PAA), como observado em abril de 2022 e 2024, configuram o cenário de maior potencial para a geração de escoamento superficial rápido e, consequentemente, para a ocorrência de distúrbios hidrogeomorfológicos nos canais.

A distribuição espacial das espécies ripárias mapeadas nos trechos (RT1, RT2, RT3) evidencia uma clara associação entre grupos funcionais de plantas e unidades geomórficas específicas, revelando a dimensão biogeomorfológica da interação. Espécies como *Vitex gardneriana* e *Jatropha mollissima* apresentam alta frequência em barras e no leito do canal, atuando como espécies pioneiras e engenheiras do ecossistema. Sua presença nessas unidades dinâmicas sugere adaptações para resistir ou rebrotar após perturbações por inundação e capacidade de estabilizar sedimentos. Em contrapartida, espécies arbóreas como *Sarcomphalus joazeiro* e *Tabebuia aurea* predominam em margens e planícies de inundação, onde o estresse hídrico e físico é relativamente menor. A onipresença de *Prosopis juliflora* em diversas unidades, inclusive no leito, destaca seu caráter invasor e seu potencial capacidade de alterar os

processos de sucessão ecológica e os fluxos hídricos, competindo agressivamente com as espécies nativas.

Os resultados do monitoramento por quadrantes, apontam para respostas diferenciadas: enquanto espécies estabelecidas em barras apresentam rápido crescimento e recuperação pós-distúrbio, indivíduos no leito ativo ou em margens elevadas podem sofrer mortalidade ou apresentar recuperação lenta. Isto reforça a hipótese de que a magnitude e a frequência das vazões determinam a distribuição e a resiliência da vegetação de maneira diferenciada por unidade geomórfica, criando um mosaico biogeomorfológico dinâmico ao longo do canal.

A integração dos resultados permite propor um modelo conceitual para a dinâmica desses rios não perenes. Durante a estação seca prolongada, o sistema é morfolologicamente estático e a vegetação ripária sobrevive em estado de dormência ou estresse. O início da estação chuvosa, com chuvas isoladas ou de baixa intensidade, promove a rebrota e o crescimento inicial da vegetação herbácea e arbustiva, aumentando a rugosidade superficial. Eventos chuvosos extremos, particularmente quando ocorrem sobre solos com alta PAA, funcionam como agentes de distúrbio de alta energia. Estes eventos podem: (1) erodir margens e remover vegetação pioneira menos consolidada; (2) redistribuir sedimentos, criando novas superfícies de deposição (barras) para colonização; e (3) modular a composição da vegetação, favorecendo espécies resistentes ou de rebrota rápida. Entre esses distúrbios maiores, a vegetação atua como um agente geomorfológico ativo, estabilizando sedimentos, aumentando a rugosidade do canal e promovendo a deposição, o que, por *feedback* positivo, cria condições para sua própria estabilização e sucessão.

Portanto, a morfologia dos rios não perenes estudados não é um simples produto do regime de vazões, mas sim o resultado de um ciclo biogeomorfológico promovido pela sazonalidade climática. A sazonalidade eco-hidrológica (os pulsos de chuva e os longos períodos de seca) impõe o ritmo e a intensidade dos distúrbios. A resposta da vegetação ripária, variável conforme a espécie e a unidade geomórfica, determina a resistência e a resiliência do sistema a esses distúrbios, influenciando diretamente as taxas de erosão, deposição e a configuração do canal. A invasão por espécies exóticas, como observado, pode alterar este ciclo de feedback, simplificando a estrutura ecológica e possivelmente modificando a eficiência hidráulica e a estabilidade morfológica do canal. Desse modo, a morfologia destes rios é uma expressão visível da interação entre o regime hidrológico extremo do semiárido e a dinâmica da vegetação ripária, uma interação influenciada por limiares e marcada por uma sazonalidade que é, ao mesmo tempo, hidrológica, ecológica e geomorfológica.

CAPÍTULO V

CONSIDERAÇÕES FINAIS



8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos demonstram que a magnitude, a frequência e a duração dos eventos de precipitação exercem influência direta sobre a dinâmica do fluxo, a redistribuição de sedimentos e a organização espacial da vegetação ripária, com respostas diferenciadas entre as unidades geomórficas do canal. Em rios não perenes, observou-se que a morfologia e a cobertura vegetal não respondem de forma linear às entradas hidrológicas, mas sim por meio de limiares, associados principalmente à precipitação antecedente acumulada e aos eventos extremos de chuva.

A análise hidrológica evidenciou uma precipitação antecedente acumulada (PAA) mostrou-se um indicador para prever eventos de vazão. Períodos com PAA elevada (acima de 70 mm em 15 dias) associados a eventos extremos de chuva (≥ 50 mm/dia) resultaram em respostas hidrológicas mais expressivas, com aumento rápido da cota de vazão e potencial para processos erosivos e de inundação. Os resultados reforçam a compreensão de que, em ambientes semiáridos, a maior parte do trabalho geomorfológico ocorre em janelas temporais muito curtas, associadas a poucos eventos hidrológicos significativos ao longo do ano.

No que se refere à vegetação ripária, o monitoramento em escala de quadrantes demonstrou que a cobertura vegetal e o crescimento das espécies respondem de maneira sensível à disponibilidade hídrica, apresentando forte dependência da sazonalidade pluviométrica. Espécies como *Vitex gardneriana* e *Jatropha mollissima* demonstraram importância na estabilização de barras e margens, atuando como “engenheiras do ecossistema”. A vegetação influencia diretamente a morfologia do canal, aumentando a rugosidade hidráulica, promovendo sedimentação e reduzindo a conectividade longitudinal de sedimentos. Esses resultados evidenciam o papel dual da vegetação como elemento bioindicador das condições hidrológicas e como agente biogeomorfológico ativo, capaz de influenciar a estabilidade do canal e a dinâmica sedimentar.

A integração das análises em múltiplas escalas (rede de drenagem, trecho e quadrante) constituiu uma das principais contribuições metodológicas da tese. O uso combinado de dados pluviométricos, índices espectrais de vegetação, modelos digitais de elevação e monitoramento de campo permitiu captar a complexidade dos *feedbacks* entre hidrologia, vegetação e geomorfologia, superando abordagens que tratam esses componentes de forma isolada. O uso de VANTs mostrou-se eficiente para a identificação de mudanças morfológicas e variações na cobertura vegetal, para identificação e mapeamento espécies do porte arbóreo destacando-se

como uma ferramenta promissora para estudos em ambientes semiáridos de difícil acesso e alta variabilidade espacial.

Os resultados reforçam a concepção de rios não perenes como sistemas complexos, não lineares e frequentemente em condição de não equilíbrio, nos quais pequenas variações nos regimes hidrológicos podem desencadear respostas desproporcionais na morfologia do canal e na vegetação ripária. Ao evidenciar a importância das unidades geomórficas como controladores da distribuição e da resiliência da vegetação, a tese amplia a compreensão dos mecanismos que estruturam esses ambientes fluviais.

Apesar das contribuições apresentadas, a tese possui limitações que devem ser reconhecidas. O período de monitoramento, embora representativo, ainda não contempla toda a variabilidade climática característica do semiárido. Embora o estudo tenha abrangido três anos hidrológicos, um período mais extenso seria necessário para capturar a variabilidade climática de longo prazo e eventos extremos mais raros, como secas prolongadas ou cheias excepcionais. A inferência a partir de cotas e marcas de fluxo, embora válida, não permite análises de vazão específicas ou modelagens hidráulicas mais detalhadas.

Como perspectivas futuras, recomenda-se a:

- Ampliação do monitoramento para séries temporais mais longas, de modo a incorporar anos hidrológicos extremos e avaliar a resiliência do sistema em relação a cenários climáticos;
- A integração de medições diretas de vazão, sensores de umidade do solo e análises ecofisiológicas das espécies vegetais pode aprofundar a compreensão dos mecanismos de resposta da vegetação às variações hidrológicas. Como por exemplo, investigar as estratégias adaptativas de espécies-chave (ex.: *V. gardneriana*, *J. mollissima*) em resposta a estresses hídricos e eventos de inundação;
- Avaliação do impacto de espécies exóticas invasoras, estudos específicos sobre os efeitos de *Prosopis juliflora* na hidrologia subsuperficial, na competição com espécies nativas e na modificação de processos biogeomorfológicos;
- Estudos comparativos entre diferentes bacias semiáridas, bem como a aplicação de modelagens eco-hidrológicas, também se apresentam como caminhos promissores para testar a generalização dos padrões identificados nesta pesquisa;

9. REFERÊNCIA

- ÁLVAREZ-MARTÍNEZ, Jose Manuel *et al.* Modelling the area of occupancy of habitat types with remote sensing. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 9, n. 3, p. 580–593, 2018.
- ANDERSON, Karen; GASTON, Kevin J. Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 11, n. 3, p. 138–146, 2013.
- ANDRADE, José Hamilton Ribeiro; MAIA, Celsemy Eleutério. EROSÃO DE MARGENS EM RIOS SEMIÁRIDOS: ESTUDO NA SUB-BACIA DO BAIXO JAGUARIBE – CEARÁ – BRASIL. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 19, n. 4, 1 out. 2018.
- ANDRADE, Leonaldo Alves De; FABRICANTE, Juliano Ricardo; OLIVEIRA, Franciello Xavier De. Invasão biológica por *Prosopis juliflora* (Sw.) DC.: impactos sobre a diversidade e a estrutura do componente arbustivo-arbóreo da caatinga no Estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 23, n. 4, p. 935–943, dez. 2009.
- ARAUJO, Elânia Daniele Silva. **Regimes de precipitação e dinâmica da vegetação em diferentes contextos geológico-geomorfológicos em ambiente tropical semiárido: Caatinga do alto sertão paraibano**. Tese (Doutorado em Geografia)—João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba - UFPB, 2024..
- ARTHINGTON, A. H.; BERNARDO, J. M.; ILHÉU, M. Temporary Rivers: Linking Ecohydrology, Ecological Quality and Reconciliation Ecology. **River Research and Applications**, v. 30, n. 10, p. 1209–1215, 2014.
- ASSAL, Timothy J. *et al.* Monitoring long-term riparian vegetation trends to inform local habitat management in a mountainous environment. **Ecological Indicators**, v. 127, p. 107807, ago. 2021.
- BAWA, Kamaljit *et al.* Assessing Biodiversity from Space: an Example from the Western Ghats, India. **Conservation Ecology**, v. 6, n. 2, p. art7, 2002.
- BEEVER, Erik A. *et al.* Monitoring Temporal Change in Riparian Vegetation of Great Basin National Park. **Western North American Naturalist**, v. 65, n. 3, p. 382–402, 2005.
- BENDIX, Jacob. Among-Site Variation in Riparian Vegetation of the Southern California Transverse Ranges. **American Midland Naturalist**, v. 132, n. 1, p. 136, jul. 1994.
- BENDIX, Jacob. Stream Power Influence on Southern Californian Riparian Vegetation. **Journal of Vegetation Science**, v. 10, n. 2, p. 243–252, 1999.
- BENDIX, Jacob; HUPP, Cliff R. Hydrological and geomorphological impacts on riparian plant communities. **Hydrological Processes**, v. 14, n. 16–17, p. 2977–2990, 2000.
- BERTOLDI, W. *et al.* Physical modelling of the combined effect of vegetation and wood on river morphology. **Geomorphology**, v. 246, p. 178–187, 1 out. 2015.

BERTOLDI, W.; GURNELL, A. M.; DRAKE, N. A. The topographic signature of vegetation development along a braided river: Results of a combined analysis of airborne lidar, color air photographs, and ground measurements. **Water Resources Research**, v. 47, n. 6, 2011.

BERTOLDI, Walter *et al.* Modeling vegetation controls on fluvial morphological trajectories. **Geophysical Research Letters**, v. 41, n. 20, p. 7167–7175, 2014a.

BIRKEN, Adam S.; COOPER, David J. Processes of Tamarix invasion and floodplain development along the lower Green River, Utah. **Ecological Applications: A Publication of the Ecological Society of America**, v. 16, n. 3, p. 1103–1120, jun. 2006.

BIZZI, S. *et al.* The use of remote sensing to characterise hydromorphological properties of European rivers. **Aquatic Sciences**, v. 78, n. 1, p. 57–70, 1 jan. 2016.

BRACKEN, Louise J.; CROKE, Jacky. The concept of hydrological connectivity and its contribution to understanding runoff-dominated geomorphic systems. **Hydrological Processes**, v. 21, n. 13, p. 1749–1763, 2007.

BRAUDRICK, Christian A. *et al.* Experimental evidence for the conditions necessary to sustain meandering in coarse-bedded rivers. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 106, n. 40, p. 16936–16941, 6 out. 2009.

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**, v. 25, n. 6, p. 661–679, jun. 2000.

BRIERLEY, Gary; FRYIRS, Kirstie; JAIN, Vikrant. Landscape connectivity: the geographic basis of geomorphic applications. **Area**, v. 38, n. 2, p. 165–174, 2006.

BROOKES, C. J.; HOOKE, J. M.; MANT, J. Modelling vegetation interactions with channel flow in river valleys of the Mediterranean region. **CATENA**, v. 40, n. 1, p. 93–118, 1 jun. 2000.

BUSCH, Michelle H. *et al.* What's in a Name? Patterns, Trends, and Suggestions for Defining Non-Perennial Rivers and Streams. **Water**, v. 12, n. 7, p. 1980, jul. 2020.

CAMPOS, Diego Antunes; ANDRADE, Eunice Maia de. Seasonal trend of climate variables in an area of the Caatinga phytogeographic domain. **REVISTA AGRO@MBIENTE ONLINE**, v. 15, 25 fev. 2021.

CARBONNEAU, Patrice E.; PIÉGAY, Hervé. Introduction: The Growing Use of Imagery in Fundamental and Applied River Sciences. In: **Fluvial Remote Sensing for Science and Management**. [S.l.]: John Wiley & Sons, Ltd, 2012. p. 1–18.

CARUSO, Brian S.; PITHIE, Callum; EDMONDSON, Laura. Invasive riparian vegetation response to flow regimes and flood pulses in a braided river floodplain. **Journal of Environmental Management**, v. 125, p. 156–168, 15 ago. 2013.

CAVALCANTE, Andréa Almeida; CUNHA, Sandra Baptista da. MORFODINÂMICA FLUVIAL EM ÁREAS SEMIÁRIDAS: DISCUTINDO O VALE DO RIO JAGUARIBE-CE-BRASIL. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 1, 13 ago. 2012.

CAVALCANTE, Douglas Monteiro *et al.* Sediment transport and roughness coefficients generated by flexible vegetation patches in the emergent and submerged conditions in a semiarid alluvial open-channel. **Ecological Indicators**, v. 125, p. 107472, 1 jun. 2021.

CONESA-GARCÍA, Carmelo *et al.* Combining SfM Photogrammetry and Terrestrial Laser Scanning to Assess Event-Scale Sediment Budgets along a Gravel-Bed Ephemeral Stream. **Remote Sensing**, v. 12, n. 21, p. 3624, jan. 2020.

CORENBLIT, Dov *et al.* Reciprocal interactions and adjustments between fluvial landforms and vegetation dynamics in river corridors: A review of complementary approaches. **Earth-Science Reviews**, v. 84, n. 1, p. 56–86, 1 set. 2007.

CORENBLIT, Dov *et al.* Plants intertwine fluvial landform dynamics with ecological succession and natural selection: a niche construction perspective for riparian systems. **Global Ecology and Biogeography**, v. 18, n. 4, p. 507–520, 2009.

CORENBLIT, Dov *et al.* Feedbacks between geomorphology and biota controlling Earth surface processes and landforms: A review of foundation concepts and current understandings. **Earth-Science Reviews**, v. 106, n. 3, p. 307–331, 1 jun. 2011.

CORENBLIT, Dov *et al.* Engineer pioneer plants respond to and affect geomorphic constraints similarly along water–terrestrial interfaces world-wide. **Global Ecology and Biogeography**, v. 24, n. 12, p. 1363–1376, 2015.

CORENBLIT, Dov *et al.* Interactions between vegetation and river morphodynamics. Part I: Research clarifications and challenges. **Earth-Science Reviews**, v. 253, p. 104769, jun. 2024.

CORNEJO-DENMAN, Lara *et al.* Assessing Riparian Vegetation Condition and Function in Disturbed Sites of the Arid Northwestern Mexico. **Land**, v. 7, n. 1, p. 13, 22 jan. 2018.

CORRÊA, Antonio Carlos De Barros *et al.* Megamorfologia e morfoestrutura do Planalto de Borborema. **Revista do Instituto Geológico**, v. 31, n. 1–2, p. 35–52, 1 jan. 2010.

COSTIGAN, Katie H. *et al.* Chapter 2.2 - Flow Regimes in Intermittent Rivers and Ephemeral Streams. In: DATRY, Thibault; BONADA, Núria; BOULTON, Andrew (Orgs.). **Intermittent Rivers and Ephemeral Streams**. [S.l.]: Academic Press, 2017. p. 51–78.

CROUZY, Benoît *et al.* Impact of floods on the statistical distribution of riverbed vegetation. **Geomorphology**, v. 202, p. 51–58, nov. 2013.

CUCCHIARO, Sara *et al.* Mapping vegetation-induced obstruction in agricultural ditches: A low-cost and flexible approach by UAV-SfM. **Agricultural Water Management**, v. 256, p. 107083, 1 out. 2021.

DATRY, Thibault; LARNED, Scott T.; TOCKNER, Klement. Intermittent Rivers: A Challenge for Freshwater Ecology. **BioScience**, v. 64, n. 3, p. 229–235, 1 mar. 2014.

DE BARROS CORRÊA, Antonio Carlos *et al.* The Semi-arid Domain of the Northeast of Brazil. In: SALGADO, André Augusto Rodrigues; SANTOS, Leonardo José Cordeiro; PAISANI, Julio César (Orgs.). **The Physical Geography of Brazil**. Geography of the Physical Environment. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 119–150.

DIAS-SILVA, Karina *et al.* Measuring stream habitat conditions: Can remote sensing substitute for field data? **Science of The Total Environment**, v. 788, p. 147617, 20 set. 2021.

DOODY, Tanya M. *et al.* A method to map riparian exotic vegetation (*Salix* spp.) area to inform water resource management. **Hydrological Processes**, v. 28, n. 11, p. 3809–3823, 30 maio 2014.

DUFOUR, S. *et al.* Monitoring restored riparian vegetation: how can recent developments in remote sensing sciences help? **Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems**, n. 410, p. 10, 2013.

DUFOUR, Simon; RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, Patricia Maria; LASLIER, Marianne. Tracing the scientific trajectory of riparian vegetation studies: Main topics, approaches and needs in a globally changing world. **Science of The Total Environment**, v. 653, p. 1168–1185, fev. 2019.

DUGDALE, Stephen J. *et al.* Stream temperature under contrasting riparian forest cover: Understanding thermal dynamics and heat exchange processes. **Science of The Total Environment**, v. 610–611, p. 1375–1389, 1 jan. 2018.

DUNFORD, R. *et al.* Potential and constraints of Unmanned Aerial Vehicle technology for the characterization of Mediterranean riparian forest. **International Journal of Remote Sensing**, v. 30, n. 19, p. 4915–4935, 22 set. 2009.

DŽUBÁKOVÁ, K. *et al.* Monitoring of riparian vegetation response to flood disturbances using terrestrial photography. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 19, n. 1, p. 195–208, 13 jan. 2015.

ELKIND, Kaitlyn *et al.* Invasive buffelgrass detection using high-resolution satellite and UAV imagery on Google Earth Engine. **Remote Sensing in Ecology and Conservation**, v. 5, n. 4, p. 318–331, 2019.

ERRICO, A. *et al.* The effect of flexible vegetation on flow in drainage channels: Estimation of roughness coefficients at the real scale. **Ecological Engineering**, v. 120, p. 411–421, 1 set. 2018.

FEITOSA, R. C. **Estoque de carbono em Floresta Tropical Sazonalmente Seca no nordeste do Brasil: Uma comparação entre dois usos do solo**. Doutorado em Engenharia Agrícola—[S.l.]: Universidade Federal do Ceará, 2017.

FERNANDES, Francisco Bergson Parente *et al.* Effect of soil management on water deficit, gas exchange and cowpea yield in the semi-arid region. **REVISTA CIÊNCIA AGRONÔMICA**, v. 46, n. 3, 2015.

FONSECA, André *et al.* Assessing the Connectivity of Riparian Forests across a Gradient of Human Disturbance: The Potential of Copernicus “Riparian Zones” in Two Hydroregions. **Forests**, v. 12, n. 6, p. 674, 25 maio 2021.

FRYIRS, Kirstie A. *et al.* Catchment-scale (dis)connectivity in sediment flux in the upper Hunter catchment, New South Wales, Australia. **Geomorphology**, Geomorphic Instability and Change - Introduction: Implications of temporal and spatial scales. v. 84, n. 3, p. 297–316, 28 fev. 2007.

FRYIRS, Kirstie A.; BRIERLEY, Gary J. **Geomorphic Analysis of River Systems: An Approach to Reading the Landscape**. 1. ed. [S.l.]: Wiley, 2012.

GETZIN, Stephan; WIEGAND, Kerstin; SCHÖNING, Ingo. Assessing biodiversity in forests using very high-resolution images and unmanned aerial vehicles. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 3, n. 2, p. 397–404, 2012.

GILBERT, Jordan T.; WILCOX, Andrew C. An Ecogeomorphic Framework Coupling Sediment Modeling With Invasive Riparian Vegetation Dynamics. **Journal of Geophysical Research: Earth Surface**, v. 126, n. 6, jun. 2021.

GONZÁLEZ DEL TÁNAGO, Marta *et al.* Improving river hydromorphological assessment through better integration of riparian vegetation: Scientific evidence and guidelines. **Journal of Environmental Management**, v. 292, p. 112730, 15 ago. 2021.

GRAF, William L.; LECCE, Scott A. **Fluvial processes in dryland rivers**. Berlin Heidelberg New York...[etc.]: Springer, 1988.

GRAN, Karen B.; TAL, Michal; WARTMAN, Emily D. Co-evolution of riparian vegetation and channel dynamics in an aggrading braided river system, Mount Pinatubo, Philippines. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 40, n. 8, p. 1101–1115, 2015.

GRAN, Karen; PAOLA, Chris. Riparian vegetation controls on braided stream dynamics. **Water Resources Research**, v. 37, n. 12, p. 3275–3283, 2001.

GREET, Joe; ANGUS WEBB, J.; COUSENS, Roger D. The importance of seasonal flow timing for riparian vegetation dynamics: a systematic review using causal criteria analysis. **Freshwater Biology**, v. 56, n. 7, p. 1231–1247, 2011.

GUILLOY-FROGET, H. *et al.* Dispersal, germination, and survival of *Populus nigra* L. (Salicaceae) in changing hydrologic conditions. **Wetlands**, v. 22, n. 3, p. 478–488, 1 set. 2002.

GURNELL, A. M. *et al.* A Conceptual Model of Vegetation–hydrogeomorphology Interactions Within River Corridors. **River Research and Applications**, v. 32, n. 2, p. 142–163, 2016.

GURNELL, A. M.; PETTS, G. E. Island-dominated landscapes of large floodplain rivers, a European perspective. **Freshwater Biology**, v. 47, n. 4, p. 581–600, 2002.

GURNELL, Angela *et al.* Effects of deposited wood on biocomplexity of river corridors. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 3, n. 7, p. 377–382, 2005.

GURNELL, Angela. Plants as river system engineers. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 39, n. 1, p. 4–25, 2014.

GURNELL, Angela M.; BERTOLDI, Walter. Extending the conceptual model of river island development to incorporate different tree species and environmental conditions. **River Research and Applications**, v. 36, n. 8, p. 1730–1747, 2020.

GURNELL, Angela M.; BERTOLDI, Walter. The impact of plants on fine sediment storage within the active channels of gravel-bed rivers: A preliminary assessment. **Hydrological Processes**, v. 36, n. 7, p. e14637, 2022.

GURNELL, Angela M.; BERTOLDI, Walter; CORENBLIT, Dov. Changing river channels: The roles of hydrological processes, plants and pioneer fluvial landforms in humid temperate, mixed load, gravel bed rivers. **Earth-Science Reviews**, v. 111, n. 1, p. 129–141, 1 fev. 2012.

GURNELL, Angela; PETTS, Geoffrey. Trees as riparian engineers: the Tagliamento river, Italy. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 31, n. 12, p. 1558–1574, 2006.

HAN, Meiqin *et al.* An approach to evaluate the dominant river biogeomorphic succession phase at the reach-scale. **CATENA**, v. 217, p. 106455, 1 out. 2022.

HOOKE, J. M. Monitoring morphological and vegetation changes and flow events in dryland river channels. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 127, n. 1, p. 445–457, 1 abr. 2007.

HOOKE, J. M. Morphological impacts of flow events of varying magnitude on ephemeral channels in a semiarid region. **Geomorphology**, The Natural and Human Structuring of Rivers and other Geomorphic Systems: A Special Issue in Honor of William L. Graf. v. 252, p. 128–143, 1 jan. 2016.

HOOKE, Janet. **Vegetation dynamics and interactions with flows in dryland channels** ICG2022. **Anais... . [S.l.]**: Copernicus Meetings, 20 jun. 2022. Disponível em: <<https://meetingorganizer.copernicus.org/ICG2022/ICG2022-93.html>>. Acesso em: 3 abr. 2024.

HOOKE, Janet. Flood impacts on vegetation and hydraulics in ephemeral channels and dynamics of recovery. **Journal of Ecohydraulics**, p. 1–16, 23 mar. 2023.

HUYLENBROECK, Leo *et al.* Using remote sensing to characterize riparian vegetation: A review of available tools and perspectives for managers. **Journal of Environmental Management**, v. 267, p. 110652, 1 ago. 2020.

IZADI, Fatemeh; CHAMANI, Atefeh; ZAMANI-AHMADMAHMOODI, Rasool. How vegetation cover characteristics response to the spread of *Prosopis juliflora*: a time-series remote sensing analysis in southern Iran. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 194, n. 6, p. 401, jun. 2022.

JARAMILLO, Víctor J. *et al.* Biomass, Carbon, and Nitrogen Pools in Mexican Tropical Dry Forest Landscapes. **Ecosystems**, v. 6, n. 7, p. 609–629, 1 nov. 2003.

JARDIM, Alexandre Maniçoba Da Rosa Ferraz *et al.* Using Remote Sensing to Quantify the Joint Effects of Climate and Land Use/Land Cover Changes on the Caatinga Biome of Northeast Brazilian. **Remote Sensing**, v. 14, n. 8, p. 1911, 15 abr. 2022.

JENSEN, Austin M. *et al.* Using a multispectral autonomous unmanned aerial remote sensing platform (AggieAir) for riparian and wetlands applications. In: IGARSS 2011 - 2011 IEEE INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM. **2011 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium**. Vancouver, BC, Canada: IEEE, jul. 2011. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6049953/>>. Acesso em: 3 abr. 2024

JOHANSEN, Kasper; PHINN, Stuart; WITTE, Christian. Mapping of riparian zone attributes using discrete return LiDAR, QuickBird and SPOT-5 imagery: Assessing accuracy and costs. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, n. 11, p. 2679–2691, 15 nov. 2010.

JURACEK, Kyle E.; FITZPATRICK, Faith A. Geomorphic responses of fluvial systems to climate change: A habitat perspective. **River Research and Applications**, v. 38, n. 4, p. 757–775, 2022.

KLEINHANS, Maarten G.; VAN DEN BERG, Jan H. River channel and bar patterns explained and predicted by an empirical and a physics-based method. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 36, n. 6, p. 721–738, 2011.

KNEHTL, Miha; PETKOVSKA, Vesna; URBANIČ, Gorazd. Is it time to eliminate field surveys from hydromorphological assessments of rivers?—Comparison between a field survey and a remote sensing approach. **Ecohydrology**, v. 11, n. 2, p. e1924, 2018.

KUI, Li *et al.* Ecogeomorphic feedbacks and flood loss of riparian tree seedlings in meandering channel experiments. **Water Resources Research**, v. 50, n. 12, p. 9366–9384, 2014.

KUI, Li *et al.* The long-term legacy of geomorphic and riparian vegetation feedbacks on the dammed Bill Williams River, Arizona, USA. **Ecohydrology**, v. 10, n. 4, p. e1839, 2017.

LANGHAMMER, Jakub; LENDZIOCH, Theodora; ŠOLC, Jakub. Use of UAV Monitoring to Identify Factors Limiting the Sustainability of Stream Restoration Projects. **Hydrology**, v. 10, n. 2, p. 48, fev. 2023.

LEJOT, J. *et al.* Very high spatial resolution imagery for channel bathymetry and topography from an unmanned mapping controlled platform. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 32, n. 11, p. 1705–1725, 2007.

LI, Fang; ZHAO, Wenzhi; LIU, Hu. Productivity responses of desert vegetation to precipitation patterns across a rainfall gradient. **Journal of Plant Research**, v. 128, n. 2, p. 283–294, mar. 2015.

LI, Lina *et al.* Integrating landsat NDVI data with climate and anthropogenic factors reveals drivers of vegetation dynamics in the semi-arid Basin of Western China. **Scientific Reports**, v. 15, n. 1, p. 18831, 29 maio 2025.

LIGHTBODY, Anne F. *et al.* Riparian Vegetation and Sediment Supply Regulate the Morphodynamic Response of an Experimental Stream to Floods. **Frontiers in Environmental Science**, v. 7, 5 abr. 2019.

LILLESAND, Thomas M.; KIEFER, Ralph W.; CHIPMAN, Jonathan W. **Remote sensing and image interpretation**. Seventh edition ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2015.

LITE, S. J.; BAGSTAD, K. J.; STROMBERG, J. C. Riparian plant species richness along lateral and longitudinal gradients of water stress and flood disturbance, San Pedro River, Arizona, USA. **Journal of Arid Environments**, v. 63, n. 4, p. 785–813, 1 dez. 2005.

LOU, Yibao *et al.* Effects of vegetation stem coverage on the hydraulic characteristics and on-wall and jet flow proportions at the gully head. **CATENA**, v. 229, p. 107201, 1 ago. 2023.

LYTLE, David A.; POFF, N. LeRoy. Adaptation to natural flow regimes. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 19, n. 2, p. 94–100, 1 fev. 2004.

MACELLI PINTO, David Mendes *et al.* Carnaubal em meio às superfícies aplainadas: a influência das feições geomorfológico-edáficas no perfil transversal da mata ciliar do rio Groaíras, Ceará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 6, p. 3572–3588, 29 dez. 2023.

MARCHAMALO, Miguel; HOOKE, Janet M.; SANDERCOCK, Peter J. Flow and Sediment Connectivity in Semi-arid Landscapes in SE Spain: Patterns and Controls. **Land Degradation & Development**, v. 27, n. 4, p. 1032–1044, 2016.

MARTINEZ, Alex; LABIB, S. Demystifying normalized difference vegetation index (NDVI) for greenness exposure assessments and policy interventions in urban greening. **Environmental research**, 2022.

MATTOS, Sérgio Henrique Vannucchi Lemes de; FILHO, Archimedes Perez. Complexidade e Estabilidade em Sistemas Geomorfológicos: uma introdução ao tema. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 5, n. 1, 6 dez. 2004.

MAXWELL, Sean L. *et al.* Conservation implications of ecological responses to extreme weather and climate events. **Diversity and Distributions**, v. 25, n. 4, p. 613–625, 2019.

MCCOY-SULENTIC, Miles E. *et al.* Changes in Community-Level Riparian Plant Traits over Inundation Gradients, Colorado River, Grand Canyon. **Wetlands**, v. 37, n. 4, p. 635–646, 1 ago. 2017.

MELO, Lorena De Moura *et al.* LANDSCAPE CHANGE WITH THE TRANSPOSITION OF THE SÃO FRANCISCO RIVER, IN THE DOMAIN CAATINGA, PERNAMBUCO. 2021.

MENÉNDEZ, L. Y J. M. GUZMÁN. Salud del ecosistema de manglar en el Archipiélago Sabana- Camaguey: Patrones y tendencias a escala de paisaje. *In: Ecosistema de manglar en el archipiélago cubano*. UNESCO, La Habana ed. [S.l.: S.n.].

MERRITT, D. M. 9.14 Reciprocal Relations between Riparian Vegetation, Fluvial Landforms, and Channel Processes. *In: Treatise on Geomorphology*. [S.l.]: Elsevier, 2013. p. 219–243.

MERRITT, David M. Reciprocal Relations Between Riparian Vegetation, Fluvial Landforms and Channel Processes. *In: Treatise on Geomorphology*. [S.l.]: Elsevier, 2022a. p. 269–297.

MERRITT, David M. Reciprocal Relations Between Riparian Vegetation, Fluvial Landforms and Channel Processes. *In: Treatise on Geomorphology*. [S.l.]: Elsevier, 2022b. p. 269–297.

MERRITT, David M.; NILSSON, Christer; JANSSON, Roland. Consequences of propagule dispersal and river fragmentation for riparian plant community diversity and turnover. **Ecological Monographs**, v. 80, n. 4, p. 609–626, 2010.

MESSINGER, Max; ASNER, Gregory P.; SILMAN, Miles. Rapid Assessments of Amazon Forest Structure and Biomass Using Small Unmanned Aerial Systems. **Remote Sensing**, v. 8, n. 8, p. 615, ago. 2016.

MICHEZ, Adrien *et al.* Classification of riparian forest species and health condition using multi-temporal and hyperspatial imagery from unmanned aerial system. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 188, n. 3, p. 146, 5 fev. 2016.

MONTEIRO, Gabriel da Nóbrega. **Monitoramento da dinâmica fluvial em rios não perenes – comportamento de leitos arenosos em ambiente semiárido tropical**. Dissertação—[S.l.]: Universidade Federal da Paraíba, 2023.

MONTENEGRO, Suzana; RAGAB, Ragab. Impact of possible climate and land use changes in the semi arid regions: A case study from North Eastern Brazil. **Journal of Hydrology**, v. 434–435, p. 55–68, 20 abr. 2012.

MOTOHKA, Takeshi *et al.* Applicability of Green-Red Vegetation Index for Remote Sensing of Vegetation Phenology. **Remote Sensing**, v. 2, n. 10, p. 2369–2387, 14 out. 2010.

MULLA, David J. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. **Biosystems Engineering**, Special Issue: Sensing Technologies for Sustainable Agriculture. v. 114, n. 4, p. 358–371, 1 abr. 2013.

NAGLER, Pamela L. *et al.* Wide-area estimates of evapotranspiration by red gum (*Eucalyptus camaldulensis*) and associated vegetation in the Murray–Darling River Basin, Australia. **Hydrological Processes**, v. 30, n. 9, p. 1376–1387, 2016.

NAGLER, Pamela L. *et al.* Ecohydrological responses to surface flow across borders: Two decades of changes in vegetation greenness and water use in the riparian corridor of the Colorado River Delta. **Hydrological Processes**, v. 34, n. 25, p. 4851–4883, 2020.

NAHIRNICK, Natasha K. *et al.* Mapping with confidence; delineating seagrass habitats using Unoccupied Aerial Systems (UAS). **Remote Sensing in Ecology and Conservation**, v. 5, n. 2, p. 121–135, 2019.

NAIMAN, Robert J.; DÉCAMPS, Henri; MCCLAIN, Michael E. **Riparia: ecology, conservation, and management of streamside communities**. Oxford: Elsevier Academic, 2005.

NICOSIA, Alessio; FERRO, Vito. Flow resistance due to shrubs and woody vegetation. **Flow Measurement and Instrumentation**, v. 89, p. 102308, mar. 2023.

NIJLAND, Wiebe *et al.* Monitoring plant condition and phenology using infrared sensitive consumer grade digital cameras. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 184, p. 98–106, 15 jan. 2014.

OSTERKAMP, W. R.; HUPP, C. R. Fluvial processes and vegetation — Glimpses of the past, the present, and perhaps the future. **Geomorphology**, Geomorphology and Vegetation: Interactions, Dependencies, and Feedback Loops. v. 116, n. 3, p. 274–285, 1 abr. 2010.

PACE, G. *et al.* Remote sensing depicts riparian vegetation responses to water stress in a humid Atlantic region. **Science of The Total Environment**, v. 772, p. 145526, jun. 2021.

PACE, G. *et al.* Remote sensing indicators to assess riparian vegetation and river ecosystem health. **Ecological Indicators**, v. 144, p. 109519, 1 nov. 2022.

PALIWAL, Ambica *et al.* Utilizing Artificial Intelligence and Remote Sensing to Detect *Prosopis juliflora* Invasion: Environmental Drivers and Community Insights in Rangelands of Kenya. **Plants**, v. 13, n. 13, p. 1868, 6 jul. 2024.

PANDEY, Saumya *et al.* Chapter 16 - Impact of anthropogenic stresses on riparian ecosystem and their management perspectives. In: MADHAV, Sughosh *et al.* (Orgs.). **Ecological Significance of River Ecosystems**. [S.l.]: Elsevier, 2022. p. 299–324.

PARSONS, M.; THOMS, M. C. Patterns of vegetation greenness during flood, rain and dry resource states in a large, unconfined floodplain landscape. **Journal of Arid Environments**, v. 88, p. 24–38, 1 jan. 2013.

PENG, Jian *et al.* Trend analysis of vegetation dynamics in Qinghai–Tibet Plateau using Hurst Exponent. **Ecological Indicators**, v. 14, n. 1, p. 28–39, 1 mar. 2012.

PEREIRA JÚNIOR, Lécio Resende *et al.* Carbon stocks in a tropical dry forest in Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, p. 32–40, mar. 2016.

PÉREZ-GARCÍA, Eduardo A.; MEAVE, Jorge A.; CEVALLOS-FERRIZ, Sergio R. S. Flora and vegetation of the seasonally dry tropics in Mexico: origin and biogeographical implications. **Acta botánica mexicana**, n. 100, p. 149–193, jul. 2012.

PETACH, Anika R. *et al.* Monitoring vegetation phenology using an infrared-enabled security camera. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 195–196, p. 143–151, 15 set. 2014.

PETTIT, Neil E.; LATTERELL, Joshua J.; NAIMAN, Robert J. Formation, distribution and ecological consequences of flood-related wood debris piles in a bedrock confined river in semi-arid South Africa. **River Research and Applications**, v. 22, n. 10, p. 1097–1110, 2006.

PETTIT, Neil E.; NAIMAN, Robert J. Flood-deposited wood creates regeneration niches for riparian vegetation on a semi-arid South African river. **Journal of Vegetation Science**, v. 17, n. 5, p. 615–624, 2006.

PHILLIPS, Jonathan D.; VAN DYKE, Chris. Principles of geomorphic disturbance and recovery in response to storms. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 41, n. 7, p. 971–979, 2016.

PICCO, L. *et al.* Medium and short term riparian vegetation, island and channel evolution in response to human pressure in a regulated gravel bed river (Piave River, Italy). **CATENA**, Geocology in Mediterranean mountain areas. Tribute to Professor José María García Ruiz. v. 149, p. 760–769, 1 fev. 2017.

PIÉGAY, H.; GURNELL, A. M. Large woody debris and river geomorphological pattern: examples from S.E. France and S. England. **Geomorphology**, v. 19, n. 1, p. 99–116, 1 maio 1997.

POLITTI, Emilio *et al.* Feedbacks between the riparian Salicaceae and hydrogeomorphic processes: A quantitative review. **Earth-Science Reviews**, v. 176, p. 147–165, 1 jan. 2018.

POLLEN-BANKHEAD, Natasha; SIMON, Andrew. Hydrologic and hydraulic effects of riparian root networks on streambank stability: Is mechanical root-reinforcement the whole story? **Geomorphology**, Geomorphology and Vegetation: Interactions, Dependencies, and Feedback Loops. v. 116, n. 3, p. 353–362, 1 abr. 2010.

POLVI, Lina E.; WOHL, Ellen; MERRITT, David M. Modeling the functional influence of vegetation type on streambank cohesion. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 39, n. 9, p. 1245–1258, 2014.

PRINGLE, Catherine. What is hydrologic connectivity and why is it ecologically important? **Hydrological Processes**, v. 17, n. 13, p. 2685–2689, set. 2003.

QUEIROZ, Messias F. De *et al.* Crescimento e fenologia de espécies de *Jatropha* durante a estação chuvosa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 4, p. 405–411, abr. 2013.

RANGO, Albert *et al.* Unmanned aerial vehicle-based remote sensing for rangeland assessment, monitoring, and management. **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 3, p. 033542–033542, 1 ago. 2009.

REYNOLDS, Lindsay V.; SHAFROTH, Patrick B. Riparian plant composition along hydrologic gradients in a dryland river basin and implications for a warming climate. **Ecohydrology**, v. 10, n. 6, p. e1864, 2017.

ROCCHINI, Duccio *et al.* Measuring β -diversity by remote sensing: A challenge for biodiversity monitoring. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 9, n. 8, p. 1787–1798, 2018.

ROCHA, Thaís Braga Carneiro *et al.* Veranicos no Ceará e Aplicações para Agricultura de Sequeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 3, p. 435–447, set. 2020.

RODRIGUES, S. *et al.* In-channel woody vegetation controls on sedimentary processes and the sedimentary record within alluvial environments: a modern example of an anabranch of the River Loire, France. **Sedimentology**, v. 54, n. 1, p. 223–242, 2007.

ROGERSON, Peter A. **Métodos estatísticos para Geografia : o guia do estudante**. [S.l.]: Bookman, 2022.

ROOD, Stewart B. *et al.* Floods, fire, and ice: disturbance ecology of riparian cottonwoods The review is one of a selection of papers published in the Special Issue on Poplar Research in Canada. **Canadian Journal of Botany**, v. 85, n. 11, p. 1019–1032, nov. 2007.

SAKAMOTO, Toshihiro *et al.* An alternative method using digital cameras for continuous monitoring of crop status. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 154–155, p. 113–126, 15 mar. 2012.

SAMPAIO, E. Seasonally Dry Tropical Forests: Overview of the Brazilian caatinga. p. 35–63, 1995.

SANDERCOCK, P. J.; HOOKE, J. M. Assessment of vegetation effects on hydraulics and of feedbacks on plant survival and zonation in ephemeral channels. **Hydrological Processes**, v. 24, n. 6, p. 695–713, 15 mar. 2010.

SANDERCOCK, P. J.; HOOKE, J. M.; MANT, J. M. Vegetation in dryland river channels and its interaction with fluvial processes. **Progress in Physical Geography: Earth and Environment**, v. 31, n. 2, p. 107–129, abr. 2007.

SANKEY, Temuulen T. *et al.* UAV hyperspectral and lidar data and their fusion for arid and semi-arid land vegetation monitoring. **Remote Sensing in Ecology and Conservation**, v. 4, n. 1, p. 20–33, 2018.

SANTOS, Camilla Jerssica da Silva; SOUZA, Jonas Otaviano Praça de. ANÁLISE DA ESTABILIDADE LATERAL EM TRECHOS FLUVIAIS DA BACIA RIACHO DO TIGRE, SEMIÁRIDO PARAIBANO. **Caminhos de Geografia**, v. 21, n. 75, p. 15–33, 28 maio 2020.

SANTOS, Camilla Jerssica Silva. **Estudo da dinâmica de margens em ambiente fluvial do semiárido: bacia hidrográfica do rio Taperoá-PB**. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Geografia)—João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba - UFPB, 2020.

SCOTT, Julian A.; MERRITT, David M. Riparian response guilds shift in response to flow alteration in montane streams of the southern Rocky Mountains. **Ecosphere**, v. 11, n. 10, p. e03253, 2020.

SHAW, Jeremy R.; COOPER, David J. Linkages among watersheds, stream reaches, and riparian vegetation in dryland ephemeral stream networks. **Journal of Hydrology**, v. 350, n. 1, p. 68–82, 15 fev. 2008.

SHEN, Ruichang *et al.* The effects of flooding regimes and soil nutrients on lakeshore plant diversity in a pristine lake and a human managed lake in subtropical China. **Journal of Freshwater Ecology**, v. 34, n. 1, p. 757–769, 1 jan. 2019.

SHIFERAW, Hailu *et al.* Water use of *Prosopis juliflora* and its impacts on catchment water budget and rural livelihoods in Afar Region, Ethiopia. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 2688, 29 jan. 2021.

SIEVERS, Michael; HALE, Robin; MORRONGIELLO, John R. Do trout respond to riparian change? A meta-analysis with implications for restoration and management. **Freshwater Biology**, v. 62, n. 3, p. 445–457, 2017.

SILVA, Leandro Félix da; SOUZA, Bartolomeu Israel de; BACANI, Vitor Matheus. INTENSIDADE DA AÇÃO ANTRÓPICA NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DO CARIRI PARAIBANO. **Caminhos de Geografia**, v. 20, n. 71, p. 364–383, 30 ago. 2019.

SIMON, Andrew; CASTRO, Janine. Measurement and Analysis of Alluvial Channel Form. In: KONDOLF, G. Mathias; PIÉGAY, Hervé (Orgs.). **Tools in Fluvial Geomorphology**. 1. ed. [S.l.]: Wiley, 2003. p. 289–322.

SIYUM, Zenebe Girmay. Tropical dry forest dynamics in the context of climate change: syntheses of drivers, gaps, and management perspectives. **Ecological Processes**, v. 9, n. 1, p. 25, 30 maio 2020.

SKOULIKIDIS, Nikolaos T. *et al.* Non-perennial Mediterranean rivers in Europe: Status, pressures, and challenges for research and management. **Science of The Total Environment**, v. 577, p. 1–18, jan. 2017.

SONNENTAG, Oliver *et al.* Digital repeat photography for phenological research in forest ecosystems. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 152, p. 159–177, 15 jan. 2012.

SOUZA, Danilo Diego de. **Adaptações de plantas da caatinga**. São Paulo, SP, Brasil: Oficina de Textos, 2020.

SOUZA, Jonas Otaviano Praca de; ALMEIDA, Joana D'arc Matias de. PROCESSOS FLUVIAIS EM TERRAS SECAS: UMA REVISÃO. **OKARA: Geografia em debate**, p. 108–122, 31 maio 2015.

SOUZA, Rachel de. **Identificação e caracterização dos estilos fluviais da Bacia Riacho do Tigre-PB**. Monografia (Bacharelado em Geografia)—João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba - UFPB, 2016.

SOUZA, Jonas; HOOKE, Janet. Influence of seasonal vegetation dynamics on hydrological connectivity in tropical drylands. **Hydrological Processes**, v. 35, n. 11, p. e14427, 2021.

SOUZA, Jonas O. P.; CORREA, Antonio C. B.; BRIERLEY, Gary J. An approach to assess the impact of landscape connectivity and effective catchment area upon bedload sediment flux in Saco Creek Watershed, Semiarid Brazil. **CATENA**, v. 138, p. 13–29, 1 mar. 2016.

STEIGER, J. *et al.* Hydrogeomorphic processes affecting riparian habitat within alluvial channel–floodplain river systems: a review for the temperate zone. **River Research and Applications**, v. 21, n. 7, p. 719–737, set. 2005.

STRÖM, Lotta; JANSSON, Roland; NILSSON, Christer. Projected changes in plant species richness and extent of riparian vegetation belts as a result of climate-driven hydrological change along the Vindel River in Sweden. **Freshwater Biology**, v. 57, n. 1, p. 49–60, 2012.

STROMBERG, J. C. *et al.* Importance of low-flow and high-flow characteristics to restoration of riparian vegetation along rivers in arid south-western United States. **Freshwater Biology**, v. 52, n. 4, p. 651–679, 2007.

STROMBERG, J. C.; LITE, S. J.; DIXON, M. D. Effects of stream flow patterns on riparian vegetation of a semiarid river: Implications for a changing climate. **River Research and Applications**, v. 26, n. 6, p. 712–729, 2010.

SUN, Yanling *et al.* Assessing vegetation dynamics and their relationships with climatic variability in northern China. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, Climate change and ecosystem responses in China. v. 87–88, p. 79–86, 1 jan. 2015.

SURIAN, Nicola *et al.* Vegetation turnover in a braided river: frequency and effectiveness of floods of different magnitude. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 40, n. 4, p. 542–558, 2015.

- SUTFIN, Nicholas A. *et al.* A geomorphic classification of ephemeral channels in a mountainous, arid region, southwestern Arizona, USA. **Geomorphology**, v. 221, p. 164–175, 15 set. 2014.
- TABACCHI, Eric *et al.* Landscape Structure and Diversity in Riparian Plant Communities: A Longitudinal Comparative Study. **Regulated Rivers: Research & Management**, v. 12, n. 4–5, p. 367–390, 1996.
- TAL, Michal; PAOLA, Chris. Effects of vegetation on channel morphodynamics: results and insights from laboratory experiments. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 35, n. 9, p. 1014–1028, 2010.
- TAMMINGA, A. *et al.* Hyperspatial Remote Sensing of Channel Reach Morphology and Hydraulic Fish Habitat Using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV): A First Assessment in the Context of River Research and Management. **River Research and Applications**, v. 31, n. 3, p. 379–391, 2015.
- THORNES, John B. **Semi-arid erosional systems: case studies from Spain**. London: [Geography Department], London School of Economics and Political Science, 1976.
- TOOTH, Stephen. Process, form and change in dryland rivers: a review of recent research. **Earth-Science Reviews**, v. 51, n. 1, p. 67–107, 1 ago. 2000.
- TORRESANI, Michele *et al.* Estimating tree species diversity from space in an alpine conifer forest: The Rao's Q diversity index meets the spectral variation hypothesis. **Ecological Informatics**, v. 52, p. 26–34, 1 jul. 2019.
- TRANTAFILLOU, Shayla; WOHL, Ellen. Evaluating the Sensitivity of Process Domains for Logjams to Spatial and Temporal Sample Size in River Networks of the Southern Rockies, USA. **Journal of Geophysical Research: Earth Surface**, v. 131, n. 1, p. e2025JF008491, 2026.
- VAN DIJK, W. M. *et al.* Effects of vegetation distribution on experimental river channel dynamics. **Water Resources Research**, v. 49, n. 11, p. 7558–7574, 2013.
- VERRELST, J. *et al.* Angular sensitivity analysis of vegetation indices derived from CHRIS/PROBA data. **Remote Sensing of Environment**, Earth Observations for Terrestrial Biodiversity and Ecosystems Special Issue. v. 112, n. 5, p. 2341–2353, 15 maio 2008.
- VESIPA, Riccardo; CAMPOREALE, Carlo; RIDOLFI, Luca. Effect of river flow fluctuations on riparian vegetation dynamics: Processes and models. **Advances in Water Resources**, v. 110, p. 29–50, 1 dez. 2017.
- VICO, Giulia *et al.* Climatic, ecophysiological, and phenological controls on plant ecohydrological strategies in seasonally dry ecosystems. **Ecohydrology**, v. 8, n. 4, p. 660–681, 2015.

WANG, Ran *et al.* Seasonal Variation in the NDVI–Species Richness Relationship in a Prairie Grassland Experiment (Cedar Creek). **Remote Sensing**, v. 8, n. 2, p. 128, fev. 2016.

WARD, J. V.; STANFORD, J. A. Ecological connectivity in alluvial river ecosystems and its disruption by flow regulation. **Regulated Rivers: Research & Management**, v. 11, n. 1, p. 105–119, 1995.

WILCOX, Andrew C.; SHAFROTH, Patrick B. Coupled hydrogeomorphic and woody-seedling responses to controlled flood releases in a dryland river. **Water Resources Research**, v. 49, n. 5, p. 2843–2860, 2013.

WINTENBERGER, Coraline L. *et al.* Fluvial islands: First stage of development from nonmigrating (forced) bars and woody-vegetation interactions. **Geomorphology**, v. 246, p. 305–320, 1 out. 2015.

WOHL, Ellen *et al.* The Natural Sediment Regime in Rivers: Broadening the Foundation for Ecosystem Management. **BioScience**, v. 65, n. 4, p. 358–371, 1 abr. 2015.

WOHL, Ellen. Connectivity in rivers. **Progress in Physical Geography: Earth and Environment**, v. 41, n. 3, p. 345–362, 1 jun. 2017.

WOODGET, Amy S. *et al.* Drones and digital photogrammetry: from classifications to continuums for monitoring river habitat and hydromorphology. **WIREs Water**, v. 4, n. 4, p. e1222, 2017.

YU, Haochen *et al.* Effects of Climate Change on Land Cover Change and Vegetation Dynamics in Xinjiang, China. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 13, p. 4865, 6 jul. 2020.

ZAIMES, George N.; GOUNARIDIS, Dimitrios; SYMENONAKIS, Elias. Assessing the impact of dams on riparian and deltaic vegetation using remotely-sensed vegetation indices and Random Forests modelling. **Ecological Indicators**, v. 103, p. 630–641, 1 ago. 2019.

ZANANDREA, Franciele *et al.* CONECTIVIDADE DOS SEDIMENTOS: CONCEITOS, PRINCÍPIOS E APLICAÇÕES. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 2, 1 abr. 2020.

ZEN, Simone *et al.* Exploring the role of trees in the evolution of meander bends: The Tagliamento River, Italy. **Water Resources Research**, v. 53, n. 7, p. 5943–5962, 2017.

ZIPPER, Sam *et al.* Alternative stable states and hydrological regime shifts in a large intermittent river. **Environmental Research Letters**, v. 17, n. 7, p. 074005, jun. 2022.